

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saâd Dahlab, Blida-1
Faculté de Technologie
Département EnR



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Energies Renouvelables
OPTION : Conversion Photovoltaïque

Thème

***Critères de choix des composantes des systèmes
photovoltaïques
Applications en Algérie***

Présenté par : LAGHA Yamna

Soutenu devant le jury composé de :

Mr DOUMAZ Toufik	MAA	USDB1	Président
Mr Bouzaki Mohammed Moustafa	MCB	USDB1	Encadreur
Mr BENAHMED Abdelmoumene	MCB	USDB1	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

ملخص

نظرا لشساعة الجزائر فان المناخ يتغير فيها من منطقة الى اخرى، وتتميز على ان اغلب مناطقها تعد صحراوية المناخ، كما ان درجة الحرارة فيها تتدرج من مكان الى اخر على بعد عدة كيلومترات فقط.

ورغم ان سوق الجزائر يزخر بأنواع اجهزة الطاقة الشمسية، فإن أكبر مشكل تواجهه اغلب مشاريع الطاقة الشمسية في الجزائر، هو مشكل النفاذية، والعطل وذلك راجع لسوء الاختيار، او بصفة اخرى نقص الخبرة في اختيار اجهزة الطاقة الشمسية، هذا لا يعني انه لا توجد نوعية ممتازة في السوق وانما يجب علينا اختيار الجهاز الصحيح في المكان الصحيح.

في هذه الدراسة نقدم لكم كل ما تحتاجونه من اجهزة لتركييب الطاقة الشمسية وندرسها بعمق ونبين لكم اي الاجهزة ملائمة لمكان تطبيق وتركيب منظومتكم الكهروضوئية.

Résumé

En raison de l'immensité de l'Algérie, le climat y change d'une région à l'autre, et elle se distingue par le fait que la plupart de ses régions sont considérées comme un climat désertique et que la température y varie d'un endroit à l'autre, à seulement quelques kilomètres.

Bien que le marché algérien regorge de types d'appareils à énergie solaire, le plus gros problème auquel la plupart des projets d'énergie solaire sont confrontés en Algérie est le problème de la perméabilité, et les pannes dues à un mauvais choix, ou en d'autres termes, au manque d'expérience dans le choix des appareils à énergie solaire, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas d'excellente qualité. Sur le marché Algérien, mais nous devons choisir le bon appareil au bon endroit.

Dans cette étude, nous vous présentons tous les appareils dont vous avez besoin pour installer votre système photovoltaïque, les étudier en profondeur et vous montrer quels appareils sont adaptés à l'emplacement d'application et d'installation de votre système PV.

ABSTRACT

Due to the vastness of Algeria, the climate changes from one region to another, and it is distinguished by the fact that most of its regions are considered to be a desert climate and the temperature varies widely there One place to another, only a few kilometers.

Although the Algerian market is full of types of solar powered devices, the biggest problem most solar power projects face in Algeria is the problem of permeability, and blackouts due to wrong choice, or failure. in other words, the lack of experience in choosing solar powered

devices, it does not mean that there is no excellent quality. In the Algerian market, but we have to choose the right device in the right place.

In this study, we introduce you to all the devices you need to install your PV system, study them in depth and show you which devices are suitable for the location of application and installation of your PV system.

Remercîment

Je remercie en premier lieu Dieu qui m' a donné la volonté, santé et surtout patience, pour pouvoir, durant toutes ces longues années d'études d' arriver là où nous sommes aujourd' hui et de concrétiser tous mes efforts par ce modeste travail

Je tiens également à remercier mon marie Dr, BOUZAKI MOHAMMED ce qui est mon encadreur pour sa patience, sa confiance, ses remarques, sa disponibilité, sa bienveillance, ses orientations fructueuses, ses encouragements et ses conseils.

Son aide précieuse et son soutien moral et scientifique sans relâche pendant cette période m' ont été d' un très grand apport. Qu' il trouve, à travers cette mémoire l' expression de ma Profonde gratitude et mon profond respect.

Je tiens aussi à remercier toute ma famille LAGHA ET BOUZAKI pour leurs encouragements.

Table des matières

Introduction Générale	3
CHAPITRE I	5
I. INTRODUCTION :	5
II. Technologie Panneau Solaire :	6
1ère génération : cellules cristallines.....	6
• Les cellules de silicium monocristallin :.....	6
• Les cellules de silicium polycristallin :	8
2ème génération : couches minces “thin films”	9
• Les cellules de silicium amorphe :	9
• Les couches minces (CdTe) :	11
• Les cellules à base de CIGS :	11
• Les couches minces organiques :	12
• Les couches minces à base de matériaux III-V :	13
• Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles :	13
III. 3ème génération : Perovskites, multijonction, concentration,	14
• Les Cellules Pérovskites :	14
• Cellules multicouches :	15
• L’hétérojonction :	16
IV. Etude des performances des panneaux photovoltaïques pour différentes technologies :	17
1) L’influence de la température	17
2) Influence de l’irradiation :	17
3) Influence d’humidité :	18
4) L’effet du vent :	18
5) Influence du vent de sable :	18
6) La neige, principal ennemi des panneaux photovoltaïques :	19
V. Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien :	20
VI. Conclusion	20
CHAPITRE II	22
I. Introduction :	22
II. La différence entre une batterie classique et une batterie à décharge lente :	22
III. Fonctionnement de la batterie :	23
Surcharge :	23
Surdécharge :	23

IV.	Caractéristiques d'une batterie solaire :	23
1.	Tension (en volt V) :	23
2.	Capacité (en ampères heures Ah) :	23
3.	Auto-décharge :	24
4.	Profondeur de décharge	24
	La vitesse de la décharge est également importante	24
5.	Durée de vie	24
6.	Courant de court-circuit :	25
7.	Caractéristiques souhaitées d'une batterie solaire.....	25
V.	Effet de température.....	25
VI.	Les différents types de batteries solaires : quels avantages pour quels inconvénients	26
1.	Les batteries au plomb	26
	• La batterie " plomb ouvert "	26
	• La batterie AGM	27
1.	La batterie Gel :	28
2.	La batterie lithium	28
VII.	Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées :	29
VIII.	Installation et entretien des batteries solaires (PLAMB Ouvert) :	31
IX.	Consignes de sécurité :	32
X.	Conclusion	32
	CHAPITRE III	33
I.	Introduction :	33
II.	Caractéristiques des onduleurs solaires :	33
1.	Tension de service	34
2.	Puissance de sortie.....	34
3.	Rendement des onduleurs	35
III.	Les types d'onduleurs solaires :	35
IV.	Fonctionnement Installation et entretien : [36]	36
1.	Fonctionnement :	36
2.	Installation :	37
3.	Entretien :	38
V.	Conseils pour le choix de l'onduleur :	38
VI.	Conclusion	39
	Conclusion générale	39

Introduction Générale

L'évolution des activités humaines a entraîné une forte augmentation de la consommation d'énergie. À l'heure actuelle Les questions énergétiques recouvrent deux enjeux. L'un est lié au risque d'épuisement des ressources fossiles et fissiles, l'autre est environnemental.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque semble être un atout incontournable et une nécessité pour l'avenir avec des avantages comme l'abondance et la disponibilité.

Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations photovoltaïques utilisant l'énergie solaire, surtout dans les régions qui ont des conditions climatiques favorables ou encore pour des applications en sites isolés.

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie : la partie nord possède un climat méditerranéen, alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique.

Dans les **régions montagneuses** (monts de Tlemcen, Haute-Kabylie, Atlas), les hivers peuvent être froids. Au-delà de 1 500 m, il neige de décembre à mars. On trouve même quelques stations de ski !

Les écarts de température dans une même journée peuvent être considérables. Dans le Sahara, le mercure peut même osciller d'un extrême à l'autre en l'espace de quelques heures seulement (au-delà de 40 °C le jour, en-dessous de 5 °C la nuit !). L'hiver, les températures restent clémentes, mais il pleut régulièrement.

Le vieillissement des cellules photovoltaïques et des modules est un processus qui évolue naturellement avec les années de fonctionnement du module dans les conditions de terrain (le vent, la pluie, la neige, la chaleur, la lumière...) et qui par conséquent affecte le rendement du module.

Pour cela, et pour vous facilite votre choix des équipements de votre installation photovoltaïque sur n'importe quelle région en Algérie, on va étudier les critères de choix des équipements photovoltaïques .

Cette étude est décomposée en trois chapitres distincts. Le premier a pour but de présenter les différent technologie des cellules photovoltaïques Puis l'influence des conditions climatiques sue la performance de module PV, et on va faire une comparaison entre les différent

technologie. Puis nous présentons au second chapitre les différents types des batteries solaires, et nous a fait une comparaison entre eux.

Le chapitre trois traite ensuite de composants d'installation on deux parties, la premier sera pour présenter les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisisez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

CHAPITRE I

I. INTRODUCTION :

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques, formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches, l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). C'est une jonction PN. Lorsqu'un électron est arraché, il se forme à la place un « trou », se comportant comme une charge positive.

L'électron et le trou s'échappent de part et d'autre de cette jonction PN (les électrons vers N et les trous vers P), créant une différence de potentiel (ce que l'on mesure en volts). Une cellule photovoltaïque produit donc ainsi du courant électrique continu. [01]

Parmi les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque le rendement.

Le rendement des [panneaux photovoltaïques](#) correspond à la quantité d'électricité produite par rapport à l'énergie solaire reçue. Aujourd'hui, les rendements des panneaux solaires varient entre 7 % et 24 %. Qu'est-ce qui explique une telle différence ? En fait, c'est plutôt simple : la technologie utilisée et la qualité (intrinsèque) des panneaux photovoltaïques.

Une autre caractéristique des panneaux photovoltaïques la durée de vie

La durée de vie d'un module photovoltaïque est considérée comme l'un de ses principaux avantages souhaitables. Elle est un des quatre facteurs qui définissent le coût de l'électricité solaire (la sécurité, le coût économique, la fiabilité et l'esthétique). C'est pour cette raison que la durée de vie est devenue un paramètre clé qui définit les garanties offertes par les constructeurs des modules photovoltaïques [14]. Aujourd'hui tous les constructeurs proposent des garanties de production sur 25 ans (la production est encore de 90 % de la production initiale après 10 ans et de 80 % après 25 ans). Les installations existantes montrent que les modules peuvent produire pendant 30 ans [11]. Il est donc primordial de choisir le bon type de panneaux solaires afin de maximiser la production d'électricité.

Dans ce chapitre on va présenter au premier lieu les différentes technologies photovoltaïques. Puis l'influence de température, irradiation, humidité, vitesse de vent, vent de sable et la neige sur les performances des panneaux PV.

Finalement on va aborder une comparaison entre les différents panneaux PV.

II. Technologie Panneau Solaire :

1ère génération : cellules cristallines

Ces cellules, généralement en silicium, ne comprennent qu'une seule jonction p-n. La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de "wafers" à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse. La limite théorique de rendement de ce type de cellule est de 27%. Les cellules les plus récentes s'approchent chaque année de plus en plus de cette limite.



Figure I. 1 du silicium à la cellule PV.

Méthode de fabrication : le cristal formé par refroidissement du silicium en fusion dans des creusets parallélépipédiques est ensuite découpé en fines tranches appelées "wafers". Les cellules sont alors obtenues après "dopage" et traitement de surface [03].

On distingue deux types de cellules cristallines :

- **Les cellules de silicium monocristallin :**

Les cellules monocristallines sont produites à partir d'un seul bloc de silicium fondu, ce qui les rend très « pures ». Les cristaux sont tous orientés dans la même direction. Elles sont donc plus productives en présence d'un rayonnement direct et offrent un rendement élevé (entre 15 et 20 %). Elles sont **plus coûteuses** à la production, donc à la vente. En générale, ces cellules sont octogonales et d'une couleur noire. Plus performantes, ces cellules permettent de produire le maximum d'énergie avec le moins de surface [02].

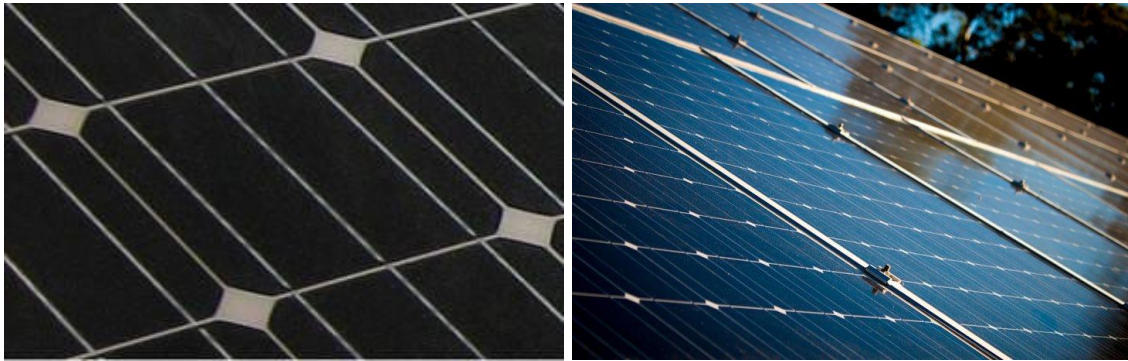


Figure I. 2 cellule photovoltaïque monocristallin

Tableau I. 1 Les panneaux PV monocristallin

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement.[03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé. • Rendement faible sous éclairement réduit.[03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 17-20 % (On obtient ainsi une puissance de 170 à 200 Wc par m²). [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Leur fabrication à partir d'un cristal de silicium pure leur donne une teinte uniforme allant du gris au bleu foncé.</p> <p>Second signe distinctif, l'absence de rainurage sur le panneau.</p> <p>Celui-ci, facilement identifiable sur les autres types de panneaux, est ici presque invisible. [04]</p>

Durée de vie	35 ans [09]
--------------	-------------

- **Les cellules de silicium polycristallin :**

Les cellules polycristallines sont issues de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Elles captent aisément la lumière ambiante grâce aux cristaux qui sont comme des éventails orientés vers l'extérieur. Elles offrent un rendement de 14 à 18 %. Elles sont moins coûteuses à la production, et donc moins chères que les monocristallines à la vente. Le plus souvent de forme rectangulaire, les polycristallines sont d'une couleur bleu nuit avec des reflets [2,4].

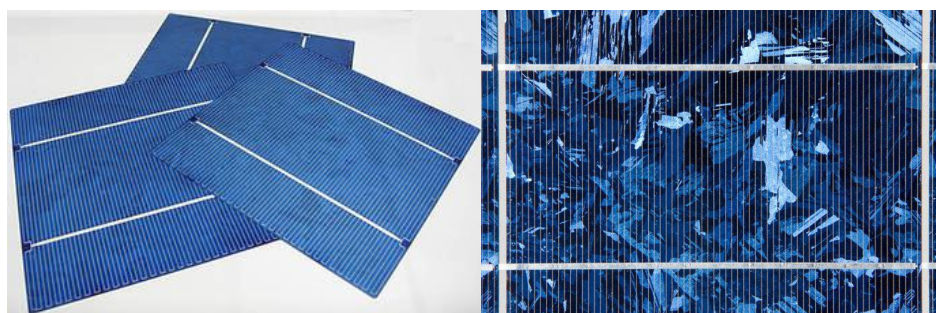


Figure I. 3 Cellules PV Polycristalline

Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux [03].

Tableau I. 2 Panneaux PV Polycristalline

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport performance/prix. [03] • Plus économique [04] • Empreinte écologique plus faible [04]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous éclairage réduit [03]. • Rendement moins élevé [04].
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 16-18 % (On obtient ainsi une puissance de 160 à 180 Wc par m²)

	Ces cellules restent les plus utilisées du fait du rapport performance/prix plus intéressant que celui de leurs homologues monocristallins. [03]
Comment les reconnaître ?	Les panneaux solaires polycristallins sont très facilement reconnaissables de par leur couleur bleu nuit non uniforme . De plus, vous pouvez facilement observer les différentes orientations prises par les cristaux lors de la confection du panneau. [04]
Durée de vie	35 ans [09]

2ème génération : couches minces “thin films”



Figure I. 4 Cellule couches mince

Dans le cas de “couches minces”, le semi-conducteur est directement déposé par vaporisation sur un matériau support (du verre par exemple).

- **Les cellules de silicium amorphe :**

Les cellules amorphes sont élaborées à partir d’un gaz de silicium projeté sur du verre, du métal ou du plastique souple, par un procédé de vaporisation sous vide. Elles sont moins énergivores lors de la fabrication. Plus fines que les versions cristallines, ce sont les seuls modules pouvant produire de l’électricité sous un éclairage artificiel. Son rendement est 2 à

3 fois plus faible que celui des monocristallins. Les cellules amorphes sont de couleur gris très foncé.[02]

Les panneaux solaires amorphes sont les panneaux les moins chers du marché et les moins performants du marché (entre 5 et 7%). Cela s'explique essentiellement par leur méthode de fabrication.

Un panneau solaire amorphe utilise seulement 1% de la quantité de silicium nécessaire à la création d'un panneau mono ou polycristallin.

Ici, le silicium non cristallisé est envoyé sur un matériau amorphe (verre, acier ou plastique) qui permet la création de panneaux solaires souples [04].

Tableau I. 3 panneau PV Amorphe

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Moins coûteux que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur. [03] • Moins polluant à la fabrication (Ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers" (moins énergivores)). [03] • Fonctionnent avec éclairage faible. [03] • Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03] • Possibilité de créer des panneaux souples. [03] • Panneaux légers [03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement global plus faible. [03] • Rendement moindre sous éclairage direct. [03] • Diminution de performance avec le temps plus importante. [03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 7 % soit 60-70 Wc/m². [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Ils sont de couleur gris foncé.</p> <p>Enfin, les panneaux solaires amorphes ont la spécificité de pouvoir produire de l'énergie avec un éclairage artificiel. [04]</p>

Durée de vie	Moins de 10 ans [09]
--------------	----------------------

- **Les couches minces (CdTe) :**

Le principal matériau utilisé pour cette catégorie de couches minces c'est : le tellurure de cadmium (CdTe). Ces cellules en couches minces représentaient en 2016 environ 5% de la production photovoltaïque [05]

Le CdTe présente de bonnes performances, mais la toxicité du cadmium reste problématique pour sa production. [03], Son Dure de vie est de plus de 20 ans [10]

- **Les cellules à base de CIGS :**

Sont généralement sous forme d'une hétérojonction de type CIGS(P)/CdS(N)/ZnO(N) dans les dispositifs à plus haut rendement. Les rendements record obtenus avec cette technologie sont de l'ordre de 22.9% pour une cellule, 17.5% pour un module et environ 13.5% pour les modules industriels. [05]

Tableau I. 4 Les cellules à base de CIGS

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnent avec éclaircissement faible. [03] • Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03] • Possibilité de créer des panneaux souples. [03] • Panneaux légers. [03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement global plus faible en ce qui concerne les cellules commercialisées. [03] • Rendement moindre sous éclaircissement direct. [03] • Diminution de performance avec le temps plus importante. [03]

	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie moins grande que les cellules cristallines. [03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 11 à 15 % soit 110-150 Wc/m². En laboratoire, les cellules ont déjà atteint le rendement record [2017] de 21,7 % pour des cellules CIGS ! De quoi concurrencer les homologues cristallins ![03]
Dure de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 5 ans [09]

- **Les couches minces organiques :**

Les cellules photovoltaïques organiques sont constituées d'une ou plusieurs couches minces de semi-conducteurs organiques. Ces cellules sont encore au stade du laboratoire et présentent déjà de nombreux. Leur développement à grande échelle est aujourd'hui freiné par la faible durée de vie des cellules et les faibles rendements qui les rendent difficilement compétitives avec les autres technologies. Les applications visées sont principalement des usages couvrant de grandes surfaces sur substrats flexibles et également des usages comme l'électronique grand public, le transport, les panneaux publicitaires et dans le bâtiment. [05]

Tableau I. 5 Les couches minces organiques

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • une réduction drastique des coûts de fabrication, • un faible impact environnemental et une grande flexibilité d'utilisation
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible par rapport les autres technologies
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Les rendements maximaux actuels sont de l'ordre de 12% pour une cellule et environ 9% pour les modules.
Dure de vie	Faible

- **Les couches minces à base de matériaux III-V :**

A côté de toutes ces filières, on trouve aussi celle des matériaux III-V, très performante. Les semi-conducteurs III-V sont des matériaux composés d'un ou plusieurs éléments de la colonne III et de la colonne V du tableau périodique de Mendeleïev, tels que l'arséniure de gallium, arséniure d'indium, nitrure de gallium, antimoniure de gallium ou des alliages ternaires tels que $\text{In}_x\text{Ga}(1-x)\text{As}$. Ils présentent généralement une haute mobilité électronique et une bande interdite directe. Après le Silicium, ce sont les deuxièmes matériaux semiconducteurs les plus utilisés dans l'industrie des semiconducteurs. Le rendement maximal des cellules multijonctions à base de III-V approchent les 46% de rendement sous concentration [05].

- **Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles :**

Les panneaux solaires souples sont composés de polymères organiques. Ce ne sont donc pas des cellules de silicium, mais des cellules monocristallines à base de carbone. Ces panneaux ont cependant la particularité d'être des petits panneaux de faible puissance, soit entre 20 W et 200 W. Ils sont notamment utilisés dans les applications nomades ne requérant qu'une petite autonomie comme les appareils électriques mobiles peu gourmands en énergie, ou pour recharger les batteries de petits appareils tels que les tablettes, smartphones, etc. Ce type de panneau est également apprécié pour une utilisation marine ou en camping-car [02].

Ils ont généralement jusqu'à 200 micromètres d'épaisseur, ce qui est légèrement plus épais qu'un cheveu humain [06].

Les panneaux solaires flexibles actuellement disponibles sur le marché appartiennent à la catégorie des « *panneaux à couche mince* ». Un panneau solaire à couche mince est fait composer de couches 300 fois plus petites que les panneaux solaires en silicium standard. Cela leur donne un profil beaucoup plus mince et peut même rendre certains panneaux à couche mince flexibles.

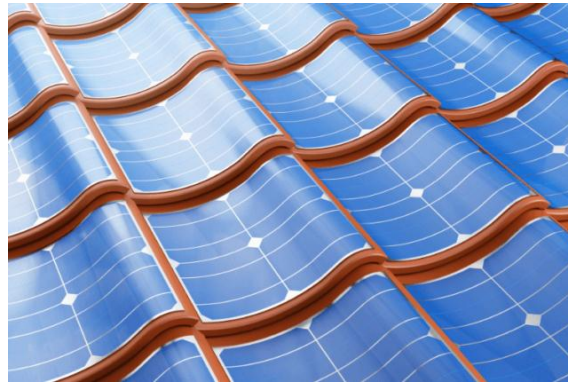


Figure I. 5 s panneau photovoltaïques souples ou flexibles

Tableau I. 6 Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • peuvent être façonnés pour s'adapter à la surface sur laquelle ils sont installés [06] • ils peuvent être facilement posés sur des structures moins conventionnelles comme les abris de voiture [06] • réduiront probablement le coût d'installation [06] • moins de main-d'œuvre à installer. [06] • Ils sont beaucoup plus portatifs et faciles à manipuler que les panneaux typiques. [06]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • leur <i>rendement inférieur</i> à celui des panneaux classiques[06] • sa baisse efficacité peut constituer une barrière pour certains projets solaires dont l'espace sur le toit est limité. [06]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • compris entre 11 et 13 %. [06]

III. 3ème génération : Perovskites, multijonction, concentration, ...

Pour améliorer les rendements des cellules, la recherche se tourne actuellement vers plusieurs pistes dont notamment :

- **Les Cellules Pérovskites :**

Sont des cellules composées d'un élément hybride organique-inorganique ayant une structure de pérovskite.

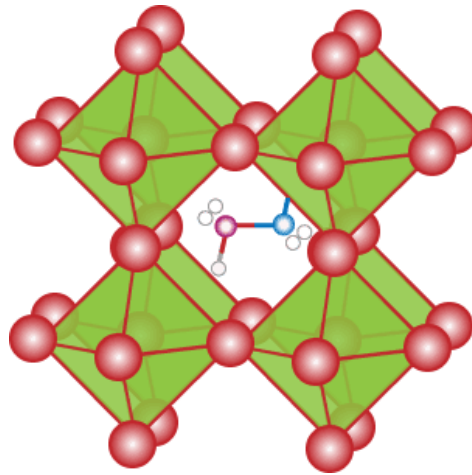


Figure I. 6 Les Cellules Pérovskites

Ces cellules sont apparues en 2000 avec un rendement de 3,8 %. Depuis, en 2016, le rendement est passé à 22,1 % ce qui en fait une alternative prometteuse ! Leur coût de production est faible. L'inconvénient de ces cellules réside dans leur instabilité et faible résistance aux agents extérieurs (eau, températures...). Néanmoins bon nombre de recherches prometteuses sont en cours et devraient finir de rendre ce type de cellules rapidement intéressantes.

- **Cellules multicouches :**

Superposition de multiples cellules aux propriétés différentes (utilisant des bandes d'énergie différentes permettant un balayage plus large du spectre solaire). Ce type de cellules est déjà commercialisé, mais principalement pour des applications spatiales. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (au delà de 30 %).

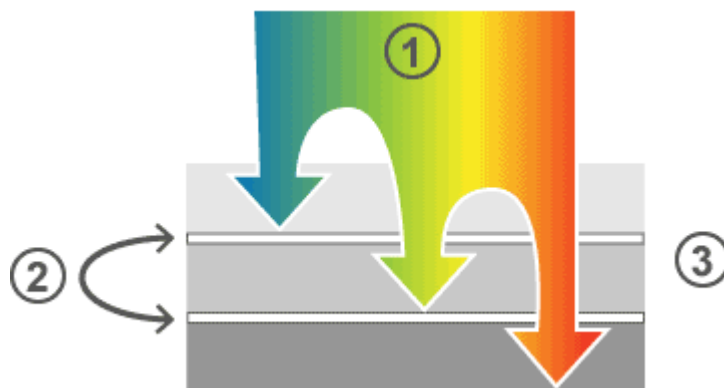


Figure I. 7 Cellules multicouches

1. Sunlight spectrum ;

2. Tunnel junctions ;
3. Cell 1, cell 2, cell 3.

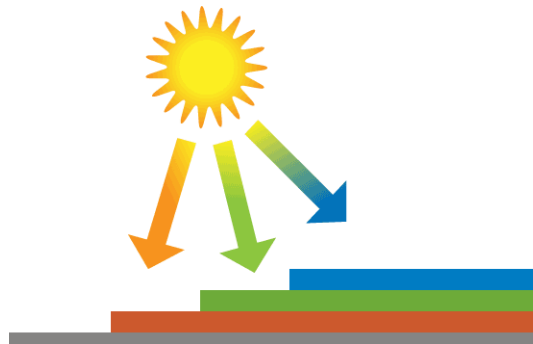


Figure I. 8 Structure d'une cellule triple-jonction.

- **L'hétérojonction :**

L'hétérojonction désigne la mise en contact de matériaux différents (silicium monocristallin et silicium amorphe) contrairement à l'homojonction qui repose sur un seul matériau (silicium monocristallin). [18]

Tableau I. 7 la cellule hétérojonction

Avantages	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bi-facial / La face arrière de la cellule étant également active, une partie des rayons du soleil réfléchis par le sol peut être captée. Cela représente jusqu'à 30 % de lumière en plus, soit un gain de rendement de conversion de l'énergie lumineuse en électricité de 10 %. 2. Tenue en température / Toutes les cellules solaires voient leur rendement baisser à mesure que la température du dispositif augmente (exposition au Soleil). Avec l'hétérojonction, le coefficient thermique des cellules est bien meilleur. 3. Un moindre impact économique et écologique / Du fait de rendements de conversion élevés, l'hétérojonction permet d'utiliser moins de matière (cellule, modules, structures de montage). De même, ses procédés de fabrication ont un moindre impact environnemental. [18]
Rendement	entre 19.9% et 21.7% [19]

IV. Etude des performances des panneaux

photovoltaïques pour différentes technologies :

Dans cette partie on va étudier l'effet de la température, l'irradiation, l'humidité, l'effet du vent, l'influence du vent sable et de la neige sur les performances de différents panneaux PV.

Les panneaux étudiés sont obtenus à partir de base de données du logiciel PVSYST, leurs fiches techniques sont présentées en Annexe I, on a 24 panneaux photovoltaïques :

Le choix des panneaux est basé sur : la technologie et la puissance on a des panneaux mono, poly, amorphe, CdTe et HIT avec des puissances précises pour chaque technologie :

- 05 panneaux mono de puissance de 300 w
- 05 panneaux poly de puissance de 300 w
- 05 panneaux Amorphe de différentes puissances
- 02 panneaux CdTe de différentes puissances
- 05 panneaux CIS de différentes puissances
- 02 panneaux HIT de différentes puissances

1) L'influence de la température

On pourrait penser que plus il fait chaud, mieux c'est pour la production d'énergie solaire. Eh bien non ! Au-delà d'une température de 25°, le rendement d'un panneau solaire diminue. Chaque degré au-delà de cette limite diminue l'efficacité de l'installation [07].

Pour une irradianse constante de 1000W/m², on a étudié les performances des panneaux PV à 0°, 25°, 45° et 60°C.

D'après les résultats obtenus dans l'annexe A on a remarqué que la tension de circuit ouvert V_{oc} décroît avec l'augmentation de la température car la température induit l'agitation thermique donc plus de vibration atomique mais qu'une faible diminution est remarquée sur le courant de court-circuit I_{sc} . La diminution du courant de saturation est la principale cause de la chute de courant à basse température.

2) Influence de l'irradiation :

La caractéristique $I(V)$ d'un module PV est présentée sur les figures dans l'annexe 1 pour une température constante de 25 C et une irradiation variante.

Dans l'annexe A On observe que la caractéristique croît avec l'augmentation 'irradiante. La même remarque est faite pour le courant de court-circuit I_{sc} (ou I_{cc}) due à l'augmentation de l'irradiation conduit à une augmentation dans la génération des électrons libres tandis qu'une faible variation est constatée pour la tension de circuit ouvert V_{oc} .

3) Influence d'humidité :

Qu'elle soit due à la pluie, au brouillard, à la rosée ou simplement à l'air ambiant, l'humidité est un facteur de stress déterminant dans les mécanismes de corrosion et de délamination. Ainsi la présence d'eau dans les boîtes de jonctions des modules PV classiques peut entraîner des courts-circuits. [08]

Donc avant de faire une étude technique pour une installation PV il faut savoir les données climatiques de la région telle qu'humidité relative afin de choisir la technologie des panneaux la plus adéquate.

D'autre part n'oubliez pas l'effet d'humidité sur la structure porteuse des panneaux photovoltaïques.

4) L'effet du vent :

Le composant le plus sensible par le vent dans une installation PV est la structure porteuse des panneaux PV, donc il faut bien étudier l'effet des contraintes mécaniques sur le support métallique.

5) Influence du vent de sable :

Pour les régions sahariennes, l'air est porteur de fines particules de sables (aérosols) qui constituent un obstacle pour les rayonnements solaires qui se trouvent diffractés. La quantité d'ensoleillement reçue à la surface du module est alors diminuée

L'accumulation des grains de sable sur la surface du module, telle qu'indiquée sur la figure I.9 fait qu'une ou plusieurs cellules sont occultées. Dans ces conditions, la cellule ombrée ne peut délivrer qu'un courant limité. Elle fonctionne donc inversement (devient réceptrice) aux autres cellules non occultées du module qui délivrent un courant supérieur à ce courant limite.

En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule (appelé hot spot) se produit. Il peut provoquer des dégâts irréversibles (détérioration des contacts, de la couche antireflet,...etc.) visibles à l'œil nu (apparition d'une couleur brune au niveau de la cellule).[13]



Figure I. 9 effet vent du sable

6) La neige, principal ennemi des panneaux photovoltaïques :

La neige est l'élément qui peut mettre hors-service vos panneaux solaires. Si elle recouvre leur surface, ils ne pourront plus capter la clarté et l'ensoleillement. Conséquence : une production nulle. Toutefois, si vos panneaux ont une bonne inclinaison, entre 35° et 45°, l'adhésion de la neige pourra être limitée et dès qu'une zone sera dégagée, la chaleur produite entraînera la fonte du reste de la couche.

Cela dit, la neige peut malgré tout avoir un effet positif sur le rendement d'une installation photovoltaïque. Si elle est juste présente autour des panneaux (et pas dessus), les rayons du soleil pourront s'y réfléchir et les panneaux capteront plus de rayonnement au m² ! Voilà qui serait amusant à vérifier avec. [12]



Figure I. 10 effet de la neige

V. Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien :

Dans cette partie, on va faire une étude comparative entre les différents panneaux photovoltaïques.

Tableau I. 8 Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien

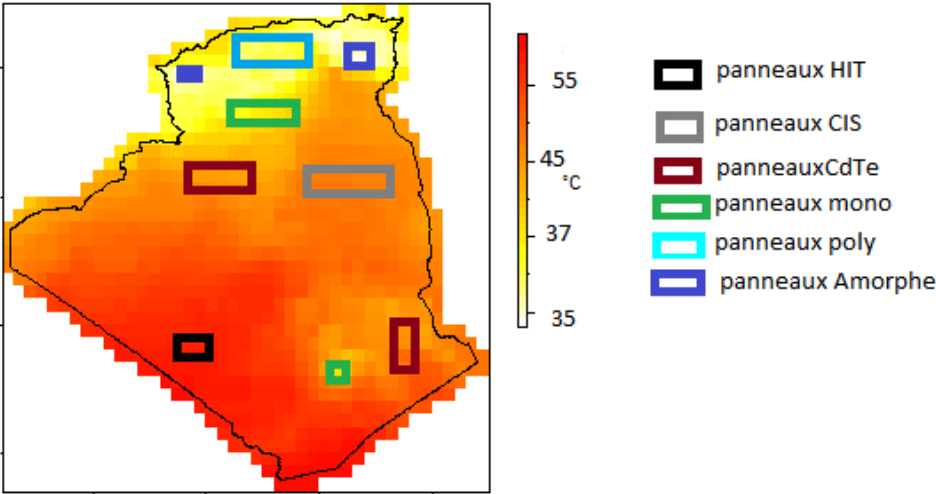
	Mono	poly	Amorphe	CdTe	CIS	HIT
rendement	17-20 % [03]	16-18 % [03]	6 à 7 % [03]	15 à 20%	15 à 21%	19.9% et 24% [19]
Dure de vie	25 ans [09]	25 ans [09]	Moins de 10 ans [09]	plus de 20 ans [10]	10 ans	25ans
Surface de cellule (cm ²)	237.4	243.4	425.0	31.3	122.7	215
Poids de module (kg)	18.5	36.5	46	12	8	2 – 6
Coefficient de température (P)	3.7 - 5.1	3.5 - 4.8	0.1 - 5.1	0 - 0.6	0 - 0.4	2.3 -3.8

D'après ce tableau, on ne peut pas dire que tel technologie est mieux que les autres mais il faut dire que chaque technologie est la meilleur par rapport les autres pour une telle région (différents conditions) en Algérie.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Voici une proposition de départ pour la distribution des technologies PV en Algérie en fonction de la température.



CHAPITRE II

I. Introduction :

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques. Le courant qui y entre ou qui en sort est forcément continu et non alternatif. Les batteries sont indispensables dans les installations autonomes car les modules photovoltaïques ne fonctionnent que quand il y a de la lumière. Pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit, il faut donc que les batteries en aient emmagasiné la journée [20].

Dans ce chapitre, on va présenter, étudier et comparaisons entre les différents types des batteries solaires afin de faciliter le choix des composantes photovoltaïques pour une telle application.

II. La différence entre une batterie classique et une batterie à décharge lente :

La batterie classique, également appelée batterie de démarrage, est destinée aux voitures ou aux motos pour effectuer l'allumage du moteur et alimenter les différents appareils électriques. Une fois que le moteur tourne, l'alternateur « fournit » l'électricité et recharge la batterie. Celle-ci fonctionne donc sans jamais descendre sous les 50 % de charge. A l'inverse, une batterie à décharge lente peut faire plus de 200 cycles de décharge et recharge totale sans que ses performances soient altérées. Elle s'utilise sur une longue période sans avoir besoin de l'apport continue de la recharge de l'alternateur. Elle convient donc parfaitement pour alimenter un camping-car, une caravane ou un bateau en fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des appareils électriques (frigo, éclairage, chauffage...) quand le moteur est à l'arrêt. [38]



Figure II. 1 batterie classique



Figure II. 2 batterie solaire

III. Fonctionnement de la batterie :

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

Surcharge : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).

Surdécharge : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment. C'est le régulateur qui doit prévenir l'entrée d'énergie au-dessus de la surcharge permise et aussi la consommation de plus d'énergie que cette prévue par la surdécharge [40].

IV. Caractéristiques d'une batterie solaire :

1. Tension (en volt V) :

Lorsqu'un accumulateur est pleinement chargé sa tension est supérieure d'environ 20 % à sa tension de travail. Pour charger un accumulateur, une tension supérieure à la tension du système est nécessaire. Cette tension est appelée tension de charge. La tension de charge d'un accumulateur de 12 volts est égale à 14,4 V.

2. Capacité (en ampères heures Ah) :

Une capacité C100 égale à 100 Ah fournit à 25 °C pendant 100 h au moins un courant de 1 A jusqu'au seuil d'arrêt de 1,75 V par élément pour les batteries au plomb soit 10,5 V.

Si on multiplie la tension par la capacité, on obtient la quantité d'électricité emmagasinée en kWh. Exemple : Une batterie de 12 V – 100 Ah, chargée à bloc, contient théoriquement $12 \times 100 = 1\,200$ Wh, soit 1,2 kWh. On ne peut utiliser qu'une partie de cette énergie car la décharge ne doit pas dépasser un pourcentage bien défini de la capacité (10 – 30 %).

Sinon on risque une sulfatation des plaques et donc une dégradation rapide de la performance de la batterie. La capacité nominale augmente avec la température (par exemple 0,7%/°C) dans la plage de température autorisée. Elle baisse avec le vieillissement et avec le nombre de cycles.

Pour augmenter la capacité, on peut brancher plusieurs batteries en parallèle.

Tableau II. 1 Effet de la température sur la capacité de stockage

Température	0	10	15	20	25	Au-delà de 30°C
Capacité	80%	92%	95%	100%	103%	C% diminue

Mais attention, dans une installation photovoltaïque ou éolienne, cette capacité n'est qu'une base de travail, car il est hors de question de décharger une batterie à 100% : cela la détruirait.

Enfin il ne faut pas confondre capacité d'une batterie qui est exprimée en Ah et la consommation d'un appareil électrique que vous souhaitez brancher sur cette batterie et qui s'exprime en Watts heure [39]

3. Auto-décharge :

Même sans décharge, les accumulateurs perdent de l'énergie. Ce processus, appelé "autodécharge", doit être égal pour les accumulateurs solaires à environ 3% par mois. L'auto-décharge augmente avec l'âge et avec la température. Une diode anti-retour évite que la batterie ne se décharge dans le module pendant la nuit.

4. Profondeur de décharge

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie.

La vitesse de la décharge est également importante : Le courant de décharge ne doit pas dépasser le dixième de la capacité. Pour une capacité de 100 Ah, c'est un courant de 10 A, donc une consommation de $12 \times 10 = 120$ W. Si on « tire » des courants plus forts, la capacité réelle est inférieure.

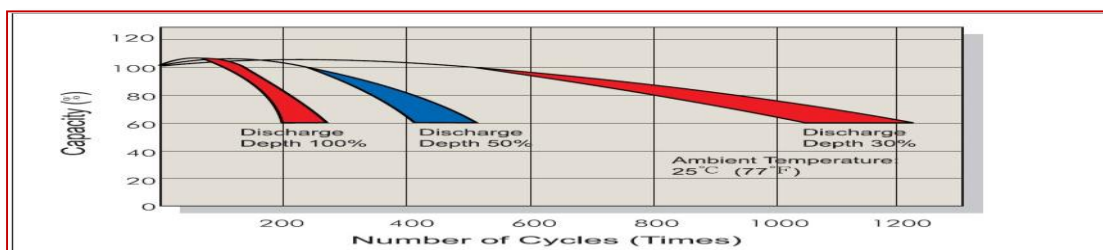


Figure II. 3 Profondeur de décharge

5. Durée de vie

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données. La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. [21]

Pour vous donner un ordre d'idée, pour le décharge de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente :

Tableau II. 2 nombre de cycle pour le décharge de 40%,

	plomb ouvert	AGM	GEL	ion lithium
Décharge de 40%	400 à 500 cycles [21]	600 à 700 cycles [21]	800 à 900 cycles [21]	environ 5000 cycles [26]

6. Courant de court-circuit :

D'après la norme NF C 15-100, le courant de court-circuit d'une batterie est : $I_{cc} = 10 \times C_n$ Ce qui donne pour une batterie 100Ah : $I_{cc} = 10 \times 100 = 1000 \text{ A}$

7. Caractéristiques souhaitées d'une batterie solaire

- durée de vie très longue (plusieurs années)
- résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers
- rendement élevé
- auto-décharge très faible
- pas de maintenance nécessaire [41]

V. Effet de température

La température est un facteur majeur dans les performances de la batterie, la durée de vie, la charge et le contrôle de la tension. À des températures plus élevées, il y a considérablement plus d'activité chimique à l'intérieur d'une batterie qu'à des températures plus basses. Par conséquent, la capacité d'une batterie est plus faible lorsque la température

ambiante est trop basse. (Par exemple, un groupe de batteries qui est gardé à l'extérieur en hiver)

Pour la plupart des batteries, 18-32 C est la plage de température recommandée. À des températures plus élevées, la durée de vie cyclique de la batterie serait considérablement réduite. Nous pouvons conclure que la température froide n'est pas bonne pour les performances de la batterie ; une température plus élevée n'est pas bonne pour la durée de vie de la batterie. [24]

L'équation d'Arrhenius montre que la vitesse de la réaction chimique augmente de façon exponentielle à mesure que la température augmente.

Cela signifie que (approximativement) pour chaque augmentation de température de 10 ° C / 50 ° F, la vitesse de réaction double. Ainsi, une heure à 35 ° C / 95 ° F équivaut à une autonomie de batterie de deux heures à 25 ° C ; Conservez donc vos batteries dans un endroit frais (moins de 20 ° C / 68 ° F de préférence) pour assurer la longévité lorsqu'elles ne sont pas utilisées [25].

VI. Les différents types de batteries solaires : quels avantages pour quels inconvénients

1. Les batteries au plomb

Il existe plusieurs types de batteries au plomb : la batterie " plomb ouvert ", la batterie AGM et la batterie gel, chacun de ces modèles présentant des caractéristiques différentes.

- **La batterie " plomb ouvert "**



Figure II. 4 batteries plomb ouvert

Jusqu'à tout récemment, la batterie plomb ouvert était la seule technologie de batterie pratique pour stocker l'électricité solaire. Ce type de batterie fonctionne notamment avec une solution

d'acide sulfurique liquide. Il s'agit du même type de batterie de voiture, mais les versions de stockage solaire sont beaucoup plus volumineuses.

On l'entrepose plutôt dans des endroits frais ou climatisés, car la chaleur réduit considérablement sa durée de vie. Il faut aussi que le lieu soit aéré, car en se chargeant la batterie plomb ouvert libère de l'hydrogène. Evitez également de l'installer en plein air, au risque de la voir geler à cause du froid.

Sa réputation de technologie éprouvée et son prix accessible en font une batterie toujours utilisée, bien qu'il existe de nos jours d'autres modèles plus élaborés. On l'utilise surtout sur des résidences secondaires où elle est sollicitée de manière irrégulière, de façon à mieux préserver sa durée de vie. La batterie plomb ouvert a donc pour elle d'afficher un coût initial bas, mais le compromis se présente sous forme de maintenance – chaque mois, vous devez vérifier le niveau d'eau, en ajoutant de l'eau distillée pour la maintenir à niveau.

- **La batterie AGM**



Figure II. 5 batterie solaire AGM

Elle se présente sous la forme d'une batterie au plomb scellée. Son principal avantage est le fait qu'elle ne nécessite pas d'entretien. Elle présente en plus l'intérêt d'être étanche et de ne pas dégager d'hydrogène ni de chaleur durant les cycles de charge ou de décharge. Plus adaptée aux utilisations quotidiennes, elle peut faire l'objet d'une utilisation régulière, sans que ses performances en soient affectées.

Comme toutes les batteries au plomb, la batterie AGM est particulièrement sensible à l'élévation de la température. Elle est également plus chère que sa version au plomb ouvert et présente une faible durée de vie en cyclage en plus de présenter une profondeur de décharge de 80 % en général.

1. La batterie Gel :



Figure II. 6 batterie solaire Gel

La technologie de la batterie gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de par ses caractéristiques plus performantes. Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb.

Les batteries gel, à l'instar des batteries AGM, sont étanches et ne nécessitent pas d'entretien sous forme d'ajout d'eau distillée. Elles supportent également mieux les décharges profondes. À 50 % de décharge, elles peuvent durer plus de 1000 cycles. En termes de durée de vie, cela représente entre 6 et 10 ans pour une application solaire.

Notez néanmoins que la batterie gel supporte mal une vitesse élevée de charge et de décharge. Il lui faut donc une application en décharge lente pour optimiser son nombre de cyclages. De plus, elle présente un prix élevé : environ le double de la batterie plomb ouvert. Il faudra également la conserver dans un lieu frais ou climatisé.

2. La batterie lithium



Figure II. 7 batterie solaire lithium de LG

Ce n'est pas un hasard si les batteries lithium comptent parmi les plus populaires du marché. En pleine expansion, cette technologie se retrouve partout dans notre quotidien : dans nos voitures et nos smartphones. Elle incarne l'innovation d'aujourd'hui et de demain comme tend à le démontrer la nouvelle batterie lithium Powerwall de Tesla.

Les batteries au lithium sont plus légères et plus compactes que les batteries au plomb. Elles peuvent également être déchargées plus profondément que les batteries au plomb. Elles sont particulièrement sollicitées pour leur durée de vie étendue : elles peuvent monter jusqu'à 6 000 cycles à un taux de décharge de 80%.

Côté bilan écologique, la batterie lithium fait aussi figure de bon élève comparativement aux batteries au plomb : son niveau de recyclage est proche de 70 %.

Leur principal inconvénient, du moins pour le moment, est qu'elles sont nettement plus onéreuses que les batteries au plomb pour un stockage identique, ce qui en fait un investissement encore peu rentable aujourd'hui [22].

VII. Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées :

Dans Le tableau suivant, on va présenter les avantages, inconvénients et les différents paramètres afin de faire une comparaison entre les batteries solaires existantes dans le marché et facilite le choix.

Tableau II. 3 Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées

Technologies	Plomb ouvert	AGM	Gel	Lithium
Avantages	<p>-Pas cher : entre 80 et 250 € pour 1 kWc</p> <p>-Technologie fiable, robuste et éprouvée [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux températures extrêmes [23].</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Très faible dégagement d'hydrogène (explosif) [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux chocs et vibrations</p> <p>-Local batterie avec faible ventilation [23]</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Ne dégage pas d'hydrogène ou de chaleur</p> <p>-Durée de vie importante : elle peut atteindre les 2500 cycles</p> <p>-Profondeur de décharge d'environ 50 % [22]</p>	<p>-Meilleure durée de vie du marché : jusqu'à 6000 cycles</p> <p>-Elle peut être déchargée plus profondément que les batteries au plomb</p> <p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Recyclable à 70 %</p> <p>-Compacte, elle prend moins de place</p>

			<ul style="list-style-type: none"> • Résistance aux chocs et vibrations • Résistance aux températures extrêmes (-20 à +55°C) • Performance excellente en cyclage [23] 	-Incarné le futur des moyens de stockage solaire [22]
Inconvénients	<p>-Nécessite un entretien régulier</p> <p>-Faible durée de vie (400-500 cycles), on la conseille pour des utilisations irrégulières</p> <p>-Profondeur de décharge entre 60 et 80 %</p> <p>-Volumineuse, elle prend beaucoup de place</p> <p>-Elle émet de l'hydrogène et nécessite d'être</p>	<p>-Un peu plus chère : entre 200 et 400 € pour 1 kWc</p> <p>-Son cycle de vie est relativement faible (600-700 cycles)</p> <p>-Profondeur de décharge d'environ 80% dans la plupart des cas</p> <p>-Toxique pour l'environnement</p>	<p>-Double du prix d'une batterie plomb ouvert : entre 250 et 500 € pour 1 kWc</p> <p>-Sensible au rythme élevé de charge et de décharge : elle doit avoir une application en décharge lente</p> <p>-Toxique pour l'environnement</p>	<p><i>-Prix onéreux : entre 600 et 1000 € pour 1 kWc</i></p> <p><i>-Même capacité de stockage que les autres technologies au plomb pour un prix prohibitif, ce qui en fait un investissement peu rentable</i></p>

	placé dans un endroit aéré			
	-Toxique pour l'environnement [22]			
Dure de vie	+	++	+++	++++
Poids de batterie de 120 Ah 12 V (Kg)	20 [29]	37 [28]	40 [27]	20 [30]
Prix d'une batterie de 2400wh (Da)	48000	55000	57000	120000

VIII. Installation et entretien des batteries solaires (PLAMB

Ouvert) :

Installer la batterie dans un endroit sec, de préférence à l'abri du gel, de la chaleur et du soleil. Toujours poser cette batterie "debout", elle ne doit pas être penchée.

Nous vous recommandons d'effectuer une vérification de vos batteries solaires tous les 6 mois environ. Pour cela nous vous recommandons les opérations suivantes :

- Vérifier le niveau d'électrolyte et remettre à niveau l'électrolyte (30 à 35 mm en dessous de la surface supérieure du couvercle) en rajoutant de l'eau distillée. Ne jamais rajouter d'acide ni dépasser le niveau maximum indiqué.
- Administrer une charge d'égalisation à intensité constante 1/20ème de la capacité pendant 1 heure ou plus si nécessaire. (Tous les éléments doivent "bouillir"). Un chargeur régulé de bonne qualité serait idéal.
- Mesurer la densité de l'électrolyte de chaque élément. Si la densité (Ramenée à 25°C) est supérieure ou égale à 1.260 pour tous les éléments, la batterie est prête à être remise en service. [31]

IX. Consignes de sécurité :

La batterie d'accumulateurs est le composant le plus dangereux de l'installation. Il est impératif de respecter les consignes de sécurité.

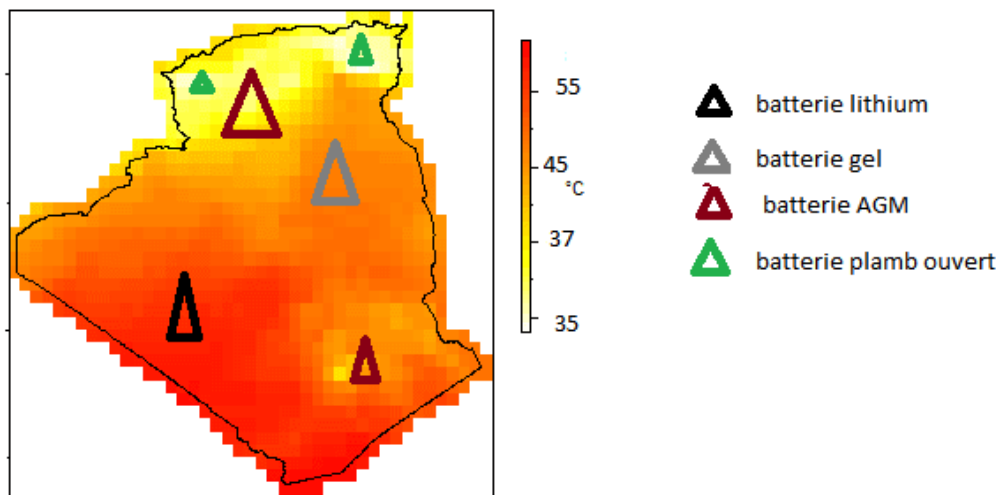
NE JAMAIS INTERVENIR SUR LE SYSTÈME LORSQU'IL EST EN CHARG

- Ne jamais approcher de la batterie avec une flamme ou une cigarette allumée.
- Faire attention à ne jamais mettre en court-circuit les bornes de la batterie ou les câbles y étant raccordés, Les risques sont des brûlures, des projections de métal en fusion, l'électrocution, Les causes possibles sont les outils non isolés, les bijoux sur les mains ou autour du coup, un liquide conducteur ou encore un mauvais branchement. En cas de doute, consultez la documentation ou contactez-nous.
- Si le système s'arrête suite à une décharge trop importante des batteries, ne pas continuer à consommer sur celles-ci, le risque est de les endommager irrémédiablement.
- Le local où est installée la batterie doit être ventilé correctement (Norme NFC15712-2).
- Pour les batteries à électrolyte liquide (acide), l'utilisation de protections individuelles (gants, lunettes, etc...) est indispensable. [32]

X. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Comme conclusion, on propose la carte, d'utilisation des batteries solaires en fonction de la température, suivante :



CHAPITRE III

I. Introduction :

La plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif ; or une installation photovoltaïque produit un courant continu. Le premier rôle d'un onduleur sera d'assurer cette transformation.

Dans ce chapitre on va présenter tous les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

II. Caractéristiques des onduleurs solaires :

Trois caractéristiques principales définissent les onduleurs solaires :

- La tension de service (v)
- Puissance de sortie (W ou VA)
- [Puissance de crête maximale \(W ou VA\)](#)

En plus de quelques autres considérations qui doivent être prises en compte, comme la température et la consommation en mode Attente

La tension de sortie des onduleurs est de 220-230/ 380-400 V et 50/60 Hz en courant alternatif. Certains modèles ont également des sorties USB de 5v et 1 ou 2A, idéales pour les caravanes, camping-cars, bateaux ou voitures.

1. Tension de service

Il existe des onduleurs solaires avec des tensions d'entrée de 12v, 24v et 48v. Cette tension sera déterminée par l'installation et les batteries dont nous disposons.

Une référence ou considération à prendre en compte lors du choix de la tension d'un convertisseur 220v est la puissance en watts (W) de ce que nous voulons connecter à la sortie.

Il est donc conseillé de choisir les tensions de :

12v lorsque la gamme de puissance va de quelques watts (W) à 1500W
 24v dans des plages de puissance de 1000 à 3000W
 48v pour plages de puissance de 2000 à 10000W

La plage de tension d'entrée, pour le bon fonctionnement de l'onduleur solaire 220v, est de 11 à 16v pour les installations 12v, de 21 à 30v pour les installations 24v et de 42 à 60v pour les installations 48v. De nombreux modèles sont équipés de protections qui déconnectent l'onduleur de la batterie ou des panneaux lorsque la tension dépasse le minimum ou le maximum. Afin de ne pas faire d'erreur, nous allons lire la fiche technique du fabricant pour voir la gamme optimale.

2. Puissance de sortie

La puissance de sortie des onduleurs de courant est indiquée en W ou en VA. Ces valeurs nous seront fournies par le fabricant de l'onduleur et sont normalement imprimées sur le corps du convertisseur CA lui-même.

La différence entre les watts (W) et les watts (VA), est dans le facteur de puissance, et cela dépend de la performance du convertisseur de courant et de ce que nous avons ou voulons y connecter. Il faudra faire attention avec quelle unité de puissance nous vient le convertisseur direct alternatif que nous choisissons pour pouvoir le comparer et/ou faire les calculs pour notre installation [34].

3. Rendement des onduleurs

Le rendement correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, il est exprimé en pourcentage. Il est égal à 98% en moyenne en 2018 (94,4% en 2007). Une température trop élevée diminue le rendement de l'onduleur.

III. Les types d'onduleurs solaires :

Tableau III- 1 Les types d'onduleurs solaires

Type	Onduleur centralisé	Onduleurs « String »	Onduleurs « Multistring »	Onduleur modulaire
Description [35]	<ul style="list-style-type: none"> ○ un onduleur pour la totalité du générateur ○ utilisation d'un boîtier de raccordement entre le générateur et l'onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ modules branchés en série dans un string (rangée) ○ un onduleur pour chaque string 	<ul style="list-style-type: none"> ○ association d'onduleurs centralisés et « string » ○ onduleur centralisé du côté du côté du branchement au réseau ○ onduleur string du côté 	<ul style="list-style-type: none"> ○ branchement direct des modules sur le réseau ○ un onduleur pour chaque module ○ ou l'onduleur est directement installé sur le module en usine

			des générateurs	
Paramètres [35]	<ul style="list-style-type: none"> ○ pour les montages combinant branchement en série et en parallèle ○ flux lumineux identique pour tous les modules 	<ul style="list-style-type: none"> ○ flux lumineux différents entre les rangées ○ rangées branchées au réseau via son onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ types de modules différents ○ orientations de modules variées ○ ombres partielles sur l'installation ○ nombre de modules différents par rangée 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les installations de petite puissance

IV. Fonctionnement Installation et entretien : [36]

1. Fonctionnement :

Le fonctionnement de l'onduleur solaire se détermine en fonction du type et des performances du système de production solaire sur lequel il est installé.

- Il est le cœur même de l'installation lorsqu'il est mis en place dans un système connecté au réseau. Il doit assurer la conversion de la tension continue du réseau solaire en tension alternative qui peut être directement utilisée ou exportée vers un réseau électrique public. D'autre part, il faut qu'il respecte strictement les normes et les exigences du réseau électrique dans ce type de système photovoltaïque. En effet, les onduleurs connectés au réseau doivent par exemple fournir une tension alternative de forme strictement sinusoïdale. En cas de panne du réseau, l'onduleur solaire se désactive automatiquement.
- L'onduleur solaire n'est pas obligé de correspondre aux réglementations et aux exigences du réseau électrique s'il est installé sur un système hors réseau. Ce système peut accueillir un ou plusieurs onduleurs en fonction de son envergure.

2. Installation :

Plusieurs normes doivent être respectées pour que l'onduleur fonctionne d'une manière sûre et pour que l'installation soit esthétique.

Le choix de l'emplacement est primordial pour que l'installation soit réussie. Normalement, la durée de vie de l'onduleur est de 20 ans en moyenne, mais l'endroit où il est placé peut énormément influencer sa longévité. On recommande ainsi de l'installer dans un endroit frais, sec et propre. S'il est installé à l'extérieur ou s'il est constamment exposé au soleil, alors ses performances diminueront considérablement, car ses composants ne supportent pas ces conditions.

Par ailleurs, son emplacement dans le local n'est pas non plus choisi au hasard. On veillera par exemple à le placer à un endroit facile d'accès pour que son entretien et/ou sa réparation soit plus commodes. L'idéal est qu'il reste à proximité des cellules photovoltaïques pour être parfaitement efficace.



3. Entretien :

En tant que composant clé du [système photovoltaïque](#), l'onduleur central doit être opérationnel pendant de nombreuses années, même s'il peut parfois être soumis à des situations très rudes. En effet, les intempéries, l'usure et la poussière peuvent à terme impacter sa durée de vie. Néanmoins, il est tout à fait possible de préserver ses performances en adoptant les bons gestes.

- Un diagnostic complet de l'appareil et une inspection des câbles par des services de maintenance qualifiés doivent être effectués annuellement.
- Il est important de remplacer les pièces au premier signe d'usure pour prévenir les éventuelles pannes.
- Les saletés et les poussières qui couvrent l'onduleur doivent être nettoyées régulièrement.
- Il est aussi ingénieux de prévoir des pièges contre les nuisibles tels que les souris et les cafards qui peuvent entrer dans l'appareil et risquent d'affecter son bon fonctionnement

V. *Conseils pour le choix de l'onduleur :*

Quelques points essentiels pour le choix du bon onduleur :

- le couple **onduleur-générateur** doit toujours être conçu **sur mesure**.
- il faut se renseigner sur les prestations de **maintenance** (appareils de remplacements offerts ? durée de la garantie ? envoi des appareils à la charge de qui ?)
- les onduleurs avec **systèmes de refroidissement** sont à privilégier pour les locaux à température élevée

- Il faut prendre compte le **poids** de l'onduleur si le lieu d'installation est difficile d'accès
- quelles sont les **garanties contractuelles** du fabricant et de l'installateur ?
- les onduleurs sont sujets aux **normes** suivantes : CEI 61727 (interface réseau), DIN VDE 0126-1-1 (protection de découplage), EN 55014 (compatibilité électromagnétique), CEI 61000-3-2 (harmoniques), EN 60950 (sécurité), CEI 62109.[35]

VI. Conclusion

Dans ce chapitre on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les données techniques, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissiez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Conclusion générale

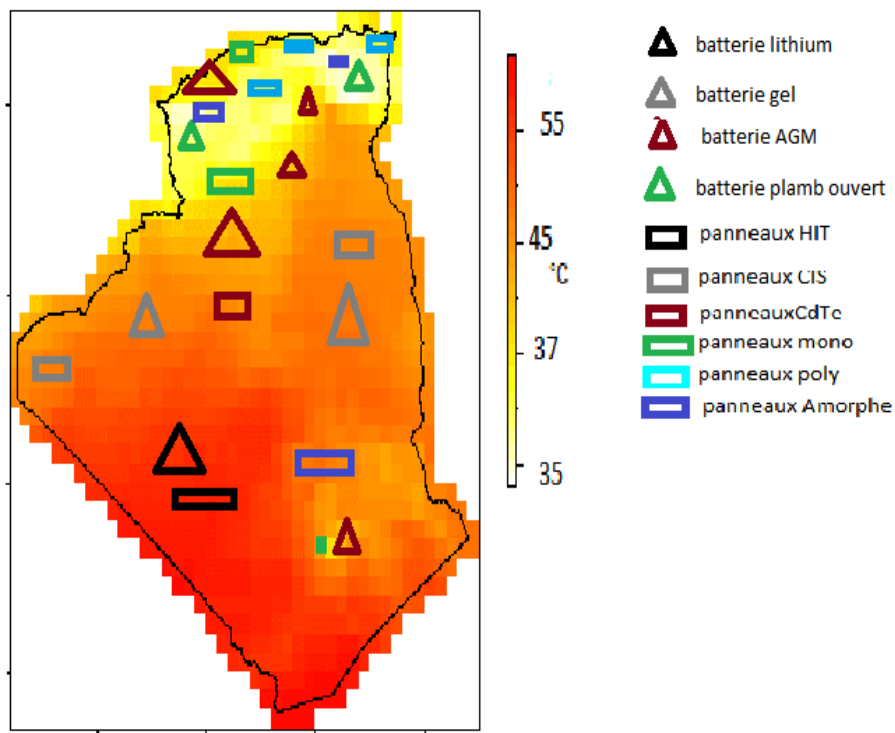
Dans Cette étude on a étudié l'application des composants de système photovoltaïque en l'Algérie.

Dans chapitre I, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Dans chapitre II on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Dans chapitre III on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Comme résultats de notre travail, nous proposons la carte suivante qui illustre l'application pour les différentes technologies des panneaux photovoltaïques et les batteries solaires en notre pays en fonction de la temperature.



Liste des figures

Figure I. 1 du silicium à la cellule PV.....	5
Figure I. 2 cellule photovoltaïque monocristallin.....	6
Figure I. 3 Cellules PV Polycristalline	7
Figure I. 4 Cellule couches mince	8
Figure I. 5 s panneau photovoltaïques souples ou flexibles.....	13
Figure I. 6 Les Cellules Pérovskites	14
Figure I. 7 Cellules multicouches	14
Figure I. 8 Structure d'une cellule triple-jonction.	15
Figure I. 9 effet vent du sable	18
Figure I. 10 effet de la neige	18
Figure II. 1 batterie classique.....	21
Figure II. 2 batterie solaire.....	21
Figure II. 3 Profondeur de décharge.....	23
Figure II. 4 batteries plomb ouvert.....	25
Figure II. 5 batterie solaire AGM	26
Figure II. 6 batterie solaire Gel	27
Figure II. 7 batterie solaire lithium de LG	27

Liste des Tableaux

Tableau I. 1 Les panneaux PV monocristallin	6
Tableau I. 2 Panneaux PV Polycristalline.....	7
Tableau I. 3 panneau PV Amorphe.....	9
Tableau I. 4 Les cellules à base de CIGS	10
Tableau I. 5 Les couches minces organiques.....	11
Tableau I. 6 Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles	13
Tableau I. 7 la cellule hétérojonction	15
Tableau I. 8 Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien.....	19
Tableau II. 1 Effet de la temperature sur la capacite de stockage	23
Tableau II. 2 nombre de cycle pour le décharge de 40%,	24
Tableau II. 3 Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées	28
Tableau III- 1 Les types d'onduleurs solaires.....	34

Introduction Générale

L'évolution des activités humaines a entraîné une forte augmentation de la consommation d'énergie. À l'heure actuelle Les questions énergétiques recouvrent deux enjeux. L'un est lié au risque d'épuisement des ressources fossiles et fissiles, l'autre est environnemental.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque semble être un atout incontournable et une nécessité pour l'avenir avec des avantages comme l'abondance et la disponibilité. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations photovoltaïques utilisant l'énergie solaire, surtout dans les régions qui ont des conditions climatiques favorables ou encore pour des applications en sites isolés.

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie : la partie nord possède un climat méditerranéen, alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique.

Dans les **régions montagneuses** (monts de Tlemcen, Haute-Kabylie, Atlas), les hivers peuvent être froids. Au-delà de 1 500 m, il neige de décembre à mars. On trouve même quelques stations de ski !

Les écarts de température dans une même journée peuvent être considérables. Dans le Sahara, le mercure peut même osciller d'un extrême à l'autre en l'espace de quelques heures seulement (au-delà de 40 °C le jour, en-dessous de 5 °C la nuit !). L'hiver, les températures restent clémentes, mais il pleut régulièrement.

Le vieillissement des cellules photovoltaïques et des modules est un processus qui évolue naturellement avec les années de fonctionnement du module dans les conditions de terrain (le vent, la pluie, la neige, la chaleur, la lumière...) et qui par conséquent affecte le rendement du module.

Pour cela, et pour vous facilite votre choix des équipements de votre installation photovoltaïque sur n'importe quelle région en Algérie, on va étudier les critères de choix des équipements photovoltaïques .

Cette étude est décomposée en trois chapitres distincts. Le premier a pour but de présenter les différent technologie des cellules photovoltaïques Puis l'influence des conditions climatiques sue la performance de module PV, et on va faire une comparaison entre les différent technologie. Puis nous présentons au second chapitre les différents types des batteries solaires, et nous a fait une comparaison entre eux.

Le chapitre trois traite ensuite de composants d'installation en deux parties, la première sera pour présenter les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son type, les données techniques, le fonctionnement, l'installation, l'entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleur onduleur pour votre installation PV.

CHAPITRE I

I. INTRODUCTION :

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques, formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches, l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). C'est une jonction PN. Lorsqu'un électron est arraché, il se forme à la place un « trou », se comportant comme une charge positive.

L'électron et le trou s'échappent de part et d'autre de cette jonction PN (les électrons vers N et les trous vers P), créant une différence de potentiel (ce que l'on mesure en volts). Une cellule photovoltaïque produit donc ainsi du courant électrique continu. [01]

Parmi les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque le rendement.

Le rendement des [panneaux photovoltaïques](#) correspond à la quantité d'électricité produite par rapport à l'énergie solaire reçue. Aujourd'hui, les rendements des panneaux solaires varient entre 7 % et 24 %. Qu'est-ce qui explique une telle différence ? En fait, c'est plutôt simple : la technologie utilisée et la qualité (intrinsèque) des panneaux photovoltaïques.

Une autre caractéristique des panneaux photovoltaïques la durée de vie

La durée de vie d'un module photovoltaïque est considérée comme l'un de ses principaux avantages souhaitables. Elle est un des quatre facteurs qui définissent le coût de l'électricité solaire (la sécurité, le coût économique, la fiabilité et l'esthétique). C'est pour cette raison que la durée de vie est devenue un paramètre clé qui définit les garanties offertes par les constructeurs des modules photovoltaïques [14]. Aujourd'hui tous les constructeurs proposent des garanties de production sur 25 ans (la production est encore de 90 % de la production initiale après 10 ans et de 80 % après 25 ans). Les installations existantes montrent que les modules peuvent produire pendant 30 ans [11]. Il est donc primordial de choisir le bon type de panneaux solaires afin de maximiser la production d'électricité.

Dans ce chapitre on va présenter au premier lieu les différentes technologies photovoltaïques. Puis l'influence de température, irradiation, humidité, vitesse de vent, vent de sable et la neige sur les performances des panneaux PV.

Finalement on va aborder une comparaison entre les différents panneaux PV.

II. Technologie Panneau Solaire :

1ère génération : cellules cristallines

Ces cellules, généralement en silicium, ne comprennent qu'une seule jonction p-n. La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de "wafers" à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse. La limite théorique de rendement de ce type de cellule est de 27%. Les cellules les plus récentes s'approchent chaque année de plus en plus de cette limite.



Figure I. 1 du silicium à la cellule PV.

Méthode de fabrication : le cristal formé par refroidissement du silicium en fusion dans des creusets parallélépipédiques est ensuite découpé en fines tranches appelées "wafers". Les cellules sont alors obtenues après "dopage" et traitement de surface [03].

On distingue deux types de cellules cristallines :

- **Les cellules de silicium monocristallin :**

Les cellules monocristallines sont produites à partir d'un seul bloc de silicium fondu, ce qui les rend très « pures ». Les cristaux sont tous orientés dans la même direction. Elles sont donc plus productives en présence d'un rayonnement direct et offrent un rendement élevé (entre 15 et 20 %). Elles sont **plus coûteuses** à la production, donc à la vente. En générale, ces cellules sont octogonales et d'une couleur noire. Plus performantes, ces cellules permettent de produire le maximum d'énergie avec le moins de surface [02].

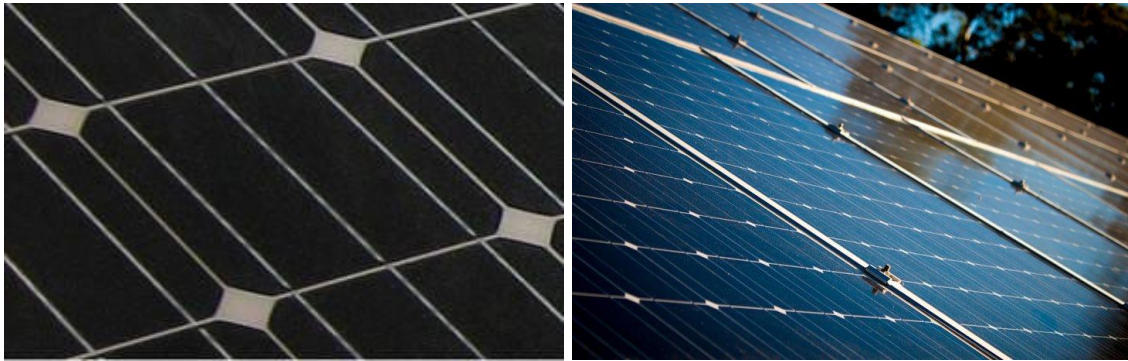


Figure I. 2 cellule photovoltaïque monocristallin

Tableau I. 1 Les panneaux PV monocristallin

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement.[03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé. • Rendement faible sous éclairement réduit.[03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 17-20 % (On obtient ainsi une puissance de 170 à 200 Wc par m²). [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Leur fabrication à partir d'un cristal de silicium pure leur donne une teinte uniforme allant du gris au bleu foncé.</p> <p>Second signe distinctif, l'absence de rainurage sur le panneau.</p> <p>Celui-ci, facilement identifiable sur les autres types de panneaux, est ici presque invisible. [04]</p>

Durée de vie	35 ans [09]
--------------	-------------

- **Les cellules de silicium polycristallin :**

Les cellules polycristallines sont issues de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Elles captent aisément la lumière ambiante grâce aux cristaux qui sont comme des éventails orientés vers l'extérieur. Elles offrent un rendement de 14 à 18 %. Elles sont moins coûteuses à la production, et donc moins chères que les monocristallines à la vente. Le plus souvent de forme rectangulaire, les polycristallines sont d'une couleur bleu nuit avec des reflets [2,4].

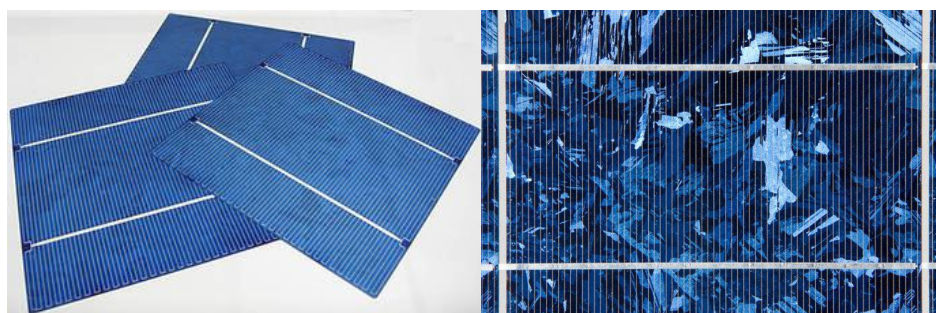


Figure I. 3 Cellules PV Polycristalline

Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux [03].

Tableau I. 2 Panneaux PV Polycristalline

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport performance/prix. [03] • Plus économique [04] • Empreinte écologique plus faible [04]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous éclairage réduit [03]. • Rendement moins élevé [04].
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 16-18 % (On obtient ainsi une puissance de 160 à 180 Wc par m²)

	Ces cellules restent les plus utilisées du fait du rapport performance/prix plus intéressant que celui de leurs homologues monocristallins. [03]
Comment les reconnaître ?	Les panneaux solaires polycristallins sont très facilement reconnaissables de par leur couleur bleu nuit non uniforme . De plus, vous pouvez facilement observer les différentes orientations prises par les cristaux lors de la confection du panneau. [04]
Durée de vie	35 ans [09]

2ème génération : couches minces “thin films”



Figure I. 4 Cellule couches mince

Dans le cas de “couches minces”, le semi-conducteur est directement déposé par vaporisation sur un matériau support (du verre par exemple).

- **Les cellules de silicium amorphe :**

Les cellules amorphes sont élaborées à partir d’un gaz de silicium projeté sur du verre, du métal ou du plastique souple, par un procédé de vaporisation sous vide. Elles sont moins énergivores lors de la fabrication. Plus fines que les versions cristallines, ce sont les seuls modules pouvant produire de l’électricité sous un éclairage artificiel. Son rendement est 2 à

3 fois plus faible que celui des monocristallins. Les cellules amorphes sont de couleur gris très foncé.[02]

Les panneaux solaires amorphes sont les panneaux les moins chers du marché et les moins performants du marché (entre 5 et 7%). Cela s'explique essentiellement par leur méthode de fabrication.

Un panneau solaire amorphe utilise seulement 1% de la quantité de silicium nécessaire à la création d'un panneau mono ou polycristallin.

Ici, le silicium non cristallisé est envoyé sur un matériau amorphe (verre, acier ou plastique) qui permet la création de panneaux solaires souples [04].

Tableau I. 3 panneau PV Amorphe

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Moins coûteux que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur. [03] • Moins polluant à la fabrication (Ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers" (moins énergivores)). [03] • Fonctionnent avec éclairage faible. [03] • Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03] • Possibilité de créer des panneaux souples. [03] • Panneaux légers [03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement global plus faible. [03] • Rendement moindre sous éclairage direct. [03] • Diminution de performance avec le temps plus importante. [03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 7 % soit 60-70 Wc/m². [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Ils sont de couleur gris foncé.</p> <p>Enfin, les panneaux solaires amorphes ont la spécificité de pouvoir produire de l'énergie avec un éclairage artificiel. [04]</p>

Durée de vie	Moins de 10 ans [09]
--------------	----------------------

- **Les couches minces (CdTe) :**

Le principal matériau utilisé pour cette catégorie de couches minces c'est : le tellurure de cadmium (CdTe). Ces cellules en couches minces représentaient en 2016 environ 5% de la production photovoltaïque [05]

Le CdTe présente de bonnes performances, mais la toxicité du cadmium reste problématique pour sa production. [03], Son Dure de vie est de plus de 20 ans [10]

- **Les cellules à base de CIGS :**

Sont généralement sous forme d'une hétérojonction de type CIGS(P)/CdS(N)/ZnO(N) dans les dispositifs à plus haut rendement. Les rendements record obtenus avec cette technologie sont de l'ordre de 22.9% pour une cellule, 17.5% pour un module et environ 13.5% pour les modules industriels. [05]

Tableau I. 4 Les cellules à base de CIGS

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnent avec éclaircissement faible. [03] • Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03] • Possibilité de créer des panneaux souples. [03] • Panneaux légers. [03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement global plus faible en ce qui concerne les cellules commercialisées. [03] • Rendement moindre sous éclaircissement direct. [03] • Diminution de performance avec le temps plus importante. [03]

	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie moins grande que les cellules cristallines. [03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 11 à 15 % soit 110-150 Wc/m². En laboratoire, les cellules ont déjà atteint le rendement record [2017] de 21,7 % pour des cellules CIGS ! De quoi concurrencer les homologues cristallins ![03]
Dure de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 5 ans [09]

- **Les couches minces organiques :**

Les cellules photovoltaïques organiques sont constituées d'une ou plusieurs couches minces de semi-conducteurs organiques. Ces cellules sont encore au stade du laboratoire et présentent déjà de nombreux. Leur développement à grande échelle est aujourd'hui freiné par la faible durée de vie des cellules et les faibles rendements qui les rendent difficilement compétitives avec les autres technologies. Les applications visées sont principalement des usages couvrant de grandes surfaces sur substrats flexibles et également des usages comme l'électronique grand public, le transport, les panneaux publicitaires et dans le bâtiment. [05]

Tableau I. 5 Les couches minces organiques

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • une réduction drastique des coûts de fabrication, • un faible impact environnemental et une grande flexibilité d'utilisation
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible par rapport les autres technologies
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Les rendements maximaux actuels sont de l'ordre de 12% pour une cellule et environ 9% pour les modules.
Dure de vie	Faible

- **Les couches minces à base de matériaux III-V :**

A côté de toutes ces filières, on trouve aussi celle des matériaux III-V, très performante. Les semi-conducteurs III-V sont des matériaux composés d'un ou plusieurs éléments de la colonne III et de la colonne V du tableau périodique de Mendeleïev, tels que l'arséniure de gallium, arséniure d'indium, nitrure de gallium, antimoniure de gallium ou des alliages ternaires tels que $\text{In}_x\text{Ga}(1-x)\text{As}$. Ils présentent généralement une haute mobilité électronique et une bande interdite directe. Après le Silicium, ce sont les deuxièmes matériaux semiconducteurs les plus utilisés dans l'industrie des semiconducteurs. Le rendement maximal des cellules multijonctions à base de III-V approchent les 46% de rendement sous concentration [05].

- **Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles :**

Les panneaux solaires souples sont composés de polymères organiques. Ce ne sont donc pas des cellules de silicium, mais des cellules monocristallines à base de carbone. Ces panneaux ont cependant la particularité d'être des petits panneaux de faible puissance, soit entre 20 W et 200 W. Ils sont notamment utilisés dans les applications nomades ne requérant qu'une petite autonomie comme les appareils électriques mobiles peu gourmands en énergie, ou pour recharger les batteries de petits appareils tels que les tablettes, smartphones, etc. Ce type de panneau est également apprécié pour une utilisation marine ou en camping-car [02].

Ils ont généralement jusqu'à 200 micromètres d'épaisseur, ce qui est légèrement plus épais qu'un cheveu humain [06].

Les panneaux solaires flexibles actuellement disponibles sur le marché appartiennent à la catégorie des « *panneaux à couche mince* ». Un panneau solaire à couche mince est fait composer de couches 300 fois plus petites que les panneaux solaires en silicium standard. Cela leur donne un profil beaucoup plus mince et peut même rendre certains panneaux à couche mince flexibles.

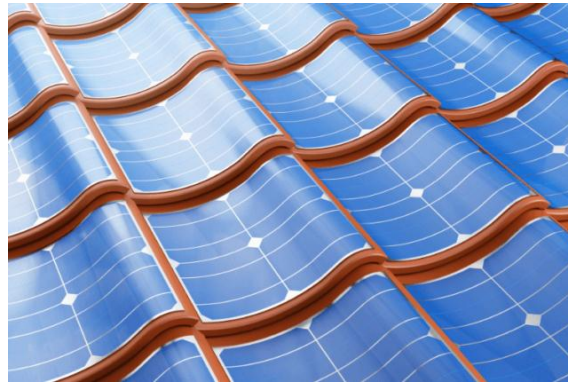


Figure I. 5 s panneau photovoltaïques souples ou flexibles

Tableau I. 6 Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • peuvent être façonnés pour s'adapter à la surface sur laquelle ils sont installés [06] • ils peuvent être facilement posés sur des structures moins conventionnelles comme les abris de voiture [06] • réduiront probablement le coût d'installation [06] • moins de main-d'œuvre à installer. [06] • Ils sont beaucoup plus portatifs et faciles à manipuler que les panneaux typiques. [06]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • leur <i>rendement inférieur</i> à celui des panneaux classiques[06] • sa baisse efficacité peut constituer une barrière pour certains projets solaires dont l'espace sur le toit est limité. [06]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • compris entre 11 et 13 %.[06]

III. 3ème génération : Perovskites, multijonction, concentration, ...

Pour améliorer les rendements des cellules, la recherche se tourne actuellement vers plusieurs pistes dont notamment :

- **Les Cellules Pérovskites :**

Sont des cellules composées d'un élément hybride organique-inorganique ayant une structure de pérovskite.

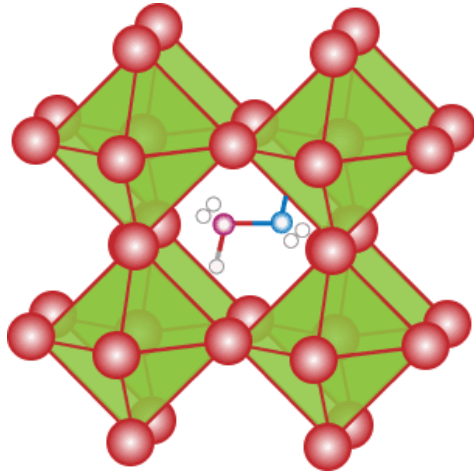


Figure I. 6 Les Cellules Pérovskites

Ces cellules sont apparues en 2000 avec un rendement de 3,8 %. Depuis, en 2016, le rendement est passé à 22,1 % ce qui en fait une alternative prometteuse ! Leur coût de production est faible. L'inconvénient de ces cellules réside dans leur instabilité et faible résistance aux agents extérieurs (eau, températures...). Néanmoins bon nombre de recherches prometteuses sont en cours et devraient finir de rendre ce type de cellules rapidement intéressantes.

- **Cellules multicouches :**

Superposition de multiples cellules aux propriétés différentes (utilisant des bandes d'énergie différentes permettant un balayage plus large du spectre solaire). Ce type de cellules est déjà commercialisé, mais principalement pour des applications spatiales. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (au delà de 30 %).

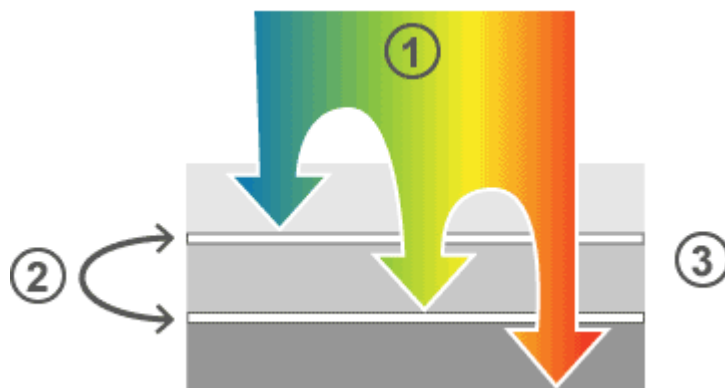


Figure I. 7 Cellules multicouches

1. Sunlight spectrum ;

2. Tunnel junctions ;
3. Cell 1, cell 2, cell 3.

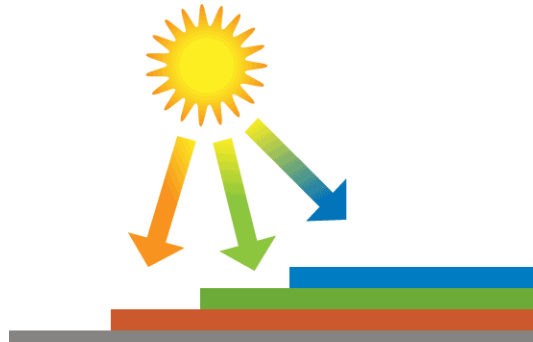


Figure I. 8 Structure d'une cellule triple-jonction.

- **L'hétérojonction :**

L'hétérojonction désigne la mise en contact de matériaux différents (silicium monocristallin et silicium amorphe) contrairement à l'homojonction qui repose sur un seul matériau (silicium monocristallin). [18]

Tableau I. 7 la cellule hétérojonction

Avantages	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bi-facial / La face arrière de la cellule étant également active, une partie des rayons du soleil réfléchis par le sol peut être captée. Cela représente jusqu'à 30 % de lumière en plus, soit un gain de rendement de conversion de l'énergie lumineuse en électricité de 10 %. 2. Tenue en température / Toutes les cellules solaires voient leur rendement baisser à mesure que la température du dispositif augmente (exposition au Soleil). Avec l'hétérojonction, le coefficient thermique des cellules est bien meilleur. 3. Un moindre impact économique et écologique / Du fait de rendements de conversion élevés, l'hétérojonction permet d'utiliser moins de matière (cellule, modules, structures de montage). De même, ses procédés de fabrication ont un moindre impact environnemental. [18]
Rendement	entre 19.9% et 21.7% [19]

IV. Etude des performances des panneaux

photovoltaïques pour différentes technologies :

Dans cette partie on va étudier l'effet de la température, l'irradiation, l'humidité, l'effet du vent, l'influence du vent sable et de la neige sur les performances de différents panneaux PV.

Les panneaux étudiés sont obtenus à partir de base de données du logiciel PVSYST, leurs fiches techniques sont présentées en Annexe I, on a 24 panneaux photovoltaïques :

Le choix des panneaux est basé sur : la technologie et la puissance on a des panneaux mono, poly, amorphe, CdTe et HIT avec des puissances précises pour chaque technologie :

- 05 panneaux mono de puissance de 300 w
- 05 panneaux poly de puissance de 300 w
- 05 panneaux Amorphe de différentes puissances
- 02 panneaux CdTe de différentes puissances
- 05 panneaux CIS de différentes puissances
- 02 panneaux HIT de différentes puissances

1) L'influence de la température

On pourrait penser que plus il fait chaud, mieux c'est pour la production d'énergie solaire. Eh bien non ! Au-delà d'une température de 25°, le rendement d'un panneau solaire diminue. Chaque degré au-delà de cette limite diminue l'efficacité de l'installation [07].

Pour une irradianse constante de 1000W/m², on a étudié les performances des panneaux PV à 0°, 25°, 45° et 60°C.

D'après les résultats obtenus dans l'annexe A on a remarqué que la tension de circuit ouvert V_{oc} décroît avec l'augmentation de la température car la température induit l'agitation thermique donc plus de vibration atomique mais qu'une faible diminution est remarquée sur le courant de court-circuit I_{sc} . La diminution du courant de saturation est la principale cause de la chute de courant à basse température.

2) Influence de l'irradiation :

La caractéristique $I(V)$ d'un module PV est présentée sur les figures dans l'annexe 1 pour une température constante de 25 C et une irradiation variante.

Dans l'annexe A On observe que la caractéristique croît avec l'augmentation 'irradiante. La même remarque est faite pour le courant de court-circuit I_{sc} (ou I_{cc}) due à l'augmentation de l'irradiation conduit à une augmentation dans la génération des électrons libres tandis qu'une faible variation est constatée pour la tension de circuit ouvert V_{oc} .

3) Influence d'humidité :

Qu'elle soit due à la pluie, au brouillard, à la rosée ou simplement à l'air ambiant, l'humidité est un facteur de stress déterminant dans les mécanismes de corrosion et de délamination. Ainsi la présence d'eau dans les boîtes de jonctions des modules PV classiques peut entraîner des courts-circuits. [08]

Donc avant de faire une étude technique pour une installation PV il faut savoir les données climatiques de la région telle qu'humidité relative afin de choisir la technologie des panneaux la plus adéquate.

D'autre part n'oubliez pas l'effet d'humidité sur la structure porteuse des panneaux photovoltaïques.

4) L'effet du vent :

Le composant le plus sensible par le vent dans une installation PV est la structure porteuse des panneaux PV, donc il faut bien étudier l'effet des contraintes mécaniques sur le support métallique.

5) Influence du vent de sable :

Pour les régions sahariennes, l'air est porteur de fines particules de sables (aérosols) qui constituent un obstacle pour les rayonnements solaires qui se trouvent diffractés. La quantité d'ensoleillement reçue à la surface du module est alors diminuée.

L'accumulation des grains de sable sur la surface du module, telle qu'indiquée sur la figure I.9 fait qu'une ou plusieurs cellules sont occultées. Dans ces conditions, la cellule ombrée ne peut délivrer qu'un courant limité. Elle fonctionne donc inversement (devient réceptrice) aux autres cellules non occultées du module qui délivrent un courant supérieur à ce courant limite.

En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule (appelé hot spot) se produit. Il peut provoquer des dégâts irréversibles (détérioration des contacts, de la couche antireflet,...etc.) visibles à l'œil nu (apparition d'une couleur brune au niveau de la cellule).[13]



Figure I. 9 effet vent du sable

6) La neige, principal ennemi des panneaux photovoltaïques :

La neige est l'élément qui peut mettre hors-service vos panneaux solaires. Si elle recouvre leur surface, ils ne pourront plus capter la clarté et l'ensoleillement. Conséquence : une production nulle. Toutefois, si vos panneaux ont une bonne inclinaison, entre 35° et 45°, l'adhésion de la neige pourra être limitée et dès qu'une zone sera dégagée, la chaleur produite entraînera la fonte du reste de la couche.

Cela dit, la neige peut malgré tout avoir un effet positif sur le rendement d'une installation photovoltaïque. Si elle est juste présente autour des panneaux (et pas dessus), les rayons du soleil pourront s'y réfléchir et les panneaux capteront plus de rayonnement au m² ! Voilà qui serait amusant à vérifier avec. [12]



Figure I. 10 effet de la neige

V. Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien :

Dans cette partie, on va faire une étude comparative entre les différents panneaux photovoltaïques.

Tableau I. 8 Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien

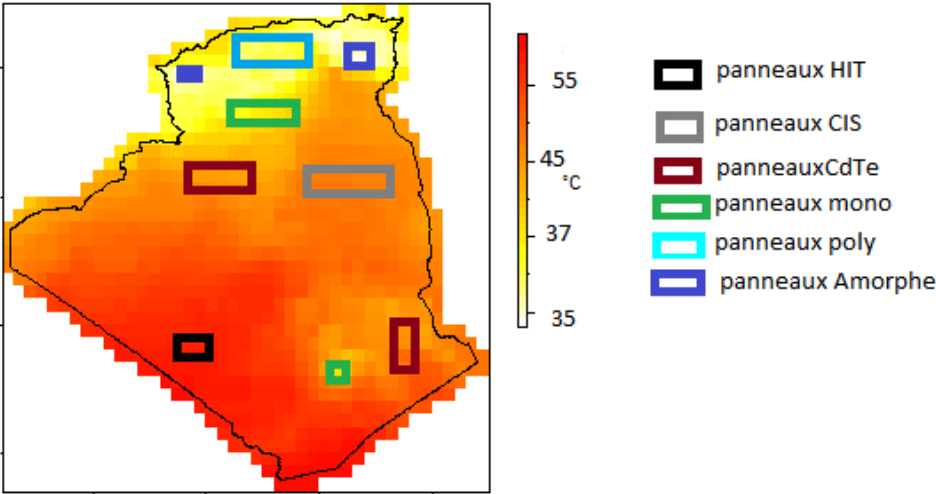
	Mono	poly	Amorphe	CdTe	CIS	HIT
rendement	17-20 % [03]	16-18 % [03]	6 à 7 % [03]	15 à 20%	15 à 21%	19.9% et 24% [19]
Dure de vie	25 ans [09]	25 ans [09]	Moins de 10 ans [09]	plus de 20 ans [10]	10 ans	25ans
Surface de cellule (cm ²)	237.4	243.4	425.0	31.3	122.7	215
Poids de module (kg)	18.5	36.5	46	12	8	2 – 6
Coefficient de température (P)	3.7 - 5.1	3.5 - 4.8	0.1 - 5.1	0 - 0.6	0 - 0.4	2.3 -3.8

D'après ce tableau, on ne peut pas dire que tel technologie est mieux que les autres mais il faut dire que chaque technologie est la meilleur par rapport les autres pour une telle région (différents conditions) en Algérie.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Voici une proposition de départ pour la distribution des technologies PV en Algérie en fonction de la température.



CHAPITRE II

I. Introduction :

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques. Le courant qui y entre ou qui en sort est forcément continu et non alternatif. Les batteries sont indispensables dans les installations autonomes car les modules photovoltaïques ne fonctionnent que quand il y a de la lumière. Pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit, il faut donc que les batteries en aient emmagasiné la journée [20].

Dans ce chapitre, on va présenter, étudier et comparaisons entre les différents types des batteries solaires afin de faciliter le choix des composantes photovoltaïques pour une telle application.

II. La différence entre une batterie classique et une batterie à décharge lente :

La batterie classique, également appelée batterie de démarrage, est destinée aux voitures ou aux motos pour effectuer l'allumage du moteur et alimenter les différents appareils électriques. Une fois que le moteur tourne, l'alternateur « fournit » l'électricité et recharge la batterie. Celle-ci fonctionne donc sans jamais descendre sous les 50 % de charge. A l'inverse, une batterie à décharge lente peut faire plus de 200 cycles de décharge et recharge totale sans que ses performances soient altérées. Elle s'utilise sur une longue période sans avoir besoin de l'apport continue de la recharge de l'alternateur. Elle convient donc parfaitement pour alimenter un camping-car, une caravane ou un bateau en fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des appareils électriques (frigo, éclairage, chauffage...) quand le moteur est à l'arrêt. [38]



Figure II. 1 batterie classique



Figure II. 2 batterie solaire

III. Fonctionnement de la batterie :

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

Surcharge : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).

Surdécharge : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment. C'est le régulateur qui doit prévenir l'entrée d'énergie au-dessus de la surcharge permise et aussi la consommation de plus d'énergie que cette prévue par la surdécharge [40].

IV. Caractéristiques d'une batterie solaire :

1. Tension (en volt V) :

Lorsqu'un accumulateur est pleinement chargé sa tension est supérieure d'environ 20 % à sa tension de travail. Pour charger un accumulateur, une tension supérieure à la tension du système est nécessaire. Cette tension est appelée tension de charge. La tension de charge d'un accumulateur de 12 volts est égale à 14,4 V.

2. Capacité (en ampères heures Ah) :

Une capacité C100 égale à 100 Ah fournit à 25 °C pendant 100 h au moins un courant de 1 A jusqu'au seuil d'arrêt de 1,75 V par élément pour les batteries au plomb soit 10,5 V.

Si on multiplie la tension par la capacité, on obtient la quantité d'électricité emmagasinée en kWh. Exemple : Une batterie de 12 V – 100 Ah, chargée à bloc, contient théoriquement $12 \times 100 = 1\,200$ Wh, soit 1,2 kWh. On ne peut utiliser qu'une partie de cette énergie car la décharge ne doit pas dépasser un pourcentage bien défini de la capacité (10 – 30 %).

Sinon on risque une sulfatation des plaques et donc une dégradation rapide de la performance de la batterie. La capacité nominale augmente avec la température (par exemple 0,7%/°C) dans la plage de température autorisée. Elle baisse avec le vieillissement et avec le nombre de cycles.

Pour augmenter la capacité, on peut brancher plusieurs batteries en parallèle.

Tableau II. 1 Effet de la température sur la capacité de stockage

Température	0	10	15	20	25	Au-delà de 30°C
Capacité	80%	92%	95%	100%	103%	C% diminue

Mais attention, dans une installation photovoltaïque ou éolienne, cette capacité n'est qu'une base de travail, car il est hors de question de décharger une batterie à 100% : cela la détruirait.

Enfin il ne faut pas confondre capacité d'une batterie qui est exprimée en Ah et la consommation d'un appareil électrique que vous souhaitez brancher sur cette batterie et qui s'exprime en Watts heure [39]

3. Auto-décharge :

Même sans décharge, les accumulateurs perdent de l'énergie. Ce processus, appelé "autodécharge", doit être égal pour les accumulateurs solaires à environ 3% par mois. L'auto-décharge augmente avec l'âge et avec la température. Une diode anti-retour évite que la batterie ne se décharge dans le module pendant la nuit.

4. Profondeur de décharge

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie.

La vitesse de la décharge est également importante : Le courant de décharge ne doit pas dépasser le dixième de la capacité. Pour une capacité de 100 Ah, c'est un courant de 10 A, donc une consommation de $12 \times 10 = 120$ W. Si on « tire » des courants plus forts, la capacité réelle est inférieure.

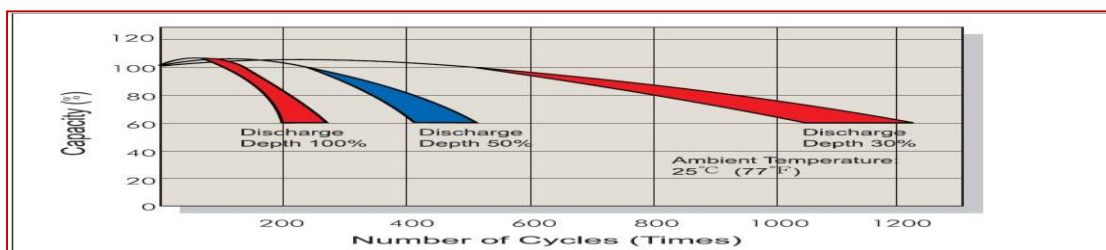


Figure II. 3 Profondeur de décharge

5. Durée de vie

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données. La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. [21]

Pour vous donner un ordre d'idée, pour le décharge de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente :

Tableau II. 2 nombre de cycle pour le décharge de 40%,

	plomb ouvert	AGM	GEL	ion lithium
Décharge de 40%	400 à 500 cycles [21]	600 à 700 cycles [21]	800 à 900 cycles [21]	environ 5000 cycles [26]

6. Courant de court-circuit :

D'après la norme NF C 15-100, le courant de court-circuit d'une batterie est : $I_{cc} = 10 \times C_n$ Ce qui donne pour une batterie 100Ah : $I_{cc} = 10 \times 100 = 1000 \text{ A}$

7. Caractéristiques souhaitées d'une batterie solaire

- durée de vie très longue (plusieurs années)
- résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers
- rendement élevé
- auto-décharge très faible
- pas de maintenance nécessaire [41]

V. Effet de température

La température est un facteur majeur dans les performances de la batterie, la durée de vie, la charge et le contrôle de la tension. À des températures plus élevées, il y a considérablement plus d'activité chimique à l'intérieur d'une batterie qu'à des températures plus basses. Par conséquent, la capacité d'une batterie est plus faible lorsque la température

ambiante est trop basse. (Par exemple, un groupe de batteries qui est gardé à l'extérieur en hiver)

Pour la plupart des batteries, 18-32 °C est la plage de température recommandée. À des températures plus élevées, la durée de vie cyclique de la batterie serait considérablement réduite. Nous pouvons conclure que la température froide n'est pas bonne pour les performances de la batterie ; une température plus élevée n'est pas bonne pour la durée de vie de la batterie. [24]

L'équation d'Arrhenius montre que la vitesse de la réaction chimique augmente de façon exponentielle à mesure que la température augmente.

Cela signifie que (approximativement) pour chaque augmentation de température de 10 °C / 50 °F, la vitesse de réaction double. Ainsi, une heure à 35 °C / 95 °F équivaut à une autonomie de batterie de deux heures à 25 °C ; Conservez donc vos batteries dans un endroit frais (moins de 20 °C / 68 °F de préférence) pour assurer la longévité lorsqu'elles ne sont pas utilisées [25].

VI. Les différents types de batteries solaires : quels avantages pour quels inconvénients

1. Les batteries au plomb

Il existe plusieurs types de batteries au plomb : la batterie " plomb ouvert ", la batterie AGM et la batterie gel, chacun de ces modèles présentant des caractéristiques différentes.

- **La batterie " plomb ouvert "**



Figure II. 4 batteries plomb ouvert

Jusqu'à tout récemment, la batterie plomb ouvert était la seule technologie de batterie pratique pour stocker l'électricité solaire. Ce type de batterie fonctionne notamment avec une solution

d'acide sulfurique liquide. Il s'agit du même type de batterie de voiture, mais les versions de stockage solaire sont beaucoup plus volumineuses.

On l'entrepose plutôt dans des endroits frais ou climatisés, car la chaleur réduit considérablement sa durée de vie. Il faut aussi que le lieu soit aéré, car en se chargeant la batterie plomb ouvert libère de l'hydrogène. Evitez également de l'installer en plein air, au risque de la voir geler à cause du froid.

Sa réputation de technologie éprouvée et son prix accessible en font une batterie toujours utilisée, bien qu'il existe de nos jours d'autres modèles plus élaborés. On l'utilise surtout sur des résidences secondaires où elle est sollicitée de manière irrégulière, de façon à mieux préserver sa durée de vie. La batterie plomb ouvert a donc pour elle d'afficher un coût initial bas, mais le compromis se présente sous forme de maintenance – chaque mois, vous devez vérifier le niveau d'eau, en ajoutant de l'eau distillée pour la maintenir à niveau.

- **La batterie AGM**



Figure II. 5 batterie solaire AGM

Elle se présente sous la forme d'une batterie au plomb scellée. Son principal avantage est le fait qu'elle ne nécessite pas d'entretien. Elle présente en plus l'intérêt d'être étanche et de ne pas dégager d'hydrogène ni de chaleur durant les cycles de charge ou de décharge. Plus adaptée aux utilisations quotidiennes, elle peut faire l'objet d'une utilisation régulière, sans que ses performances en soient affectées.

Comme toutes les batteries au plomb, la batterie AGM est particulièrement sensible à l'élévation de la température. Elle est également plus chère que sa version au plomb ouvert et présente une faible durée de vie en cyclage en plus de présenter une profondeur de décharge de 80 % en général.

1. La batterie Gel :



Figure II. 6 batterie solaire Gel

La technologie de la batterie gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de par ses caractéristiques plus performantes. Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb.

Les batteries gel, à l'instar des batteries AGM, sont étanches et ne nécessitent pas d'entretien sous forme d'ajout d'eau distillée. Elles supportent également mieux les décharges profondes. À 50 % de décharge, elles peuvent durer plus de 1000 cycles. En termes de durée de vie, cela représente entre 6 et 10 ans pour une application solaire.

Notez néanmoins que la batterie gel supporte mal une vitesse élevée de charge et de décharge. Il lui faut donc une application en décharge lente pour optimiser son nombre de cyclages. De plus, elle présente un prix élevé : environ le double de la batterie plomb ouvert. Il faudra également la conserver dans un lieu frais ou climatisé.

2. La batterie lithium



Figure II. 7 batterie solaire lithium de LG

Ce n'est pas un hasard si les batteries lithium comptent parmi les plus populaires du marché. En pleine expansion, cette technologie se retrouve partout dans notre quotidien : dans nos voitures et nos smartphones. Elle incarne l'innovation d'aujourd'hui et de demain comme tend à le démontrer la nouvelle batterie lithium Powerwall de Tesla.

Les batteries au lithium sont plus légères et plus compactes que les batteries au plomb. Elles peuvent également être déchargées plus profondément que les batteries au plomb. Elles sont particulièrement sollicitées pour leur durée de vie étendue : elles peuvent monter jusqu'à 6 000 cycles à un taux de décharge de 80%.

Côté bilan écologique, la batterie lithium fait aussi figure de bon élève comparativement aux batteries au plomb : son niveau de recyclage est proche de 70 %.

Leur principal inconvénient, du moins pour le moment, est qu'elles sont nettement plus onéreuses que les batteries au plomb pour un stockage identique, ce qui en fait un investissement encore peu rentable aujourd'hui [22].

VII. Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées :

Dans Le tableau suivant, on va présenter les avantages, inconvénients et les différents paramètres afin de faire une comparaison entre les batteries solaires existantes dans le marché et facilite le choix.

Tableau II. 3 Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées

Technologies	Plomb ouvert	AGM	Gel	Lithium
Avantages	<p>-Pas cher : entre 80 et 250 € pour 1 kWc</p> <p>-Technologie fiable, robuste et éprouvée [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux températures extrêmes [23].</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Très faible dégagement d'hydrogène (explosif) [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux chocs et vibrations</p> <p>-Local batterie avec faible ventilation [23]</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Ne dégage pas d'hydrogène ou de chaleur</p> <p>-Durée de vie importante : elle peut atteindre les 2500 cycles</p> <p>-Profondeur de décharge d'environ 50 % [22]</p>	<p>-Meilleure durée de vie du marché : jusqu'à 6000 cycles</p> <p>-Elle peut être déchargée plus profondément que les batteries au plomb</p> <p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Recyclable à 70 %</p> <p>-Compacte, elle prend moins de place</p>

			<ul style="list-style-type: none"> • Résistance aux chocs et vibrations • Résistance aux températures extrêmes (-20 à +55°C) • Performance excellente en cyclage [23] 	-Incarné le futur des moyens de stockage solaire [22]
Inconvénients	<p>-Nécessite un entretien régulier</p> <p>-Faible durée de vie (400-500 cycles), on la conseille pour des utilisations irrégulières</p> <p>-Profondeur de décharge entre 60 et 80 %</p> <p>-Volumineuse, elle prend beaucoup de place</p> <p>-Elle émet de l'hydrogène et nécessite d'être</p>	<p>-Un peu plus chère : entre 200 et 400 € pour 1 kWc</p> <p>-Son cycle de vie est relativement faible (600-700 cycles)</p> <p>-Profondeur de décharge d'environ 80% dans la plupart des cas</p> <p>-Toxique pour l'environnement</p>	<p>-Double du prix d'une batterie plomb ouvert : entre 250 et 500 € pour 1 kWc</p> <p>-Sensible au rythme élevé de charge et de décharge : elle doit avoir une application en décharge lente</p> <p>-Toxique pour l'environnement</p>	<p><i>-Prix onéreux : entre 600 et 1000 € pour 1 kWc</i></p> <p><i>-Même capacité de stockage que les autres technologies au plomb pour un prix prohibitif, ce qui en fait un investissement peu rentable</i></p>

	placé dans un endroit aéré			
	-Toxique pour l'environnement [22]			
Dure de vie	+	++	+++	++++
Poids de batterie de 120 Ah 12 V (Kg)	20 [29]	37 [28]	40 [27]	20 [30]
Prix d'une batterie de 2400wh (Da)	48000	55000	57000	120000

VIII. Installation et entretien des batteries solaires (PLAMB

Ouvert) :

Installer la batterie dans un endroit sec, de préférence à l'abri du gel, de la chaleur et du soleil. Toujours poser cette batterie "debout", elle ne doit pas être penchée.

Nous vous recommandons d'effectuer une vérification de vos batteries solaires tous les 6 mois environ. Pour cela nous vous recommandons les opérations suivantes :

- Vérifier le niveau d'électrolyte et remettre à niveau l'électrolyte (30 à 35 mm en dessous de la surface supérieure du couvercle) en rajoutant de l'eau distillée. Ne jamais rajouter d'acide ni dépasser le niveau maximum indiqué.
- Administrer une charge d'égalisation à intensité constante 1/20ème de la capacité pendant 1 heure ou plus si nécessaire. (Tous les éléments doivent "bouillir"). Un chargeur régulé de bonne qualité serait idéal.
- Mesurer la densité de l'électrolyte de chaque élément. Si la densité (Ramenée à 25°C) est supérieure ou égale à 1.260 pour tous les éléments, la batterie est prête à être remise en service. [31]

IX. Consignes de sécurité :

La batterie d'accumulateurs est le composant le plus dangereux de l'installation. Il est impératif de respecter les consignes de sécurité.

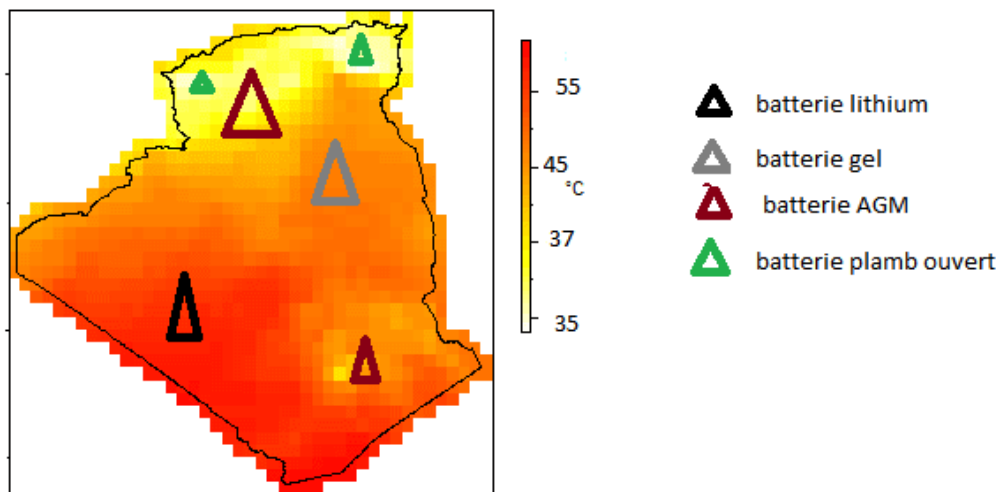
NE JAMAIS INTERVENIR SUR LE SYSTÈME LORSQU'IL EST EN CHARG

- Ne jamais approcher de la batterie avec une flamme ou une cigarette allumée.
- Faire attention à ne jamais mettre en court-circuit les bornes de la batterie ou les câbles y étant raccordés, Les risques sont des brûlures, des projections de métal en fusion, l'électrocution, Les causes possibles sont les outils non isolés, les bijoux sur les mains ou autour du coup, un liquide conducteur ou encore un mauvais branchement. En cas de doute, consultez la documentation ou contactez-nous.
- Si le système s'arrête suite à une décharge trop importante des batteries, ne pas continuer à consommer sur celles-ci, le risque est de les endommager irrémédiablement.
- Le local où est installée la batterie doit être ventilé correctement (Norme NFC15712-2).
- Pour les batteries à électrolyte liquide (acide), l'utilisation de protections individuelles (gants, lunettes, etc...) est indispensable. [32]

X. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Comme conclusion, on propose la carte, d'utilisation des batteries solaires en fonction de la température, suivante :



CHAPITRE III

I. Introduction :

La plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif ; or une installation photovoltaïque produit un courant continu. Le premier rôle d'un onduleur sera d'assurer cette transformation.

Dans ce chapitre on va présenter tous les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

II. Caractéristiques des onduleurs solaires :

Trois caractéristiques principales définissent les onduleurs solaires :

- La tension de service (v)
- Puissance de sortie (W ou VA)
- [Puissance de crête maximale \(W ou VA\)](#)

En plus de quelques autres considérations qui doivent être prises en compte, comme la température et la consommation en mode Attente

La tension de sortie des onduleurs est de 220-230/ 380-400 V et 50/60 Hz en courant alternatif. Certains modèles ont également des sorties USB de 5v et 1 ou 2A, idéales pour les caravanes, camping-cars, bateaux ou voitures.

1. Tension de service

Il existe des onduleurs solaires avec des tensions d'entrée de 12v, 24v et 48v. Cette tension sera déterminée par l'installation et les batteries dont nous disposons.

Une référence ou considération à prendre en compte lors du choix de la tension d'un convertisseur 220v est la puissance en watts (W) de ce que nous voulons connecter à la sortie.

Il est donc conseillé de choisir les tensions de :

12v lorsque la gamme de puissance va de quelques watts (W) à 1500W
 24v dans des plages de puissance de 1000 à 3000W
 48v pour plages de puissance de 2000 à 10000W

La plage de tension d'entrée, pour le bon fonctionnement de l'onduleur solaire 220v, est de 11 à 16v pour les installations 12v, de 21 à 30v pour les installations 24v et de 42 à 60v pour les installations 48v. De nombreux modèles sont équipés de protections qui déconnectent l'onduleur de la batterie ou des panneaux lorsque la tension dépasse le minimum ou le maximum. Afin de ne pas faire d'erreur, nous allons lire la fiche technique du fabricant pour voir la gamme optimale.

2. Puissance de sortie

La puissance de sortie des onduleurs de courant est indiquée en W ou en VA. Ces valeurs nous seront fournies par le fabricant de l'onduleur et sont normalement imprimées sur le corps du convertisseur CA lui-même.

La différence entre les watts (W) et les watts (VA), est dans le facteur de puissance, et cela dépend de la performance du convertisseur de courant et de ce que nous avons ou voulons y connecter. Il faudra faire attention avec quelle unité de puissance nous vient le convertisseur direct alternatif que nous choisissons pour pouvoir le comparer et/ou faire les calculs pour notre installation [34].

3. Rendement des onduleurs

Le rendement correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, il est exprimé en pourcentage. Il est égal à 98% en moyenne en 2018 (94,4% en 2007). Une température trop élevée diminue le rendement de l'onduleur.

III. Les types d'onduleurs solaires :

Tableau III- 1 Les types d'onduleurs solaires

Type	Onduleur centralisé	Onduleurs « String »	Onduleurs « Multistring »	Onduleur modulaire
Description [35]	<ul style="list-style-type: none"> ○ un onduleur pour la totalité du générateur ○ utilisation d'un boîtier de raccordement entre le générateur et l'onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ modules branchés en série dans un string (rangée) ○ un onduleur pour chaque string 	<ul style="list-style-type: none"> ○ association d'onduleurs centralisés et « string » ○ onduleur centralisé du côté du côté du branchement au réseau ○ onduleur string du côté 	<ul style="list-style-type: none"> ○ branchement direct des modules sur le réseau ○ un onduleur pour chaque module ○ ou l'onduleur est directement installé sur le module en usine

			des générateurs	
Paramètres [35]	<ul style="list-style-type: none"> ○ pour les montages combinant branchement en série et en parallèle ○ flux lumineux identique pour tous les modules 	<ul style="list-style-type: none"> ○ flux lumineux différents entre les rangées ○ rangées branchées au réseau via son onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ types de modules différents ○ orientations de modules variées ○ ombres partielles sur l'installation ○ nombre de modules différents par rangée 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pour les installations de petite puissance

IV. Fonctionnement Installation et entretien : [36]

1. Fonctionnement :

Le fonctionnement de l'onduleur solaire se détermine en fonction du type et des performances du système de production solaire sur lequel il est installé.

- Il est le cœur même de l'installation lorsqu'il est mis en place dans un système connecté au réseau. Il doit assurer la conversion de la tension continue du réseau solaire en tension alternative qui peut être directement utilisée ou exportée vers un réseau électrique public. D'autre part, il faut qu'il respecte strictement les normes et les exigences du réseau électrique dans ce type de système photovoltaïque. En effet, les onduleurs connectés au réseau doivent par exemple fournir une tension alternative de forme strictement sinusoïdale. En cas de panne du réseau, l'onduleur solaire se désactive automatiquement.
- L'onduleur solaire n'est pas obligé de correspondre aux réglementations et aux exigences du réseau électrique s'il est installé sur un système hors réseau. Ce système peut accueillir un ou plusieurs onduleurs en fonction de son envergure.

2. Installation :

Plusieurs normes doivent être respectées pour que l'onduleur fonctionne d'une manière sûre et pour que l'installation soit esthétique.

Le choix de l'emplacement est primordial pour que l'installation soit réussie. Normalement, la durée de vie de l'onduleur est de 20 ans en moyenne, mais l'endroit où il est placé peut énormément influencer sa longévité. On recommande ainsi de l'installer dans un endroit frais, sec et propre. S'il est installé à l'extérieur ou s'il est constamment exposé au soleil, alors ses performances diminueront considérablement, car ses composants ne supportent pas ces conditions.

Par ailleurs, son emplacement dans le local n'est pas non plus choisi au hasard. On veillera par exemple à le placer à un endroit facile d'accès pour que son entretien et/ou sa réparation soit plus commodes. L'idéal est qu'il reste à proximité des cellules photovoltaïques pour être parfaitement efficace.



3. Entretien :

En tant que composant clé du [système photovoltaïque](#), l'onduleur central doit être opérationnel pendant de nombreuses années, même s'il peut parfois être soumis à des situations très rudes. En effet, les intempéries, l'usure et la poussière peuvent à terme impacter sa durée de vie. Néanmoins, il est tout à fait possible de préserver ses performances en adoptant les bons gestes.

- Un diagnostic complet de l'appareil et une inspection des câbles par des services de maintenance qualifiés doivent être effectués annuellement.
- Il est important de remplacer les pièces au premier signe d'usure pour prévenir les éventuelles pannes.
- Les saletés et les poussières qui couvrent l'onduleur doivent être nettoyées régulièrement.
- Il est aussi ingénieux de prévoir des pièges contre les nuisibles tels que les souris et les cafards qui peuvent entrer dans l'appareil et risquent d'affecter son bon fonctionnement

V. *Conseils pour le choix de l'onduleur :*

Quelques points essentiels pour le choix du bon onduleur :

- le couple **onduleur-générateur** doit toujours être conçu **sur mesure**.
- il faut se renseigner sur les prestations de **maintenance** (appareils de remplacements offerts ? durée de la garantie ? envoi des appareils à la charge de qui ?)
- les onduleurs avec **systèmes de refroidissement** sont à privilégier pour les locaux à température élevée

- Il faut prendre compte le **poids** de l'onduleur si le lieu d'installation est difficile d'accès
- quelles sont les **garanties contractuelles** du fabricant et de l'installateur ?
- les onduleurs sont sujets aux **normes** suivantes : CEI 61727 (interface réseau), DIN VDE 0126-1-1 (protection de découplage), EN 55014 (compatibilité électromagnétique), CEI 61000-3-2 (harmoniques), EN 60950 (sécurité), CEI 62109.[35]

VI. Conclusion

Dans ce chapitre on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les données techniques, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissiez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Conclusion générale

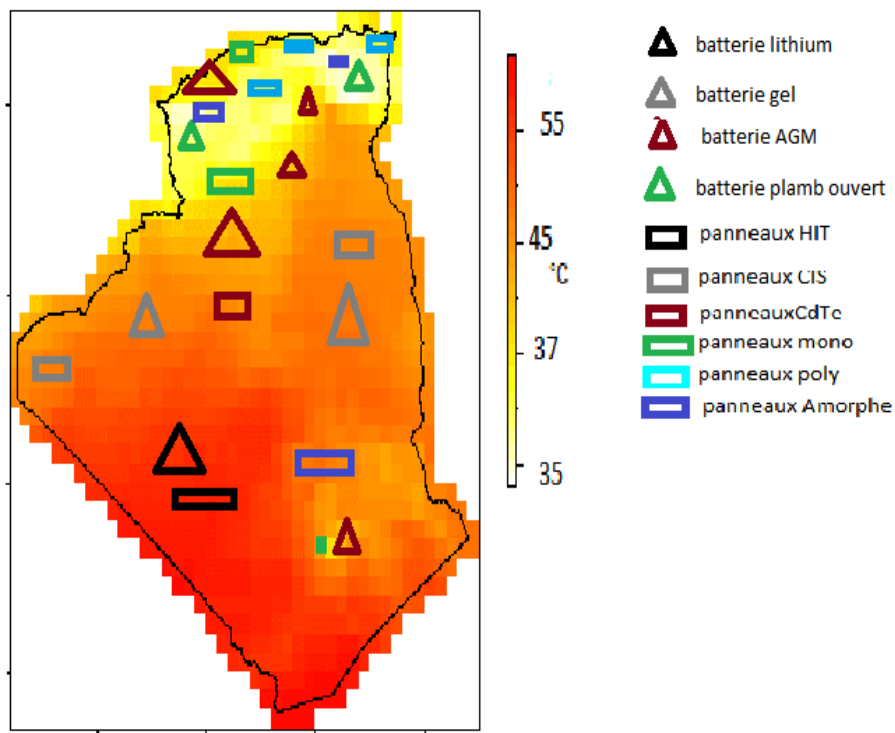
Dans Cette étude on a étudié l'application des composants de système photovoltaïque en l'Algérie.

Dans chapitre I, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Dans chapitre II on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Dans chapitre III on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Comme résultats de notre travail, nous proposons la carte suivante qui illustre l'application pour les différentes technologies des panneaux photovoltaïques et les batteries solaires en notre pays en fonction de la temperature.



Liste des tableaux

Tableau I. 1 Les panneaux PV monocristallin	5
Tableau I. 2 Panneaux PV Polycristalline	7
Tableau I. 3 panneau PV Amorphe	8
Tableau I. 4 Les cellules à base de CIGS	10
Tableau I. 5 Les couches minces organiques	11
Tableau I. 6 Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles	13
Tableau I. 7 la cellule hétérojonction	15
Tableau I. 8 Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien.....	19
Tableau II. 1 Effet de la temperature sur la capacite de stockage.....	21
Tableau II. 2 nombre de cycle pour le decharge de 40%,	23
Tableau II. 3 Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées	28
Tableau III- 1 Les types d'onduleurs solaires	34

Introduction générale

L'évolution des activités humaines a entraîné une forte augmentation de la consommation d'énergie. À l'heure actuelle Les questions énergétiques recouvrent deux enjeux. L'un est lié au risque d'épuisement des ressources fossiles et fissiles, l'autre est environnemental.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque semble être un atout incontournable et une nécessité pour l'avenir avec des avantages comme l'abondance et la disponibilité. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations photovoltaïques utilisant l'énergie solaire, surtout dans les régions qui ont des conditions climatiques favorables ou encore pour des applications en sites isolés.

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie : la partie nord possède un climat méditerranéen, alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique.

Dans les régions montagneuses (monts de Tlemcen, Haute-Kabylie, Atlas), les hivers peuvent être froids. Au-delà de 1 500 m, il neige de décembre à mars. On trouve même quelques stations de ski !

Les écarts de température dans une même journée peuvent être considérables. Dans le Sahara, le mercure peut même osciller d'un extrême à l'autre en l'espace de quelques heures seulement (au-delà de 40 °C le jour, en-dessous de 5 °C la nuit !). L'hiver, les températures restent clémentes, mais il pleut régulièrement.

Le vieillissement des cellules photovoltaïques et des modules est un processus qui évolue naturellement avec les années de fonctionnement du module dans les conditions de terrain (le vent, la pluie, la neige, la chaleur, la lumière...) et qui par conséquent affecte le rendement du module.

Pour cela, et pour vous facilite votre choix des équipements de votre installation photovoltaïque sur n'importe quelle région en Algérie, on va étudier les critères de choix des équipements photovoltaïques .

Cette étude est décomposée en trois chapitres distincts. Le premier a pour but de présenter les différent technologie des cellules photovoltaïques Puis l'influence des conditions climatiques sue la performance de module PV, et on va faire une comparaison entre les différent

Introduction générale

technologie. Puis nous présentons au second chapitre les différents types des batteries solaires, et nous a fait une comparaison entre eux.

Le chapitre trois traite ensuite de composants d'installation on deux parties, la premier sera pour présenter les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisisez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

I. INTRODUCTION :

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques, formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches, l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). C'est une jonction PN. Lorsqu'un électron est arraché, il se forme à la place un « trou », se comportant comme une charge positive.

L'électron et le trou s'échappent de part et d'autre de cette jonction PN (les électrons vers N et les trous vers P), créant une différence de potentiel (ce que l'on mesure en volts). Une cellule photovoltaïque produit donc ainsi du courant électrique continu. [01]

Parmi les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque le rendement.

Le rendement des panneaux photovoltaïques correspond à la quantité d'électricité produite par rapport à l'énergie solaire reçue. Aujourd'hui, les rendements des panneaux solaires varient entre 7 % et 24 %. Qu'est-ce qui explique une telle différence ? En fait, c'est plutôt simple : la technologie utilisée et la qualité (intrinsèque) des panneaux photovoltaïques.

Une autre caractéristique des panneaux photovoltaïques la durée de vie

La durée de vie d'un module photovoltaïque est considérée comme l'un de ses principaux avantages souhaitables. Elle est un des quatre facteurs qui définissent le coût de l'électricité solaire (la sécurité, le coût économique, la fiabilité et l'esthétique). C'est pour cette raison que la durée de vie est devenue un paramètre clé qui définit les garanties offertes par les constructeurs des modules photovoltaïques [14]. Aujourd'hui tous les constructeurs proposent des garanties de production sur 25 ans (la production est encore de 90 % de la production initiale après 10 ans et de 80 % après 25 ans). Les installations existantes montrent que les modules peuvent produire pendant 30 ans [11]. Il est donc primordial de choisir le bon type de panneaux solaires afin de maximiser la production d'électricité.

Dans ce chapitre on va présenter au premier lieu les différentes technologies photovoltaïques. Puis l'influence de température, irradiation, humidité, vitesse de vent, vent de sable et la neige sur les performances des panneaux PV.

Finalement on va aborder une comparaison entre les différents panneaux PV.

II. Technologie Panneau Solaire :

1ère génération : cellules cristallines

Ces cellules, généralement en silicium, ne comprennent qu'une seule jonction p-n. La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de "wafers" à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse. La limite théorique de rendement de ce type de cellule est de 27%. Les cellules les plus récentes s'approchent chaque année de plus en plus de cette limite.



Figure I. 1 du silicium à la cellule PV.

Méthode de fabrication : le cristal formé par refroidissement du silicium en fusion dans des creusets parallélépipédiques est ensuite découpé en fines tranches appelées "wafers". Les cellules sont alors obtenues après "dopage" et traitement de surface [03].

On distingue deux types de cellules cristallines :

- **Les cellules de silicium monocristallin :**

Les cellules monocristallines sont produites à partir d'un seul bloc de silicium fondu, ce qui les rend très « pures ». Les cristaux sont tous orientés dans la même direction. Elles sont donc plus productives en présence d'un rayonnement direct et offrent un rendement élevé (entre 15 et 20 %). Elles sont *plus coûteuses* à la production, donc à la vente. En générale, ces cellules sont octogonales et d'une couleur noire. Plus performantes, ces cellules permettent de produire le maximum d'énergie avec le moins de surface [02].

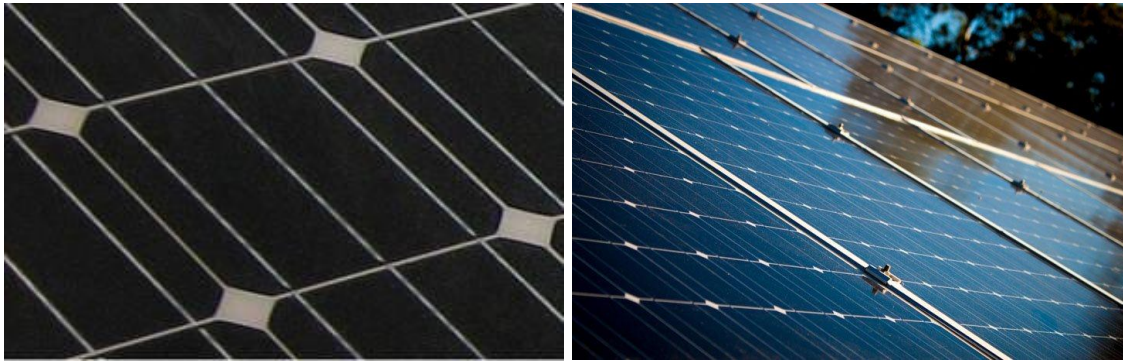


Figure I. 2 cellule photovoltaïque monocristallin

Tableau I. 1 Les panneaux PV monocristallin

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement.[03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé. • Rendement faible sous éclairement réduit.[03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 17-20 % (On obtient ainsi une puissance de 170 à 200 Wc par m²). [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Leur fabrication à partir d'un cristal de silicium pure leur donne une teinte uniforme allant du gris au bleu foncé.</p> <p>Second signe distinctif, l'absence de rainurage sur le panneau.</p> <p>Celui-ci, facilement identifiable sur les autres types de panneaux, est ici presque invisible. [04]</p>

Durée de vie	35 ans [09]
--------------	-------------

- **Les cellules de silicium polycristallin :**

Les cellules polycristallines sont issues de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Elles captent aisément la lumière ambiante grâce aux cristaux qui sont comme des éventails orientés vers l'extérieur. Elles offrent un rendement de 14 à 18 %. Elles sont moins coûteuses à la production, et donc moins chères que les monocristallines à la vente. Le plus souvent de forme rectangulaire, les polycristallines sont d'une couleur bleu nuit avec des reflets [2,4].

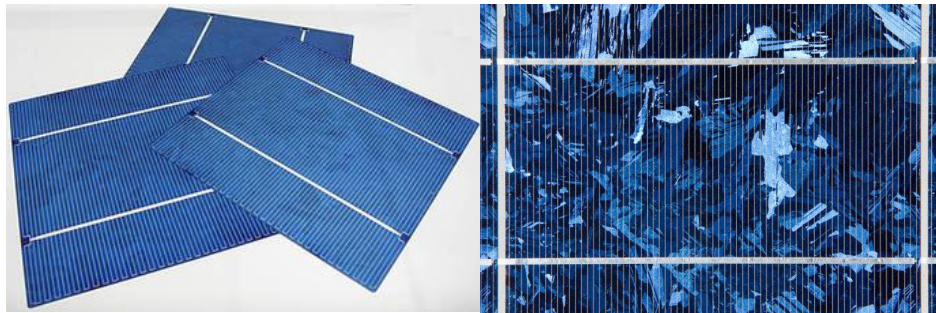


Figure I. 3 Cellules PV Polycristalline

Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux [03].

Tableau I. 2 Panneaux PV Polycristalline

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport performance/prix. [03] • Plus économique [04] • Empreinte écologique plus faible [04]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous éclairage réduit [03].

	<ul style="list-style-type: none">• Rendement moins élevé [04].
Rendement	<ul style="list-style-type: none">• 16-18 % (On obtient ainsi une puissance de 160 à 180 Wc par m²) Ces cellules restent les plus utilisées du fait du rapport performance/prix plus intéressant que celui de leurs homologues monocristallins. [03]
Comment les reconnaître ?	Les panneaux solaires polycristallins sont très facilement reconnaissables de par leur couleur bleu nuit non uniforme . De plus, vous pouvez facilement observer les différentes orientations prises par les cristaux lors de la confection du panneau. [04]
Durée de vie	35 ans [09]

2ème génération : couches minces “thin films”



Figure I. 4 Cellule couches mince

Dans le cas de “couches minces”, le semi-conducteur est directement déposé par vaporisation sur un matériau support (du verre par exemple).

- **Les cellules de silicium amorphe :**

Les cellules amorphes sont élaborées à partir d'un gaz de silicium projeté sur du verre, du métal ou du plastique souple, par un procédé de vaporisation sous vide. Elles sont moins énergivores lors de la fabrication. Plus fins que les versions cristallines, ce sont les seuls modules pouvant produire de l'électricité sous un éclairage artificiel. Son rendement est 2 à 3 fois plus faible que celui des monocristallins. Les cellules amorphes sont de couleur gris très foncé.[02]

Les panneaux solaires amorphes sont les panneaux les moins chers du marché et les moins performants du marché (entre 5 et 7%). Cela s'explique essentiellement par leur méthode de fabrication.

Un panneau solaire amorphe utilise seulement 1% de la quantité de silicium nécessaire à la création d'un panneau mono ou polycristallin.

Ici, le silicium non cristallisé est envoyé sur un matériau amorphe (verre, acier ou plastique) qui permet la création de panneaux solaires souples [04].

Tableau I. 3 panneau PV Amorphe

Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Moins coûteux que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur. [03]• Moins polluant à la fabrication (Ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers" (moins énergivores)). [03]• Fonctionnent avec éclairage faible. [03]• Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03]• Possibilité de créer des panneaux souples. [03]• Panneaux légers [03]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Rendement global plus faible. [03]• Rendement moindre sous éclairage direct. [03]• Diminution de performance avec le temps plus importante. [03]

Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 7 % soit 60-70 Wc/m². [03]
Comment les reconnaître ?	<p>Ils sont de couleur gris foncé.</p> <p>Enfin, les panneaux solaires amorphes ont la spécificité de pouvoir produire de l'énergie avec un éclairage artificiel. [04]</p>
Durée de vie	Moins de 10 ans [09]

• **Les couches minces (CdTe) :**

Le principal matériau utilisé pour cette catégorie de couches minces c'est : le tellure de cadmium (CdTe). Ces cellules en couches minces représentaient en 2016 environ 5% de la production photovoltaïque [05]

Le CdTe présente de bonnes performances, mais la toxicité du cadmium reste problématique pour sa production. [03], Son Dure de vie est de plus de 20 ans [10]

• **Les cellules à base de CIGS :**

Sont généralement sous forme d'une hétérojonction de type CIGS(P)/CdS(N)/ZnO(N) dans les dispositifs à plus haut rendement. Les rendements record obtenus avec cette technologie sont de l'ordre de 22.9% pour une cellule, 17.5% pour un module et environ 13.5% pour les modules industriels. [05]

Tableau I. 4 Les cellules à base de CIGS

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnent avec éclairage faible. [03] • Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température. [03] • Possibilité de créer des panneaux souples. [03] • Panneaux légers. [03]
-----------	---

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement global plus faible en ce qui concerne les cellules commercialisées. [03] • Rendement moindre sous éclairage direct. [03] • Diminution de performance avec le temps plus importante. [03] • Durée de vie moins grande que les cellules cristallines. [03]
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • 11 à 15 % soit 110-150 Wc/m². En laboratoire, les cellules ont déjà atteint le rendement record [2017] de 21,7 % pour des cellules CIGS ! De quoi concurrencer les homologues cristallins ![03]
Dure de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 5 ans [09]

• **Les couches minces organiques :**

Les cellules photovoltaïques organiques sont constituées d'une ou plusieurs couches minces de semi-conducteurs organiques. Ces cellules sont encore au stade du laboratoire et présentent déjà de nombreux. Leur développement à grande échelle est aujourd'hui freiné par la faible durée de vie des cellules et les faibles rendements qui les rendent difficilement compétitives avec les autres technologies. Les applications visées sont principalement des usages couvrant de grandes surfaces sur substrats flexibles et également des usages comme l'électronique grand public, le transport, les panneaux publicitaires et dans le bâtiment. [05]

Tableau I. 5 Les couches minces organiques

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • une réduction drastique des coûts de fabrication,
-----------	---

	<ul style="list-style-type: none"> • un faible impact environnemental et une grande flexibilité d'utilisation
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible par rapport les autres technologies
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Les rendements maximaux actuels sont de l'ordre de 12% pour une cellule et environ 9% pour les modules.
Dure de vie	Faible

- **Les couches minces à base de matériaux III-V :**

A côté de toutes ces filières, on trouve aussi celle des matériaux III-V, très performante. Les semi-conducteurs III-V sont des matériaux composés d'un ou plusieurs éléments de la colonne III et de la colonne V du tableau périodique de Mendeleïev, tels que l'arséniure de gallium, arséniure d'indium, nitrure de gallium, antimoniure de gallium ou des alliages ternaires tels que $\text{In}_x\text{Ga}(1-x)\text{As}$. Ils présentent généralement une haute mobilité électronique et une bande interdite directe. Après le Silicium, ce sont les deuxièmes matériaux semiconducteurs les plus utilisés dans l'industrie des semiconducteurs. Le rendement maximal des cellules multijonctions à base de III-V approchent les 46% de rendement sous concentration [05].

- **Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles :**

Les panneaux solaires souples sont composés de polymères organiques. Ce ne sont donc pas des cellules de silicium, mais des cellules monocristallines à base de carbone. Ces panneaux ont cependant la particularité d'être des petits panneaux de faible puissance, soit entre 20 W et 200 W. Ils sont notamment utilisés dans les applications nomades ne requérant qu'une petite autonomie comme les appareils électriques mobiles peu gourmands en énergie, ou pour recharger les batteries de petits appareils tels que les tablettes, smartphones, etc. Ce type de panneau est également apprécié pour une utilisation marine ou en camping-car [02].

Ils ont généralement jusqu'à 200 micromètres d'épaisseur, ce qui est légèrement plus épais qu'un cheveu humain [06].

Les panneaux solaires flexibles actuellement disponibles sur le marché appartiennent à la catégorie des « *panneaux à couche mince* ». Un panneau solaire à couche mince est fait

composé de couches 300 fois plus petites que les panneaux solaires en silicium standard. Cela leur donne un profil beaucoup plus mince et peut même rendre certains panneaux à couche mince flexibles.

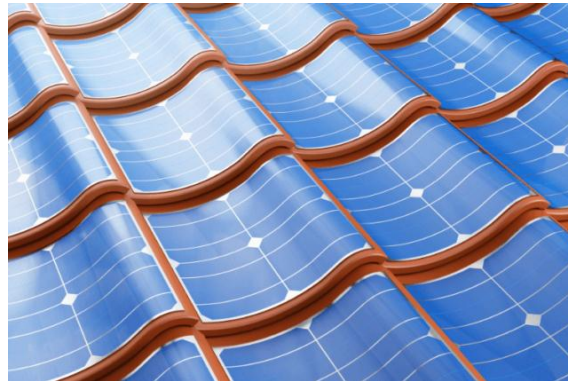


Figure I. 5 s panneau photovoltaïques souples ou flexibles

Tableau I. 6 Les panneaux photovoltaïques souples ou flexibles

Avantages	<ul style="list-style-type: none">• peuvent être façonnés pour s'adapter à la surface sur laquelle ils sont installés [06]• ils peuvent être facilement posés sur des structures moins conventionnelles comme les abris de voiture [06]• réduiront probablement le coût d'installation [06]• moins de main-d'œuvre à installer. [06]• Ils sont beaucoup plus portatifs et faciles à manipuler que les panneaux typiques. [06]
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• leur <i>rendement inférieur</i> à celui des panneaux classiques[06]• sa baisse efficacité peut constituer une barrière pour certains projets solaires dont l'espace sur le toit est limité. [06]
Rendement	<ul style="list-style-type: none">• compris entre 11 et 13 %.[06]

III. 3ème génération : Perovskites, multijonction, concentration,

...

Pour améliorer les rendements des cellules, la recherche se tourne actuellement vers plusieurs pistes dont notamment :

- **Les Cellules Pérovskites :**

Sont des cellules composées d'un élément hybride organique-inorganique ayant une structure de pérovskite.

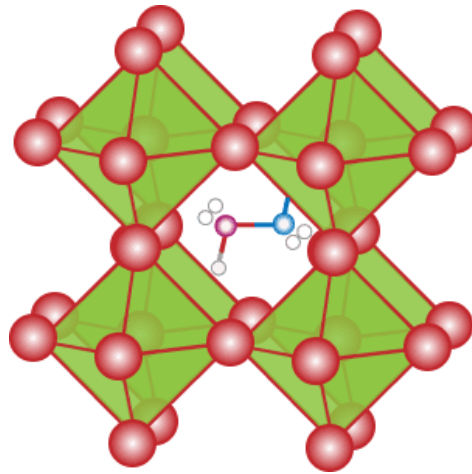


Figure I. 6 Les Cellules Pérovskites

Ces cellules sont apparues en 2000 avec un rendement de 3,8 %. Depuis, en 2016, le rendement est passé à 22,1 % ce qui en fait une alternative prometteuse ! Leur coût de production est faible. L'inconvénient de ces cellules réside dans leur instabilité et faible résistance aux agents extérieurs (eau, températures...). Néanmoins bon nombre de recherches prometteuses sont en cours et devraient finir de rendre ce type de cellules rapidement intéressantes.

- **Cellules multicouches :**

Superposition de multiples cellules aux propriétés différentes (utilisant des bandes d'énergie différentes permettant un balayage plus large du spectre solaire). Ce type de cellules est déjà commercialisé, mais principalement pour des applications spatiales. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (au delà de 30 %).

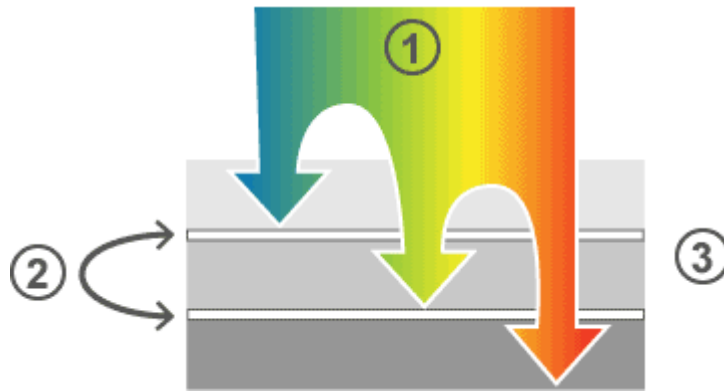


Figure I. 7 Cellules multicouches

1. Sunlight spectrum ;
2. Tunnel junctions ;
3. Cell 1, cell 2, cell 3.

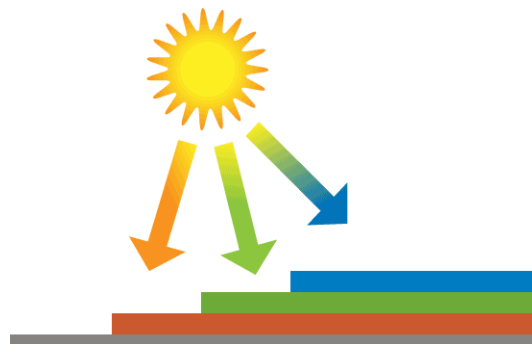


Figure I. 8 Structure d'une cellule triple-jonction.

• **L'hétérojonction :**

L'hétérojonction désigne la mise en contact de matériaux différents (silicium monocristallin et silicium amorphe) contrairement à l'homojonction qui repose sur un seul matériau (silicium monocristallin). [18]

Tableau I. 7 la cellule hétérojonction

Avantages	1. Bi-facial / La face arrière de la cellule étant également active, une partie des rayons du soleil réfléchis par le sol peut être captée. Cela représente jusqu'à 30 % de lumière en plus, soit un gain de rendement de conversion de l'énergie lumineuse en électricité de 10 %.
-----------	---

	<p>2. Tenue en température / Toutes les cellules solaires voient leur rendement baisser à mesure que la température du dispositif augmente (exposition au Soleil). Avec l'hétérojonction, le coefficient thermique des cellules est bien meilleur.</p> <p>3. Un moindre impact économique et écologique / Du fait de rendements de conversion élevés, l'hétérojonction permet d'utiliser moins de matière (cellule, modules, structures de montage). De même, ses procédés de fabrication ont un moindre impact environnemental. [18]</p>
Rendement	entre 19.9% et 21.7% [19]

IV. Etude des performances des panneaux photovoltaïques pour différentes technologies :

Dans cette partie on va étudier l'effet de la température, l'irradiation, l'humidité, l'effet du vent, l'influence du vent sable et de la neige sur les performances de différents panneaux PV.

Les panneaux étudiés sont obtenus à partir de base de données du logiciel PVSYST, leurs fiches techniques sont présentées en Annexe I, on a 24 panneaux photovoltaïques :

Le choix des panneaux est basé sur : la technologie et la puissance ou on a des panneaux mono, poly, amorphe, CdTe et HIT avec des puissances précises pour chaque technologie :

- 05 panneaux mono de puissance de 300 w
- 05 panneaux poly de puissance de 300 w
- 05 panneaux Amorphe de différentes puissances
- 02 panneaux CdTe de différentes puissances
- 05 panneaux CIS de différentes puissances
- 02 panneaux HIT de différentes puissances

1) L'influence de la température

On pourrait penser que plus il fait chaud, mieux c'est pour la production d'énergie solaire. Eh bien non ! Au-delà d'une température de 25°, le rendement d'un panneau solaire diminue. Chaque degré au-delà de cette limite diminue l'efficacité de l'installation [07].

Pour une irradianse constante de $1000\text{W}/\text{m}^2$, on a étudié les performances des panneaux PV à 0° , 25° , 45° et 60°C .

D'après les résultats obtenus dans l'annexe A on a remarqué que la tension de circuit ouvert V_{OC} décroît avec l'augmentation de la température car la température induit l'agitation thermique donc plus de vibration atomique mais qu'une faible diminution est remarquée sur le courant de court-circuit I_{SC} . La diminution du courant de saturation est la principale cause de la chute de courant à basse température.

2) Influence de l'irradiation :

La caractéristique $I(V)$ d'un module PV est présentée sur les figures dans l'annexe 1 pour une température constante de 25C et une irradiation variante.

Dans l'annexe A On observe que la caractéristique croît avec l'augmentation 'irradiante. La même remarque est faite pour le courant de court-circuit I_{SC} (ou I_{CC}) due à l'augmentation de l'irradiation conduit à une augmentation dans la génération des électrons libres tandis qu'une faible variation est constatée pour a tension de circuit ouvert V_{OC} .

3) Influence d'humidité :

Qu'elle soit due à la pluie, au brouillard, à la rosée ou simplement à l'air ambiant, l'humidité est un facteur de stress déterminant dans les mécanismes de corrosion et de délamination Ainsi la présence d'eau dans les boîtes de jonctions des modules PV classiques peut entraîner des courts-circuits. [08]

Donc avant de faire une étude technique pour une installation PV il faut savoir les données climatiques de la région telle qu'humidité relative afin de choisir la technologie des panneaux la plus adéquate.

D'autre part n'oubliez pas l'effet d'humidité sur la structure porteuse des panneaux photovoltaïques.

4) L'effet du vent :

Le composant le plus sensible par le vent dans une installation PV est la structure porteuse des panneaux PV, donc il faut bien étudier l'effet des contraintes mécaniques sur le support métallique.

5) Influence du vent de sable :

Pour les régions sahariennes, l'air est porteur de fines particules de sables (aérosols) qui constituent un obstacle pour les rayonnements solaires qui se trouvent diffractés. La quantité d'ensoleillement reçue à la surface du module est alors diminuée

L'accumulation des grains de sable sur la surface du module, telle qu'indiquée sur la figure I.9 fait qu'une ou plusieurs cellules sont occultées. Dans ces conditions, la cellule ombrée ne peut délivrer qu'un courant limité. Elle fonctionne donc inversement (devient réceptrice) aux autres cellules non occultées du module qui délivrent un courant supérieur à ce courant limite.

En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule (appelé hot spot) se produit. Il peut provoquer des dégâts irréversibles (détérioration des contacts, de la couche antireflet,...etc.) visibles à l'œil nu (apparition d'une couleur brune au niveau de la cellule).[13]



Figure I. 9 effet vent du sable

6) La neige, principal ennemi des panneaux photovoltaïques :

La neige est l'élément qui peut mettre hors-service vos panneaux solaires. Si elle recouvre leur surface, ils ne pourront plus capter la clarté et l'ensoleillement. Conséquence : une production nulle. Toutefois, si vos panneaux ont une bonne inclinaison, entre 35° et 45°, l'adhésion de la neige pourra être limitée et dès qu'une zone sera dégagée, la chaleur produite entraînera la fonte du reste de la couche.

Cela dit, la neige peut malgré tout avoir un effet positif sur le rendement d'une installation photovoltaïque. Si elle est juste présente autour des panneaux (et pas dessus), les

rayons du soleil pourront s’y réfléchir et les panneaux capteront plus de rayonnement au m² !
Voilà qui serait amusant à vérifier avec. [12]



Figure I. 10 effet de la neige

V. Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien :

Dans cette partie, on va faire une étude comparative entre les différents panneaux photovoltaïques.

Tableau I. 8 Comparaison entre les principales technologies des cellules photovoltaïques au marché algérien

	Mono	poly	Amorphe	CdTe	CIS	HIT
rendement	17-20 % [03]	16-18 % [03]	6 à 7 % [03]	15 à 20%	15 à 21%	19.9% et 24% [19]
Dure de vie	25 ans [09]	25 ans [09]	Moins de 10 ans [09]	plus de 20 ans [10]	10 ans	25ans
Surface de cellule (cm ²)	237.4	243.4	425.0	31.3	122.7	215
Poids de module (kg)	18.5	36.5	46	12	8	2 – 6

Chapitre I Etude comparative des performances des panneaux photovoltaïques pour différentes technologies

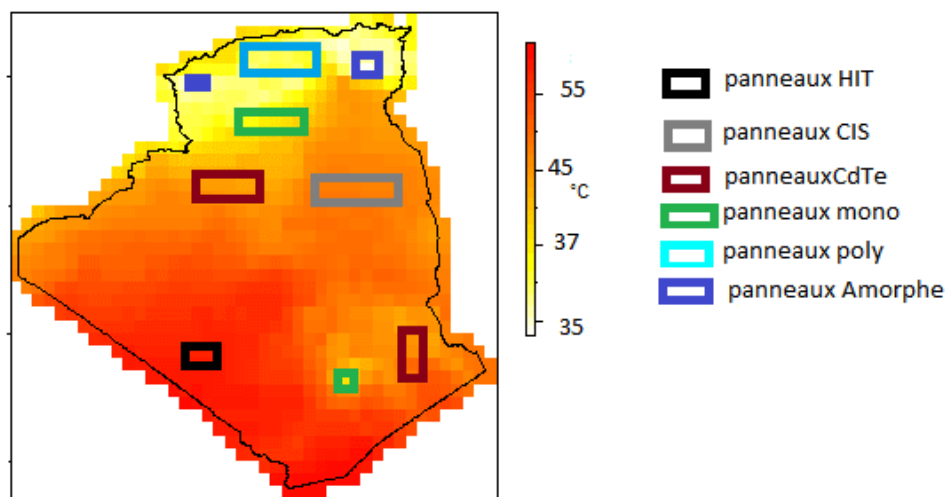
Coefficient de température (P)	3.7 - 5.1	3.5 - 4.8	0.1 - 5.1	0 - 0.6	0 - 0.4	2.3 -3.8
--------------------------------	-----------	-----------	-----------	---------	---------	----------

D'après ce tableau, on ne peut pas dire que tel technologie est mieux que les autres mais il faut dire que chaque technologie est la meilleur par rapport les autres pour une telle région (différents conditions) en Algérie.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Voici une proposition de départ pour la distribution des technologies PV en Algérie en fonction de la température.



I. Introduction :

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques. Le courant qui y entre ou qui en sort est forcément continu et non alternatif. Les batteries sont indispensables dans les installations autonomes car les modules photovoltaïques ne fonctionnent que quand il y a de la lumière. Pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit, il faut donc que les batteries en aient emmagasiné la journée [20].

Dans ce chapitre, on va présenter, étudier et comparaisons entre les différents types des batteries solaires afin de faciliter le choix des composantes photovoltaïques pour une telle application.

II. La différence entre une batterie classique et une batterie à décharge lente :

La batterie classique, également appelée batterie de démarrage, est destinée aux voitures ou aux motos pour effectuer l'allumage du moteur et alimenter les différents appareils électriques. Une fois que le moteur tourne, l'alternateur « fournit » l'électricité et recharge la batterie. Celle-ci fonctionne donc sans jamais descendre sous les 50 % de charge. A l'inverse, une batterie à décharge lente peut faire plus de 200 cycles de décharge et recharge totale sans que ses performances soient altérées. Elle s'utilise sur une longue période sans avoir besoin de l'apport continue de la recharge de l'alternateur. Elle convient donc parfaitement pour alimenter un camping-car, une caravane ou un bateau en fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des appareils électriques (frigo, éclairage, chauffage...) quand le moteur est à l'arrêt. [38]



Figure II. 1 batterie classique



Figure II. 2 batterie solaire

III. Fonctionnement de la batterie :

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

Surcharge : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).

Surdécharge : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment. C'est le régulateur qui doit prévenir l'entrée d'énergie au-dessus de la surcharge permise et aussi la consommation de plus d'énergie que celle prévue par la surdécharge [40].

IV. Caractéristiques d'une batterie solaire :

1. Tension (en volt V) :

Lorsqu'un accumulateur est pleinement chargé sa tension est supérieure d'environ 20 % à sa tension de travail. Pour charger un accumulateur, une tension supérieure à la tension du système est nécessaire. Cette tension est appelée tension de charge. La tension de charge d'un accumulateur de 12 volts est égale à 14,4 V.

2. Capacité (en ampères heures Ah) :

Une capacité C100 égale à 100 Ah fournit à 25 °C pendant 100 h au moins un courant de 1 A jusqu'au seuil d'arrêt de 1,75 V par élément pour les batteries au plomb soit 10,5 V.

Si on multiplie la tension par la capacité, on obtient la quantité d'électricité emmagasinée en kWh. Exemple : Une batterie de 12 V – 100 Ah, chargée à bloc, contient théoriquement $12 \times 100 = 1\,200$ Wh, soit 1,2 kWh. On ne peut utiliser qu'une partie de cette énergie car la décharge ne doit pas dépasser un pourcentage bien défini de la capacité (10 – 30 %).

Sinon on risque une sulfatation des plaques et donc une dégradation rapide de la performance de la batterie. La capacité nominale augmente avec la température (par exemple 0,7%/°C) dans la plage de température autorisée. Elle baisse avec le vieillissement et avec le nombre de cycles.

Pour augmenter la capacité, on peut brancher plusieurs batteries en parallèle.

Tableau II. 1 Effet de la température sur la capacité de stockage

Température	0	10	15	20	25	Au-delà de 30°C
Capacité	80%	92%	95%	100%	103%	C% diminue

Mais attention, dans une installation photovoltaïque ou éolienne, cette capacité n'est qu'une base de travail, car il est hors de question de décharger une batterie à 100% : cela la détruirait.

Enfin il ne faut pas confondre capacité d'une batterie qui est exprimée en Ah et la consommation d'un appareil électrique que vous souhaitez brancher sur cette batterie et qui s'exprime en Watts heure [39]

3. Auto-décharge :

Même sans décharge, les accumulateurs perdent de l'énergie. Ce processus, appelé "autodécharge", doit être égal pour les accumulateurs solaires à environ 3% par mois. L'auto-décharge augmente avec l'âge et avec la température. Une diode anti-retour évite que la batterie ne se décharge dans le module pendant la nuit.

4. Profondeur de décharge

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie.

La vitesse de la décharge est également importante : Le courant de décharge ne doit pas dépasser le dixième de la capacité. Pour une capacité de 100 Ah, c'est un courant de 10 A, donc une consommation de $12 \times 10 = 120$ W. Si on « tire » des courants plus forts, la capacité réelle est inférieure.

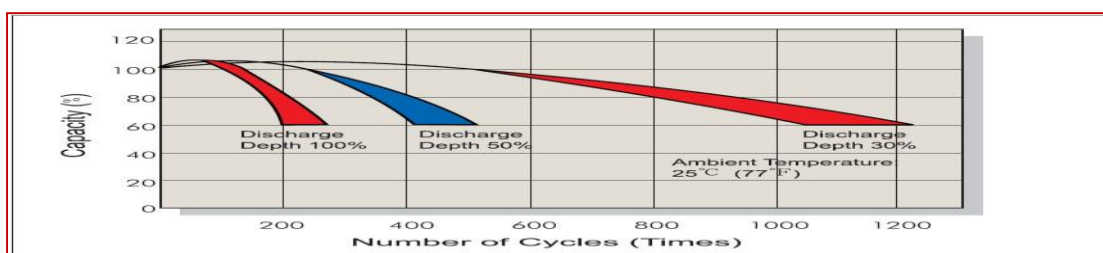


Figure II. 3 Profondeur de décharge

5. Durée de vie

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données. La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. [21]

Pour vous donner un ordre d'idée, pour le décharge de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente :

Tableau II. 2 nombre de cycle pour le décharge de 40%,

	plomb ouvert	AGM	GEL	ion lithium
Décharge de 40%	400 à 500 cycles [21]	600 à 700 cycles [21]	800 à 900 cycles [21]	environ 5000 cycles [26]

6. Courant de court-circuit :

D'après la norme NF C 15-100, le courant de court-circuit d'une batterie est : $I_{cc} = 10 \times C_n C_e$ qui donne pour une batterie 100Ah : $I_{cc} = 10 \times 100 = 1000 \text{ A}$

7. Caractéristiques souhaitées d'une batterie solaire

- durée de vie très longue (plusieurs années)
- résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers
- rendement élevé
- auto-décharge très faible
- pas de maintenance nécessaire [41]

V. Effet de température

La température est un facteur majeur dans les performances de la batterie, la durée de vie, la charge et le contrôle de la tension. À des températures plus élevées, il y a

considérablement plus d'activité chimique à l'intérieur d'une batterie qu'à des températures plus basses. Par conséquent, la capacité d'une batterie est plus faible lorsque la température ambiante est trop basse. (Par exemple, un groupe de batteries qui est gardé à l'extérieur en hiver)

Pour la plupart des batteries, 18-32 C est la plage de température recommandée. À des températures plus élevées, la durée de vie cyclique de la batterie serait considérablement réduite. Nous pouvons conclure que la température froide n'est pas bonne pour les performances de la batterie ; une température plus élevée n'est pas bonne pour la durée de vie de la batterie. [24]

L'équation d'Arrhenius montre que la vitesse de la réaction chimique augmente de façon exponentielle à mesure que la température augmente.

Cela signifie que (approximativement) pour chaque augmentation de température de 10 ° C / 50 ° F, la vitesse de réaction double. Ainsi, une heure à 35 ° C / 95 ° F équivaut à une autonomie de batterie de deux heures à 25 ° C ; Conservez donc vos batteries dans un endroit frais (moins de 20 ° C / 68 ° F de préférence) pour assurer la longévité lorsqu'elles ne sont pas utilisées [25].

VI. Les différents types de batteries solaires : quels avantages pour quels inconvénients

1. Les batteries au plomb

Il existe plusieurs types de batteries au plomb : la batterie “ plomb ouvert “, la batterie AGM et la batterie gel, chacun de ces modèles présentant des caractéristiques différentes.

- ***La batterie ” plomb ouvert “***



Figure II. 4 batteries plomb ouvert

Jusqu'à tout récemment, la batterie plomb ouvert était la seule technologie de batterie pratique pour stocker l'électricité solaire. Ce type de batterie fonctionne notamment avec une solution d'acide sulfurique liquide. Il s'agit du même type de batterie de voiture, mais les versions de stockage solaire sont beaucoup plus volumineuses.

On l'entrepose plutôt dans des endroits frais ou climatisés, car la chaleur réduit considérablement sa durée de vie. Il faut aussi que le lieu soit aéré, car en se chargeant la batterie plomb ouvert libère de l'hydrogène. Evitez également de l'installer en plein air, au risque de la voir geler à cause du froid.

Sa réputation de technologie éprouvée et son prix accessible en font une batterie toujours utilisée, bien qu'il existe de nos jours d'autres modèles plus élaborés. On l'utilise surtout sur des résidences secondaires où elle est sollicitée de manière irrégulière, de façon à mieux préserver sa durée de vie. La batterie plomb ouvert a donc pour elle d'afficher un coût initial bas, mais le compromis se présente sous forme de maintenance – chaque mois, vous devez vérifier le niveau d'eau, en ajoutant de l'eau distillée pour la maintenir à niveau.

- ***La batterie AGM***



Figure II. 5 batterie solaire AGM

Elle se présente sous la forme d'une batterie au plomb scellée. Son principal avantage est le fait qu'elle ne nécessite pas d'entretien. Elle présente en plus l'intérêt d'être étanche et de ne pas dégager d'hydrogène ni de chaleur durant les cycles de charge ou de décharge. Plus adaptée aux utilisations quotidiennes, elle peut faire l'objet d'une utilisation régulière, sans que ses performances en soient affectées.

Comme toutes les batteries au plomb, la batterie AGM est particulièrement sensible à l'élévation de la température. Elle est également plus chère que sa version au plomb ouvert et

présente une faible durée de vie en cyclage en plus de présenter une profondeur de décharge de 80 % en général.

La batterie Gel :



Figure II. 6 batterie solaire Gel

La technologie de la batterie gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de par ses caractéristiques plus performantes. Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb.

Les batteries gel, à l'instar des batteries AGM, sont étanches et ne nécessitent pas d'entretien sous forme d'ajout d'eau distillée. Elles supportent également mieux les décharges profondes. À 50 % de décharge, elles peuvent durer plus de 1000 cycles. En termes de durée de vie, cela représente entre 6 et 10 ans pour une application solaire.

Notez néanmoins que la batterie gel supporte mal une vitesse élevée de charge et de décharge. Il lui faut donc une application en décharge lente pour optimiser son nombre de cyclages. De plus, elle présente un prix élevé : environ le double de la batterie plomb ouvert. Il faudra également la conserver dans un lieu frais ou climatisé.

2. La batterie lithium



Figure II. 7 batterie solaire lithium de LG

Ce n'est pas un hasard si les batteries lithium comptent parmi les plus populaires du marché. En pleine expansion, cette technologie se retrouve partout dans notre quotidien : dans nos voitures et nos smartphones. Elle incarne l'innovation d'aujourd'hui et de demain comme tend à le démontrer la nouvelle batterie lithium Powerwall de Tesla.

Les batteries au lithium sont plus légères et plus compactes que les batteries au plomb. Elles peuvent également être déchargées plus profondément que les batteries au plomb. Elles sont particulièrement sollicitée pour leur durée de vie étendue : elles peuvent monter jusqu'à 6 000 cycles à un taux de décharge de 80%.

Côté bilan écologique, la batterie lithium fait aussi figure de bon élève comparativement aux batteries au plomb : son niveau de recyclage est proche de 70 %.

Leur principal inconvénient, du moins pour le moment, est qu'elles sont nettement plus onéreuses que les batteries au plomb pour un stockage identique, ce qui en fait un investissement encore peu rentable aujourd'hui [22].

VII. Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées :

Dans Le tableau suivant, on va présenter les avantages, inconvénients et les différents paramètres afin de faire une comparaison entre les batteries solaires existantes dans le marché et facilite le choix.

Tableau II. 3 Comparaison entre les Batteries Solaires étudiées

Technologies	Plomb ouvert	AGM	Gel	Lithium
Avantages	<p>-Pas cher : entre 80 et 250 € pour 1 kWc</p> <p>-Technologie fiable, robuste et éprouvée [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux températures extrêmes [23].</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Très faible dégagement d'hydrogène (explosif) [22]</p> <p>-Très bonne résistance aux</p>	<p>-Ne nécessite pas d'entretien</p> <p>-Ne dégage pas d'hydrogène ou de chaleur</p> <p>-Durée de vie importante : elle peut atteindre les 2500 cycles</p>	<p>-Meilleure durée de vie du marché : jusqu'à 6000 cycles</p> <p>-Elle peut être déchargée plus profondément que les batteries au plomb</p> <p>-Ne nécessite pas d'entretien</p>

		chocs et vibrations -Local batterie avec faible ventilation [23]	-Profondeur de décharge d'environ 50 % [22] <ul style="list-style-type: none"> • Résistance aux chocs et vibrations • Résistance aux températures extrêmes (-20 à +55°C) • Performance excellente en cyclage [23] 	-Recyclable à 70 % -Compacte, elle prend moins de place -Incarné le futur des moyens de stockage solaire [22]
Inconvénients	-Nécessite un entretien régulier -Faible durée de vie (400-500 cycles), on la conseille pour des utilisations irrégulières -Profondeur de décharge entre 60 et 80 %	-Un peu plus chère : entre 200 et 400 € pour 1 kWc -Son cycle de vie est relativement faible (600-700 cycles) -Profondeur de décharge d'environ 80% dans la plupart des cas	-Double du prix d'une batterie plomb ouvert : entre 250 et 500 € pour 1 kWc -Sensible au rythme élevé de charge et de décharge : elle doit avoir une application en décharge lente -Toxique pour l'environnement	-Prix onéreux : entre 600 et 1000 € pour 1 kWc -Même capacité de stockage que les autres technologies au plomb pour un prix prohibitif, ce qui en fait un investissement peu rentable

	-Volumineuse, elle prend beaucoup de place	-Toxique pour l'environnement		
	-Elle émet de l'hydrogène et nécessite d'être placé dans un endroit aéré			
	-Toxique pour l'environnement [22]			
Dure de vie	+	++	+++	++++
Poids de batterie de 120 Ah 12 V (Kg)	20 [29]	37 [28]	40 [27]	20 [30]
Prix d'une batterie de 2400wh (Da)	48000	55000	57000	120000

VIII. Installation et entretien des batteries solaires (PLAMB Ouvert) :

Installer la batterie dans un endroit sec, de préférence à l'abri du gel, de la chaleur et du soleil. Toujours poser cette batterie "debout", elle ne doit pas être penchée.

Nous vous recommandons d'effectuer une vérification de vos batteries solaires tous les 6 mois environ. Pour cela nous vous recommandons les opérations suivantes :

- Vérifier le niveau d'électrolyte et remettre à niveau l'électrolyte (30 à 35 mm en dessous de la surface supérieure du couvercle) en rajoutant de l'eau distillée. Ne jamais rajouter d'acide ni dépasser le niveau maximum indiqué.
- Administrer une charge d'égalisation à intensité constante 1/20ème de la capacité pendant 1 heure ou plus si nécessaire. (Tous les éléments doivent "bouillir"). Un chargeur régulé de bonne qualité serait idéal.
- Mesurer la densité de l'électrolyte de chaque élément. Si la densité (Ramenée à 25°C) est supérieure ou égale à 1.260 pour tous les éléments, la batterie est prête à être remise en service. [31]

IX. Consignes de sécurité :

La batterie d'accumulateurs est le composant le plus dangereux de l'installation. Il est impératif de respecter les consignes de sécurité.

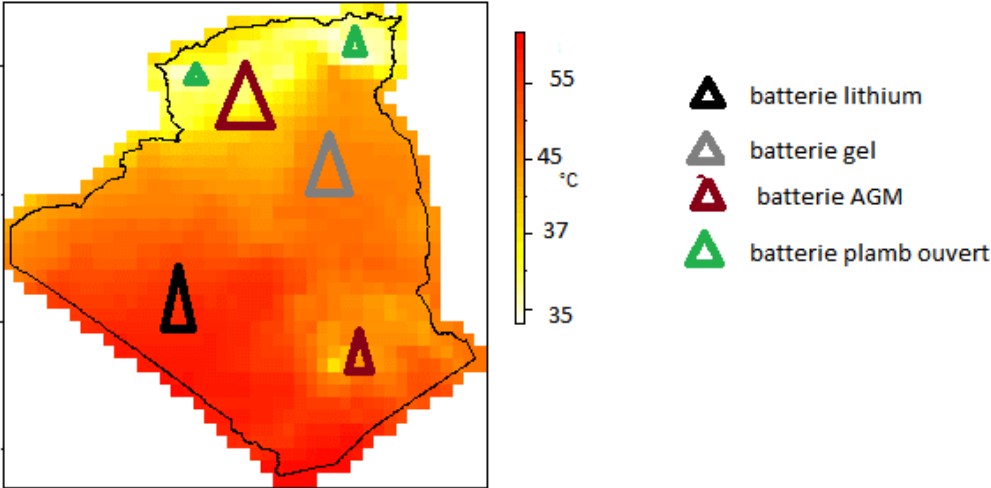
NE JAMAIS INTERVENIR SUR LE SYSTÈME LORSQU'IL EST EN CHARG

- Ne jamais approcher de la batterie avec une flamme ou une cigarette allumée.
- Faire attention à ne jamais mettre en court-circuit les bornes de la batterie ou les câbles y étant raccordés, Les risques sont des brûlures, des projections de métal en fusion, l'électrocution, Les causes possibles sont les outils non isolés, les bijoux sur les mains ou autour du coup, un liquide conducteur ou encore un mauvais branchement. En cas de doute, consultez la documentation ou contactez-nous.
- Si le système s'arrête suite à une décharge trop importante des batteries, ne pas continuer à consommer sur celles-ci, le risque est de les endommager irrémédiablement.
- Le local où est installée la batterie doit être ventilé correctement (Norme NFC15712-2).
- Pour les batteries à électrolyte liquide (acide), l'utilisation de protections individuelles (gants, lunettes, etc...) est indispensable. [32]

X. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Comme conclusion, on propose la carte, d'utilisation des batteries solaires en fonction de la température, suivante :



I. Introduction :

La plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif ; or une installation photovoltaïque produit un courant continu. Le premier rôle d'un onduleur sera d'assurer cette transformation.

Dans ce chapitre on va présenter tous les caractéristiques d'onduleur, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissiez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

II. Caractéristiques des onduleurs solaires :

Trois caractéristiques principales définissent les onduleurs solaires :

- La tension de service (v)
- Puissance de sortie (W ou VA)
- Puissance de crête maximale (W ou VA)

En plus de quelques autres considérations qui doivent être prises en compte, comme la température et la consommation en mode Attente

La tension de sortie des onduleurs est de 220-230/ 380-400 V et 50/60 Hz en courant alternatif. Certains modèles ont également des sorties USB de 5v et 1 ou 2A, idéales pour les caravanes, camping-cars, bateaux ou voitures.

1. Tension de service

Il existe des onduleurs solaires avec des tensions d'entrée de 12v, 24v et 48v. Cette tension sera déterminée par l'installation et les batteries dont nous disposons.

Une référence ou considération à prendre en compte lors du choix de la tension d'un convertisseur 220v est la puissance en watts (W) de ce que nous voulons connecter à la sortie.

Il est donc conseillé de choisir les tensions de :

Chapitre III : Les onduleurs solaires

12v lorsque la gamme de puissance va de quelques watts (W) à 1500W
24v dans des plages de puissance de 1000 à 3000W
48v pour plages de puissance de 2000 à 10000W

La plage de tension d'entrée, pour le bon fonctionnement de l'onduleur solaire 220v, est de 11 à 16v pour les installations 12v, de 21 à 30v pour les installations 24v et de 42 à 60v pour les installations 48v. De nombreux modèles sont équipés de protections qui déconnectent l'onduleur de la batterie ou des panneaux lorsque la tension dépasse le minimum ou le maximum. Afin de ne pas faire d'erreur, nous allons lire la fiche technique du fabricant pour voir la gamme optimale.

2. Puissance de sortie

La puissance de sortie des onduleurs de courant est indiquée en W ou en VA. Ces valeurs nous seront fournies par le fabricant de l'onduleur et sont normalement imprimées sur le corps du convertisseur CA lui-même.

La différence entre les watts (W) et les watts (VA), est dans le facteur de puissance, et cela dépend de la performance du convertisseur de courant et de ce que nous avons ou voulons y connecter. Il faudra faire attention avec quelle unité de puissance nous vient le convertisseur direct alternatif que nous choisissons pour pouvoir le comparer et/ou faire les calculs pour notre installation [34].

3. Rendement des onduleurs

Le rendement correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, il est exprimé en pourcentage. Il est égal à 98% en moyenne en 2018 (94,4% en 2007). Une température trop élevée diminue le rendement de l'onduleur.

III. Les types d'onduleurs solaires :

Tableau III- 1 Les types d'onduleurs solaires

Type	Onduleur centralisé	Onduleurs « String »	Onduleurs « Multistring »	Onduleur modulaire
------	---------------------	----------------------	---------------------------	--------------------

<p>Description [35]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ un onduleur pour la totalité du générateur ○ utilisation d'un boîtier de raccordement entre le générateur et l'onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ modules branchés en série dans un string (rangée) ○ un onduleur pour chaque string 	<ul style="list-style-type: none"> ○ association d'onduleurs centralisés et « string » ○ onduleur centralisé du côté du côté du branchement au réseau ○ onduleur string du côté des générateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ○ branchement direct des modules sur le réseau ○ un onduleur pour chaque module ○ ou l'onduleur est directement installé sur le module en usine
<p>Paramètres [35]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ pour les montages combinant branchement en série et en parallèle ○ flux lumineux identique pour tous les modules 	<ul style="list-style-type: none"> ○ flux lumineux différents entre les rangées ○ rangées branchées au réseau via son onduleur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ types de modules différents ○ orientations de modules variées ○ ombres partielles sur l'installation ○ nombre de modules différents par rangée 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pour les installations de petite puissance

IV. Fonctionnement Installation et entretien : [36]

1. Fonctionnement :

Le fonctionnement de l'onduleur solaire se détermine en fonction du type et des performances du système de production solaire sur lequel il est installé.

- Il est le cœur même de l'installation lorsqu'il est mis en place dans un système connecté au réseau. Il doit assurer la conversion de la tension continue du réseau solaire en tension alternative qui peut être directement utilisée ou exportée vers un réseau électrique public. D'autre part, il faut qu'il respecte strictement les normes et les exigences du réseau électrique dans ce type de système photovoltaïque. En effet, les onduleurs connectés au réseau doivent par exemple fournir une tension alternative de forme strictement sinusoïdale. En cas de panne du réseau, l'onduleur solaire se désactive automatiquement.
- L'onduleur solaire n'est pas obligé de correspondre aux réglementations et aux exigences du réseau électrique s'il est installé sur un système hors réseau. Ce système peut accueillir un ou plusieurs onduleurs en fonction de son envergure.

2. Installation :

Plusieurs normes doivent être respectées pour que l'onduleur fonctionne d'une manière sûre et pour que l'installation soit esthétique.

Le choix de l'emplacement est primordial pour que l'installation soit réussie. Normalement, la durée de vie de l'onduleur est de 20 ans en moyenne, mais l'endroit où il est placé peut énormément influencer sa longévité. On recommande ainsi de l'installer dans un endroit frais, sec et propre. S'il est installé à l'extérieur ou s'il est constamment exposé au soleil, alors ses performances diminueront considérablement, car ses composants ne supportent pas ces conditions.

Par ailleurs, son emplacement dans le local n'est pas non plus choisi au hasard. On veillera par exemple à le placer à un endroit facile d'accès pour que son entretien et/ou sa réparation soit plus commodes. L'idéal est qu'il reste à proximité des cellules photovoltaïques pour être parfaitement efficace.



3. *Entretien :*

En tant que composant clé du système photovoltaïque, l'onduleur central doit être opérationnel pendant de nombreuses années, même s'il peut parfois être soumis à des situations très rudes. En effet, les intempéries, l'usure et la poussière peuvent à terme impacter sa durée de vie. Néanmoins, il est tout à fait possible de préserver ses performances en adoptant les bons gestes.

- Un diagnostic complet de l'appareil et une inspection des câbles par des services de maintenance qualifiés doivent être effectués annuellement.
- Il est important de remplacer les pièces au premier signe d'usure pour prévenir les éventuelles pannes.
- Les saletés et les poussières qui couvrent l'onduleur doivent être nettoyées régulièrement.
- Il est aussi ingénieux de prévoir des pièges contre les nuisibles tels que les souris et les cafards qui peuvent entrer dans l'appareil et risquent d'affecter son bon fonctionnement

V. *Conseils pour le choix de l'onduleur :*

Quelques points essentiels pour le choix du bon onduleur :

- le couple onduleur-générateur doit toujours être conçu sur mesure.
- il faut se renseigner sur les prestations de maintenance (appareils de remplacements offerts ? durée de la garantie ? envoi des appareils à la charge de qui ?)

Chapitre III : Les onduleurs solaires

- les onduleurs avec systèmes de refroidissement sont à privilégier pour les locaux à température élevée
- Il faut prendre compte le poids de l'onduleur si le lieu d'installation est difficile d'accès
- quelles sont les garanties contractuelles du fabricant et de l'installateur ?
- les onduleurs sont sujets aux normes suivantes : CEI 61727 (interface réseau), DIN VDE 0126-1-1 (protection de découplage), EN 55014 (compatibilité électromagnétique), CEI 61000-3-2 (harmoniques), EN 60950 (sécurité), CEI 62109.[35]

VI. Conclusion

Dans ce chapitre on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les données techniques, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissiez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Conclusion générale

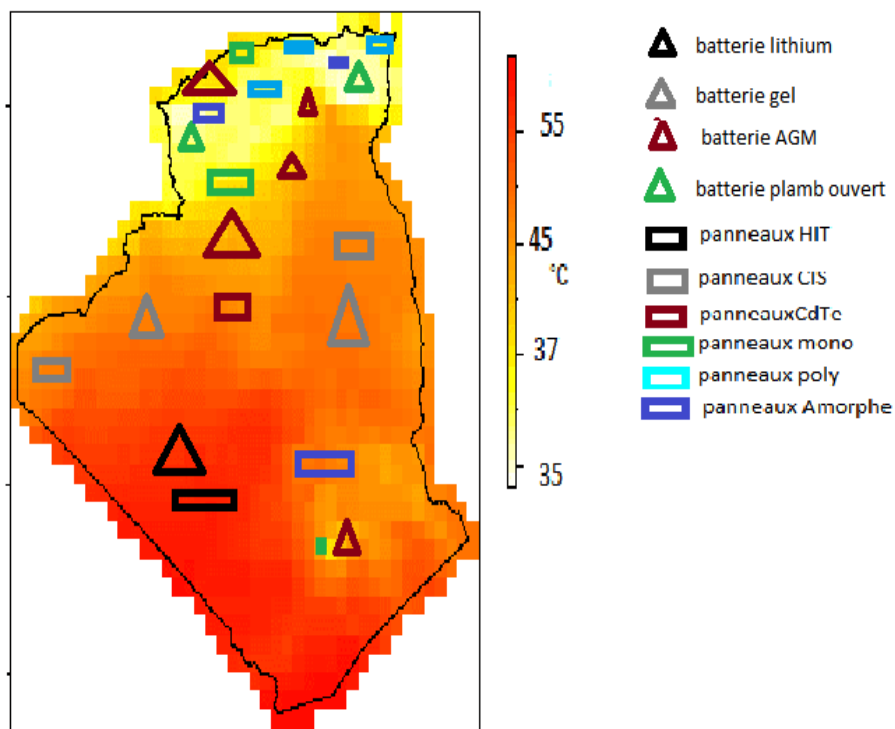
Dans Cette étude on a étudié l'application des composants de système photovoltaïque en l'Algérie.

Dans chapitre I, on a présenté, étudié et comparé l'effet de différentes paramètres sur les performances des différentes panneaux photovoltaïques afin de facilite le choix des panneaux photovoltaïques pour différentes régions de notre paye.

Dans chapitre II on a présenté, étudié et comparé les différentes batteries solaires afin de définir l'utilisation de chaque technologie pour différentes applications.

Dans chapitre III on a présente les caractéristiques essentiels de onduleur solaire, son rendement, son types, les donne technique, le fonctionnement, l'installation, entretien et des conseils pour vous choisissez le meilleure onduleur pour votre installation PV.

Comme résultats de notre travail, nous proposons la carte suivante qui illustre l'application pour les différentes technologies des panneaux photovoltaïques et les batteries solaires en notre pays en fonction de la temperature.



Références

- [1] Hélène HORSIN MOLINARO – Bernard MULTON Energie électrique : génération photovoltaïque CULTURE SCIENCES DE l'ingénieur 2020
- [2] 02 <https://www.lemediavert.fr/magazine/les-differents-types-de-panneaux-solaires/>
- [3] <https://energieplus-lesite.be/techniques/photovoltaïque3/types-de-cellules/>
- [04] FLOURIAN GABRIELE FABRICATION PANNEAU SOLAIRE GUIDE COMPLET 2021
- [05] BOUIMA Haithem Elaboration et Caractérisation de Couches Minces de Cu(In,Ga)(Se,S)₂ destinées au Photovoltaïque DOCTORAT UNIV SETIF 1 2019
- [06] Electricity Production from Renewable Energies Benoît Robyns, Arnaud Davigny, Bruno François, Antoine Henneton, Jonathan Sprooten 2012
- [07] <https://news.dualsun.com/technologie-solaire/rendement-production-panneau-solaire/>
- [08] Farida BANDOUCONTRIBUTION À L'ANALYSE DES PERFORMANCES ÉLECTRIQUES ET THERMIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES DE DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES TIZI-OUZOU 2016
- [09] Halouane Assia Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque *Mémoire de Master* UNIV BOUMERDES 2012
- [10] *Pierre -Franck Chevet, directeur général de l'Énergie et du Climat* Installations photovoltaïques au sol Guide de l'étude d'impact France
- [11] HARAUBIA Mohamed Etude simulation d'un générateur de panneau Photovoltaïque *Mémoire de Master* UNIV ANNABA 2019
- [12] <https://www.engie.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/automne-ete-quest-ce-qui-influence-le-rendement-de-vos-panneaux-solaires>
- [13] IBERRAKEN Fairouz M^r.MEDJOU DJ Rabah MAOUCHE Cherif *Analyse des Modes de Défaillance des Systèmes Photovoltaïques installés dans le sud Algérien Mémoire de Master univ Bejaia* 2012
- [14] : https://www.cder.dz/download/sienr2012_24.pdf
- [15] <https://energieplus-lesite.be/concevoir/photovoltaïque/choisir-l-emplacement-des-capteurs/>
- [16] : <https://www.insunwetrust.solar/blog/conso/nettoyage-des-panneaux-solaires/>
- [17] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/nettoyage-panneaux-photovoltaïques-solaires.html>
- [18] : <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/solaire-heterojonction.pdf>
- [19] : <https://www.thesolarnerd.com/blog/what-is-heterojunction-solar-panel/>
- [20] : <https://www.zonetronek.com/definition-dune-batterie-solaire/>

[21]: http://sii-technologie.ac-rouen.fr/Microtechniques/STI2D/Projet_Lumea/Champ_Energie/AT4_Batterie/Ressource-Batterie-solaire.pdf

[22] : <https://www.libow.fr/blog-avis/blog/quels-sont-les-differents-types-de-batteries-solaires/>

[23] <https://www.solaris-store.com/14-batterie-solaire>

[24]<https://www.civicsolar.com/article/battery-life-and-performance-factors>

[25]<https://cam-do.com/blogs/camdo-blog/how-does-solar-panel-and-lithium-ion-battery-performance-change-with-temperature-why-is-always-on-mode-important>

[26]<https://info-solaire.fr/blog/installations-photovoltaiques-autonomes/comparaison-du-nombre-de-cycles-entre-batteries-plomb-et-lithium.html>

[27]<https://www.rueducommerce.fr/produit/exide-batterie-decharge-lente-gel-es1350-12v-120ah-76330930>

[28]<https://www.1001piles.com/batterie-plomb-agm/12v/120-1ah-130ah/m8-f-amp8533.html>

[29]<https://www.1001piles.com/plomb-ouvert-batterie-plomb-ouvert-95803-energy-bull-12v-120ah-d-82570.html>

[30]https://www.alibaba.com/product-detail/Lithium-battery-12v-120ah-Rechargeable-lithium_60794077920.html?spm=a2700.7724857.normalList.2.49324752RrwXLW

[31]<https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/batterie-solaire-batterie-solaire-conseils-d-utilisation-et-consignes-de-securite-53>

[32] <https://www.solaris-store.com/content/37-installer-une-batterie-solaire>

[33] <https://energieplus-lesite.be/techniques/photovoltaique3/onduleurs/#Definition>

[34] <https://www.facades2buildlyon.com/caracteristiques-des-onduleurs-solaires/>

[35] <http://www.solaire-guide.fr/onduleurs-photovoltaiques/>

[36] <https://www.calculo.fr/Eco-travaux/Panneaux-solaires-photovoltaiques/L-onduleur-solaire>

[37] <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/fonctionnement-et-categories-des-onduleurs-photovoltaiques/rendement-et-performance-des-onduleurs/>

[38] <https://www.batterysset.com/blog/quest-ce-quune-batterie-a-decharge-lente--n5>

[39]http://sii-technologie.acrouen.fr/Microtechniques/STI2D/Projet_Lumea/Champ_Energie/AT4_Batterie/Ressource-Batterie-solaire.pdf

[40] https://unmundosalvadorsoler.org/_Files/foro/Manuel%20Pratique%20de%20petits%20syste%20C%80mes%20photovoltaic%20CC%88ques.pdf

[41] http://pedagogie.ac-limoges.fr/physique-chimie/IMG/pdf/BATTERIE_SOLAIRE.pdf

Etude des performances des panneaux photovoltaïques :

Définition d'un module PV

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

Modèle: Sunmodule SW 300 mono Fabricant: SolarWorld
 Nom fichier: Solarworld_Sunmodule_SW_300 Source données: SolarWorld 01/2015
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015 à 2016

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- 0.0 1.7 % Technologie: Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	10.230	A	Circuit ouvert Vco	40.10	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.524	A	Vmpp	31.50	V
Coefficient de température	mulsc	5.1	mA/°C	Nbre cellules	60 en série	
	ou mulsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **250 ohm**
 Rparall(G=0) **2500 ohm**

R série model **0.38 ohm**
 R série max. **0.47 ohm**
 R série apparent **0.55 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **1.130**
 IoRef **1.01 nA**
 µVco **-135 mV/°C**
 nuPMax fixé **-0.43 /°C**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement: GOper **1000** W/m² TOper **25** °C

Point de Puissance max.: Pmpp **300.0** W beff. de temperature **-0.42** %/°C
 Courant Imp **9.53** A Tension Vmpp **31.5** V
 Courant de court-circuit Isc **10.23** A Circuit ouvert Vco **40.1** V
 Efficacité / Surf. cellules **N/A** % / Surf. module **17.89** %

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: UP-M300M Fabricant: Upsolar
 Nom fichier: Upsolar_M300M_60.PAN Source données: Manufacturer 2016
 Original PVsyst database Prod. depuis 2016

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- 0.0 3.0 % Technologie: Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.700	A	Circuit ouvert Vco	40.70	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.380	A	Vmpp	32.00	V
Coefficient de température	mulsc	4.8	mA/°C	Nbre cellules	60 en série	
	ou mulsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **500 ohm**
 Rparall(G=0) **2000 ohm**

R série model **0.28 ohm**
 R série max. **0.36 ohm**
 R série apparent **0.45 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **1.089**
 IoRef **0.28 nA**
 µVco **-133 mV/°C**
 nuPMax fixé **-0.40 /°C**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement: GOper **1000** W/m² TOper **25** °C

Point de Puissance max.: Pmpp **303.2** W beff. de temperature **-0.39** %/°C
 Courant Imp **9.15** A Tension Vmpp **33.1** V
 Courant de court-circuit Isc **9.70** A Circuit ouvert Vco **40.7** V
 Efficacité / Surf. cellules **21.14** % / Surf. module **15.75** %

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: CS6K - 300MS Fabricant: Canadian Solar Inc.
 Nom fichier: Canadian_CS6K-300MS_MIX.PA Source données: Manufacturer 2016 TUV-Rhein
 Original PVsyst database Prod. depuis 2016

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- **0.0** **1.7** % Technologie: Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.830	A	Circuit ouvert Vco	39.70	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.240	A	Vmpp	32.50	V
Coefficient de température	mulsc	4.9	mA/°C	Nbre cellules 60 en série		
	ou mulsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	500 ohm
Rparall(G=0)	2000 ohm
R série model	0.30 ohm
R série max.	0.32 ohm
R série apparent	0.46 ohm

Paramètres modèle

Gamma	0.977
IoRef	0.03 nA
µVco	-127 mV/°C
nuPMax fixé	-0.39 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	300.4	W	eff. de température	-0.38	%/°C
	Courant Imp	9.30	A	Tension Vmpp	32.3	V
	Courant de court-circuit Isc	9.83	A	Circuit ouvert Vco	39.7	V
Efficacité	/ Surf. cellules	20.49	%	/ Surf. module	18.35	%

Définition d'un module PV

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

Modèle: AXIpremium X AC-300M/156-60E Fabricant: Axitec Energy
 Nom fichier: Axitec_Energy_AXIpremium_X_A Source données: Manufacturer 2017
 Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- **0.0** **1.6** % Technologie: Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.820	A	Circuit ouvert Vco	40.08	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.340	A	Vmpp	32.16	V
Coefficient de température	mulsc	3.9	mA/°C	Nbre cellules 60 en série		
	ou mulsc	0.040	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	350 ohm
Rparall(G=0)	1400 ohm
R série model	0.28 ohm
R série max.	0.35 ohm
R série apparent	0.45 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.060
IoRef	0.21 nA
µVco	-128 mV/°C
nuPMax fixé	-0.40 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	300.8	W	eff. de température	-0.39	%/°C
	Courant Imp	9.24	A	Tension Vmpp	32.6	V
	Courant de court-circuit Isc	9.82	A	Circuit ouvert Vco	40.1	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	18.38	%

ANNEXE 1

Définition d'un module PV

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

Modèle: CSUN 300-60M Fabricant: CSUN Solar
 Nom fichier: CSUN_Solar_CSUN_300_60M.F Source données: Manufacturer 2017
 Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° 300.0 Wp Tol. +/- 0.0 3.0 % Technologie: Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.600	A	Circuit ouvert Vco	39.80	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.310	A	Vmpp	32.20	V
Coefficient de température	mulsc	3.7	mA/°C	Nbre cellules 60 en série		
	ou mulsc	0.039	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	550 ohm
Rparall(G=0)	2000 ohm
R série model	0.23 ohm
R série max.	0.24 ohm
R série apparent	0.38 ohm

Paramètres modèle

Gamma	0.954
IoRef	0.02 nA
µVco	-139 mV/°C
muPMax fixé	-0.42 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	302.0	W	peff. de temperature	-0.42	%/°C
	Courant Imp	9.13	A	Tension Vmpp	33.1	V
	Courant de court-circuit Isc	9.60	A	Circuit ouvert Vco	39.8	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	18.60	%

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: Sunmodule.XL SW 300 poly Fabricant: SolarWorld
 Nom fichier: Solarworld_Sunmodule_XL_SW_ Source données: SolarWorld 01/2015
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015 à 2015

Puissance n° 300.0 Wp Tol. +/- 0.0 1.7 % Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	8.630	A	Circuit ouvert Vco	45.20	V
Point de Puissance max.:	Imp	8.086	A	Vmpp	37.10	V
Coefficient de température	mulsc	4.3	mA/°C	Nbre cellules 72 en série		
	ou mulsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	400 ohm
Rparall(G=0)	2400 ohm
R série model	0.36 ohm
R série max.	0.41 ohm
R série apparent	0.57 ohm

Paramètres modèle

Gamma	0.960
IoRef	0.07 nA
µVco	-159 mV/°C
muPMax fixé	-0.43 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	300.0	W	peff. de temperature	-0.42	%/°C
	Courant Imp	8.13	A	Tension Vmpp	36.9	V
	Courant de court-circuit Isc	8.63	A	Circuit ouvert Vco	45.2	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	15.04	%

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: CS3K-300P P4 Fabricant: Canadian Solar Inc.
 Nom fichier: Canadian_CS3K_300P.PAN Source données: Manufacturer 2018 TUV-SUD
 Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° 300.0 Wp Tol. +/- 0.0 1.7 % Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.650	A	Circuit ouvert Vco	39.30	V
Point de Puissance max.:	Imp	9.180	A	Vmpp	32.70	V
Coefficient de température	mulsc	4.8	mA/°C	Nbre cellules	60 x 2	
	ou mulsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	350 ohm
Rparall(G=0)	5000 ohm
R série model	0.17 ohm
R série max.	0.22 ohm
R série apparent	0.33 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.016
IoRef	0.12 nA
µVco	-123 mV/°C
muPMax fixé	-0.37 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per	1000	W/m²	T0per	25	°C	
Point de Puissance max.:	Pmpp	300.4	W	eff. de température	-0.36	%/°C
	Courant Imp	9.12	A	Tension Vmpp	33.0	V
	Courant de court-circuit Isc	9.65	A	Circuit ouvert Vco	39.3	V
Efficacité	/ Surf. cellules	20.39	%	/ Surf. module	18.08	%

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: TSM-300PEG14 Fabricant: Tinas Solar
 Nom fichier: Tinas_TSM_300PEG14.PAN Source données: Manufacturer 2018
 Original PVsyst database Prod. depuis 2018

Puissance n° 300.0 Wp Tol. +/- 0.0 1.8 % Technologie: Si-poly

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	600 ohm
Rparall(G=0)	1800 ohm
R série model	0.43 ohm
R série max.	0.48 ohm
R série apparent	0.63 ohm

Paramètres modèle

Gamma	0.987
IoRef	0.00 nA
µVco	-119 mV/°C
muPMax fixé	-0.41 /°C

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	8.740	A	Circuit ouvert Vco	42.50	V
Point de Puissance max.:	Imp	8.240	A	Vmpp	38.40	V
Coefficient de température	mulsc	4.3	mA/°C	Nbre cellules	72 en série	
	ou mulsc	0.049	%/°C			

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per	1000	W/m²	T0per	25	°C	
Point de Puissance max.:	Pmpp	329.9	W	eff. de température	-0.41	%/°C
	Courant Imp	8.25	A	Tension Vmpp	38.3	V
	Courant de court-circuit Isc	8.74	A	Circuit ouvert Vco	42.5	V
Efficacité	/ Surf. cellules	17.11	%	/ Surf. module	12.59	%

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: STP6-300/72 Fabricant: Schutten Solar
 Nom fichier: Schutten_Solar_STP6-300_72.P Source données: Manufacturer 2016
 Original PVsyst database Prod. depuis 2016

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- 0.0 3.0 % Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	8.740	A	Circuit ouvert Vco	45.17	V
Point de Puissance max.:	Imp	8.170	A	Vmpp	36.72	V
Coefficient de température	mulsc	3.5	mA/°C	Nbre cellules 72 en série		
	ou mulsc	0.040	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **300 ohm**
 Rparall(G=0) **1200 ohm**

R série model **0.39 ohm**
 R série max. **0.44 ohm**
 R série apparent **0.60 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **0.967**
 IoRef **0.09 nA**
 µVco **-148 mV/°C**
 muPMax fixé **-0.41 /°C**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per **1000** W/m² T0per **25** °C

Point de Puissance max.: Pmpp **300.0** W beff. de temperature **-0.41** %/°C
 Courant Imp **8.20** A Tension Vmpp **36.6** V
 Courant de court-circuit Isc **8.74** A Circuit ouvert Vco **45.2** V
 Efficacité / Surf. cellules **17.12** % / Surf. module **15.46** %

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: AXIpower AC-300P/156-72S Fabricant: Axitec Energy
 Nom fichier: Axitec_Energy_AXIpower AC_30 Source données: Manufacturer 2016
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015

Puissance n° **300.0** Wp Tol. +/- 0.0 1.7 % Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	8.710	A	Circuit ouvert Vco	45.48	V
Point de Puissance max.:	Imp	8.170	A	Vmpp	36.73	V
Coefficient de température	mulsc	3.5	mA/°C	Nbre cellules 72 en série		
	ou mulsc	0.040	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **350 ohm**
 Rparall(G=0) **1400 ohm**

R série model **0.39 ohm**
 R série max. **0.47 ohm**
 R série apparent **0.61 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **1.008**
 IoRef **0.22 nA**
 µVco **-152 mV/°C**
 muPMax fixé **-0.42 /°C**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per **1000** W/m² T0per **25** °C

Point de Puissance max.: Pmpp **300.1** W beff. de temperature **-0.42** %/°C
 Courant Imp **8.17** A Tension Vmpp **36.7** V
 Courant de court-circuit Isc **8.71** A Circuit ouvert Vco **45.5** V
 Efficacité / Surf. cellules **17.13** % / Surf. module **15.47** %

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: SSR-256 Fabricant: Uni-Solar
 Nom fichier: Unisolar_SSR256.PAN Source données: Manufacturer
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 2003

Puissance n°: 256.0 Wp Tol. +/-: -10. 10.0 % Technologie: a-SiH tripple

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	4.800	A	Circuit ouvert Vco	95.20	V
Point de Puissance max.:	Imp	3.880	A	Vmpp	66.00	V
Coefficient de température	mulsc	2.3	mA/°C	Nbre cellules		44 x 2
	ou mulsc	0.048	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. 140 ohm
 Rparall(G=0) 1440 ohm
 R série model 0.99 ohm
 R série max. 1.98 ohm
 R série apparent 2.81 ohm

Paramètres modèle

Gamma 5.508
 IoRef 681.69 nA
 μVco -247 mV/°C
 muPMax fixé -0.21 /°C

pour les amorphes

dMuTau 6.8 /V
 Corr. spectrale ON

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per 1000 W/m² T0per 25 °C

Point de Puissance max.: Pmpp 264.2 W beff. de temperature -0.19 %/°C
 Courant Imp 3.61 A Tension Vmpp 73.1 V
 Courant de court-circuit Isc 4.80 A Circuit ouvert Vco 95.2 V
 Efficacité / Surf. cellules 7.06 % / Surf. module 5.66 %

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: a-SiH, tripple junction Fabricant: Generic
 Nom fichier: Generic_a_Si_tripple_136W.PAN Source données: Typical
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015

Puissance n°: 136.0 Wp Tol. +/-: -5.0 5.0 % Technologie: a-SiH tripple

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	5.100	A	Circuit ouvert Vco	46.20	V
Point de Puissance max.:	Imp	4.120	A	Vmpp	33.00	V
Coefficient de température	mulsc	5.1	mA/°C	Nbre cellules		22 en série
	ou mulsc	0.100	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. 60 ohm
 Rparall(G=0) 720 ohm
 R série model 0.46 ohm
 R série max. 0.92 ohm
 R série apparent 1.19 ohm

Paramètres modèle

Gamma 4.811
 IoRef 141.87 nA
 μVco -145 mV/°C
 muPMax fixé -0.21 /°C

pour les amorphes

dMuTau 3.0 /V
 Corr. spectrale ON

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

ANNEXE 1

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 1999

La puissance nominale ne correspond pas au produit $I_{mp} \cdot V_{mp}$ (différence de 0.43%).
 Cela va perturber le résultat du Rapport de Performance (PVsyst accepte en picpe une différence de 0.2%)

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence: GRef W/m² TRef °C
 Courant de court-circuit Isc A Circuit ouvert Vco V
 Point de Puissance max.: Imp A Vmpp V
 Coefficient de température mulsc mA/°C Nbre cellules **71 en série**
 ou mulsc %/°C

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **2000 ohm**
 Rparall(G=0) **24000 ohm**
 R série model **4.58 ohm**
 R série max. **9.17 ohm**
 R série apparent **12.69 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **3.124**
 IoRef **10.96 nA**
 μV_{co} **-249 mV/°C**
 μP_{Max} fixé **-0.25 /°C**

pour les amorphes

$d\#Mu\tau$ **6.0 /V**
 Corr. spectrale **ON**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G_{oper} W/m² T_{oper} °C
 Point de Puissance max.: Pmpp **58.3 W** μ eff. de température **-0.27 %/°C**
 Courant Imp **0.72 A** Tension Vmpp **81.4 V**
 Courant de court-circuit Isc **0.87 A** Circuit ouvert Vco **102.0 V**
 Efficacité / Surf. cellules **N/A %** / Surf. module **7.07 %**

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 2003

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie (aux STC)

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="0.850"/> A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="102.00"/> V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="0.650"/> A	Vmpp	<input type="text" value="77.00"/> V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="1.0"/> mA/°C	Nbre cellules 71 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.118"/> %/°C		

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **1800 ohm**
 Rparall(G=0) **21500 ohm**

R série model **7.44 ohm**
 R série max. **14.87 ohm**
 R série apparent **18.98 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **3.857**
 IoRef **253.84 nA**
 μVco **-364 mV/°C**
 muPMax fixé **-0.25 /°C**

pour les amorphes

dMuTau **10.3 /V**
 Corr. spectrale **ON**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per W/m² T0per °C

Point de Puissance max.: Pmpp **50.1 W** eff. de température **-0.20 %/°C**
 Courant Imp **0.65 A** Tension Vmpp **76.7 V**
 Courant de court-circuit Isc **0.85 A** Circuit ouvert Vco **102.0 V**
 Efficacité / Surf. cellules **N/A %** / Surf. module **6.09 %**

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 2001

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie (aux STC)

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="1.180"/> A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="62.50"/> V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="0.950"/> A	Vmpp	<input type="text" value="48.00"/> V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="1.2"/> mA/°C	Nbre cellules 39 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.100"/> %/°C		

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall. **650 ohm**
 Rparall(G=0) **800 ohm**

R série model **3.13 ohm**
 R série max. **6.26 ohm**
 R série apparent **7.40 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **4.065**
 IoRef **158.54 nA**
 μVco **-179 mV/°C**
 muPMax fixé **-0.25 /°C**

pour les amorphes

dMuTau **2.5 /V**
 Corr. spectrale **ON**

La puissance nominale ne correspond pas au produit Imp * Vmp (différence de 1.33%). Cela va perturber le résultat du Rapport de Performance (PVsyst accepte en principe une différence de 0.2%)

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

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

Modèle: BP Apollo 980 Fabricant: BP Solar
 Nom fichier: BP_Apollo980.PAN Source données: Photon Mag. 2002 + Sandia Df
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 2003

Puissance n° **80.0** Wp Tol. +/- **-6.0** **6.0** % Technologie: CdTe

Model Used
 Standard PVsyst
 Sandia model

Spécifications fabricant ou autres mesures
 Cond. de référence: GRef 1000 W/m² TRef 25 °C
 Courant de court-circuit: Isc 3.000 A Circuit ouvert Vco 45.20 V
 Point de Puissance max.: Imp 2.480 A Vmpp 32.30 V
 Coefficient de température: mulsc 0.0 mA/°C Nbre cellules **58 en série**
 ou mulsc 0.000 %/°C

Résumé du modèle
Paramètres principaux
 R parall. **190 ohm**
 Rparall(G=0) **800 ohm**
 R série model **0.59 ohm**
 R série max. **1.18 ohm**
 R série apparent **1.96 ohm**
Paramètres modèle
 Gamma **2.060**
 IoRef **663.15 nA**
 µVco **-111 mV/°C**
 nuPMax fixé **-0.25 /°C**
pour les amorphes
 dMuTau **2.8 /V**

Résultats du modèle interne
 Conditions de fonctionnement GOper **1000** W/m² TOper **25** °C
 Point de Puissance max.: Pmpp **81.6** W beff. de temperature **-0.22** %/°C
 Courant Imp **2.34** A Tension Vmpp **34.8** V
 Courant de court-circuit Isc **3.00** A Circuit ouvert Vco **45.2** V
 Efficacité / Surf. cellules **N/A** % / Surf. module **6.73** %

Figure A.I. 1

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

Modèle: FS-492A May 2014 Fabricant: First Solar
 Nom fichier: FirstSolar_FS492A_May_2014.P Source données: Manufacturer May 2014
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015

Puissance n° **92.5** Wp Tol. +/- **-5.0** **5.0** % Technologie: CdTe

Spécifications fabricant ou autres mesures
 Cond. de référence: GRef 1000 W/m² TRef 25 °C
 Courant de court-circuit: Isc 1.540 A Circuit ouvert Vco 86.00 V
 Point de Puissance max.: Imp 1.380 A Vmpp 67.00 V
 Coefficient de température: mulsc 0.6 mA/°C Nbre cellules **108 x 2**
 ou mulsc 0.040 %/°C

Résumé du modèle
Paramètres principaux
 R parall. **5000 ohm**
 Rparall(G=0) **13500 ohm**
 R série model **3.65 ohm**
 R série max. **7.29 ohm**
 R série apparent **7.22 ohm**
Paramètres modèle
 Gamma **1.880**
 IoRef **95.37 nA**
 µVco **-186 mV/°C**
 nuPMax fixé **-0.29 /°C**
pour les amorphes
 dMuTau **1.1 /V**

Résultats du modèle interne
 Conditions de fonctionnement GOper **1000** W/m² TOper **25** °C
 Point de Puissance max.: Pmpp **92.5** W beff. de temperature **-0.30** %/°C
 Courant Imp **1.38** A Tension Vmpp **67.1** V
 Courant de court-circuit Isc **1.54** A Circuit ouvert Vco **86.0** V
 Efficacité / Surf. cellules **13.09** % / Surf. module **12.84** %

ANNEXE 1

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="3.800"/> A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="118.50"/> V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="3.220"/> A	Vm	<input type="text" value="36.20"/> V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="0.4"/> mA/°C	Nbre cellules 176 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.010"/> %/°C		

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	800 ohm
Rparall(G=0)	3000 ohm
R série model	3.72 ohm
R série max.	5.11 ohm
R série apparent	5.48 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.428
IoRef	39.03 nA
µVco	-283 mV/°C
muPMax fixé	-0.36 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	G0per	<input type="text" value="1000"/> W/m²	T0per	<input type="text" value="25"/> °C
Point de Puissance max.:	Pmpp	304.2 W	eff. de température	-0.36 %/°C
	Courant Imp	3.42 A	Tension Vmpp	89.1 V
	Courant de court-circuit Isc	3.80 A	Circuit ouvert Vco	118.5 V
Efficacité	/ Surf. cellules	14.09 %	/ Surf. module	11.38 %

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="3.200"/> A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="114.00"/> V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="1.920"/> A	Vm	<input type="text" value="59.20"/> V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="0.3"/> mA/°C	Nbre cellules 120 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.010"/> %/°C		

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	800 ohm
Rparall(G=0)	2850 ohm
R série model	3.61 ohm
R série max.	5.12 ohm
R série apparent	5.43 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.315
IoRef	40.60 nA
µVco	-227 mV/°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	G0per	<input type="text" value="1000"/> W/m²	T0per	<input type="text" value="25"/> °C
Point de Puissance max.:	Pmpp	172.4 W	eff. de température	-0.31 %/°C
	Courant Imp	1.93 A	Tension Vmpp	90.8 V
	Courant de court-circuit Isc	3.20 A	Circuit ouvert Vco	114.0 V
Efficacité	/ Surf. cellules	14.58 %	/ Surf. module	11.88 %

ANNEXE 1

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

Modèle: Fabricant:

Nom fichier: Source données:

Original PVsyst database Prod. depuis 2015

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/>	°C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="2.660"/>	A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="88.70"/>	V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="2.410"/>	A	Vmpp	<input type="text" value="68.50"/>	V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="0.3"/>	mA/°C		Nbre cellules 133 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.011"/>	%/°C			

Résumé du modèle
Paramètres principaux

R parall.	1300 ohm
Rparall(G=0)	2700 ohm
R série model	3.50 ohm
R série max.	4.95 ohm
R série apparent	5.26 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.338
IoRef	9.65 nA
µVco	-171 mV/°C
muPMax fixé	-0.30 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TOper	<input type="text" value="25"/>	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	165.1	W	peff. de température	-0.30	%/°C
	Courant Imp	2.43	A	Tension Vmpp	68.0	V
	Courant de court-circuit Isc	2.66	A	Circuit ouvert Vco	88.7	V
Efficacité	/ Surf. cellules	16.82	%	/ Surf. module	15.20	%

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

Modèle: Fabricant:

Nom fichier: Source données:

Original PVsyst database Prod. depuis 2017

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/>	°C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="1.830"/>	A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="108.90"/>	V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="1.700"/>	A	Vmpp	<input type="text" value="88.30"/>	V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="0.2"/>	mA/°C		Nbre cellules 150 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.010"/>	%/°C			

Résumé du modèle
Paramètres principaux

R parall.	3400 ohm
Rparall(G=0)	53426 ohm
R série model	3.30 ohm
R série max.	5.51 ohm
R série apparent	6.22 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.365
IoRef	1.84 nA
µVco	-248 mV/°C
muPMax fixé	-0.32 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TOper	<input type="text" value="25"/>	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	150.1	W	peff. de température	-0.32	%/°C
	Courant Imp	1.70	A	Tension Vmpp	88.3	V
	Courant de court-circuit Isc	1.83	A	Circuit ouvert Vco	108.9	V
Efficacité	/ Surf. cellules	18.30	%	/ Surf. module	15.97	%

Définition d'un module PV

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

Modèle: PowerMax 3.5 140W Fabricant: Avancis
 Nom fichier: Avancis_PowerMax_3_5_140W Source données: Manufacturer 2015
 Original PVsyst database Prod. depuis 2015

Puissance n° **140.0** Wp Tol. +/- 0.0 4.0 % Technologie: CIS

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	3.360	A	Circuit ouvert Vco	59.80	V
Point de Puissance max.:	Imp	3.040	A	Vmpp	46.10	V
Coefficient de température	mulsc	0.0	mA/°C	Nbre cellules 104 en série		
	ou mulsc	0.000	%/°C			

Résumé du modèle
Paramètres principaux

R parall.	700 ohm
Rparall(G=0)	1000 ohm
R série model	1.90 ohm
R série max.	2.69 ohm
R série apparent	2.84 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.161
IoRef	13.84 nA
µVco	-152 mV/°C
muPMax fixé	-0.39 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	140.2	W	peff. de temperature	-0.40	%/°C
	Courant Imp	3.06	A	Tension Vmpp	45.7	V
	Courant de court-circuit Isc	3.36	A	Circuit ouvert Vco	59.8	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	13.30	%

Définition d'un module PV

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

Modèle: HIP-5618 Fabricant: Sanyo
 Nom fichier: Sanyo_HIP5618.PAN Source données: Manufacturer
 Original PVsyst database Disponible jusqu'à 2003

Puissance n° **56.0** Wp Tol. +/- N/A N/A % Technologie: HIT

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	3.610	A	Circuit ouvert Vco	23.90	V
Point de Puissance max.:	Imp	3.090	A	Vmpp	18.10	V
Coefficient de température	mulsc	2.3	mA/°C	Nbre cellules 36 en série		
	ou mulsc	0.064	%/°C			

Résumé du modèle
Paramètres principaux

R parall.	170 ohm
Rparall(G=0)	700 ohm
R série model	0.94 ohm
R série max.	1.28 ohm
R série apparent	1.33 ohm

Paramètres modèle

Gamma	1.479
IoRef	89.68 nA
µVco	-50 mV/°C
muPMax fixé	-0.30 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	56.3	W	peff. de temperature	-0.30	%/°C
	Courant Imp	3.22	A	Tension Vmpp	17.5	V
	Courant de court-circuit Isc	3.61	A	Circuit ouvert Vco	23.9	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	12.50	%

ANNEXE 1

Définition d'un module PV

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

Modèle: Fabricant:
 Nom fichier: Source données:
 Original PVsystem database Prod. depuis 2016

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie:

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/>	°C <input type="button" value="?"/>
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="8.727"/>	A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="44.04"/>	V
Point de Puissance max.:	Imp	<input type="text" value="8.080"/>	A	Vmpp	<input type="text" value="35.90"/>	V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="3.8"/>	mA/°C		Nbre cellules 60 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.043"/>	%/°C			

Résumé du modèle
Paramètres principaux

R parall.	300 ohm
Rparall(G=0)	1200 ohm
R série model	0.39 ohm
R série max.	0.46 ohm
R série apparent	0.60 ohm

Paramètres modèle

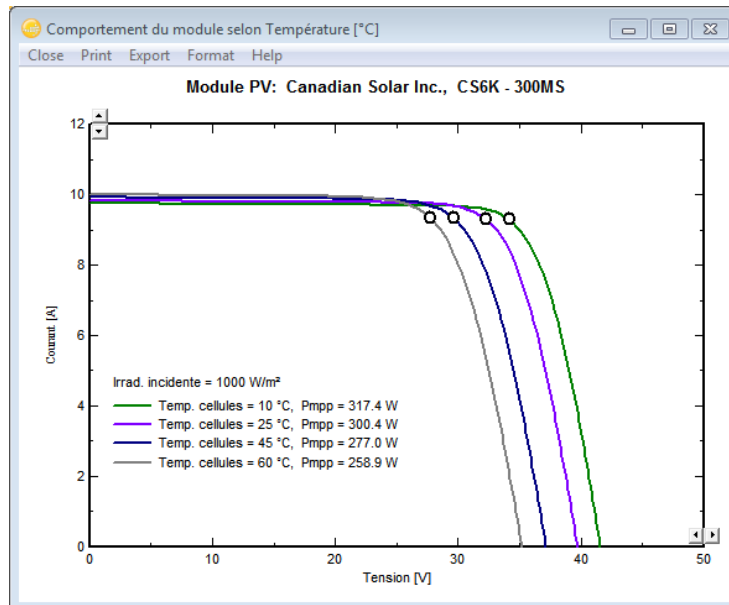
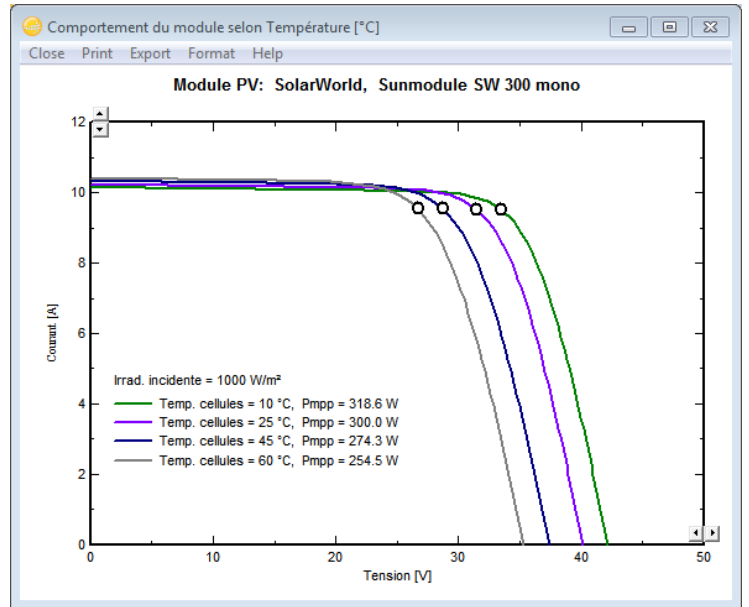
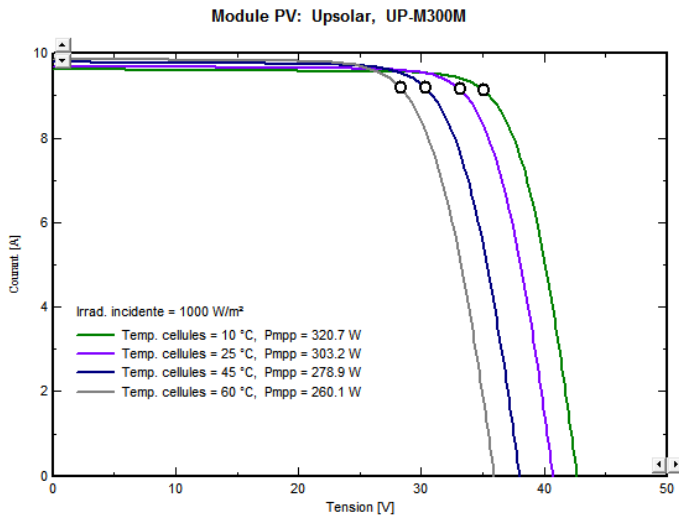
Gamma	1.164
IoRef	0.19 nA
μVco	-96 mV/°C

Résultats du modèle interne

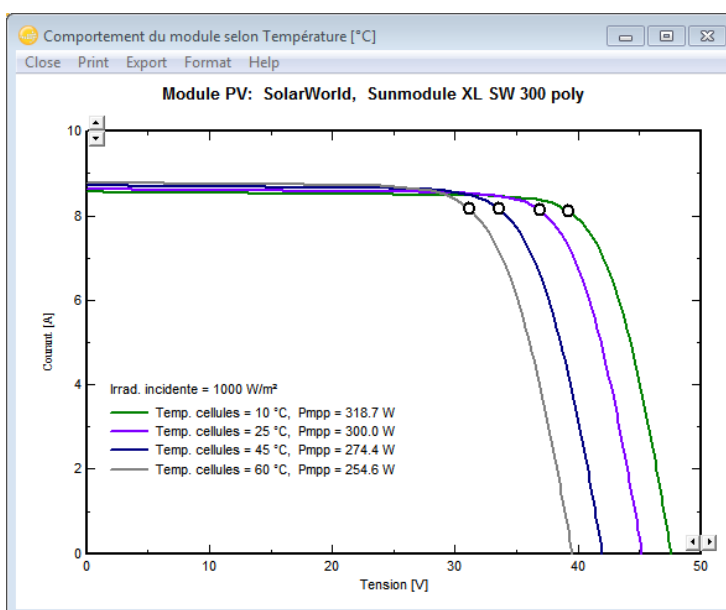
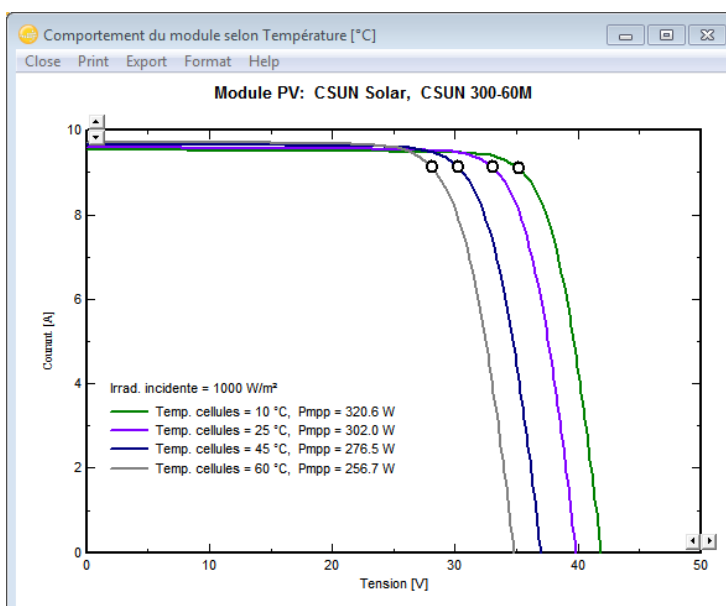
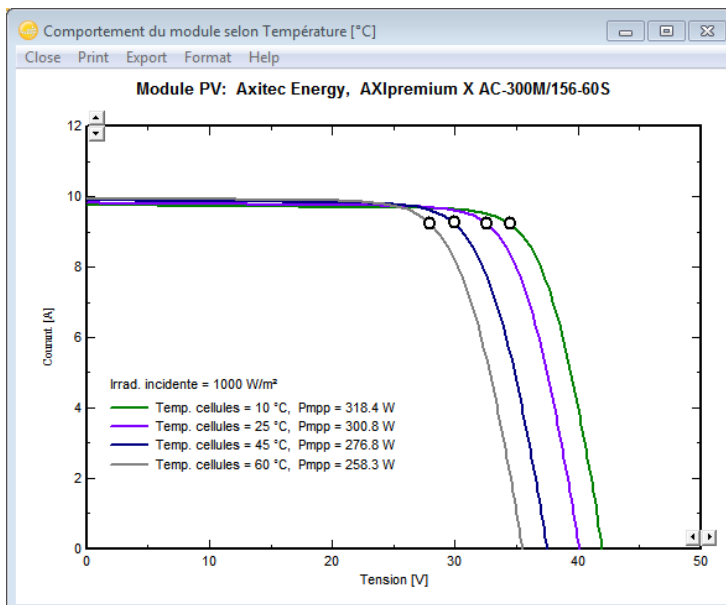
Conditions de fonctionnement	GOper	<input type="text" value="1000"/>	W/m²	TOper	<input type="text" value="25"/>	°C <input type="button" value="?"/>
Point de Puissance max.:	Pmpp	<input type="text" value="290.3"/>	W <input type="button" value="?"/>	peff. de température	<input type="text" value="-0.28"/>	%/°C
	Courant Imp	<input type="text" value="8.18"/>	A	Tension Vmpp	<input type="text" value="35.5"/>	V
	Courant de court-circuit Isc	<input type="text" value="8.73"/>	A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="44.0"/>	V
Efficacité	/ Surf. cellules	<input type="text" value="N/A"/>	%	/ Surf. module	<input type="text" value="17.69"/>	%

Influence de T :

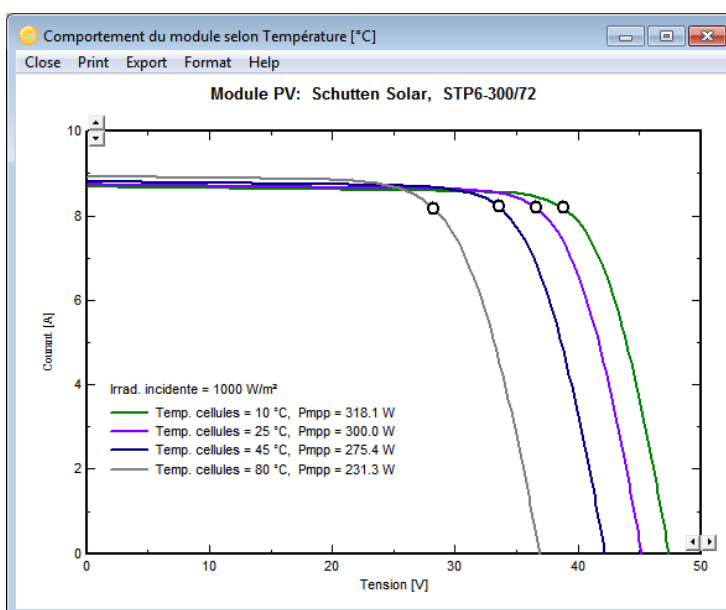
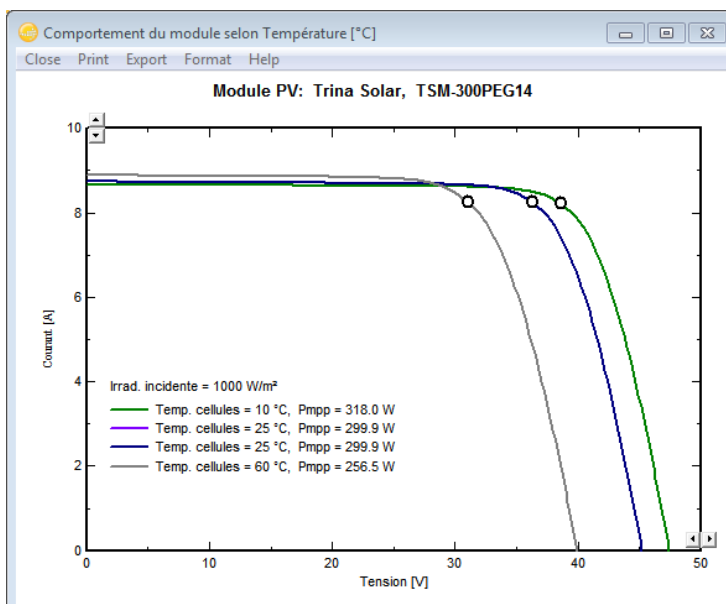
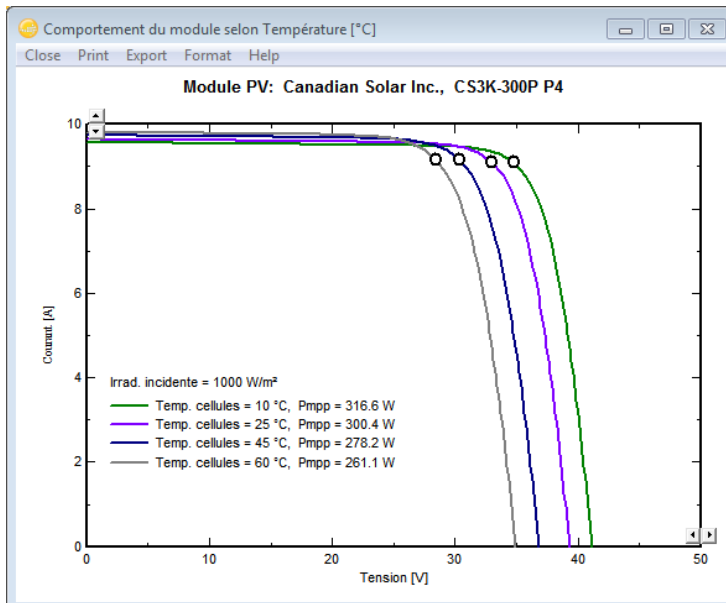
ANNEXE 1



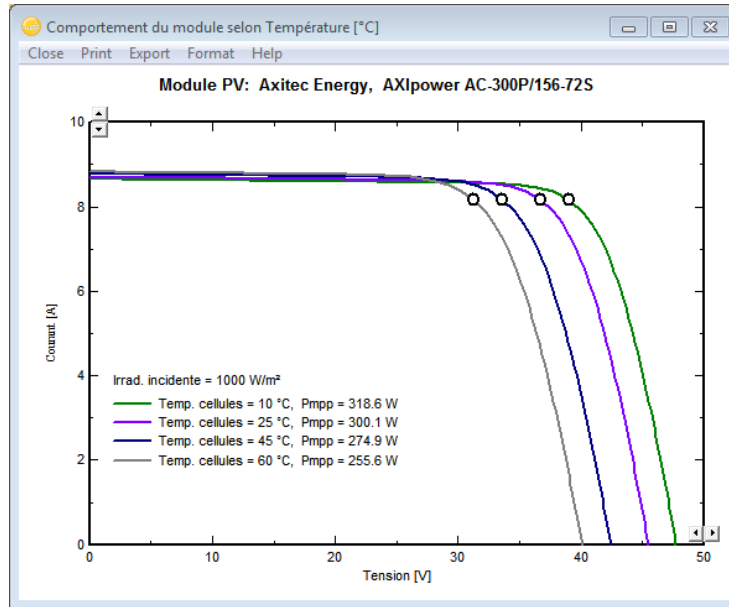
ANNEXE 1



ANNEXE 1

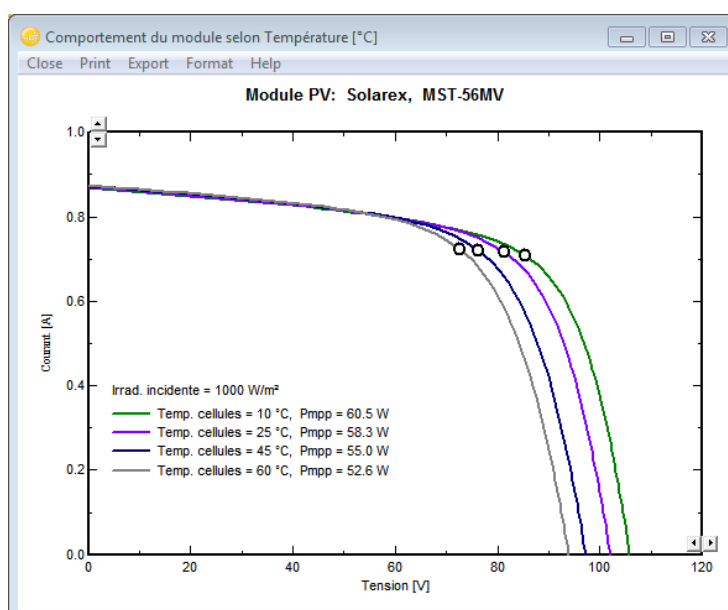
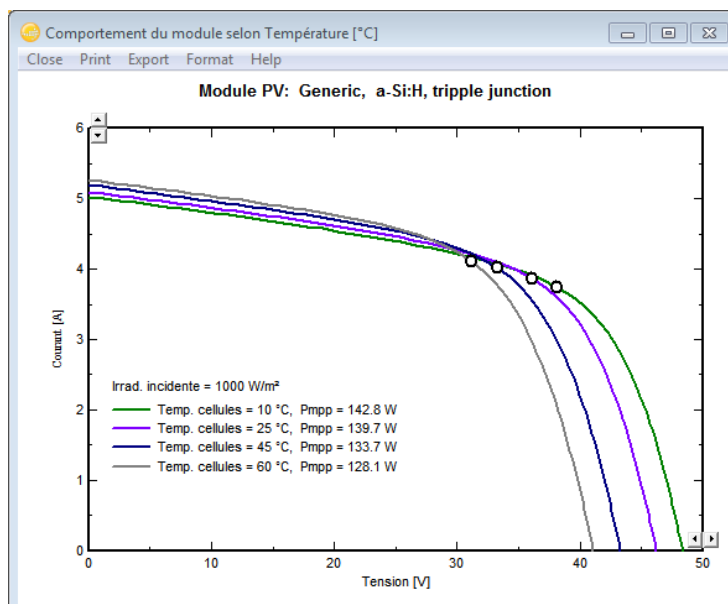
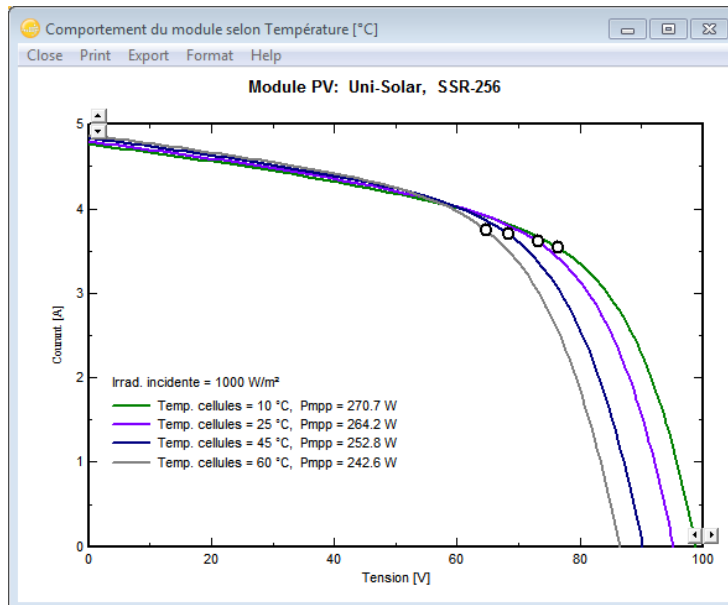


ANNEXE 1

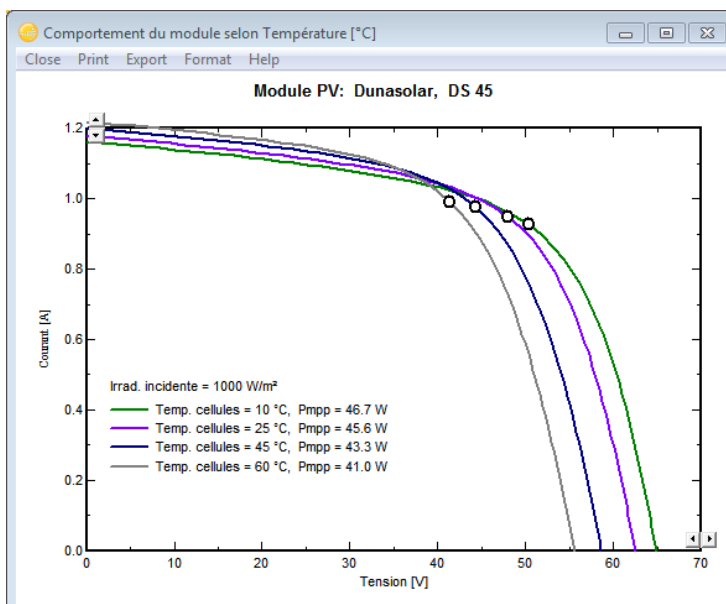
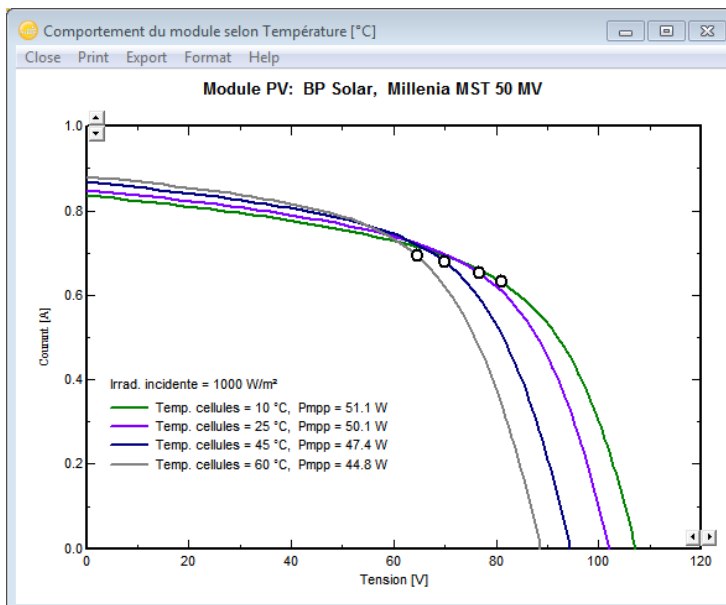


Graphe de AMORPHE

ANNEXE 1



ANNEXE 1



Graphe de CDTe

ANNEXE 1

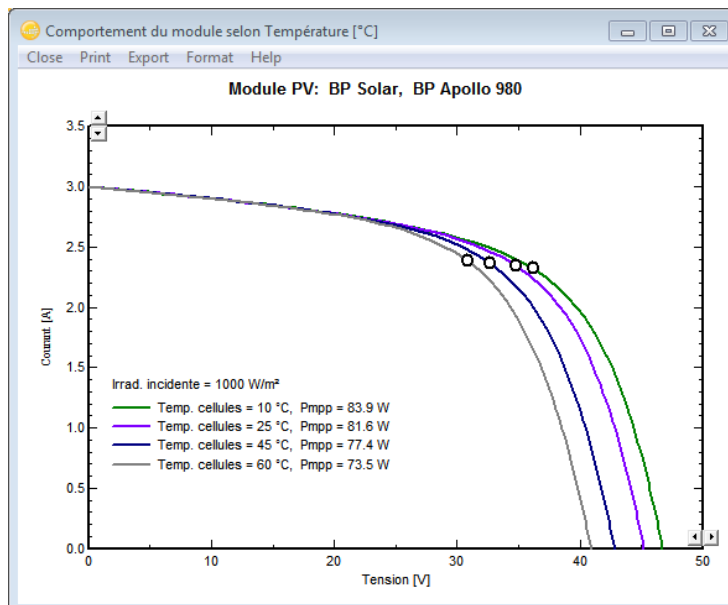


Figure A.I. 2

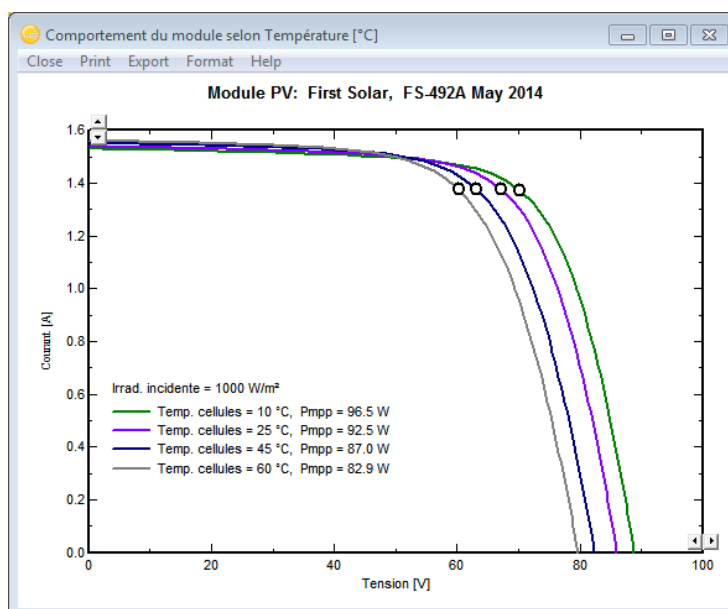
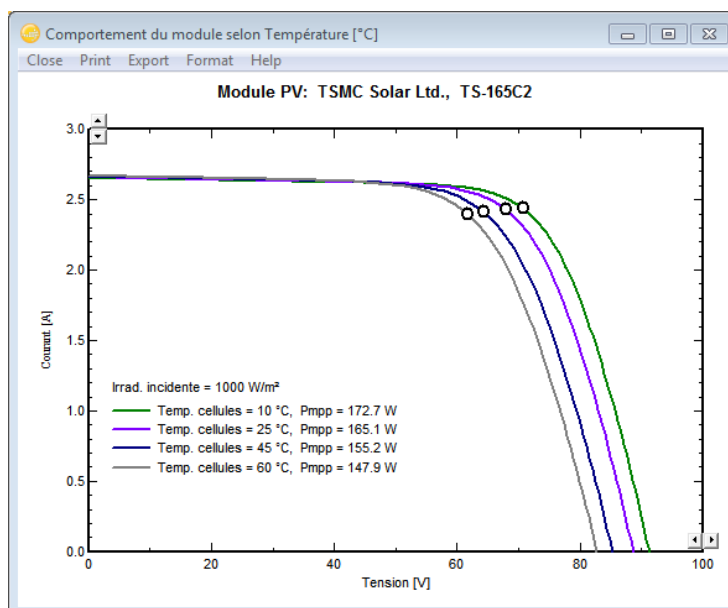
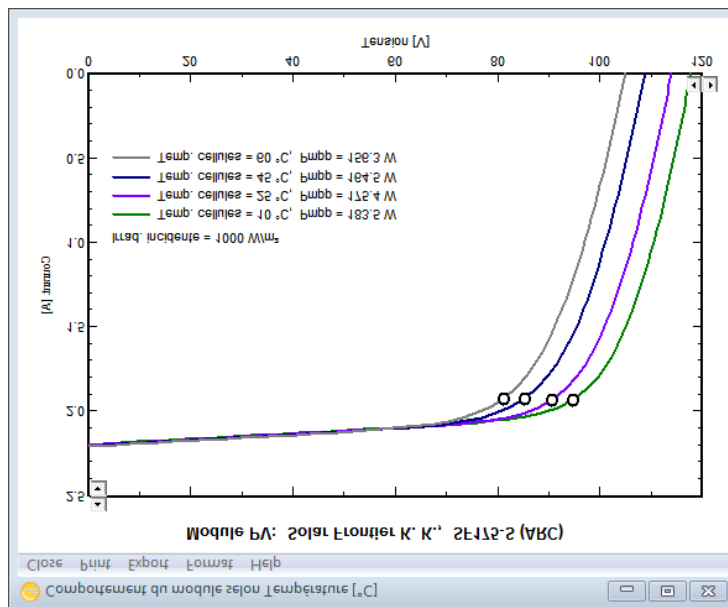
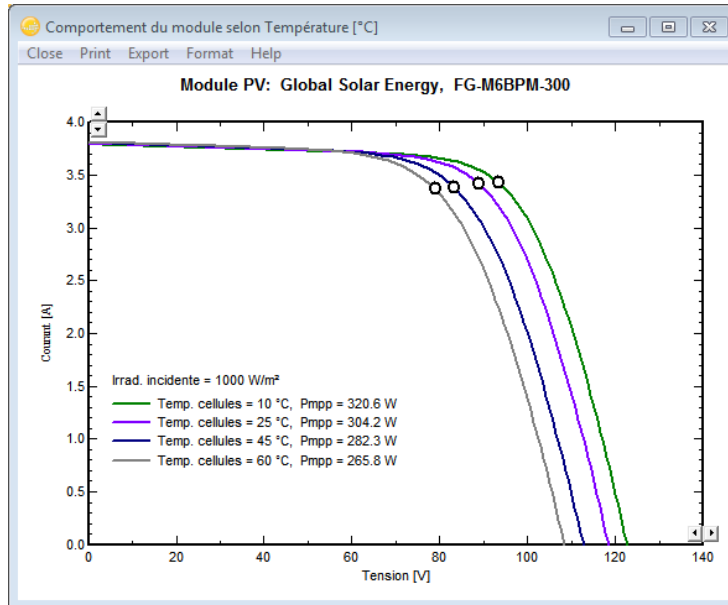


Figure A.I. 3

Graphe de CIS

ANNEXE 1



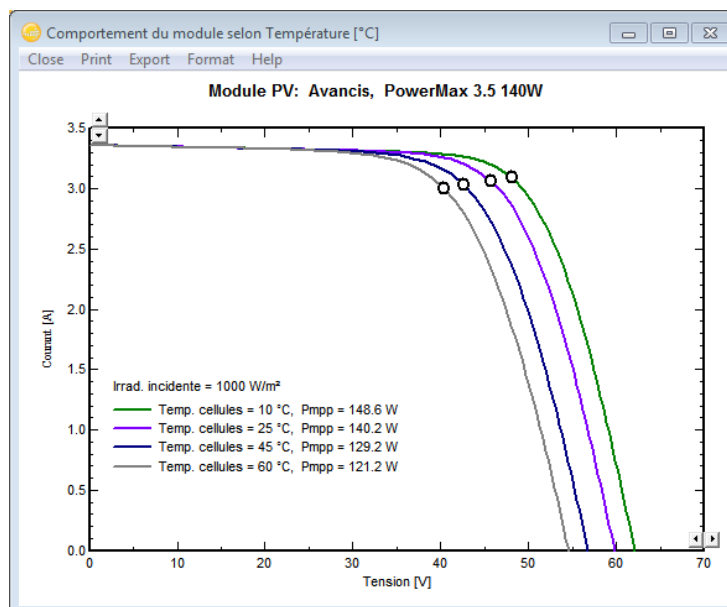
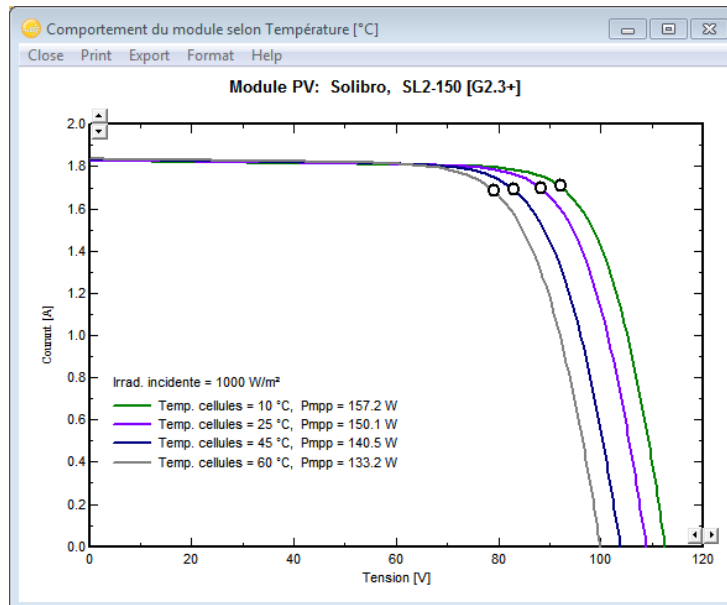
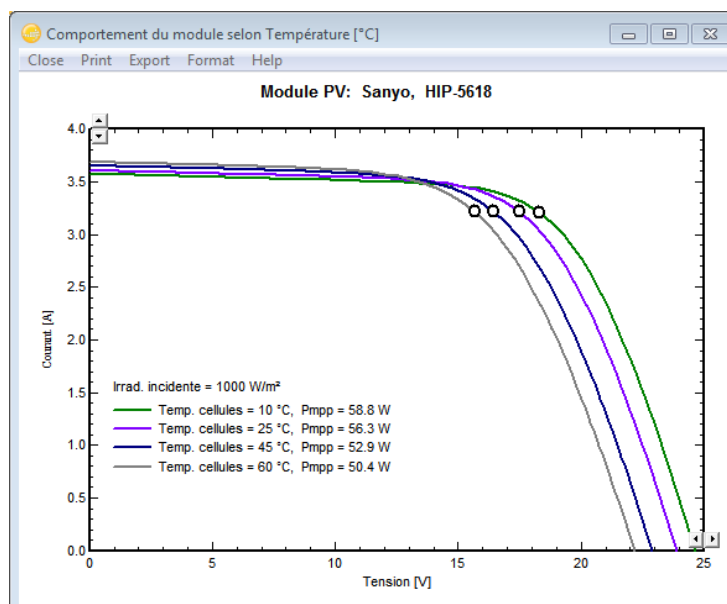


Figure A.I. 4

Graphe de HIT



ANNEXE 1

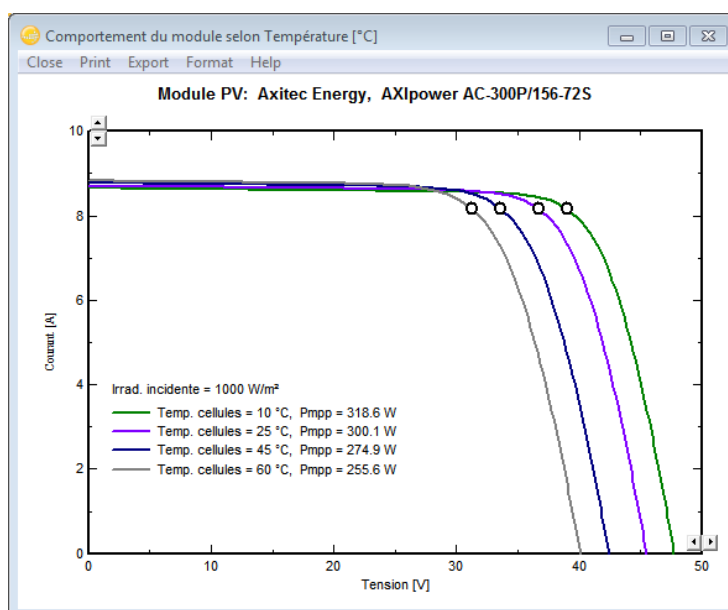
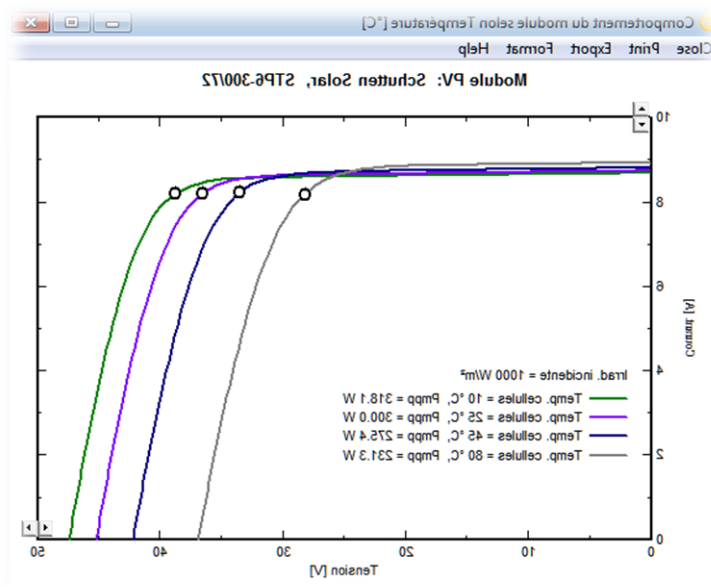
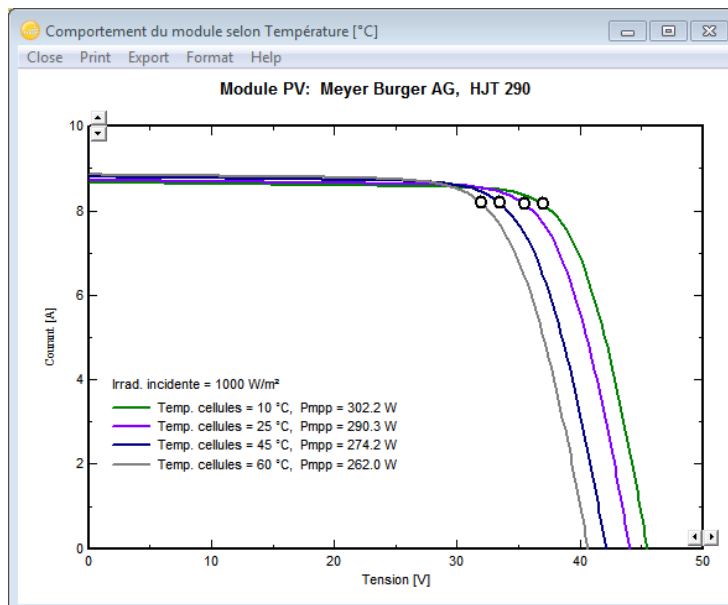
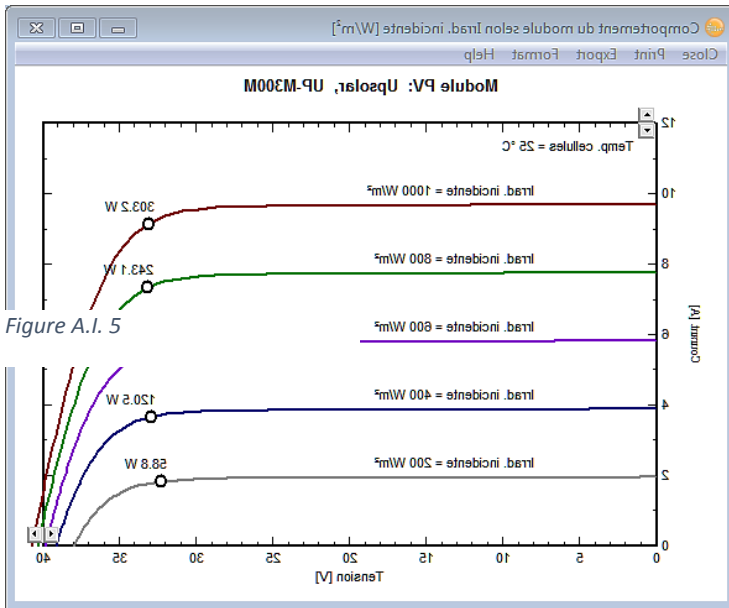


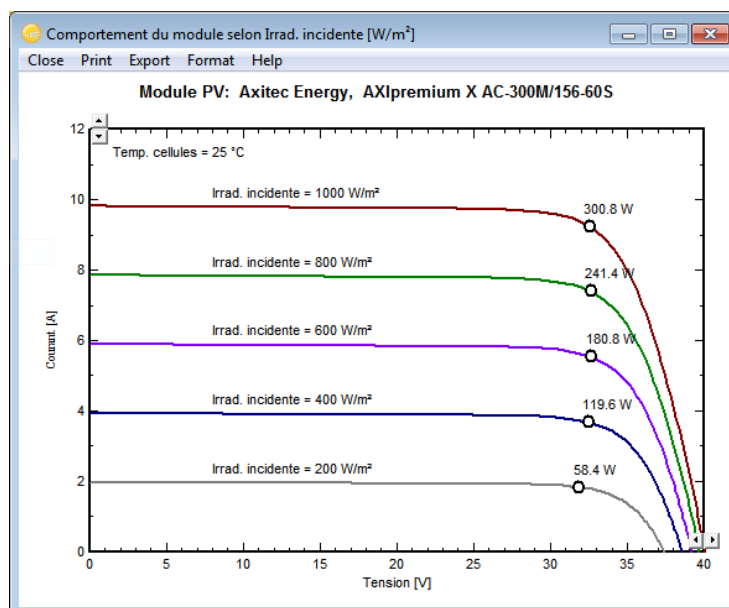
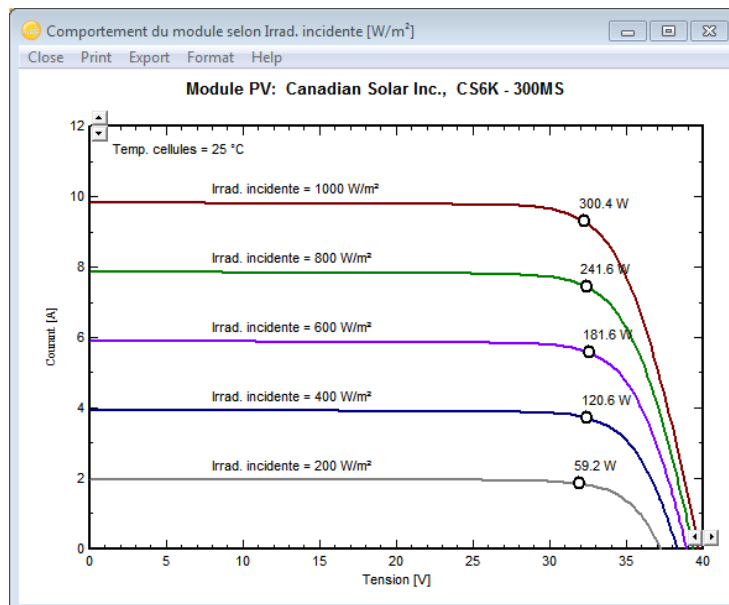
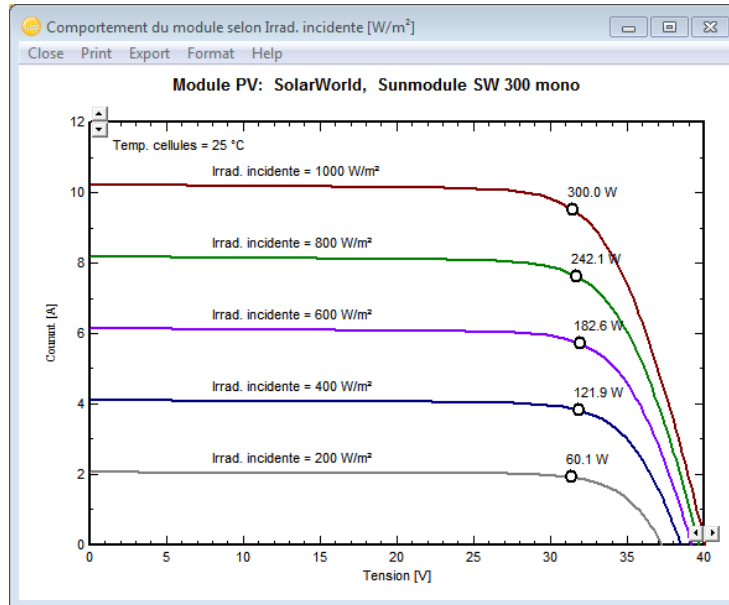
Figure A.I.

INFLEUNCE DE IRRADIATION :

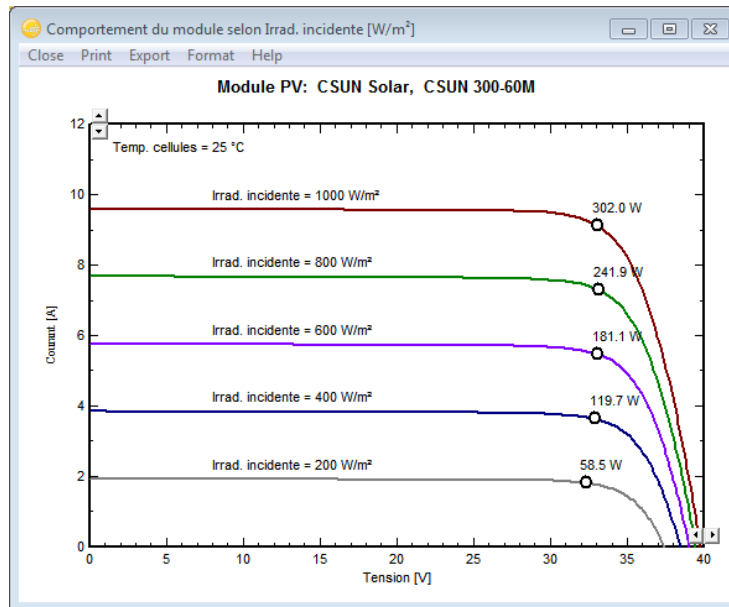
Graphe de mono



ANNEXE 1

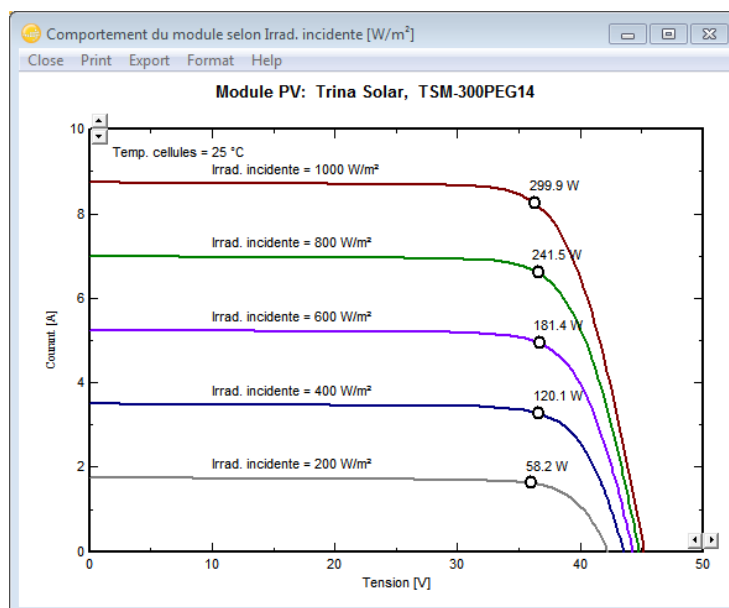
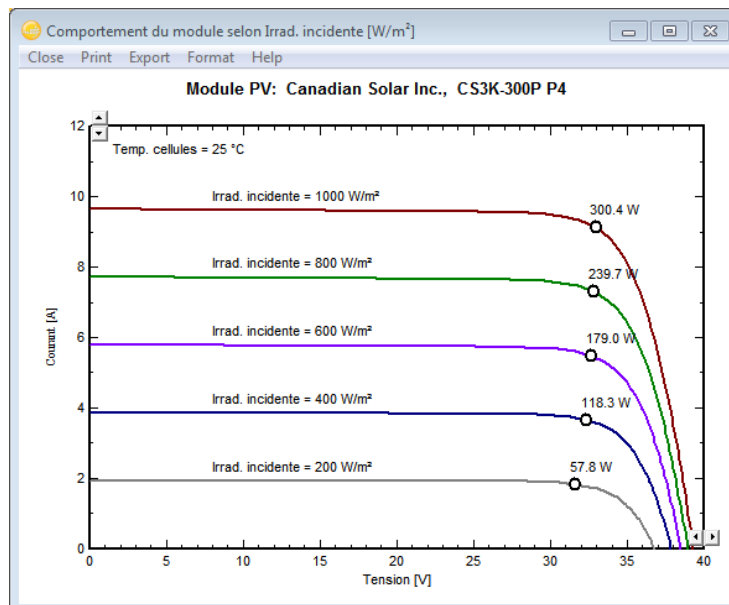
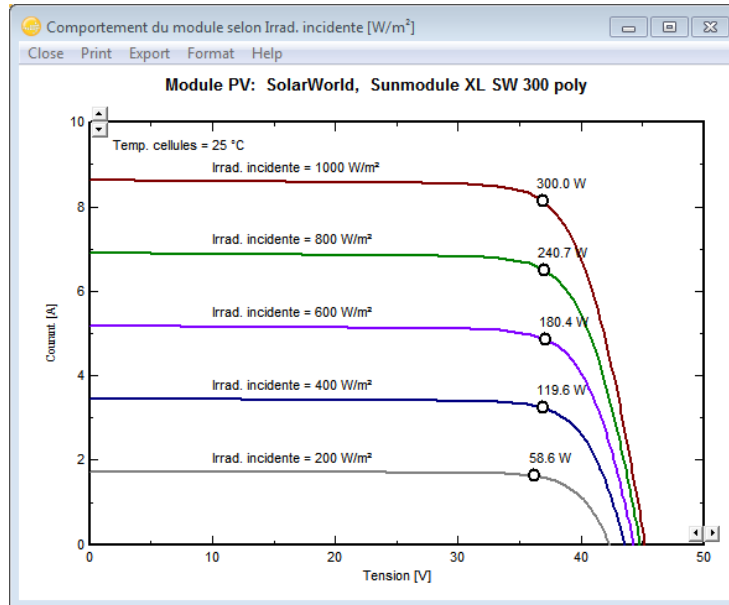


ANNEXE 1

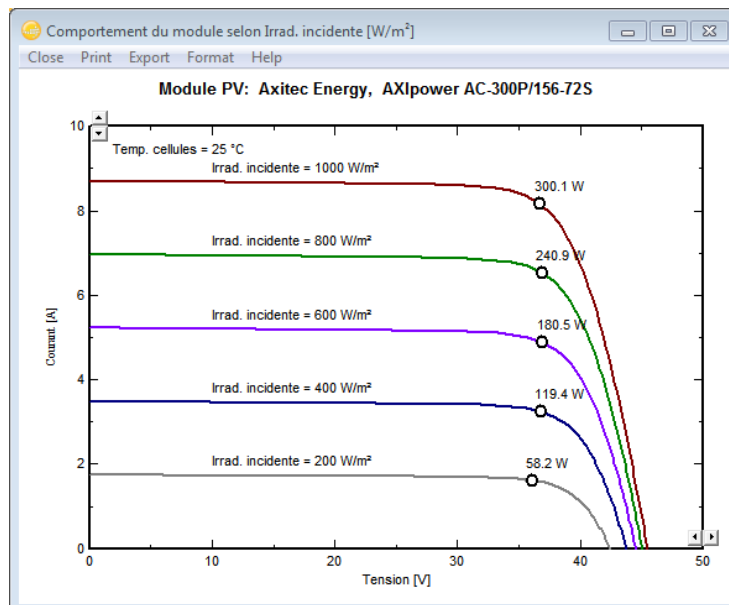
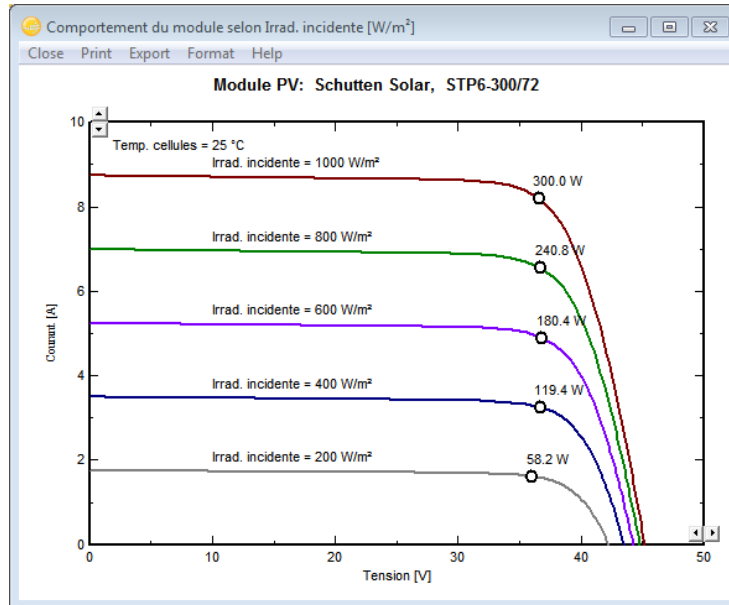


Graphe de POLY

ANNEXE 1

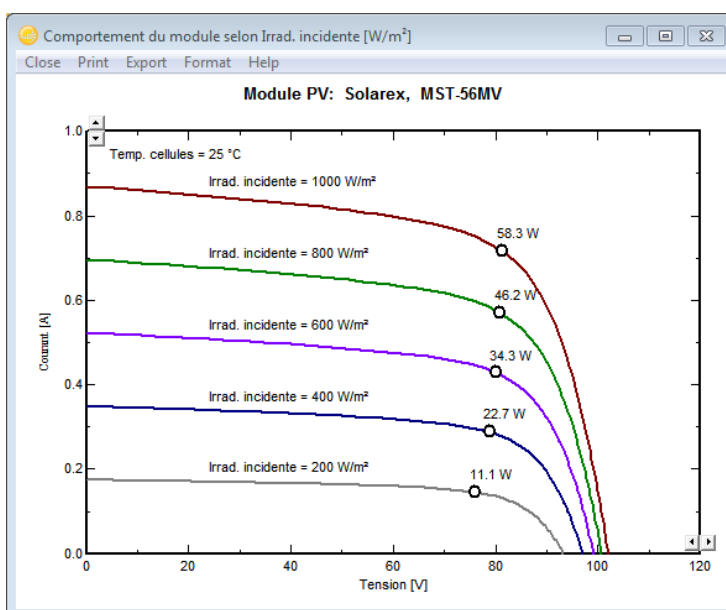
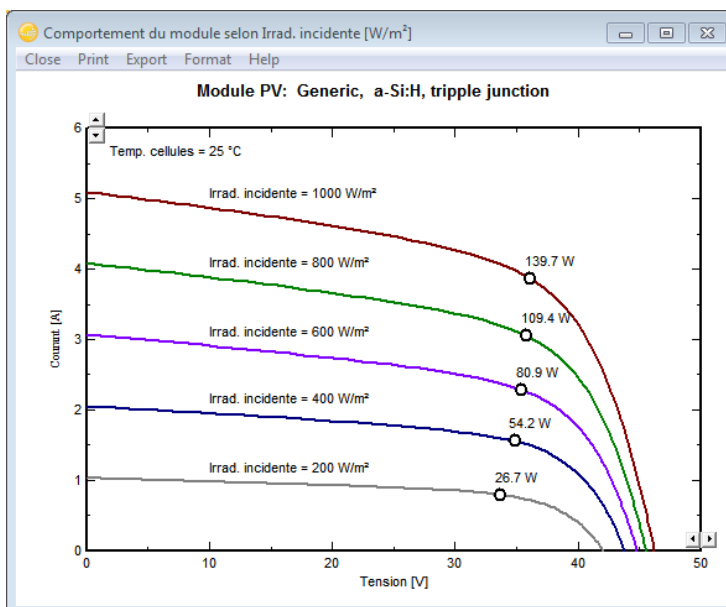
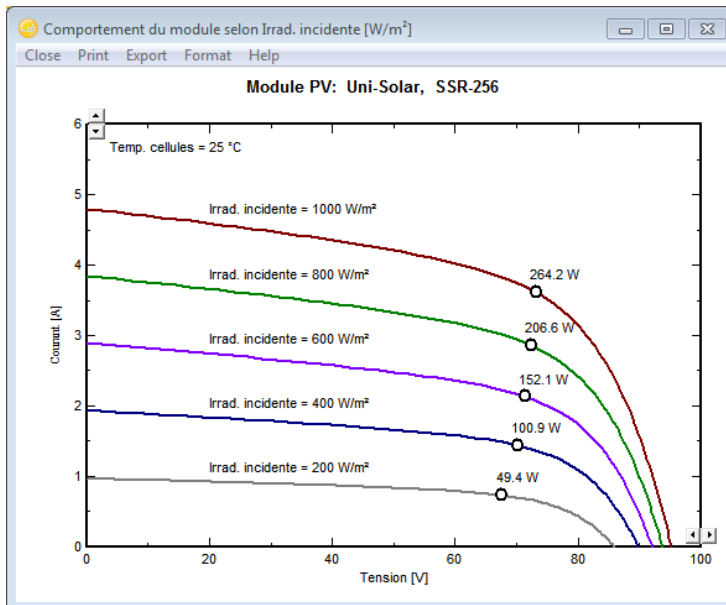


ANNEXE 1

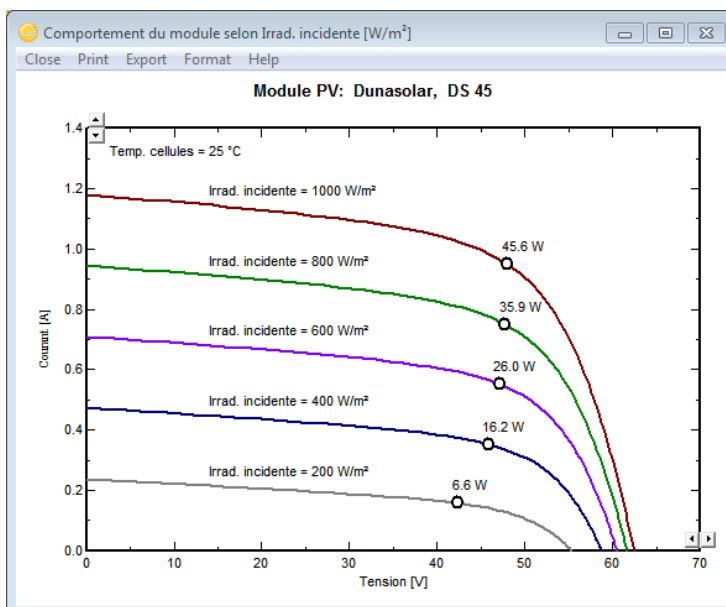
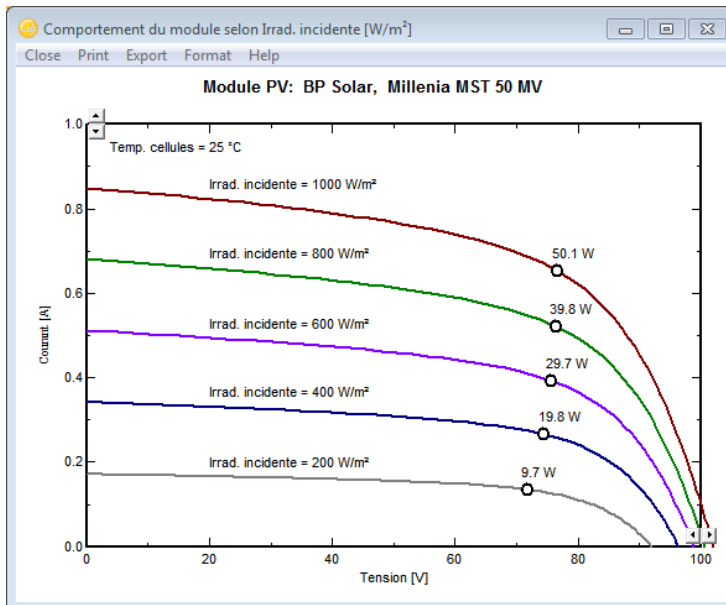


Graphe de AMORPHE

ANNEXE 1



ANNEXE 1



Graphe de CDTe

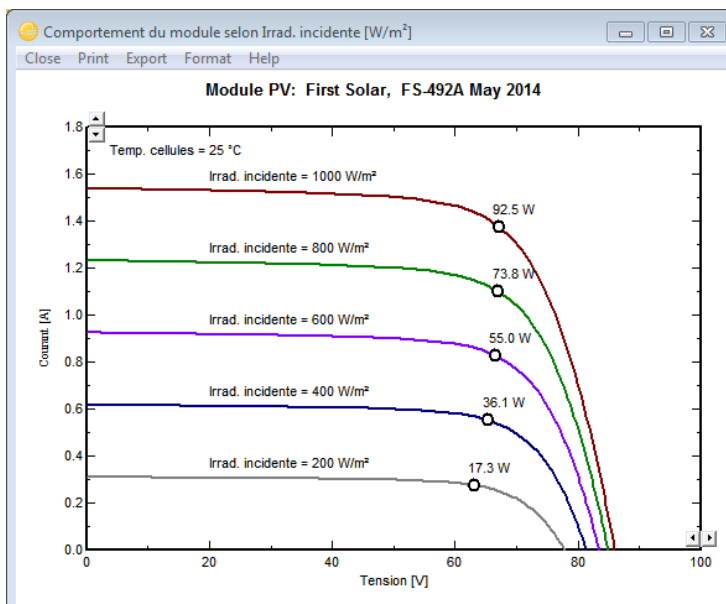
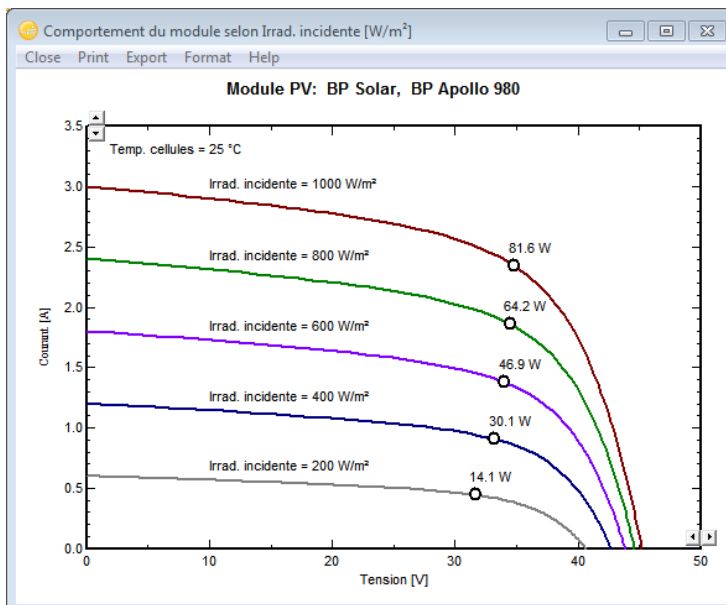
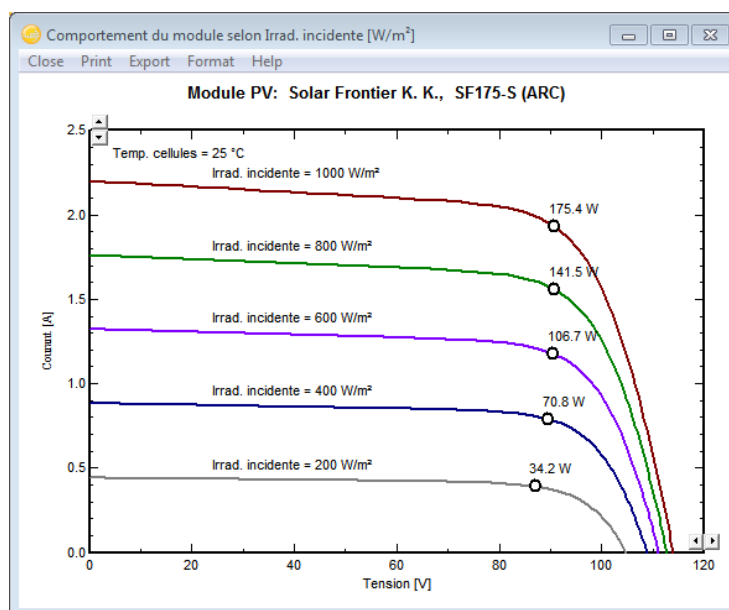
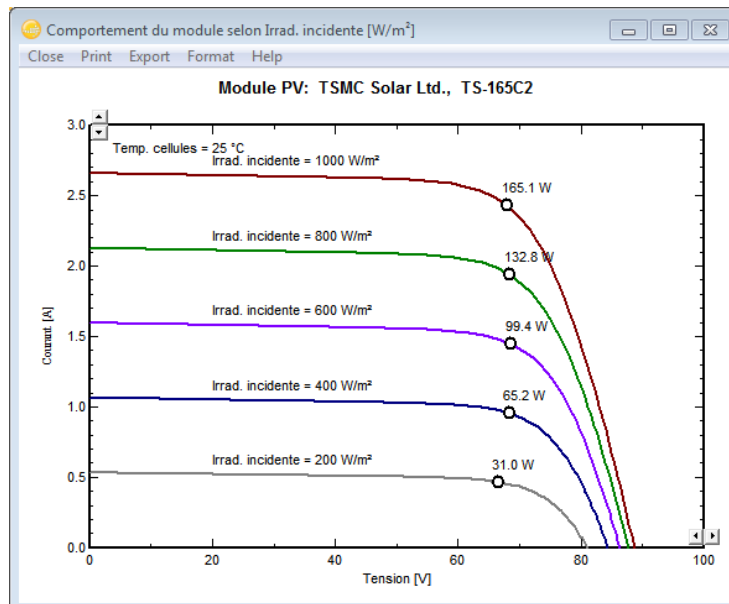
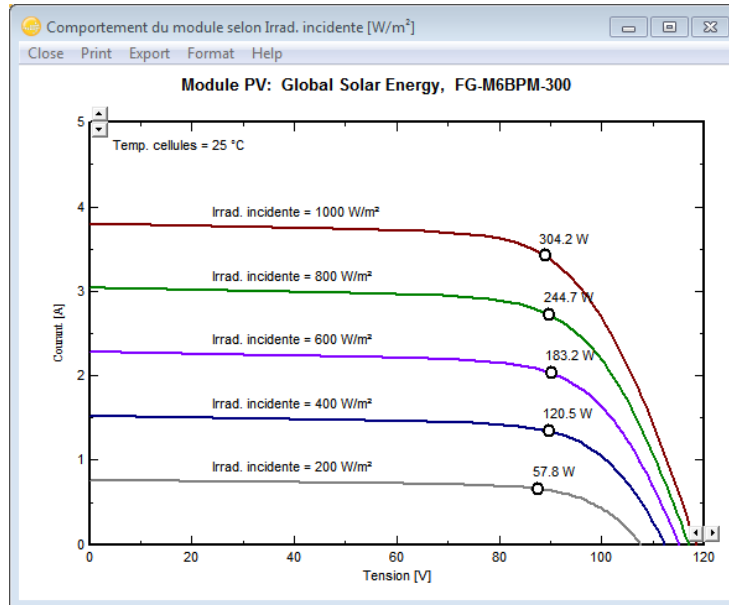


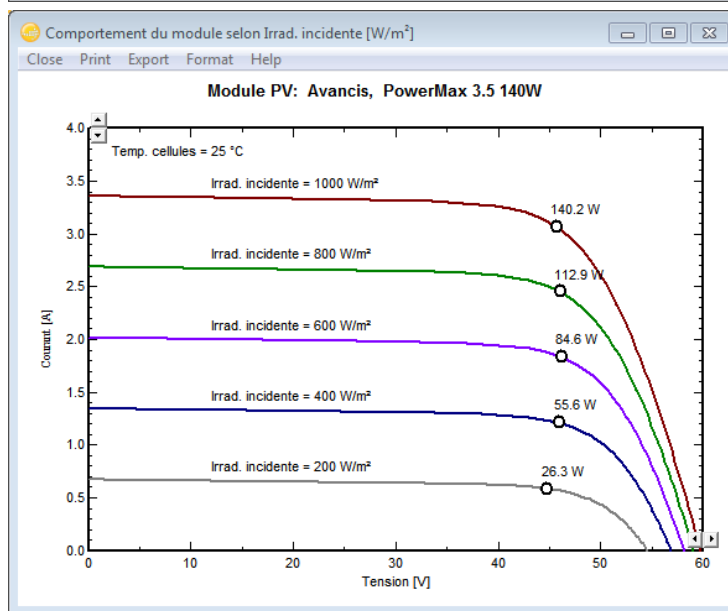
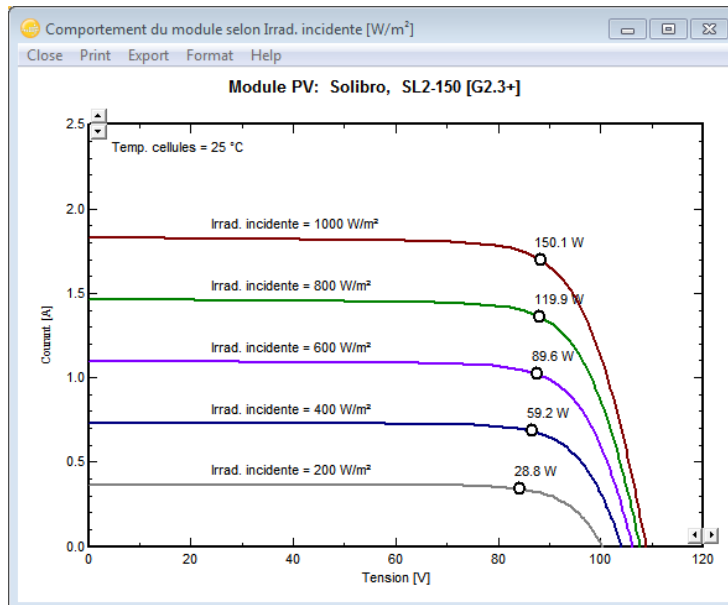
Figure A.I. 6

CGraphe de CIS

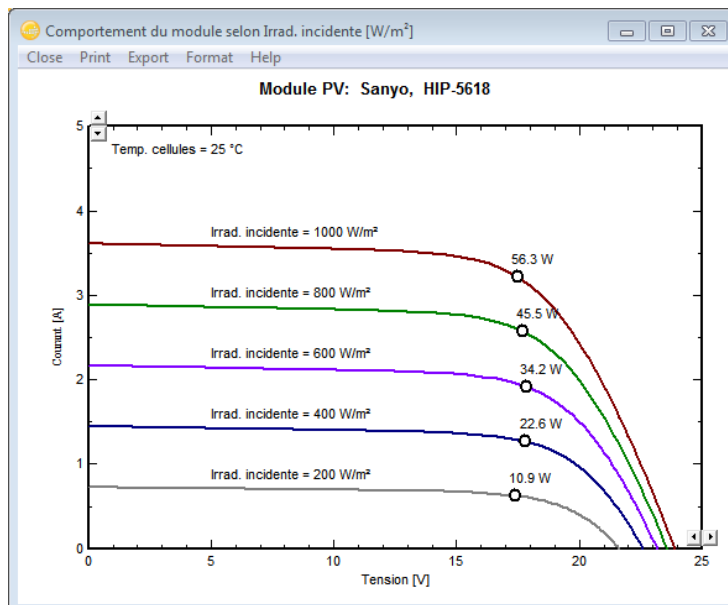
ANNEXE 1



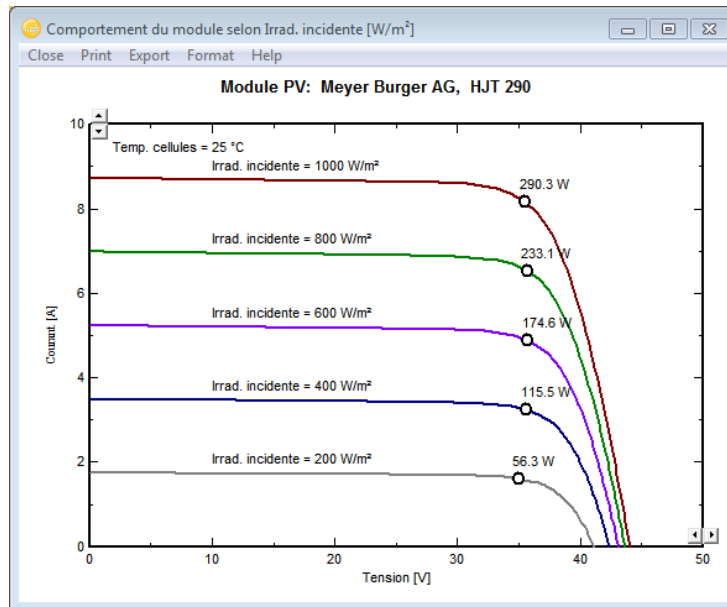
ANNEXE 1



Graphe de HIT



ANNEXE 1



Annexe II

I. Emplacement des Panneaux photovoltaïques :

Orientation et inclinaison :

Dans nos régions, le sud est évidemment le maître choix pour les installations fixes. L'inclinaison optimale qui permet de maximiser les gains solaires annuels incidents (et donc la production) se situe à 35°. On tentera donc de se rapprocher le plus possible de cette orientation.

Attention, si théoriquement ceci est vrai, d'un point de vue économique, le but de toute installation photovoltaïque doit également de faire se rencontrer les périodes de production et de consommation pour favoriser l'autoconsommation. Ainsi, en l'absence d'un moyen de stockage de taille adapté, une orientation des panneaux dite Est-Ouest peut être optimale.



Figure A.II 1Panneaux photovoltaïques Orientés Est-Ouest

De plus, les températures hautes étant nuisibles aux performances des panneaux, on préférera généralement une orientation Est à Ouest (température plus basse le matin). [15]

II. Type de pose

Plusieurs types de pose sont possibles :

1. En toiture

1. Pose en toiture inclinée

En *toiture inclinée*, les panneaux sont attachés à la structure du toit au moyen de pattes métalliques. Les modules peuvent être soit placés en surimposition soit intégrés à la toiture. Les modules remplacent alors la couverture de la toiture comme peuvent le faire des tuiles solaires.

L'échauffement possible des cellules est, dans ce cas, un problème dont il faut tenir compte. En effet, une perte de puissance (environ 0.5 % par degré) en fonctionnement est associée à la montée en température des cellules. Or, en cas d'intégration, la chaleur est plus difficilement dissipée par ventilation qu'en cas de surimposition. Des ajustements de la structure de la toiture sont dans certains cas indiqués pour améliorer la ventilation à l'arrière des modules. [15]

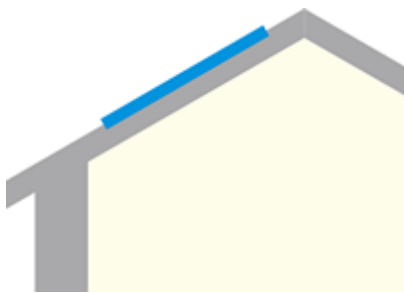


Figure A.II 2 intégration

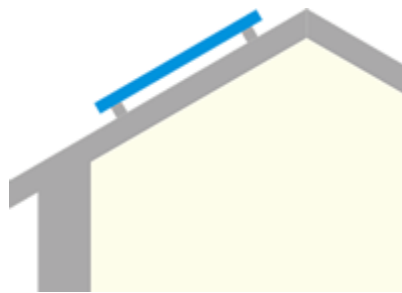


Figure A.II 3 Surimposition

2. Pose en toiture plate

En *toiture plate*, les panneaux sont généralement disposés sur une structure en métal ou en plastique. Celle-ci permet d'obtenir un angle d'inclinaison optimisant la production de la surface utilisée tout en assurant la ventilation de l'arrière du panneau. La ventilation de l'arrière des panneaux photovoltaïques est par contre moins importante dans le cas des bacs en PVC. On n'oubliera pas le lestage nécessaire.

Il faut impérativement vérifier **l'état de la toiture** et du matériau de couverture au préalable. Il serait dommage de devoir démonter les panneaux quelques années plus tard ! De plus, il ne faut pas oublier le poids induit par la pose des panneaux et le **lestage** important (80 à 100 kg par m² de capteur) requis pour la pose en toiture plate (résistance à la prise au vent). Ce surpoids doit pouvoir être supporté par la charpente ! Lorsque l'on solidarise l'ensemble des panneaux via une structure métallique, la quantité de lestage peut diminuer et des valeurs de l'ordre de 50 kg/m² sont alors plus communes.

Certaines cellules de types "*thin film*" ont aussi vu le jour. Elles permettent une intégration directe à l'étanchéité d'une toiture plate et ne nécessitent donc pas le surpoids induit par le support. Attirante d'un point de vue économique (cellule moins coûteuse et directement intégrée dans une étanchéité nécessaire), on notera que ces cellules sont caractérisées par de plus faibles rendements. Elles doivent de plus être implantées selon la configuration du support. Leur orientation et inclinaison seront donc généralement celles de la toiture, ce qui conditionnera leur productivité. Une légère pente reste néanmoins souhaitable pour favoriser

l'écoulement des eaux de pluies et éviter l'encrassement des cellules. [15]

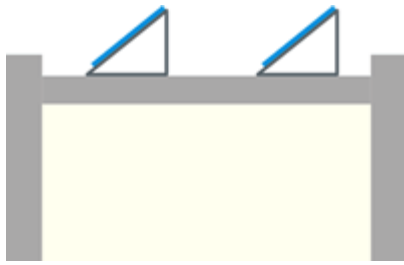


Figure A.II 4 Sur supports



Figure A.II 5 intégré à la couverture

3. En façade

Il est possible d'utiliser des modules photovoltaïques comme bardage de façade. Ce type de configuration entraîne une perte de production importante due à une réduction de l'exposition solaire (30% de moins que dans les conditions optimales). Comme en toiture inclinée, l'intégration ou la surimposition est possible. [15]

Ce qu'on appelle aujourd'hui le BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) est de prime abord moins productif et généralement plus cher que la pose classique en toiture. Néanmoins, les panneaux photovoltaïques peuvent se substituer au bardage et remplir ainsi une double fonction (bardage + production électrique solaire). Dans le cadre d'une telle installation, il faut en réalité se poser la question du surcoût par rapport au matériau "classique" qui est remplacé. [15]

La technologie solaire étant de moins en moins cher et le coût de l'énergie augmentant continuellement, ces solutions ont tendance à devenir de plus en plus crédibles d'un point de vue économique, et ce malgré leur rendement réduit. [15]

Dans les zones urbanisées, sous la pression immobilière et la nécessité croissante de densifier, les concepteurs de bâtiments ont tendance à réduire l'emprise au sol des bâtiments (et corollairement leur surface de toiture) au profit d'un accroissement du nombre d'étages. Se faisant, la quantité de surfaces verticales augmente considérablement tandis que les surfaces de toitures sont réduites à peau de chagrin. Il y a donc un réel intérêt aujourd'hui à donner une plus-value à ces surfaces, et ce dès la conception des projets. [15]

4. En verrière

Pour ces applications, on utilise des modules verre-verre qui permettent de garantir un passage lumineux. Attention au respect des normes d'isolation thermique ! [15]



Figure A.II 6

Ce type d'installation peut également être utilisé pour des préaux, carports, vérandas, façade légère double-peau...[15]

5. En protection solaire

Un module photovoltaïque peut aussi participer à la démarche bioclimatique du bâtiment en utilisant les gains solaires superflus au confort thermique du bâtiment.



Figure A.II 7

2. Au sol

Il est tout à fait possible de disposer des panneaux photovoltaïques au sol (voire sur des traqueurs). En Allemagne, bon nombre de champs de ce genre ont été installés. Il faudra cependant s'assurer de la qualité du sol et de sa stabilité en fonction de la taille du projet. Ce type de pose est soumis à permis. L'avis de fonctionnaire délégué ainsi que l'intervention d'un architecte est requis. [15]

III. Nettoyage

Il existe une multitude d'éléments pouvant s'accumuler sur le verre de vos panneaux solaires photovoltaïques :

- Poussières ;
- Pollens ;
- Feuilles mortes ;
- Fientes d'oiseaux ;
- Sable ;
- Dépôts de sels marins ;
- Particules fines ;
- Etc.

1. Ce qu'il faut faire / ce qu'il ne faut pas faire

Utilisez de l'eau sans produits chimiques :

N'utilisez **jamais** des détergents qui sont abrasifs. Vous risqueriez de causer des dégâts irréversibles.

De l'eau suffit amplement. Si vous le souhaitez vraiment, vous pouvez utiliser du savon doux.

Utilisez un chiffon / une éponge douce :

De la même manière, ne frottez jamais vos panneaux solaires avec un support décapant comme le côté vert d'une éponge.

Préférez toujours la partie en mousse ou un chiffon doux.

Il ne faut surtout pas rayer le verre des panneaux solaires. [16]



Figure A.II 8

Utilisez de l'eau adoucie :

Il est préférable d'utiliser une eau la moins calcaire possible.

Le calcaire risquerait de former un léger dépôt blanc qui réfléchirait les rayons du soleil avant qu'ils n'atteignent les cellules photovoltaïques des panneaux !

Le nec plus ultra pour un nettoyage tout doux : l'eau déminéralisée. [16]

Utilisez de l'eau tiède :

N'utilisez jamais d'eau brûlante ou glacée : l'écart de température entre l'eau et les panneaux pourrait provoquer un choc thermique.

Dans ce cas, vous causeriez de sérieux dégâts à votre installation ! [16]

N'utilisez jamais d'eau sous pression :

Certains seraient tentés d'utiliser le bon vieux Karcher pour laver leurs panneaux.

Le jet est trop puissant et pourrait une fois encore endommager les panneaux solaires.

Préférez donc le tuyau d'arrosage si vous n'avez pas de contenants avec de l'eau déminéralisée. [16]

Ne marchez pas sur les panneaux :

C'est une évidence : ne marchez jamais sur vos panneaux solaires.

Le verre a beau être résistant, des microfissures peuvent apparaître au niveau des cellules photovoltaïques s'il supporte une charge trop lourde.

De manière générale, évitez systématiquement de vous appuyer sur le panneau. [16]

Ne jamais gratter, même si une tache est tenace. Vous risqueriez de rayer définitivement vos panneaux [17]



Figure A.II 9



Figure A.II 10