



L'énergie du savoir

www.goshop.energy/slides

Syllabus du cours

SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

Systemes Photovoltaïques

Explorez les principes de fonctionnement des panneaux solaires, les technologies appareils et les méthodes de conception de systèmes photovoltaïques. Acquerrez une compréhension approfondie sur les dernières innovations dans le domaine du solaire et des aspects pratiques de l'optimisation des systèmes photovoltaïques.

À travers des études de cas, des simulations et des projets concrets, ce cours vise à fournir aux participants les compétences nécessaires pour concevoir, mettre en œuvre et optimiser efficacement des systèmes photovoltaïques performants et durables.



Compétences et savoir-faire

➤ Compétences générales à atteindre :

- Acquérir une connaissance approfondie des principes fondamentaux de la conversion photovoltaïque
- Comprendre les principes de fonctionnement et les caractéristiques des composants de système photovoltaïque
- Savoir les différents types de systèmes photovoltaïque éventuellement leurs applications
- Développer des compétences pour maximiser la production d'énergie des systèmes photovoltaïques
- Acquérir des compétences en gestion des risques liés aux systèmes photovoltaïques

➤ Savoir-faire généraux à atteindre :

- Évaluer les potentiels topographiques d'un site, y compris l'ensoleillement et d'autres facteurs environnementaux qui influent sur la conception d'un système photovoltaïque
- Utiliser efficacement des logiciels dédiés à la conception des systèmes photovoltaïques
- Savoir choisir les composants appropriés pour un système photovoltaïque en fonction des besoins spécifiques du projet
- Diagnostiquer et résoudre les défauts rencontrés dans un système photovoltaïque et assurer une maintenance efficace et une performance continue.

Sommaire

➤ Généralités sur le Système Photovoltaïque	4
• Effet photovoltaïque	5
• Types de cellule photovoltaïque	5
• Utilisations de l'énergie photovoltaïque	7
➤ Composants du Système Photovoltaïque	10
• Panneaux photovoltaïques	12
• Régulateurs de charge solaire	15
• Convertisseurs	16
• Batteries d'accumulateur	17
• Câbles solaires	19
• Connecteurs	20
• Protection	20
➤ Types des Systèmes Photovoltaïques	24
• Le solaire en injection réseau / ongrid	25
• Le solaire en site isolé / offgrid	27
• Les kits backup ou secours pour les coupures de réseau	28
➤ Dimensionnement des Systèmes PV	31
• Analyse du site	32
• Dimensionnement de l'installation	33

I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

Découvrez le principe fondamental de l'effet photovoltaïque offrant une solution vers l'énergie propre et renouvelable, ses applications, ses avantages et ses limites.

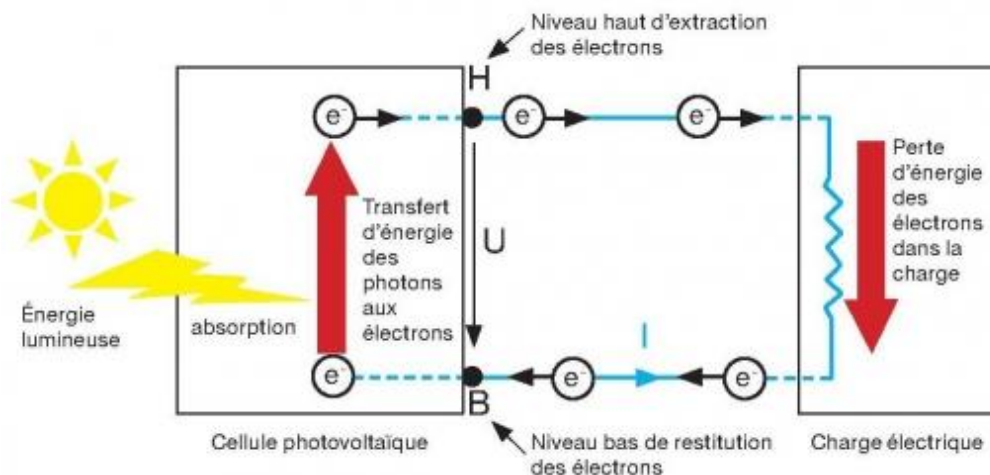
Explorez les différents types de cellule photovoltaïque qui constitue l'élément crucial des systèmes photovoltaïques



I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

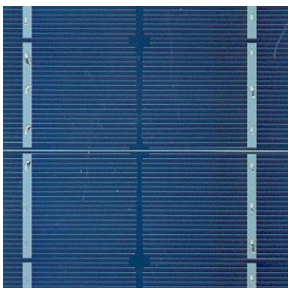
I.1. L'effet photovoltaïque

Est un phénomène photoélectrique obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques, généralement composées de silicium, absorbent la lumière solaire et libèrent des électrons, créant un courant continu.



I.2. Types de cellule photovoltaïque

I.2.1. Cellule en silicium monocristallin

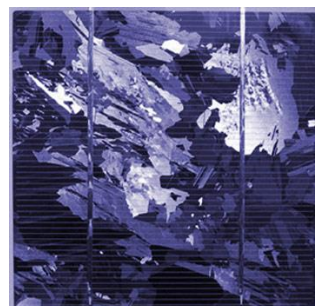


On reconnaît les cellules monocristallines grâce à leur couleur très foncée. Il s'agit d'un seul cristal de silicium. Au sein d'un même module solaire, tous les cristaux de silicium sont orientés dans le même sens. Le rendement de ce matériau est supérieur à celui du silicium polycristallin, mais il est également vendu plus cher, car sa fabrication est plus délicate.

I.2.2. Cellule en silicium polycristallin

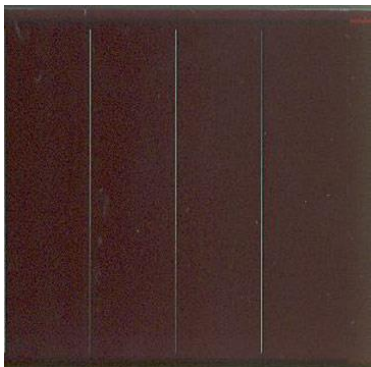
On reconnaît ces cellules à leur couleur bleutée. Elles sont composées de cristaux orientés dans différentes directions : c'est la raison pour laquelle leur couleur n'est pas homogène. À l'échelle mondiale, c'est le matériau photovoltaïque le plus utilisé, car il offre à ce jour le meilleur rapport qualité/prix. Les coûts de fabrication sont en effet inférieurs au silicium monocristallin.

L'inconvénient majeur des cellules en silicium polycristallin est qu'elles ont un rendement inférieur à celle en silicium monocristallin. De ce fait, il est nécessaire d'en installer davantage pour produire une même quantité d'énergie.



I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

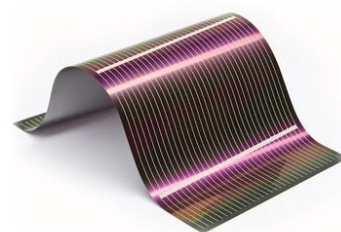
I.2.3. Cellule en silicium amorphe en couche mince



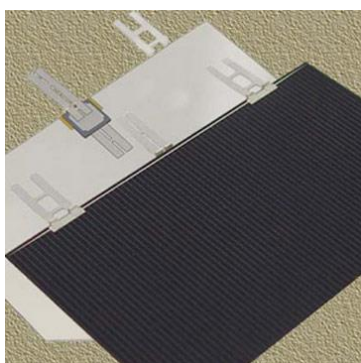
Il existe également des cellules au silicium amorphe, généralement de couleur marron ou gris foncé. Elles sont bien plus fines que les cellules en silicium cristallin (quelques microns seulement). C'est une technologie utilisée depuis longtemps dans les petites calculatrices, mais leur rendement reste très faible. Elles ont aussi une durée de vie plus faible que les autres types de cellules : une dizaine d'années seulement, contre une trentaine pour le silicium monocristallin et polycristallin.

I.2.4. Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS

Les cellules CIS représentent une nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type CIS (cuivre, indium, sélénium) ou CIGS (cuivre, indium, gallium et sélénium). Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques (bien que ce dernier soit déjà très abondant sur terre). De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince.



I.2.5. Cellule multijonction



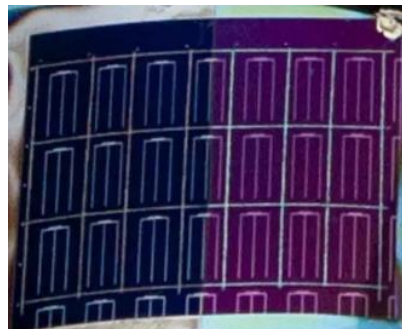
Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion inégalés d'environ 40%.

Développé pour les applications spatiales, ce type de cellule n'est pas encore commercialisable.

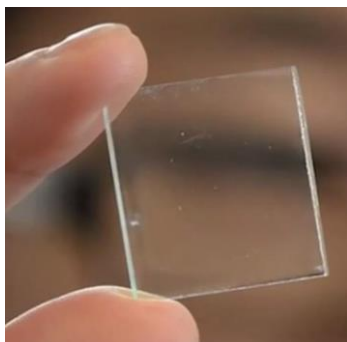
I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

I.2.6. Cellule solaire CZTS : cuivre zinc étain soufre (innovation 2016)

Les cellules photovoltaïques CZTS, aussi minces qu'une pellicule de film - moins de 5 μm d'épaisseur - sont fabriquées en appliquant une mince couche de matériau contenant cuivre, zinc, étain et soufre, sur un support comme le verre ou le plastique, qui a l'avantage d'être flexible.



I.2.7. Les cellules solaires photovoltaïques transparentes



Depuis 2011, des cellules solaires transparentes ont été développées. Encore expérimentales, ces technologies pourraient être utilisées dans de nombreuses applications : vitrage solaire, écran de téléphones portables, automobile... Cette cellule absorbe une partie du spectre infrarouge et ultraviolet ainsi qu'une partie du spectre visible pour un rendement allant de 7 à 9% pour un coût encore assez élevé.

I.3. Utilisation des systèmes photovoltaïques

I.3.1. Résidentielle/Installation domestique

L'utilisation résidentielle de l'énergie solaire dans une installation électrique peut être très bénéfique à la fois pour les propriétaires et pour l'environnement. Voici quelques éléments clés à prendre en compte : le panneau solaire, un onduleur, un régulateur et une batterie pour le stockage de l'énergie et alimentation de l'éclairage et d'autres appareils. Les propriétaires peuvent installer des systèmes PV sur leur toit pour alimenter leur propre consommation d'énergie.

I.3.2. Commerciale/Industrielle

Les entreprises peuvent intégrer des systèmes PV pour réduire leur dépendance vis-à-vis des sources d'énergie traditionnelles et économiser sur les coûts énergétiques.

Sur l'aspect commercial, actuellement le secteur de l'énergie photovoltaïque s'avère prometteur pour un développement durable, d'où plusieurs investissements en implementation des centrales solaires qui sont des installations qui utilisent la lumière du soleil pour produire de l'électricité à grande échelle. Cette énergie est ainsi sert à l'éclairage public, elle est distribuée aux ménages et aux entreprises locales.

I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

I.3.3. Avantages et limites

	Avantages	Limites
Environnement	<ul style="list-style-type: none">• Source d'énergie propre et renouvelable,• Contribution à réduire les émissions de gaz à effet de serre.	<ul style="list-style-type: none">• Dépendance aux conditions météorologiques,• Occupation des grandes étendues des terres,• Recyclage des matériels en fin de vue.
Economique	<ul style="list-style-type: none">• Faible coût d'exploitation• Création de l'emploi• Réduction de la facture d'électricité.	<ul style="list-style-type: none">• Coût d'investissement initial élevé,• Prix élevé par kWh.
Technique	<ul style="list-style-type: none">• Indépendance énergétique• Adaptabilité et flexibilité du système• Intégration dans un réseau existant• Décentralisation de la production de l'énergie	<ul style="list-style-type: none">• Mauvais rendement (inférieur à 20%)• Difficulté à satisfaire une grande demande en énergie électrique• Nécessite le stockage de l'énergie

I. Généralités sur le Système Photovoltaïque

QUIZ 1

1. Quel est le type des cellules photovoltaïques qui dispose d'un rendement meilleur par rapport aux autres ?
 - a) Cellule en silicium monocristallin
 - b) Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS
 - c) Cellule multijonction
 - d) Cellule solaire CZTS : cuivre zinc étain soufre

2. Parmi les types de cellules photovoltaïques lequel a un bon rapport qualité-prix ?
 - a) Cellule en silicium monocristallin
 - b) Cellule en silicium polycristallin
 - c) Cellule en silicium amorphe en couche mince
 - d) Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS

3. Parmi les propositions suivantes laquelle(lesquelles) est(sont) les principaux avantages des systèmes photovoltaïques du point de vue économique ?
 - a) Décentralisation de la production de l'énergie
 - b) Faible coût d'exploitation
 - c) Contribution à réduire les émissions de gaz à effet de serre
 - d) Coûts faibles d'investissement au démarrage
 - e) Réduction de la facture d'électricité
 - f) Prix réduit par kWh

4. Quelle est la principale limitation environnementale des systèmes photovoltaïques ?
 - a) Dépendance aux conditions météorologiques
 - b) Tous les arbres autour du champ solaire doivent être coupés
 - c) Ils nécessitent beaucoup d'entretien
 - d) Ils occupent les grandes étendues de terrain

II. Composants du Système Photovoltaïque

Découvrez le rôle, les caractéristiques et les types de chacun des composants qui interviennent dans une installation photovoltaïque, contribuant à la conversion efficace de l'énergie solaire en électricité, à l'optimisation du fonctionnement des équipements, au stockage de l'énergie,...



II. Composants du Système Photovoltaïque

II.1. Panneaux solaires (Modules photovoltaïques)

Le panneau solaire est l'élément central du système photovoltaïque. Il est composé de cellules photovoltaïques qui convertissent la lumière solaire en électricité. Les cellules peuvent être fabriquées en silicium cristallin, en silicium amorphe ou en d'autres matériaux semi-conducteurs.

II.1.1. La puissance d'un panneau photovoltaïque

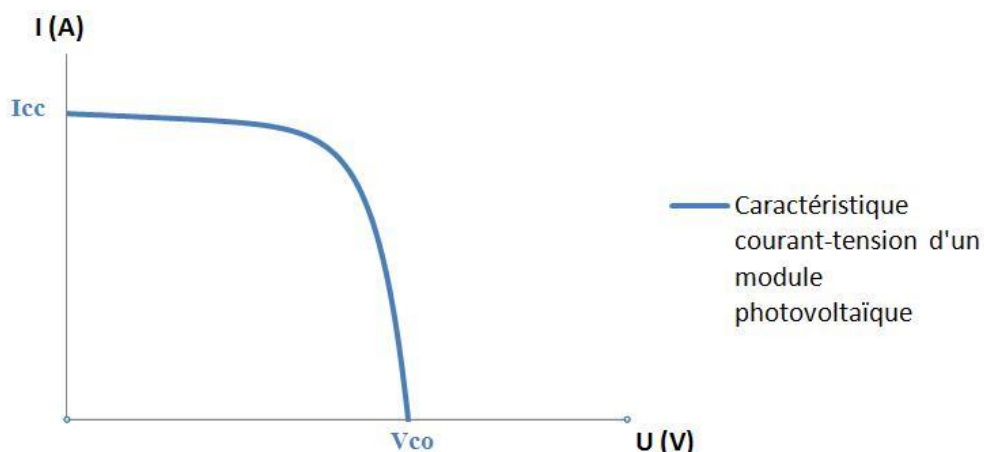
La puissance d'un panneau photovoltaïque s'exprime en « Watt crête » avec le symbole W_c , ou « Watt peak » W_p en anglais. C'est la puissance instantanée délivrable par le panneau sous les conditions STC (Standard Test Conditions), soit :

- Un ensoleillement instantané de 1000 W/m^2 (ensoleillement maximal)
- Une température du panneau de 25°C
- Un coefficient Air-Masse de 1,5

Un panneau photovoltaïque de $300W_c$ délivrera donc une puissance instantanée de $300W$ sous les conditions STC. Si l'ensoleillement est moins important (présence de nuage par exemple), alors la puissance instantanée en sortie de ce panneau sera inférieure à $300W$.

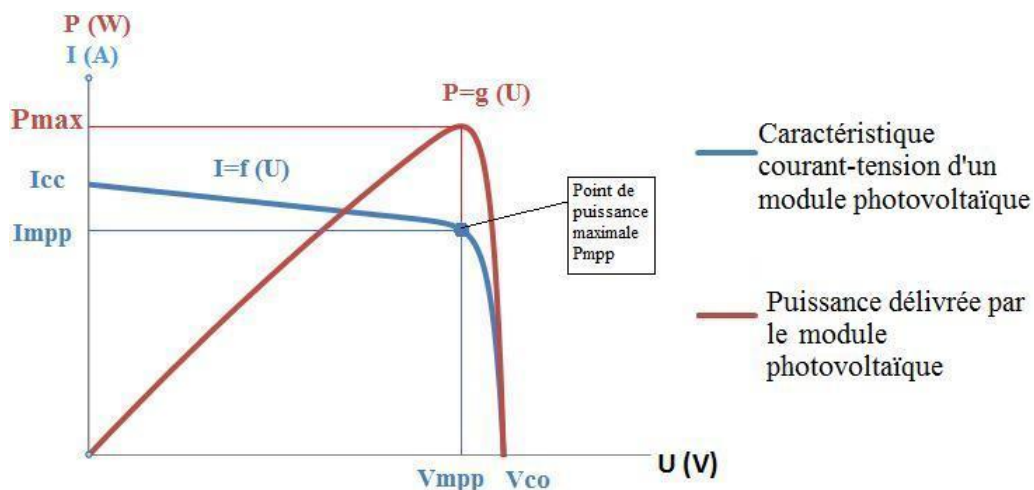
Le graphique ci-dessous illustre le profil type d'une courbe courant-tension d'un panneau photovoltaïque, où :

- V_{co} est la tension de circuit ouvert, c'est-à-dire celui mesuré aux bornes du panneau lorsqu'il est exposé à un ensoleillement, mais sans production de courant ($I=0A$)
- I_{cc} est le courant de court-circuit, dont la mesure peut être approchée en branchant un ampèremètre aux bornes lorsqu'il est exposé à la lumière (on s'approche alors du court-circuit avec la résistance très faible de l'ampèremètre).



À partir de cette courbe, et en utilisant la formule $P = U \times I$, il est possible de tracer la courbe de puissance afin de trouver le couple courant/tension qui donne la puissance maximale appelée P_{mpp} , mpp signifiant « Maximum Power Point ».

II. Composants du Système Photovoltaïque

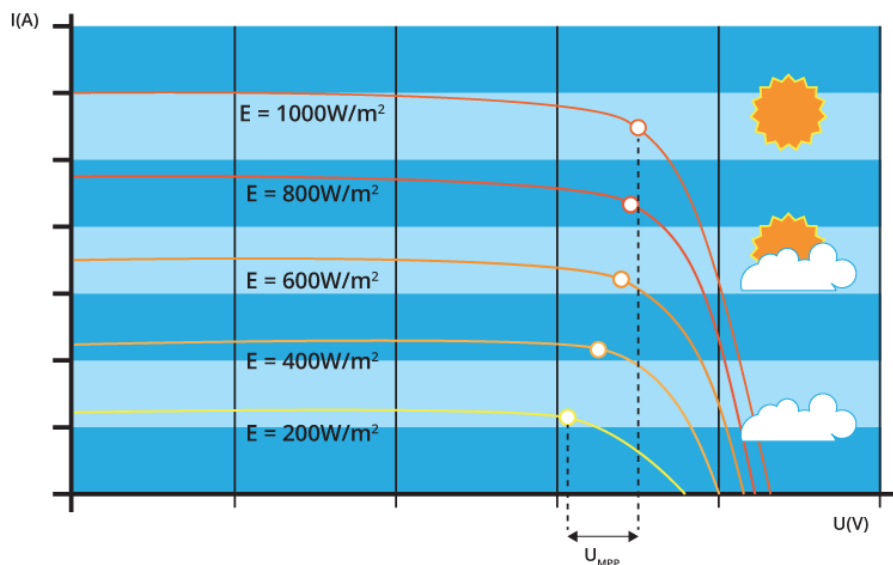


Cette puissance maximale (P_{mpp}) est atteinte avec le couple V_{mpp} et I_{mpp} , de sorte que $P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp}$.

❖ Influence de l'ensoleillement sur les performances d'un panneau photovoltaïque

La puissance de sortie d'un module solaire photovoltaïque varie en fonction de l'ensoleillement parce que la courbe courant-tension d'un panneau photovoltaïque change en fonction de l'ensoleillement comme l'illustre le graphique ci-dessous.

COURBES DE PUISSANCE D'UN PANNEAU SOLAIRE EN FONCTION DE L'ENSOLEILLEMENT



La puissance en Wc d'un panneau photovoltaïque correspond donc à la P_{mpp} obtenue pour une courbe courant-tension correspondant à un ensoleillement de 1000 W/m^2 (et aux autres conditions des STC).

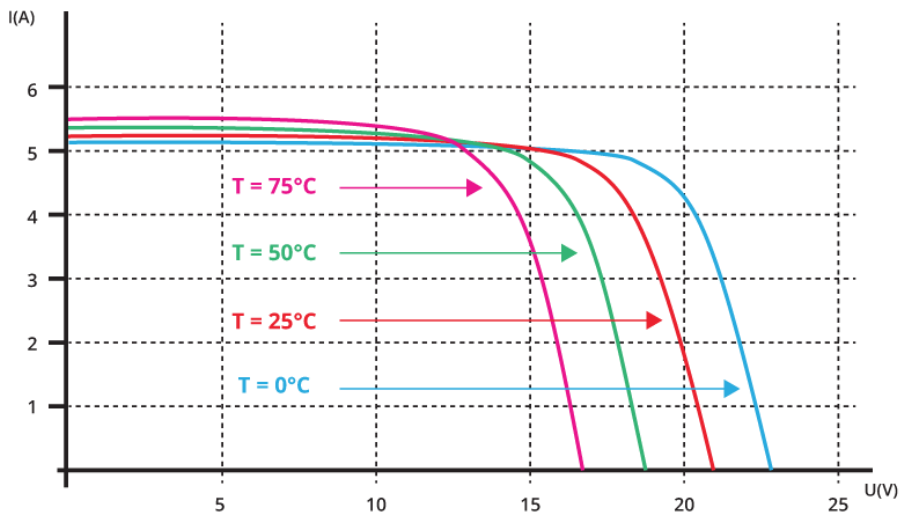
II. Composants du Système Photovoltaïque

❖ Influence de la température sur les performances d'un panneau photovoltaïque

La température à laquelle est soumise un panneau influence son rendement et donc la puissance qu'il délivre.

En fait c'est surtout sur la tension que la température a une influence : plus la température est importante, plus la tension est basse. L'intensité quant-à-elle n'est que très peu impactée par la température. Le profil de la courbe se décale sur la gauche comme le graphique ci-dessous l'illustre.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES PERFORMANCES
D'UN PANNEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE



II.1.2. Le rendement d'un panneau photovoltaïque

Le rendement d'un panneau solaire correspond au rapport entre la quantité d'énergie produite par le panneau et la quantité d'énergie solaire qu'il reçoit.

Sur les fiches techniques des fabricants de panneaux solaires photovoltaïques on retrouve, en plus de la puissance en Wc et le rendement.

Le lien entre le rendement du panneau et sa puissance en Wc est le rapport entre la puissance en sortie et la puissance en entrée :

$$r = \frac{P_{mpp} \text{ (en Watt)} / \text{Surface (en m}^2\text{)}}{1000 \text{ (en Watt/m}^2\text{)}} \times 100 \quad \text{en \%}$$

Notons que les rendements des panneaux solaires photovoltaïques mono-faces conçus à partir de silicium cristallin commercialisés atteignent des rendements compris entre 11% et 20%.

II. Composants du Système Photovoltaïque

II.1.3. Le système de diodes by-pass d'un panneau photovoltaïque

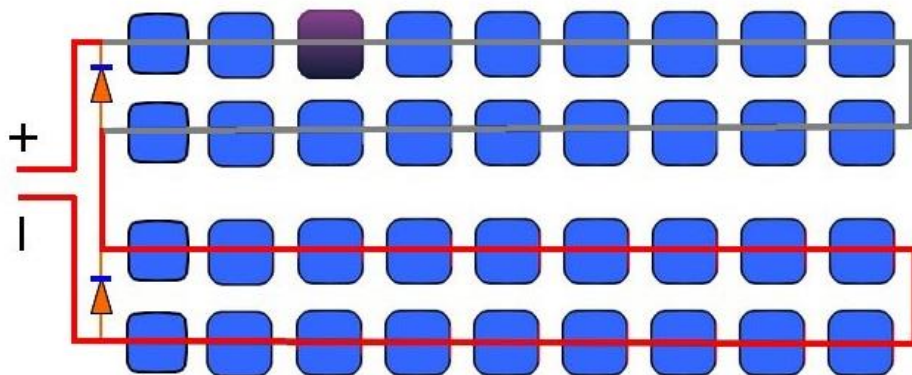
Pour les cellules d'un panneau photovoltaïque montées en série, si l'une d'entre-elles ne fonctionne pas, alors c'est l'ensemble du panneau qui ne fonctionne pas. En effet le courant ne pourra pas circuler entre les différentes cellules car « bloqué » par la cellule défaillante.

Cela peut se produire par exemple si une (ou plusieurs) cellule d'un panneau est ombragée, ou recouverte par des feuilles mortes par exemple.

Même si le dysfonctionnement de la cellule n'est pas total, mais que la puissance produite par la cellule est amoindrie par un encrassement par exemple (défection d'oiseau), alors toutes les cellules montées en série seront affectées. En effet c'est surtout son intensité I_{mpp} qui va être amoindrie et qui va ainsi dicter l' I_{mpp} de chacune des autres cellules car l'intensité d'un circuit en série est la même en tous points de ce circuit.

Pour diminuer les conséquences de tels phénomènes (qu'il faudra veiller à éviter les ombrages d'où une maintenance régulière de l'installation) les fabricants de panneaux solaires photovoltaïques mettent en œuvre des systèmes de diodes by-pass de sorte qu'une partie seulement du panneau soit affectée par ce phénomène. Ces systèmes offrent un parcours alternatif au courant qui peut ainsi "contourner" la ou les cellule(s) qui dysfonctionne(nt).

Le schéma ci-dessous illustre ce phénomène.



II.1.4. Les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

- Puissance instantanée délivrable en watt-crete (correspond aux conditions STC)
- Puissance maximale P_{mpp} (Maximum Power Point) en watt
- Rendement du panneau en %
- Tension correspondante à P_{mpp} notée V_{mpp} exprimée en Volt
- Courant correspondant à P_{mpp} notée I_{mpp} exprimée en Ampère
- Tension de circuit ouvert notée V_{co} exprimée en Volt
- Courant de court-circuit noté I_{cc} exprimé en Ampère
- Influence d'un écart de température par rapport à la température des conditions STC soit 25°C notée $Coef.f./T^{\circ}$
- Son poids en kg et ses dimensions (longueur et largeur en mètre).

II. Composants du Système Photovoltaïque

II.2. Le régulateur de charge solaire

Le régulateur de charge est la pierre angulaire d'une installation photovoltaïque autonome. Il est intermédiaire entre les panneaux solaires, les batteries et la charge, évitant ainsi la surcharge ou la décharge excessive.

Il a les fonctions suivantes :

- Réguler la tension pour l'adapter aux caractéristiques de la batterie et son niveau de charge
- Superviser l'installation
- Éviter le retour du courant vers les panneaux solaires la nuit (diode)

II.2.1. Les différents types de régulateurs solaires

Il existe 2 types de régulateurs solaires :

- **PWM** : (Pulse Wide Management) c'est la technologie de base d'un régulateur solaire. Son action ne consiste qu'à adapter la tension des panneaux solaires photovoltaïques à ses propres caractéristiques pour fournir aux batteries la tension de charge nécessaire. Il faut par conséquent choisir avec précaution les panneaux solaires et les batteries de sorte que leur tension (V_{mpp} pour les panneaux) soient compatibles avec le régulateur, au risque de perdre une partie importante du rendement de l'installation. Ce type de régulateur, peu coûteux, est adapté pour les petites installations.
- **MPPT** : C'est une technologie plus efficace que le PWM. En effet MPPT « Maximum Power Point Tracker » signifie que le régulateur va amener la tension et l'intensité des panneaux au plus près des V_{mpp} et I_{mpp} afin de tirer le maximum de puissance et convertir cette puissance en une tension compatible avec les batteries solaires et une intensité appropriée pour assurer un minimum de déperdition.

Les régulateurs solaires tiennent compte, plus ou moins bien selon les modèles, des caractéristiques des batteries solaires de sorte à respecter les consignes de charges liées à la technologie de ces batteries. De ce fait tous les régulateurs ne conviennent pas à toutes les batteries.

Par exemple certains régulateurs « bon marché » ne sont capables de gérer correctement que la charge des batteries solaires au plomb (AGM ou Gel par exemple). Les utiliser avec une batterie solaire au Lithium compromettrait très fortement la durée de vie de cette dernière.

II.2.2. Comment bien choisir un régulateur de charge solaire ?

Le régulateur de charge solaire occupe une place cruciale dans une installation photovoltaïque pour site isolée. Le bon fonctionnement de l'ensemble dépend fortement de ses performances. Il ne faut donc pas négliger la qualité de ce composant et ses fonctionnalités.

Les 4 principaux critères qui doivent guider votre choix sont :

❖ Le type de batterie que vous avez choisi

Pour qu'une batterie puisse être performante dans le temps, il faut que le régulateur de charge soit capable de :

- Suivre précisément son niveau de charge
- Ne pas la décharger plus que la profondeur de décharge (DOD) maximale
- La protéger contre la surintensité

II. Composants du Système Photovoltaïque

❖ La tension de la batterie ou du parc de batteries

Les régulateurs de charge ne peuvent gérer que les 3 tensions normalisées (12V, 24V et 48V) qu'on retrouve sur les parcs de batteries. De plus la tension du parc de batteries détermine la puissance max. de l'ensemble des panneaux solaires qui peuvent lui être raccordés.

❖ La puissance de l'ensemble des panneaux solaires auxquels il sera relié (Wc)

En effet les régulateurs de charge ont une limite de puissance (Wc) à ne pas dépasser.

❖ La tension maximale Voc ou Vmax de l'ensemble des panneaux solaires auxquels il sera relié (V)

Car les régulateurs de charge ont une limite de tension en entrée à ne pas dépasser.

II.3. Le convertisseur de tension

Le convertisseur de tension transforme le courant continu provenant des batteries, soit en courant continu (DC-DC) mais avec une tension fixe (12V ou 24V ou ...) si les appareils connectés utilisent du courant continu, soit en courant alternatif 230V (DC-AC).

II.3.1. Les différents types de convertisseurs de tension

A. Les convertisseurs DC-AC

Il existe 2 types de convertisseurs DC-AC selon la qualité du signal électrique de sortie :

Les convertisseurs à signal carré	Les convertisseurs à pseudo-sinus	Les convertisseurs pur sinus
<ul style="list-style-type: none">• Qualité du signal de sortie est médiocre,• Faible puissance (< 100 W),• Légers et compacts,• Tout appareil équipé d'un moteur ne fonctionnera pas	<ul style="list-style-type: none">• Signal proche d'une sinusoïdale et sa fréquence est relativement stable,• Faible puissance (de 50 à 2500 W),• Convient à quasiment n'importe quel récepteur	<ul style="list-style-type: none">• Signal sinusoïdal parfait similaire à celui du réseau• Puissance considérable• Se synchronise avec un réseau de distribution• Alimenter des appareils sensibles comme de l'informatique, de l'audio-visuel, ...

Il existe aussi des convertisseurs-chargeurs qui permettent de charger la batterie solaire avec une source de courant alternatif autre que les panneaux photovoltaïques comme par exemple un groupe électrogène ou le réseau.

II. Composants du Système Photovoltaïque

B. Les convertisseurs DC-DC

Ils adaptent le courant continu pour qu'il ait une tension stable égale à la tension paramétrée, celle qui convient aux appareils électriques qui lui seront connectés et ainsi leur assurer un fonctionnement optimal.

Les convertisseurs DC / DC sont un type d'alimentation qui prend des entrées typiques comme 12V, 24V, 48V, 110V, etc. et les convertit en différentes tensions comme 3,3, 5, ± 5 , 12, ± 12 , 15, ± 15 & 24V DC à différents niveaux de puissance.

II.3.2. Comment bien choisir un convertisseur ?

Voici les 5 principaux critères à prendre en compte pour bien choisir un convertisseur :

- ❖ **Type de courant de sortie** : alternatif ou continu
 - Si alternatif : quasi-sinus ou pur-sinus si des appareils sensibles (vidéo, hi-fi, multimédia, néons...) sont alimentés
 - Si continu : quelle tension de sortie ?
- ❖ **La plage de tensions** acceptés en entrée : doit être compatible avec la tension du parc de batterie
- ❖ **La puissance maximale de sortie** : doit être compatible avec la consommation instantanée prévue sur le circuit de consommation
- ❖ **La plage de température de fonctionnement** : doit être compatible avec les températures ambiantes min et max du lieu où il sera installé
- ❖ **Le rendement** : le prendre le plus élevé possible pour éviter les déperditions

II.4. Batterie d'accumulateurs

Une batterie d'accumulateurs, ou plus communément une batterie, est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirée. Elle permet de stocker l'énergie électrique sous forme chimique et de la restituer sous forme de courant continu, de manière contrôlée.

II.4.1. Types de batterie

Il existe quatre principaux types de batteries solaires utilisées pour stocker l'électricité produite par les installations photovoltaïques : la batterie au plomb ouvert, les batteries à électrolyte liquide (AGM et Gel) et la batterie lithium.

II. Composants du Système Photovoltaïque

	Lithium	Plomb ouvert	AGM	Gel
Durée de vie	<ul style="list-style-type: none"> Bonne durée de vie + 10 ans 6000 cycles 	<ul style="list-style-type: none"> Faible durée de vie (3-5 ans) 500 cycles 	<ul style="list-style-type: none"> Faible durée de vie (4 ans) 700 cycles 	<ul style="list-style-type: none"> Durée de vie moyennement bonne (6-10 ans) 1000 cycles
Valeur du produit	Cher, mais recyclable à 70%	Peu cher	Faible recyclage	Prix élevé
Polyvalence	Légère et compacte	Besoin d'entretien et dégageant de l'hydrogène	Sans entretien et étanche	Pas d'entretien et étanche
Profondeur de décharge	90%	60 et 80 %	80%	50 %
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> Meilleure option pour l'exploitation de l'énergie solaire par sa polyvalence et sa durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> Meilleur choix pour une utilisation hors réseau. Idéale pour l'énergie embarquée prévue pour une utilisation permanente. 	<ul style="list-style-type: none"> Meilleure option pour une source de secours Faite pour encaisser des pointes de courant. 	<ul style="list-style-type: none"> Option idéale pour une utilisation en site isolé ou camping-car. Conçue pour les décharges lentes

II.4.2. Comment bien choisir une batterie ?

Les considérations relatives au choix d'une batterie incluent évidemment le coût, mais aussi la durée de vie, la capacité de stockage et la profondeur de décharge.

❖ La capacité de stockage des batteries solaires

L'énergie stockée dans une batterie, appelée capacité de la batterie, est mesurée en ampères-heures (Ahr) ou en wattheures (Wh), en kilowattheures (kWh) obtenue en multipliant sa capacité et sa tension nominale. Elle détermine le volume d'énergie pouvant être emmagasinée par la batterie solaire puis redistribuée dans la maison.

❖ La profondeur de décharge de la batterie solaire

En fonction de la technologie utilisée, et afin de prolonger la durée de vie des batteries solaire, celles-ci ne se déchargent jamais complètement. C'est pourquoi les batteries sont largement "surdimensionnées" par rapport à l'installation en place, de façon à ce qu'elles ne se déchargent pas au-delà d'un certain seuil. Si ce seuil est donné par le fabricant à 50% par exemple, alors seulement 50% de la capacité de la batterie peut être utilisée, pas davantage. Cette méthode permet de mieux préserver les batteries solaires sur la durée.

II. Composants du Système Photovoltaïque

❖ L'espérance de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie est généralement évaluée en nombre de cycles qu'elle peut effectuer avant de ne plus être fonctionnelle, c'est-à-dire sa capacité à se charger et à se décharger. Chaque batterie réduira lentement sa capacité au fur et à mesure du temps qui passe puis de la profondeur quotidienne de décharge. Moins une batterie effectuera de cycles, moins elle s'usera rapidement. On estime qu'une batterie sera bientôt inefficace lorsqu'elle aura perdu environ 20% de sa capacité d'origine.

❖ La garantie

Les batteries en plomb disposent généralement d'une garantie biennale (2 ans) et les garanties les plus longues sont celles des batteries lithium qui vont jusqu'à 10 ans.

❖ Le coût

Le coût sera manifestement le facteur décisif dans votre prise de décision.

II.5. Les câbles solaires

Les câbles solaires sont utilisés pour la partie de l'installation qui véhicule le courant continu. Il s'agit donc des câbles qui relient les panneaux photovoltaïques à l'onduleur solaire ou aux régulateur et aux batteries.

L'intensité du courant qui les traverse est importante. Ils doivent donc avoir une section en rapport avec l'intensité et leur longueur.

En effet un câble a une résistivité (R) qui dépend de sa section et sa longueur. Si le R est trop important, alors l'effet joule (qui transforme le courant en chaleur) sera important. En plus du risque de surchauffe des câbles (incendie), vous risquez d'avoir une chute de tension, c'est-à-dire une tension en bout de câble inférieure à la tension en début de câble, ce qui peut perturber le fonctionnement de certains appareils et vous rendre non conforme avec la norme NF C 15-100 qui impose une chute de tension maximale de 3%.

La formule de calcul permettant de calculer une chute de tension en fonction de la tension, de l'intensité, de la section du câble et de sa longueur est la suivante:

$$S = \frac{\rho \times (L_+ + L_-) \times I_{mpp,tot}}{V_{mpp,tot} \times 3\%}$$

Pour ce qui est des unités : section S (mm^2), résistivité ρ ($\Omega mm^2/m$), longueurs L_+ et L_- (m), courant total $I_{mpp,tot}$ (A) et tension totale $V_{mpp,tot}$ (V)

Il existe des abaques plus rapide à utiliser pour choisir la section du câble en fonction de sa longueur et de l'intensité maximale qui va le traverser. L'intensité maximale sera à définir en fonction des I_{cc} (Intensité de Court-Circuit) des panneaux solaires photovoltaïques qu'il conviendra d'additionner ou non en fonction du branchement des panneaux entre eux : les intensités s'additionnent si les panneaux sont branchés en parallèle, mais pas s'ils sont en série.

NB : Pour des application résidentielles la section des câbles est généralement de $4mm^2$ ou $6mm^2$, car l'intensité est d'environ 10 A, et les longueurs entre 10 et 25m.

II. Composants du Système Photovoltaïque

II.6. Les connecteurs solaires

Les panneaux solaires photovoltaïques et autres composants en lien avec le circuit DC (courant continu) utilisent des connecteurs de type MC4. Ils donnent la possibilité de les manipuler sans entrer en contact avec la partie conductrice, ce qui est crucial car le risque d'électrocution avec du courant continu est plus important qu'avec du courant alternatif.

Ils offrent la possibilité d'utiliser des câbles de section jusque 6mm² et résistent à des températures jusque 90°C.



II.7. Les protections électriques pour installation solaire

II.7.1. Coffrets de protection

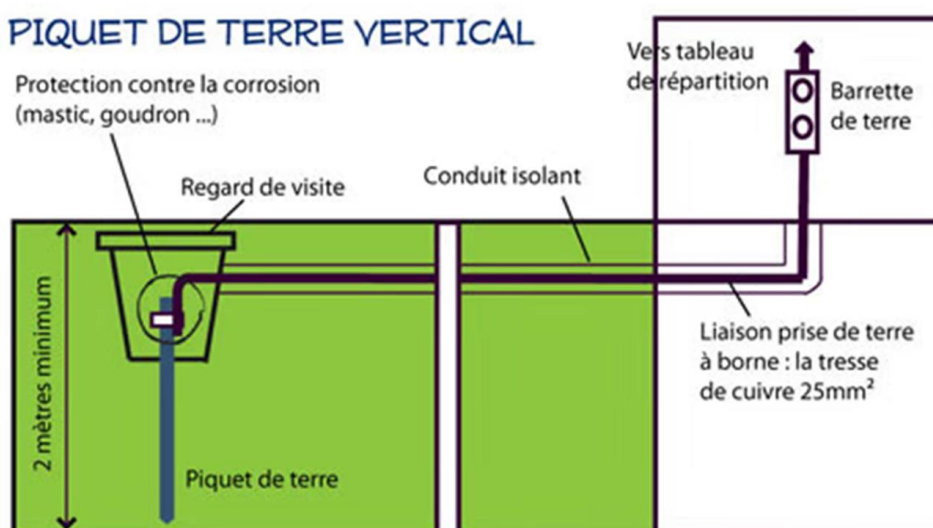
Un coffret de protection en amont de l'onduleur (coffret DC), un coffret de protection en aval de l'onduleur (coffret AC), et une mise à la terre de l'ensemble des panneaux des panneaux photovoltaïques.

Le coffret DC doit contenir un interrupteur-sectionneur général et le coffret AC doit contenir un interrupteur-sectionneur général et un disjoncteur différentiel 30mA.

II.7.2. La mise à la terre

Elle consiste à assurer une liaison conductrice entre tous les panneaux et le système de fixation, et de relier l'ensemble à une prise de terre. La liaison des panneaux avec le kit de fixation peut se faire soit en utilisant des griffes qui assurent le contact, soit des câbles de terre spécialement prévus à cet effet et des vis auto-foreuses.

La liaison entre l'ensemble et la prise de terre se fait ensuite avec un câble de terre, une cosse et des vis auto-foreuses.

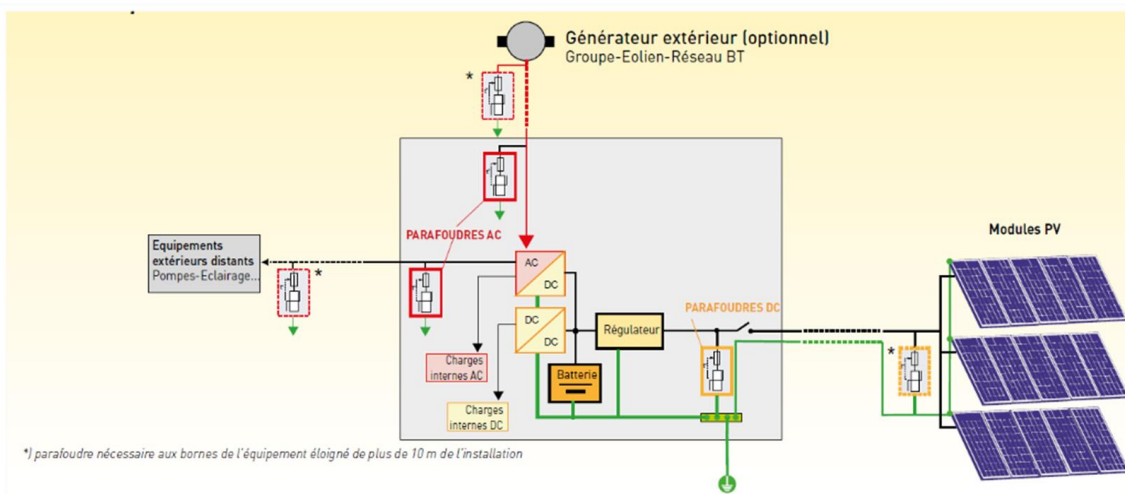


II. Composants du Système Photovoltaïque

La section minimale du câble à utiliser pour relier le champ de panneaux solaires photovoltaïques au coffret de protection est de 6 mm^2 , mais elle doit être plus importante si la distance qui sépare ces 2 éléments l'est. La liaison entre le coffret de protection et le tableau général doit aussi se faire avec cette section minimale de 6 mm^2 , sauf si le coffret de protection DC est équipé d'un parafoudre. Dans ce cas la section minimale est de 16 mm^2 .

II.7.3. Utilisation d'un parafoudre

La mise en œuvre d'un parafoudre sécurise votre installation contre la détérioration de votre matériel si votre habitation ou vos panneaux solaires venaient à être touchée par la foudre. Il faut ajouter un parafoudre dans tous les coffrets (côté AC et DC) que vous utiliserez pour protéger votre installation.



II.7.4. Utilisation de paratonnerre

Les paratonnerres sont des dispositifs de protection contre la foudre, installés sur les structures pour détourner les décharges électriques vers la terre, évitant ainsi des dommages matériels et assurant la sécurité des occupants.

Dans certains cas, selon le niveau kéraunique de la zone dans laquelle se trouve l'installation, il est obligatoire d'utiliser les parafoudres surtout en cas de présence d'un paratonnerre ou si $Ng > 2,5$.



Paratonnerre à dispositif d'amorçage



Paratonnerre à tige simple

II. Composants du Système Photovoltaïque

QUIZ 2

1. Quelles sont les conditions standard pour mesurer la puissance d'un panneau photovoltaïque
 - a) Ensoleillement maximal de 500 W/m^2 , température du panneau de 20°C , coefficient Air-Masse de 2,5
 - b) Ensoleillement maximal de 1500 W/m^2 , température du panneau de 30°C , coefficient Air-Masse de 1,5
 - c) Ensoleillement maximal de 100 W/m^2 , température du panneau de 25°C , coefficient Air-Masse de 2,5
 - d) Ensoleillement instantané de 1000 W/m^2 , température du panneau de 25°C , coefficient Air-Masse de 1,5
2. En ce qui concerne le rôle du régulateur de charge dans un système photovoltaïque, laquelle de ces propositions est fausse ?
 - a) Réguler la tension pour l'adapter aux caractéristiques de la batterie et son niveau de charge
 - b) Augmenter la puissance produite par les panneaux solaires
 - c) Contrôler le courant vers la batterie pour éviter la surcharge ou la décharge excessive
 - d) Éviter le retour du courant vers les panneaux solaires la nuit
3. Laquelle(lesquelles) de ces propositions est(sont) vraie(s) ?
 - a) Le courant produit par les panneaux solaires varie proportionnellement avec l'ensoleillement et non avec la température à laquelle ils sont exposés,
 - b) Si la température augmente la tension en circuit ouvert des panneaux solaires augmente également,
 - c) Le rendement d'un panneau solaire ne dépend pas des matériaux qui constituent ses cellules photovoltaïques,
 - d) Le système des diodes by-pass évite le risque de détérioration du panneau solaire en cas de fort ensoleillement.
4. Quelle est la principale différence fonctionnelle et technologique entre les régulateurs solaires PWM et MPPT ?
 - a) Leur possibilité de suivi à distance
 - b) Leur capacité à gérer les court-circuits dans l'installation
 - c) Leur efficacité à tirer le maximum de puissance des panneaux solaires
 - d) Leur compatibilité avec certains types de batteries solaires

II. Composants du Système Photovoltaïque

QUIZ 2

5. Lors du choix d'un régulateur solaire l'une des propositions suivantes n'est pas nécessaire :
- a) Le type de batterie
 - b) La tension du champ solaire
 - c) Le courant maximal de charge des batteries
 - d) La puissance crête totale du champ solaire
 - e) Le pouvoir de coupure lorsque la batterie est pleine
6. Quel type d'appareil ne fonctionnera pas correctement avec un convertisseur à signal pseudo-sinus ?
- a) Fer à repasser
 - b) Appareils de multimédia
 - c) Tout appareil équipé d'un moteur
 - d) Lampes à LED
7. Quelle est l'une des caractéristiques des convertisseurs pur sinus ?
- a) Faible puissance (< 500 W)
 - b) Signal carré parfait
 - c) Signal similaire à celui du réseau
 - d) Ne convient qu'aux appareils de chauffage
8. Les critères suivants interviennent lors du choix d'une batterie à l'exception de :
- a) Sa capacité de stockage
 - b) Sa profondeur de décharge
 - c) Son courant de court-circuit
 - d) Sa tension nominale
9. Lequel des types de batteries est idéal en site isolé et pour les décharges lentes ?
- a) Lithium
 - b) Plomb ouvert
 - c) AGM
 - d) Gel

III. Types de Système Photovoltaïque

Explorez les différents types de systèmes photovoltaïques est essentiel pour choisir la solution la plus adaptée aux besoins énergétiques, à l'emplacement géographique et aux contraintes budgétaires.



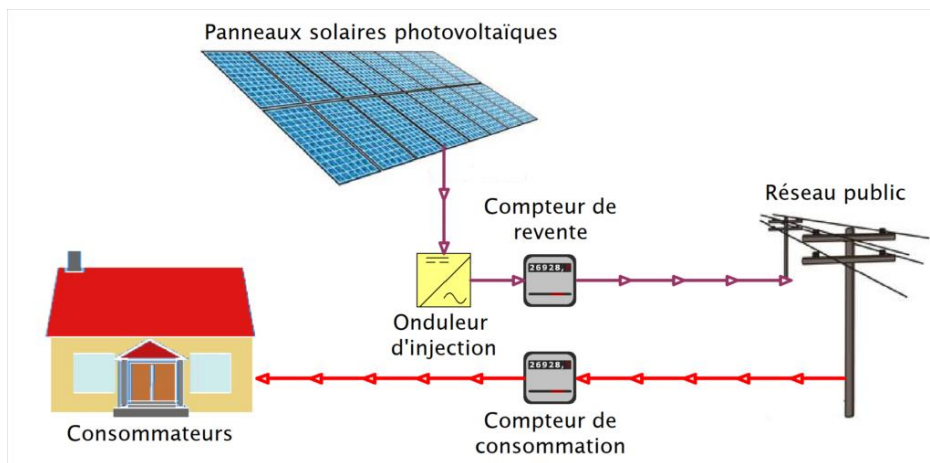
III. Types de Système Photovoltaïque

III.1. Le solaire en injection réseau

Toutes ces architectures ont pour commun la nécessité d'être raccordé à un réseau public fiable et permanent. On ne parle pas là d'autonomie, de sites isolés ou de backup. C'est ce type de famille qui est le plus répandus dans les pays développés comme la France. C'est par contre beaucoup plus rare, voir techniquement incompatible pour la plupart des pays d'Afrique.

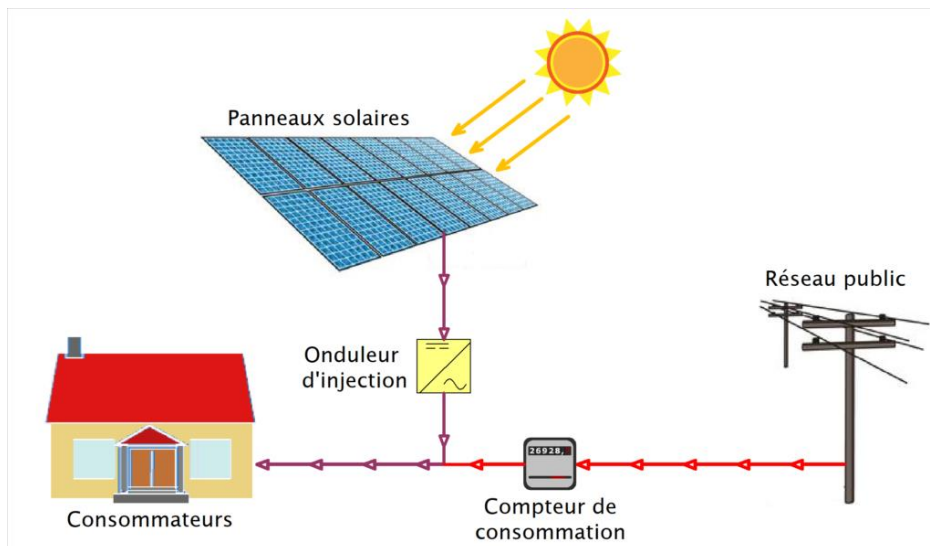
III.1.1. Solaire photovoltaïque en injection réseau pour la revente d'électricité

Les panneaux solaire produisent une énergie qui est revendue au fournisseur d'électricité public. La production est comptabilisé séparément de la consommation au travers d'un compteur dédié.



III.1.2. Solaire photovoltaïque en autoconsommation directe

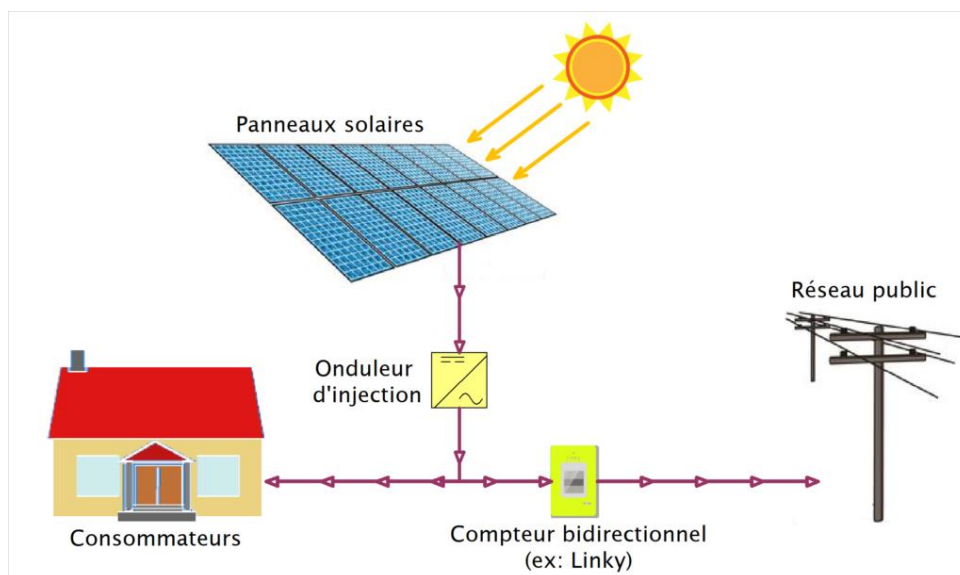
La baisse des prix des panneaux solaire photovoltaïques et la hausse continue du prix de l'électricité ouvre la voie à un nouveau mode d'utilisation. La production d'énergie en provenance des panneaux solaire n'est plus injectée dans le réseau public pour en tirer un revenu, mais est injectée dans le réseau de l'utilisateur pour diminuer sa consommation chez le fournisseur public.



III. Types de Système Photovoltaïque

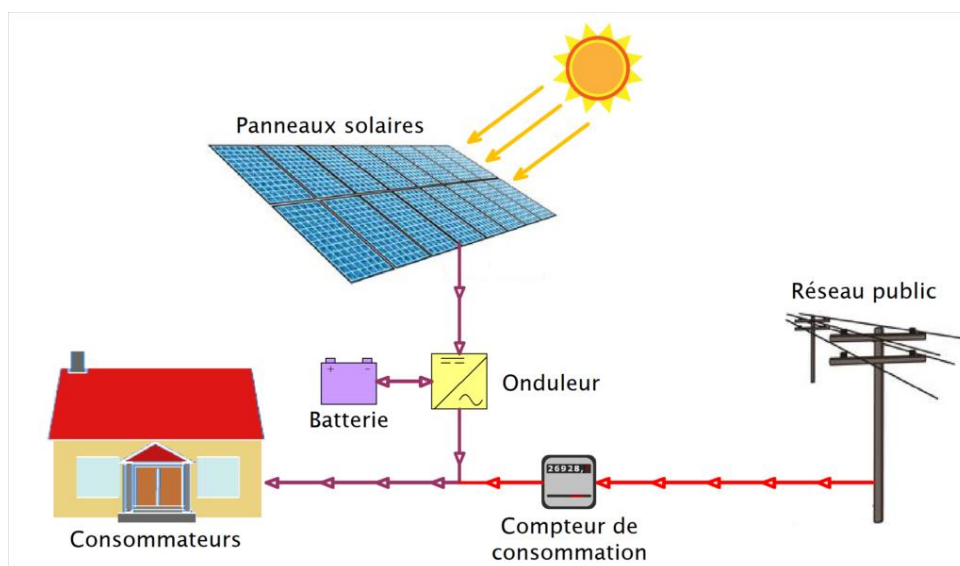
III.1.3. Solaire photovoltaïque en autoconsommation avec revente du surplus

En autoconsommation directe tout la production solaire qui n'est pas consommé à l'instant T par l'utilisateur repart gratuitement vers le réseau public. Afin de remédier à ça, certains pays, dont la France en 2017, ont mis en place la possibilité à l'utilisateur de revendre à EDF le surplus de production solaire.



III.1.4. Solaire photovoltaïque en autoconsommation avec stockage du surplus

C'est une autre façon de limiter la réinjection gratuite du surplus dans le réseau. Cette fois la production solaire qui n'est pas consommée en direct sera stockée dans une batterie pour une utilisation en soirée.



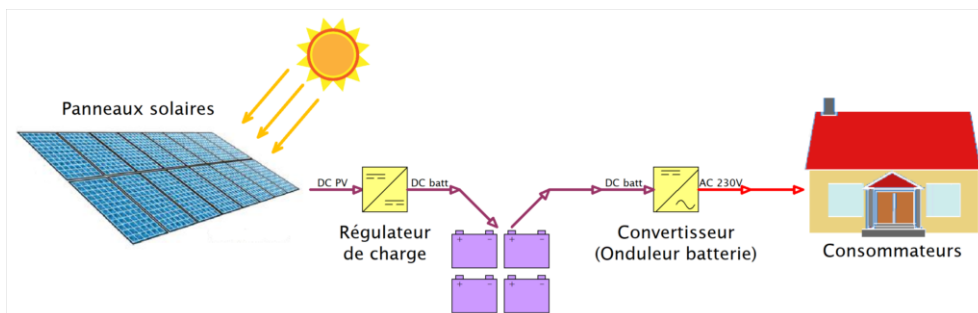
III. Types de Système Photovoltaïque

III.2. Le solaire en site isolé / offgrid

Cette série d'architecture concerne l'électrification autonome de sites isolés, non reliés au réseau public. La source d'énergie principale est le solaire qui peut être complétée par une source tierce.

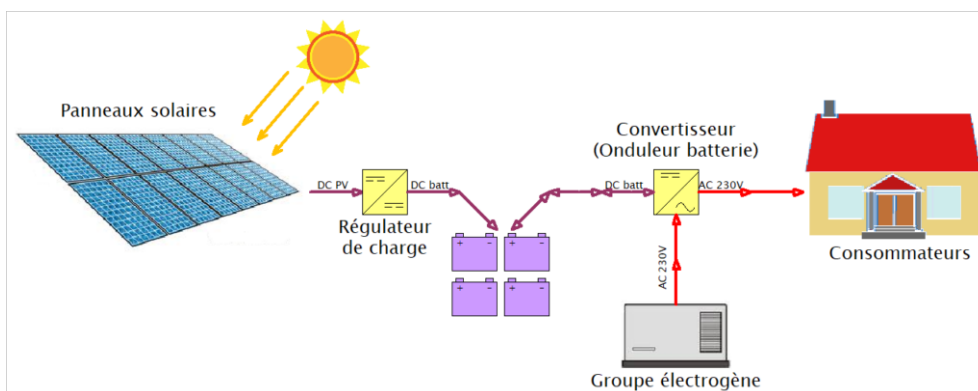
III.2.1. Solaire photovoltaïque autonome en site isolé

C'est l'architecture de base pour l'électrification de tout site isolé. Les panneaux solaire produisent la journée une quantité suffisante d'énergie pour couvrir les besoins de la journée et de la nuit. L'énergie est stockée dans des batteries pour être restituée à tout moment. Le régulateur de charge gère la recharge des batteries et le convertisseur transforme le courant continu des batteries en courant alternatif 230V.



III.2.2. Solaire photovoltaïque hybride en site isolé

Pour les applications plus importantes, ou d'une manière générale lorsqu'il y a des saisons à faible ensoleillement, il est préférable de prévoir un groupe électrogène en appui du solaire. On parle alors d'installation solaire hybride. Le concepteur dimensionnera de telle façon que la plupart du temps le groupe électrogène ne soit pas sollicité, mais s'appuiera sur celui-ci, une ou deux heures par jour au creux des mauvaises saisons (hiver en Europe, saison des pluies en zone tropicale, ...). Ceci permet d'éviter de surdimensionner une installation pour quelques semaines difficiles. La présence d'un groupe électrogène permettra également d'alimenter certains consommateurs de forte puissance mais rarement utilisés sans avoir investi dans un convertisseur puissant.



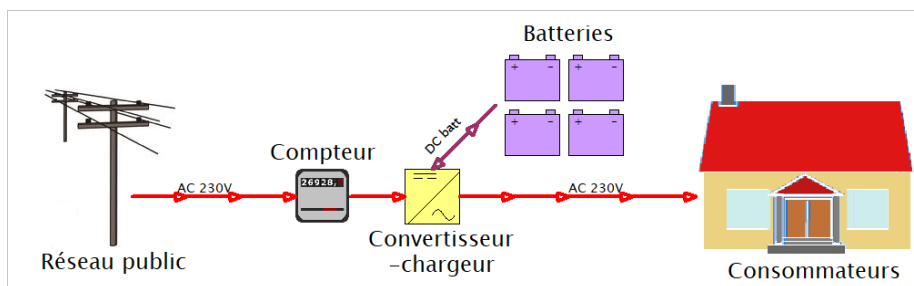
III. Types de Système Photovoltaïque

III.3. Les kits backup ou secours pour les coupures de réseau

Dans certains pays le réseau public est très instable. Les coupures sont fréquente lié à l'insuffisance de capacité de production ou la vétusté du réseau de distribution. C'est vrai pour beaucoup de zones urbaines d'Afrique sub-saharienne. Ces coupures fréquentes sont problématiques pour les usagers tant professionnels qu'individuels. L'emploi de groupes électrogènes est une solution couteuse et inconfortable. Les kits solaire de badgrid sont une solution beaucoup plus confortable.

III.3.1. Pour les coupures courtes, sans panneaux solaire

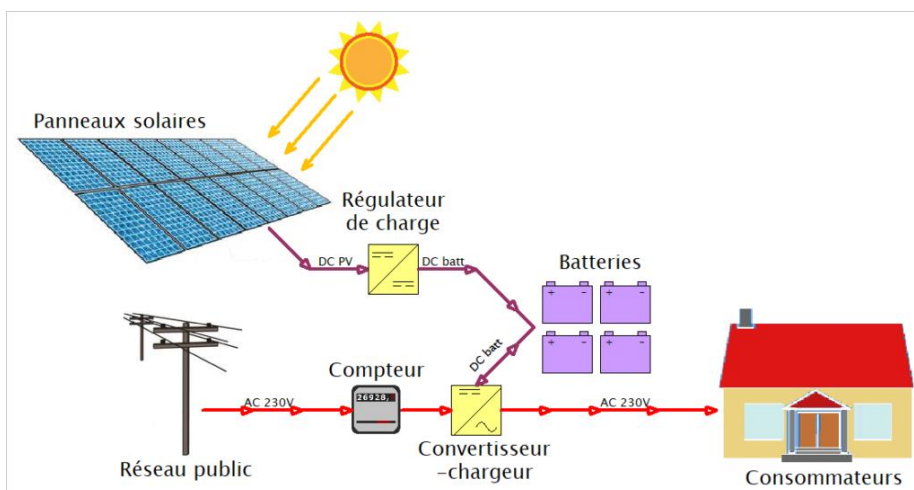
Lorsque les coupures du réseau public sont courtes, il n'est pas nécessaire de mettre des panneaux solaire. Un simple système sur batteries est suffisant. On utilise alors un convertisseur-chargeur qui gère de manière intelligente et réactive les différentes situations. Quand le réseau est présent, il connecte sa sortie sur le réseau et recharge les batteries. Une fois les batteries pleine il les maintien en charge. Dès l'apparition d'une coupure occasionnelle sur le réseau, il bascule automatiquement sur la batterie et continu d'alimenter la sortie. Dans cette configuration c'est la taille de la batterie qui fait l'autonomie



III.3.2. Pour les coupures longues, avec panneaux solaire

S'il y a parfois des coupures longues, s'il faut rester en autonomie plusieurs jours, la taille du parc batterie deviendrait trop importante. Dans ce cas le rajout de panneaux solaire devient intéressant. La production d'énergie quotidienne ralentira la décharge des batteries et augmentera l'autonomie jusqu'au prochain retour du réseau public.

Il s'agit de fait d'un système solaire hybride, non pas couplé avec un groupe électrogène comme sur un site isolé, mais couplé avec le réseau public.



III. Types de Système Photovoltaïque

III.4. Tableau comparatif des systèmes PV

Type de système PV	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Autonomes (Off-Grid)	<ul style="list-style-type: none">• Fonctionnent indépendamment du réseau électrique.• Utilisent des batteries pour stocker l'énergie.	<ul style="list-style-type: none">• Idéal pour les zones éloignées sans accès au réseau électrique• Autonomie énergétique totale.	<ul style="list-style-type: none">• Coût initial élevé en raison des batteries.• Nécessite un dimensionnement précis pour éviter les pannes.
Connectés au réseau (On-Grid)	<ul style="list-style-type: none">• Connectés au réseau électrique.• Ne nécessitent pas de stockage par batterie.• Surplus d'énergie vendu au réseau.	<ul style="list-style-type: none">• Coût initial plus bas car pas besoin de batteries.• Possibilité de vendre l'excédent d'énergie au réseau.	<ul style="list-style-type: none">• Pas d'autonomie en cas de coupure de courant.• Dépendance au réseau électrique.
Hybrides (Bad-Grid)	<ul style="list-style-type: none">• Combinaison de systèmes on-grid et off-grid.• Utilisent des batteries et sont connectés au réseau.	<ul style="list-style-type: none">• Autonomie en cas de coupure de courant.• Flexibilité dans la gestion de l'énergie.	<ul style="list-style-type: none">• Coût initial élevé en raison des batteries et de l'onduleur hybride.• Complexité d'installation.

III. Types de Système Photovoltaïque

QUIZ 3

1. Quel est le principal avantage d'un système photovoltaïque connecté au réseau ?
 - a) Il permet de vendre l'électricité excédentaire à un fournisseur d'électricité
 - b) Il est moins coûteux à installer
 - c) Il est totalement indépendant du réseau électrique
 - d) Il fonctionne même en cas de panne du réseau électrique
2. Quel est le principal inconvénient d'un système photovoltaïque autonome ?
 - a) Il nécessite des batteries coûteuses pour stocker l'électricité
 - b) Il est moins fiable que les systèmes connectés au réseau
 - c) Il dépend entièrement des conditions météorologiques
 - d) Il nécessite un grand espace pour installer les panneaux solaires
3. Quel est le principal avantage d'un système photovoltaïque hybride ?
 - a) Il est moins cher à installer qu'un système autonome
 - b) Il combine les avantages des systèmes connectés au réseau et des systèmes autonomes.
 - c) Il peut fonctionner sans batteries
 - d) Il est plus facile à intégrer dans les bâtiments existants
4. Pourquoi l'énergie solaire en site isolé / off-grid utilise-t-elle souvent des batteries ?
 - a) Pour convertir l'électricité produite par les panneaux solaires en courant électrique
 - b) Pour stocker l'électricité produite par les panneaux solaires pour une utilisation ultérieure
 - c) Pour stocker l'électricité du réseau électrique pendant la phase de charge.
 - d) Pour augmenter la puissance des panneaux solaires dans toutes les conditions météo
5. Quel est le principal défi de l'utilisation de l'énergie solaire en site isolé / off-grid ?
 - a) La nécessité de disposer d'un grand espace pour les panneaux solaire
 - b) La dépendance aux conditions météorologiques
 - c) La difficulté à trouver des fournisseurs de panneaux solaires
 - d) La nécessité de stocker l'électricité pour une utilisation continue
6. Quel est l'un des avantages de l'injection réseau pour la revente d'électricité solaire ?
 - a) Elle est moins coûteuse que l'installation de systèmes solaires autonomes
 - b) Elle permet d'obtenir une indépendance énergétique totale
 - c) Elle garantit une alimentation électrique stable en cas de conditions météorologiques défavorables
 - d) Elle permet de bénéficier de tarifs de rachat avantageux pour l'électricité solaire produite
7. Quel type de compteur est généralement installé pour mesurer l'électricité solaire injectée dans le réseau ?
 - a) Un compteur électromécanique
 - b) Un compteur intelligent
 - c) Un compteur à gaz
 - d) Un compteur bidirectionnel

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

Explorez en profondeur les différents aspects à prendre en compte lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque, en mettant l'accent sur les techniques, les outils et les calculs nécessaires pour optimiser les performances du système.



IV. Dimensionnement des Systèmes PV

La conception d'un système photovoltaïque nécessite une planification précise et la prise en compte de différents facteurs, notamment :

IV.1. Analyse du site

IV.1.1. Ombrage

Identifiez d'éventuels obstacles tels que des arbres ou des bâtiments pouvant causer des ombrages sur les panneaux photovoltaïques.

IV.1.2. Localisation géographique

Évaluez l'emplacement du site pour déterminer l'exposition au soleil et la quantité de rayonnement solaire disponible.

Pour ce faire, l'utilisation d'un logiciel dédié (par exemple GAISMA) s'avère le moyen efficace pour déterminer tous les paramètres météorologiques qui entrent en jeu lors de l'évaluation du potentiel énergétique d'un lieu.

Utilisation du logiciel GAISMA

GAISMA est une plateforme gratuite en ligne qui fournit des heures au lever, au coucher du soleil, au crépuscule et à l'aube pour des milliers d'endroits partout dans le monde. Les données solaires sont présentées sous forme de tableau pour les dates et le graphique pour l'ensemble de l'année. Épargne de jour possible les temps sont pris en compte.

Pour y avoir accès , il suffit de mettre le lien suivant www.gaisma.com dans un navigateur donné:



Après cliquez sur **Lieux d'implantation** afin de choisir le lieu du site qui abritera du champ solaire

World - Sunrise, sunset, dawn and dusk times

- [Africa](#)
- [Americas](#)
- [Antarctica](#)
- [Asia](#)
- [Europe](#)
- [Oceania](#)

World, Africa - Sunrise, sunset, dawn and dusk times

- [Algeria](#)
- [Angola](#)
- [Benin](#)
- [Botswana](#)
- [Burkina Faso](#)
- [Burundi](#)
- [Cameroon](#)
- [Cape Verde](#)
- [Central African Republic](#)
- [Chad](#)
- [Comoros](#)
- [Congo - Brazzaville](#)
- [Congo - Kinshasa](#)

World, Africa, Middle Africa, Congo - Kinshasa - Sunrise, sunset, dawn and dusk times

- | By name | By size | By latitude | By longitude |
|---------|---------|-------------|--------------|
|---------|---------|-------------|--------------|

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

En suite après avoir choisi la ville dans laquelle le site sera implantée, voici certaines données capitales à exploiter. Dans ce cas présent pour la ville de Goma à l'Est de la RDCongo.

Goma, Congo - Kinshasa - Lever, coucher du soleil, heure de l'aube et du crépuscule, table

Avenir		Passé							
Date	Lever du soleil	Coucher d'extinction	Longueur	Changement	Aube	Dusk	Longueur	Changement	
Aujourd'hui	06:01	18 h 05	12 h 04		05:40	18 h 26	12:46		
1 jour	06:01	18 h 05	12 h 04	00:00 Longueur égale	05:40	18 h 26	12:46	00:00 Longueur égale	
1 semaine	06:00	18:03	12:03	00:01 plus courte	05:39	18:25	12:46	00:00 Longueur égale	
2 semaines	05:59	18:02	12:03	00:01 plus courte	05:37	18 h 23	12:46	00:00 Longueur égale	
1 mois	05:58	18:01	12:03	00:01 plus courte	05:36	18 h 23	12:47	00:01 plus longtemps	
2 mois	06:03	18:04	12:01	00:03 plus court	05:40	18:27	12:47	00:01 plus longtemps	
3 mois	06:08	18 h 10	12:02	00:02 plus courte	05:46	18:32	12:46	00:00 Longueur égale	
6 mois	05:45	17:53	12:08	00:04 plus longtemps	05:24	18:14	12:50	00:04 plus longtemps	

Notes : Temps d'été, Le lendemain. Modifier [les préférences](#).

► Ce tableau permet de déterminer l'heure de lever du soleil et celle de coucher du soleil ainsi déduire le temps qui correspond au temps de fonctionnement des panneaux solaires. Ici ce temps équivaut en moyenne à **12 heures** durée pendant laquelle les panneaux solaires sont soumis aux rayonnements du soleil.

Goma, Congo - Kinshasa - Énergie solaire et météorologie de surface

Variable	I	II	III	IV	V	VI.	VII.	VIII	IX	X	XI	XII
Insolation, kWh/m2/jour	4.53	4,75	4.65	4.55	4,48	4.56	4.66	4,61	4.69	4.34	4.28	4.37
Éclairs, 0 - 1	0,44	0,45	0,44	0,45	0,47	0,50	0,51	0,47	0,46	0,42	0,42	0,44
Température, C°	19.73	20.57	20.20	19.72	20.91	21.36	21.47	22.02	21.35	19.61	19.04	19.12
Régime du vent, m/s	2.57	2,71	2,50	2.35	2,74	3.29	2,99	2.86	2.51	2.24	2.08	2.05
Précipitation, mm	114	95	111	142	133	46	28	65	116	152	146	119
Jours d'été, d	16.1	16.0	18,9	21.5	16,8	6.5	4.8	7.4	13.9	19.0	21.7	18.8

Ces données ont été obtenues auprès du Centre de données de la NASA Langley Research Center Atmospheric Science; New et al. 2002
Notes : [Aide](#), Modifier [les préférences](#).

[Gaisma Planet](#) - Visualiseur interactif de l'imagerie climatique et de l'environnement

► Ce tableau permet de déterminer l'énergie solaire, la température, etc, cependant l'insolation (irradiance) est la donnée captive la plus et qui sera utilisée dans le dimensionnement du système. Elle est indiquée ici par mois ainsi la valeur exploitable est la plus faible de toutes pour éviter le sousdimensionnement du système. Pour la ville de Goma : **4,28** est l'irradiance correspondante et sera utilisée dans les calculs.

IV.2. Dimensionnement du système

IV.2.1. Bilan énergétique

Faire un bilan des besoins énergétiques pour dimensionner une installation solaire implique plusieurs étapes méthodiques afin de garantir que le système solaire conçu répondra adéquatement aux besoins énergétiques. Voici les étapes principales :

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

a. Liste des Appareils Électriques

Identifiez tous les appareils électriques qui seront alimentés par l'installation solaire. Notez pour chaque appareil les éléments suivants :

- Puissance (en watts)
- Durée d'utilisation quotidienne (en heures)

b. Calcul de la Consommation Énergétique

Pour chaque appareil, calculez la consommation énergétique quotidienne :

Consommation quotidienne (Wh)=Puissance (W)×Durée d'utilisation quotidienne (h).

Additionnez la consommation quotidienne de tous les appareils pour obtenir la consommation énergétique totale quotidienne.

Le coefficient de simultanéité est défini comme le rapport entre la puissance maximale réellement demandée par l'ensemble des appareils électriques et la somme des puissances nominales individuelles de ces appareils.

Dans le contexte de dimensionnement d'une installation solaire, le coefficient de simultanéité permet de réduire la puissance totale à installer, rendant ainsi le système plus économique et mieux adapté à la consommation réelle.

Appareils	Pce Unitaire (W)	Qté	Pce Continue (W)	Pce Démarrage (W)	Durée (en h)	Energie Consommée (Wh)
Lampes LED intérieur	5	10	50	50	6	300
Lampes LED extérieur	10	4	40	40	12	480
Télévision LCD	60	1	60	60	16	960
Téléphones	6	5	30	30	2	60
Réfrigérateur	500	1	500	2000	12	6000
Ventilateur DC	50	1	50	200	10	500
Fer à repasser	1500	1	1500	1500	1	1500
Cuisinière	1000	1	1000	1000	4	4000
Total			3230	4880		13800
Coefficient de simultanéité	0,9					
Demande journalière en énergie électrique : $W_j = P_1 \times \text{Quantité} \times \text{heure} \times \text{Coeff}$						12420

IV.2.2. Dimensionnement des panneaux PV

Le dimensionnement des panneaux solaires est une étape cruciale pour assurer que l'installation solaire répond adéquatement aux besoins énergétiques de l'utilisateur. Voici un guide détaillé pour dimensionner correctement les panneaux solaires :

a. Déterminez l'insolation moyenne de votre emplacement

L'insolation est généralement mesurée (kW/m²/jour). Vous pouvez obtenir ces données à partir de sources météorologiques locales ou de bases de données en ligne par le logiciel gratuit sur internet « **Gaisma** ».

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

b. Calcul de la puissance totale

La puissance totale nécessaire des panneaux solaires (en watts-crête, W_c) est donnée par :

$$\text{Calcul de la puissance crête : } P_c = \frac{W_j}{I_r \times k}$$

Avec : Besoin énergétique journalier : $W_j = 12420 \text{ Wh}$

Irradiance : $I_r = 4,28 \text{ kWh/mètre-carré/jour}$

Coefficient de pertes : $k = 0,765$

D'où la puissance crête calculée : $P_c = 3793,29302 \text{ Wc}$

c. Sélection des panneaux solaires

Les panneaux solaires ont différentes puissances nominales (par exemple, 250W, 300W, 400W, etc). Choisissez le type de panneau en fonction de la puissance totale calculée.

Puissance unitaire d'un panneau (Choisie en fonction de la disponibilité) : $P_u = 400 \text{ W}$

Le nombre de panneaux nécessaires est donné par :

$$\text{Calcul du nombre total de panneaux : } N_t = \frac{P_c}{P_u} = 10 \text{ Panneaux}$$

Calcul du nombre de panneaux en série : $N_s = \frac{V_{ch}}{V_{co}}$ Avec V_{ch} : Tension du champ solaire

V_{co} : Tension à vide d'un panneau

Calcul du nombre de strings en parallèle : $N_p = \frac{N_t}{N_s}$

IV.2.3. Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement du régulateur de charge est une étape essentielle pour assurer que le système solaire fonctionne efficacement et en toute sécurité. Voici un guide pour dimensionner correctement le régulateur de charge :

a. Courant du régulateur de charge

Le régulateur de charge doit être capable de gérer le courant maximum produit par les panneaux solaires. Cela dépend de la puissance des panneaux et de la tension du système.

Calcul de l'intensité maximale supportable par le régulateur : $I_{reg} > \frac{P}{V_s} > I_{cc} \times N_p \times 1,2$

b. Tension du Régulateur de Charge

Le régulateur de charge doit être compatible avec la tension du système (12V, 24V, 48V) et la tension du champ solaire (23V, 55V, 75V, 150V, 250V, 450V).

Calcul de la tension admissible par le régulateur : $V_{reg} > V_{co} \times N_s \times 1,1$

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

c. Type de régulateur de charge

- **Régulateurs PWM (Pulse Width Modulation)** : Moins chers, adaptés pour les petites installations.
- **Régulateurs MPPT (Maximum Power Point Tracking)** : Plus efficaces, surtout pour les grandes installations, car ils maximisent l'énergie extraite des panneaux solaires.

Choix du régulateur		
Tension max	23 - 55V	75 - 100 - 150 - 250 - 450V
Puissance max	< 1500 W	> 1500 W
Type du régulateur	PWM	MPPT

IV.2.4. Choix de la tension du système

Le choix de la tension du système est une étape importante dans la conception d'une installation solaire photovoltaïque. La tension du système peut affecter l'efficacité, le coût et la sécurité de l'installation.

Les systèmes solaires résidentiels et commerciaux courants utilisent généralement des tensions de : 12 V, 24 V et 48 V.

Chaque option a ses avantages et ses inconvénients, et le choix dépend principalement des exigences suivantes :

a. Taille de l'installation

- **Petites installations (jusqu'à 1 kW)** : Les systèmes de 12V sont souvent suffisants pour les petites installations, telles que les cabanes ou les petites maisons.
- **Installations moyennes (1 à 2 kW)** : Les systèmes de 24V sont généralement plus efficaces pour les installations de taille moyenne.
- **Grandes installations (plus de 2 kW)** : Les systèmes de 48V sont recommandés pour les grandes installations afin de réduire les pertes de transmission et d'améliorer l'efficacité.

b. Courant et pertes de transmission

Une tension plus élevée permet de réduire le courant pour une même puissance, ce qui diminue les pertes dans les câbles et permet l'utilisation de câbles de section plus petite. Cela peut réduire les coûts et améliorer l'efficacité globale du système.

c. Compatibilité des composants

Assurez-vous que tous les composants du système (panneaux solaires, régulateurs de charge, batteries, onduleurs) sont compatibles avec la tension choisie.

d. Sécurité

Les tensions plus élevées peuvent présenter des risques accrus de choc électrique et nécessiter des précautions supplémentaires en matière de sécurité.

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

IV.2.5. Dimensionnement de la batterie

Le dimensionnement des batteries est une étape très importante dans la conception d'un système solaire photovoltaïque, car il détermine la capacité de stockage d'énergie et l'autonomie du système. Il est nécessaire de déterminer tout d'abord la consommation journalière en suite définir l'autonomie du système.

L'autonomie est le nombre de jours pendant lesquels le système doit fonctionner sans soleil (jours nuageux ou pluvieux). Par exemple, si vous souhaitez avoir une autonomie de 3 jours:

$$\text{Énergie nécessaire} = \text{Consommation journalière} \times \text{Autonomie (Nombre des jours)}$$

Les batteries ont une profondeur de décharge recommandée qui affecte leur durée de vie. Par exemple, pour des batteries plomb-acide, une DoD de 50% est souvent recommandée :

Caractéristiques de batterie disponible	
Modèle	GoPower GEL
Tension de batterie : V	12V
Capacité de batterie : C	220Ah
Autonomie de batterie : A	1,5Jour
Rendement de batterie : r	85%
Deep of Discharge : DoD	50%
State of Charge : SoC	50%

Calcul de la capacité totale du parc des batteries :
$$C_t = \frac{W_j \times A}{V_s \times DoD \times r}$$

Nombre de batteries en série :
$$N_{bs} = \frac{V_s}{V}$$

Nombre de blocs de batteries en parallèle :
$$N_{bp} = \frac{C_t}{C}$$

Nombre total de batteries :
$$N_{bt} = N_{bs} \times N_{bp}$$

La sélection du type des batteries va dépendre des plusieurs éléments en fonction des besoins énergétiques et du potentiel budgétaire. Comparatif des types des batteries :

- **Batteries Plomb-Acide** : Couramment utilisées, moins chères mais plus lourdes et nécessitent un entretien régulier.
- **Batteries AGM (Absorbent Glass Mat) ou Gel** : Moins d'entretien, plus sûres et plus efficaces que les batteries plomb-acide ordinaires.
- **Batteries Lithium-Ion** : Plus coûteuses mais plus légères, plus efficaces avec une DoD plus élevée (jusqu'à 80-90%).

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

IV.2.6. Dimensionnement du convertisseur

Dimensionner un convertisseur (ou onduleur) pour une installation solaire implique plusieurs étapes pour s'assurer que le convertisseur peut gérer la charge électrique requise et fonctionner efficacement avec votre système de batteries et panneaux solaires. Voici les étapes détaillées pour dimensionner correctement un convertisseur pour une installation solaire de 4000W :

a. Déterminer la Puissance Continue et la Puissance de Pointe

- Puissance Continue (W) : C'est la puissance que le convertisseur doit fournir en permanence. Dans votre cas, c'est 4000W.
- Puissance de Pointe (W) : Certains appareils ont des courants de démarrage élevés (par exemple, les moteurs, les réfrigérateurs). Le convertisseur doit pouvoir gérer ces pointes. Une règle générale est de dimensionner la puissance de pointe à environ 1,5 à 2 fois la puissance continue. Donc pour 4000W continue, la puissance de pointe serait entre 6000W et 8000W.

b. Choisir la Tension du Système de Batterie

Assurez-vous que le convertisseur est compatible avec la tension de votre système de batterie (12V, 24V ou 48V).

- 12V Système : Utilisé pour des installations de petite taille, mais non recommandé pour 4000W en raison des courants élevés impliqués.
- 24V Système : Plus adapté pour des installations moyennes.
- 48V Système : Idéal pour des installations de grande taille comme la vôtre, car les courants seront plus faibles, réduisant les pertes et permettant des câblages plus fins.

c. Calculer le Courant

Utilisez la puissance totale pour calculer le courant que le convertisseur devra supporter.

Exemple pour un système de 48V :

- Puissance : 4000W
- Tension : 48V
- Courant (I): $I = P / V = 4000W / 48V = 83.33A$

d. Choisir un Convertisseur avec une Marge de Sécurité

Il est préférable de choisir un convertisseur avec une marge de sécurité pour éviter de le surcharger. Un convertisseur dimensionné à 20 - 30% au-dessus de votre besoin en puissance continue est recommandé.

Pour 4000W continu : Convertisseur recommandé : 5000W continu avec une puissance de pointe de 7500-10000W.

Soit un convertisseur Victron Energy MultiPlus 48/5000/70-50 :

- Puissance Continue : 5000W
- Puissance de Pointe : 10,000W
- Tension : 48V
- Type : Onde Sinusoïdale Pure

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

e. Considérations supplémentaires

- Efficacité : Vérifiez l'efficacité du convertisseur (généralement > 90%).
- Compatibilité avec le système de gestion de batterie (BMS) : Assurez-vous que le convertisseur peut communiquer avec votre BMS pour des opérations sécurisées.
- Ventilation et Refroidissement : Assurez-vous que le convertisseur a une bonne ventilation pour éviter la surchauffe.
- Installation et Maintenance : Prévoir un emplacement approprié et accessible pour le convertisseur.

IV.2.7. Dimensionnement des conducteurs

Le dimensionnement des conducteurs (câbles) dans une installation solaire photovoltaïque est essentiel pour garantir la sécurité, minimiser les pertes d'énergie et assurer une performance optimale du système. Les éléments suivants sont à prendre en compte :

- **Courant (I)** : Le courant maximum que les câbles doivent transporter. Il est calculé à partir de la puissance et de la tension du système.
- **Longueur des câbles (L)** : La distance entre les composants du système (panneaux solaires, régulateur de charge, batteries, onduleur).
- **Chute de tension (ΔV)** : La chute de tension acceptable dans les câbles. Une chute de tension de 2-3% est généralement considérée comme acceptable.
- **Type de câble** : Le type de câble utilisé (cuivre, aluminium) affecte sa capacité de transport de courant et sa résistance.

a. Détermination de la section par calcul

Pour déterminer la section des conducteurs l'expression ci-dessous est satisfaisante en tenant compte des unités : section S (mm^2), résistivité ρ ($\Omega mm^2/m$), longueurs L (m), courant total I (A) et tension totale ΔV (V)

$$S = \frac{\rho \times 2 \times L \times I}{\Delta V}$$

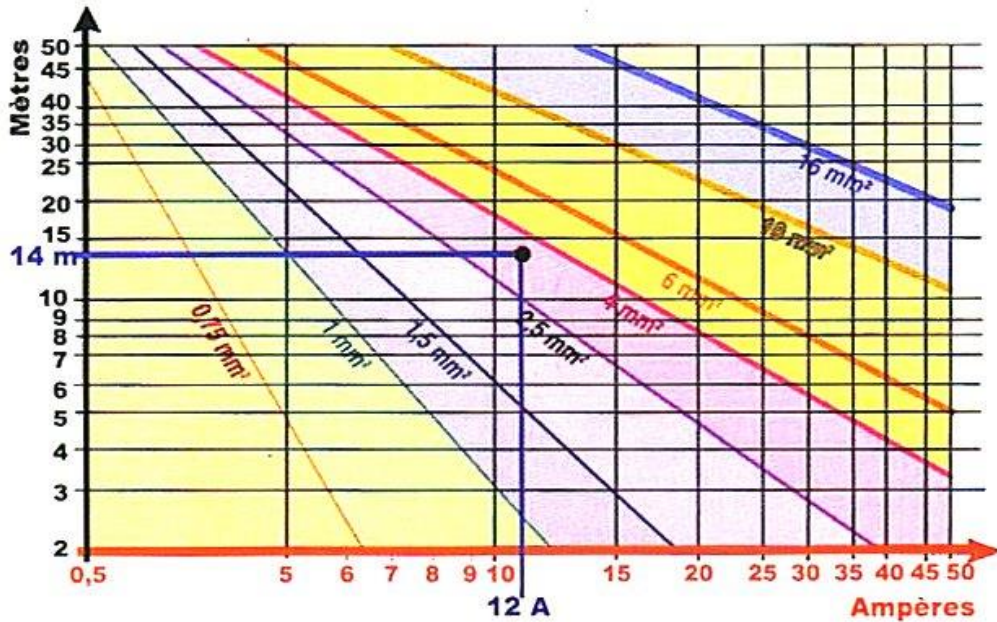
b. Sélection de la section normalisée

Les sections de câbles normalisées sont souvent disponibles dans des valeurs telles que 2.5 mm^2 , 4 mm^2 , 6 mm^2 , 10 mm^2 , 16 mm^2 , 25 mm^2 , 35 mm^2 , 50 mm^2 , 70 mm^2 , 95 mm^2 , 120 mm^2 , etc. On choisit la section du conducteur selon la norme la plus proche et l'approvisionnement ou la disponibilité du conducteur dans le stock.

c. Utilisation de l'abaque

Dans cet exemple, on détermine grâce à l'abaque la section du conducteur de $4mm^2$ pour une longueur totale des conducteurs de 14m et pouvant transporter jusqu'à un courant d'intensité maximale de 12A.

IV. Dimensionnement des Systèmes PV



d. Utilisation de Victron Toolkit

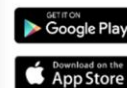
Victron Toolkit est un outil informatique développé par Victron Energy, destiné à assister les utilisateurs dans l'installation et la configuration de leurs équipements.

Le calculateur des câbles est l'une de ses fonctionnalités qui permet de déterminer la taille appropriée des câbles en fonction de la distance et du courant, afin de minimiser les pertes de puissance et de garantir la sécurité.

Calculs de chute de tension AC et DC faciles et rapides avec Victron Toolkit



Téléchargeable gratuitement



IV.2.8. Dimensionnement des protections

Le dimensionnement des protections électriques dans une installation solaire photovoltaïque est crucial pour assurer la sécurité, la fiabilité et la durabilité du système. Les protections électriques incluent les disjoncteurs, les fusibles, les parafoudres et d'autres dispositifs de protection. Voici un guide pour le dimensionnement correct des protections dans une installation solaire :

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

a. Dimensionnement des disjoncteurs

Les disjoncteurs sont utilisés pour protéger les circuits contre les surcharges et les courts-circuits. Le courant nominal du disjoncteur doit être supérieur au courant nominal du circuit qu'il protège et est calculé comme suit :

$$I_n = \frac{P_n}{V} \quad \text{Avec } P_n \text{ la puissance nominale du circuit et } V \text{ la tension}$$

b. Dimensionnement des fusibles

Les fusibles protègent les circuits contre les surcharges et les courts-circuits de manière similaire aux disjoncteurs, mais doivent être remplacés après une coupure.

Le courant nominal du fusible doit être supérieur au courant nominal du circuit avec une marge de sécurité similaire à celle des disjoncteurs.

c. Dimensionnement des parafoudres

Les parafoudres protègent le système contre les surtensions transitoires causées par la foudre ou d'autres perturbations électriques.

Le parafoudre doit être choisi en fonction de la tension nominale du système et du niveau de protection requis. Les parafoudres sont classés par tension maximale continue et courant de décharge.

IV.2.9. Évaluation économique

Évaluer économiquement une installation photovoltaïque implique d'analyser les coûts initiaux, les économies réalisées sur les factures d'électricité, les incitations financières, les revenus potentiels, ainsi que la rentabilité sur la durée de vie du système. Voici les étapes clés pour effectuer une évaluation économique détaillée :

a. Coûts Initiaux de l'Installation

Incluez le coût des panneaux solaires eux-mêmes. Le prix dépend de la puissance, du type (monocristallin, polycristallin, etc.) et de la marque, les convertisseurs en fonction de leur puissance nominale, les structures pour monter les panneaux sur le toit ou au sol, les batteries performantes, les câbles, connecteurs, protections électriques, les frais d'installation par un professionnel, estimations des coûts de maintenance sur la durée de vie du système, etc.

b. Économies et Revenus

Calcul des économies réalisées sur les factures d'électricité en utilisant l'énergie solaire au lieu de l'électricité du réseau.

- **Production d'Électricité** : Estimez la production annuelle d'électricité (kWh) basée sur la capacité des panneaux et les conditions d'ensoleillement locales.
- **Prix de l'Électricité** : Utilisez le tarif actuel de l'électricité pour estimer les économies.

Incluez les crédits d'impôt, les subventions et autres incitations financières disponibles pour l'installation de systèmes photovoltaïques.

Si votre installation est reliée au réseau et que vous pouvez vendre l'excédent d'électricité produit (tarifs de rachat, contrats de vente).

IV. Dimensionnement des Systèmes PV

QUIZ 4

1. Pourquoi est-il important d'analyser le site lors de la conception d'un système photovoltaïque ?
 - a) Pour sélectionner les panneaux solaires les moins chers
 - b) Pour évaluer le coût total du projet
 - c) Pour identifier d'éventuels obstacles comme des arbres ou des bâtiments qui pourraient causer des ombrages sur les panneaux solaires
 - d) Pour calculer la quantité de batteries nécessaires
2. Comment évalue-t-on l'emplacement du site pour déterminer son exposition au soleil lors de la conception d'un système photovoltaïque ?
 - a) En consultant les cartes météorologiques en ligne
 - b) En se basant sur des données historiques sur l'ensoleillement
 - c) En utilisant un logiciel dédié pour déterminer tous les paramètres météorologiques pertinents
 - d) En effectuant des relevés manuels sur le terrain
3. Certaines de ces données météorologiques sont nécessaires lors de l'évaluation du potentiel énergétique d'un lieu pour une future installation de panneaux solaires ?
 - a) La température moyenne annuelle
 - b) La vitesse moyenne du vent
 - c) La quantité de rayonnement solaire disponible
 - d) La moyenne de la précipitation annuelle
 - e) La localisation du site
4. Pourquoi est-il crucial de réaliser une planification précise lors de la conception d'un système photovoltaïque ?
 - a) Pour minimiser les coûts de main-d'œuvre
 - b) Pour maximiser les profits
 - c) Pour assurer le bon fonctionnement et la rentabilité du système sur le long terme
 - d) Pour simplifier le processus d'installation
5. Le choix de la section d'un câble solaire ne dépend que de l'intensité maximale du courant qu'il peut transporter.(Vrai ou Faux)?
6. Soit un hôpital situé dans la commune de Gombe à Kinshasa comprenant 3 chambres, 1 salle d'attente, une salle d'opération et un couloir. L'objectif est de dimensionner une installation solaire capable de fournir l'énergie nécessaire pour faire fonctionner ces équipements de manière fiable.
 - **Chambres (3)** : Chaque chambre dispose de : 1 lampe de 10 W, fonctionnant 6 heures par jour et 1 ventilateur de 75 W, fonctionnant 12 heures par jour.
 - **Salle d'attente** : 4 lampes de 20 W, fonctionnant 10 heures par jour et 2 ventilateur de 100 W, fonctionnant 12 heures par jour.
 - **Salle d'Opération** : 4 lampes de 50 W, fonctionnant 8 heures par jour et 1 ventilateur de 100 W, fonctionnant 8 heures par jour.
 - **Couloir** : 2 lampes de 10 W fonctionnant 12heures
 - **Éclairage externe** : 8 lampes de 20 W fonctionnant 12 heures par jour.
 - **Écrans LCD (2)** : Chaque écran consomme 100 W, fonctionnant 8 heures par jour.