

Manuel de formation pour l'Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques



Sponsored by



Table des Matières

1	INTRODUCTION.....	5
2	REVISION DES NOTIONS D'ELECTRONIQUE.....	6
2.1.	INTRODUCTION ET DESCRIPTION GENERALE	6
2.1.1.	DC/AC.....	6
2.2.	GRANDEURS ET UNITES	8
2.3.	FORMULES FONDAMENTALES	9
2.4.	RACCORDEMENT.....	10
2.5.	EXERCICES PROPOSES.....	11
2.6.	EXERCICES RESOLUS.....	12
3	LA RADIATION SOLAIRE.....	16
3.1.	DEFINITION	16
3.1.1.	L'orientation de la superficie.....	18
3.1.2.	Position du module	19
3.1.3.	Mouvement du soleil.....	19
3.1.4.	Conclusions partielles.....	20
3.2.	ESTIMATION	20
3.2.1.	Méthode en bref.....	21
3.2.2.	Méthode détaillée.....	22
3.2.3.	Point de départ	22
3.2.4.	Fraction directe et diffusée de la radiation horizontale	23
3.2.5.	L'effet de l'inclinaison	23
3.2.6.	Exemple: Le Bénin	24
3.3.	EN RESUME	25
3.4.	REFERENCES	26
4	COMPOSANTS DES SYSTEMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES	27
4.1.	DESCRIPTION GLOBALE.....	27
4.2.	LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	28
4.2.1.	Bases du fonctionnement des panneaux photovoltaïques [2] :	28
4.2.2.	Sur le marché on peut trouver les types suivants de panneaux solaires [2]:.....	29
4.2.3.	Paramètres électriques d'un module photovoltaïque [4] :	30
4.2.4.	Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque [4] :	31
4.2.5.	Interconnexion des panneaux photovoltaïques [4] :	32
4.3.	LA BATTERIE.....	33
4.3.1.	Types de batteries	34
4.3.2.	Fonctionnement de la batterie [4] :	34
4.3.3.	Paramètres de la batterie :	35
4.3.4.	Effets de la température dans le comportement d'une batterie [4]	35
4.3.5.	Connexions des batteries (en série/en parallèle/mixte).....	37
4.4.	LE REGULATEUR DE CHARGE	37
4.4.1.	Différentes types de régulateur:	38
4.4.2.	Paramètres qui définissent un régulateur :	38
4.5.	L'ONDULEUR.....	39
4.5.1.	Onduleurs DC/AC	39
4.5.1.1.	Types d'onduleurs DC/AC :	39
4.5.1.2.	Caractéristiques de fonctionnement les plus importants :	39
4.5.1.3.	Notes	40
4.5.2.	Onduleurs DC/DC	40
4.6.	REFERENCES	40

5	LE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE.....	41
5.1.	CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE	41
5.1.1.	Obtention des données de radiation globale horizontale (0°).....	41
5.1.1.1.	PVgis: [http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php].....	41
5.1.1.2.	NASA. http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/	42
5.1.2.	Calcul de l'irradiation sur un plan incliné	43
5.1.2.1.	PVgis	43
5.1.2.2.	Application du facteur K.....	44
5.2.	ESTIMATION DE LA CONSOMMATION	46
5.3.	DIMENSIONNEMENT.....	48
5.3.1.	Panneaux	48
5.3.2.	Batterie	49
5.3.3.	Régulateur.....	50
5.3.4.	Onduleur	50
5.4.	EXEMPLE ET EXERCICE - HABITATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE EN 12V OU 24V COURANT CONTINU (CC).....	51
5.4.1.	Plan de la maison	51
5.4.2.	Calcul de la charge	52
5.4.3.	DDQ : Degré de Décharge Quotidien	53
5.4.4.	Calcul du nombre des modules photovoltaïques.....	53
5.4.5.	Calcul de la capacité de la batterie	53
5.4.6.	Calcul du régulateur.....	53
5.4.7.	Section des conducteurs.....	53
5.4.8.	Panneau – régulateur	53
5.4.9.	Régulateur – batterie	54
5.4.10.	Régulateur – charge.....	54
5.4.11.	Photos	55
6	MONTAGE ET MAINTENANCE.....	57
6.1.	DESCRIPTION	57
6.2.	NORMES DE SECURITE.....	57
6.2.1.	Généralités.....	57
6.2.2.	Batterie	57
6.2.3.	Panneaux	58
6.2.4.	Régulateur.....	58
6.3.	MONTAGE DE L'INSTALLATION.....	58
6.3.1.	Emplacement de l'installation.....	58
6.3.2.	Acquisition des équipements.....	60
6.3.3.	Construction de l'armature	60
6.3.4.	Placement et connexion des panneaux.....	62
6.3.5.	Batterie et régulateur	63
6.3.6.	Le câblage	64
6.4.	MAINTENANCE.....	65
6.4.1.	Préparez et organisez votre travail.....	66
6.4.2.	Procédure de maintenance du panneau solaire.....	66
6.4.3.	Procédure de la maintenance de la batterie	67
6.4.4.	Procédure de maintenance du régulateur	68
6.4.5.	Procédure de maintenance des récepteurs et câbles.....	69
6.5.	MESURES ET VERIFICATION DU FONCTIONNEMENT.....	70
6.5.1.	Manuel d'opération et d'épreuves des batteries	71
6.5.2.	Manuel d'opération et essais de l'onduleur	74
6.5.3.	Manuel d'opération et essais des panneaux FV.....	77
6.5.4.	Manuel d'opération et essais du régulateur de charge	84
6.5.5.	Manuel d'opération et essais des autres composants.....	84
6.6.	REFERENCES	85

7	APPLICATIONS	86
7.1.	LA CHAMBRE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE EN 220V ALIMENTEE AVEC DE L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	86
7.2.	L'ECLAIRAGE PUBLIC	89
7.3.	LE CHAMP SOLAIRE	90
7.4.	LE POMPAGE SOLAIRE	90
7.4.1.	<i>Description et connexion des éléments qui forment le système de pompage d'eau.....</i>	<i>90</i>
7.4.2.	<i>Calcul d'un système de pompage photovoltaïque</i>	<i>91</i>
7.4.2.1.	Calcul de la hauteur total du pompage	91
7.4.2.2.	Calcul des générateurs photovoltaïques	91
7.4.2.3.	Calcul du moteur pompe	92
8	REVISION DES NORMES.....	93
8.1.	INTRODUCTION	93
8.2.	LOCALES	93
8.2.1.	<i>Espagne.....</i>	<i>93</i>
8.2.2.	<i>Bénin</i>	<i>95</i>
8.3.	MONDIALES.....	95
8.3.1.	<i>Systèmes Photovoltaïques Domestiques : IES 1998 [10].....</i>	<i>95</i>
8.4.	EXERCICE DE RECHERCHE ET APPLICATION	96
8.5.	REFERENCES	96
9	LABORATOIRE	97
9.1.	LISTE DES MATERIAUX PRINCIPAUX POUR LE LABORATOIRE.....	97
9.1.1.	<i>Mesures.....</i>	<i>97</i>
9.1.2.	<i>Charges</i>	<i>97</i>
9.1.3.	<i>PV.....</i>	<i>97</i>
9.1.4.	<i>Régulateurs.....</i>	<i>98</i>
9.1.5.	<i>Onduleur</i>	<i>98</i>
9.1.6.	<i>Batterie</i>	<i>99</i>
9.1.7.	<i>Protections</i>	<i>99</i>
9.2.	LISTE DETAILLEE	99
9.3.	LABORATOIRE	101
9.3.1.	<i>Mesure de la Tension de Circuit Ouvert</i>	<i>101</i>
9.3.2.	<i>Mesure du Courant du Court-Circuit</i>	<i>102</i>
9.3.3.	<i>Mesure de la Tension en Charge, Intensité de Charge et Puissance en Charge</i>	<i>102</i>
9.3.4.	<i>Essaie de Variables Fondamentales</i>	<i>102</i>
9.3.5.	<i>Essaie avec le module portable</i>	<i>104</i>
9.3.6.	<i>Essaie d'une installation complète.....</i>	<i>104</i>



1 Introduction

Les notions nécessaires pour l'étude et la conception des installations photovoltaïques sont recueillies dans ce document, en apportant d'information théorique, d'exercices et d'exemples pratiques.

Ce document est structuré en neuf chapitres dont le contenu est celui qui suit :

Chapitre 2 : résumé des notions d'électrotechnique nécessaires pour mieux comprendre et concevoir les systèmes photovoltaïques.

Chapitre 3 : description de la radiation solaire et explication de son estimation.

Chapitre 4 : définition de chacun des composants des systèmes photovoltaïques, dont les suivants plus concrètement :

1. Générateur photovoltaïque
2. Batterie
3. Régulateur
4. Convertisseur

Chapitre 5 : échantillon du dimensionnement d'une installation photovoltaïque. Concrètement du calcul de la radiation solaire et de l'estimation des consommations.

Chapitre 6 : assemblage et maintenance des installations photovoltaïques.

Chapitre 7 : résolution d'un exemple pratique des explications précédentes.

Chapitre 8 : vision globale sur les réglementations existantes dans des différents pays. Ces normes présentent les spécifications techniques bien que les mesures de sécurité.

Chapitre 9 : liste des matériaux pour élaborer des pratiques dans un laboratoire.

Chaque chapitre compte sur des exercices pratiques afin d'aider à la meilleure compréhension et au renforcement des connaissances acquises par le lecteur.

2 Révision des notions d'électronique

Les notions d'électrotechnique nécessaires pour une future compréhension des systèmes photovoltaïques seront révisées dans cette section. Elle sera organisée de la manière suivante. Premièrement (2.1.), une introduction; deuxièmement (2.2.), les grandeurs et unités les plus importantes ; troisièmement (2.3.), les formules principales et, quatrièmement (2.4.), on expliquera la connexion entre les différents éléments. Finalement, pour mieux faire comprendre les notions expliquées dans la sous-section 2.4., différents exercices seront proposés.

2.1. Introduction et description générale

L'électrotechnique est la science qui s'occupe de l'étude des applications pratiques de l'électricité et de l'électromagnétisme. Conséquemment, l'électrotechnique analyse comment appliquer les principes de l'électricité et du magnétisme à l'activité humaine dans le domaine domestique aussi que dans l'industrielle. C'est pour ça que, pour être capables de comprendre le fonctionnement d'un système photovoltaïque, il est nécessaire d'assimiler les notions de cette science.


2.1.1. DC/AC

Avant d'analyser les différentes grandeurs et unités de l'électrotechnique, il est important de comprendre clairement les différences entre le courant continu et le courant alternatif. Le courant continu est le flux continu des électrons via un conducteur entre deux points de différent potentiel. Contrairement au courant alternatif, dans le courant continu les charges électriques circulent toujours dans la même direction (c'est-à-dire, les bornes de mineur et meilleur potentiel sont toujours les mêmes). C'est pour ça que le courant continu est couramment identifié avec le courant constant (par exemple, le courant fourni par une batterie).

La découverte du courant continu remonte dans le temps jusqu'à l'invention de la première pile de la part du scientifique italien Conde Alessandro Volta. Pourtant, ce n'est que jusqu'aux travaux de Thomas Alva Edison sur la génération d'électricité du courant continu que la transmission de l'énergie électrique commença à s'utiliser. Dans le XX^{ème} siècle cet usage faiblit en faveur du courant alternatif (proposé par l'inventeur Nikola Tesla, dont les développements contribuaient à la construction de la première centrale hydroélectrique aux Chutes du Niagara). Cette élection est due au fait que le transport de l'énergie est plus simple.

Pour ceux intéressés à l'histoire, on vous présente ci-après la « **Guerre des courants** ».

« Dans les premières années après l'introduction de la distribution d'électricité aux États-Unis, le courant continu d'Edison était la norme¹ et Edison ne voulait pas perdre les redevances de ses brevets. Le courant continu était bien adapté aux lampes à incandescence qui constituaient l'essentiel de la consommation électrique de l'époque, et aux moteurs. Les systèmes à courant continu pouvaient être directement reliés à des batteries d'accumulateurs, ce qui régula la puissance demandée au circuit et fournissait une réserve d'énergie lorsque les génératrices étaient arrêtées. Les génératrices à courant continu pouvaient facilement être branchées en parallèle, ce qui permettait une exploitation économique en utilisant de plus petites machines durant les périodes de faible demande et améliorait la fiabilité. À l'introduction du système d'Edison, il n'existait pas de moteur à courant alternatif d'usage commode. Edison avait inventé un compteur permettant de facturer les clients pour leur consommation électrique, mais celui-ci ne fonctionnait qu'en courant continu. Tous ces éléments constituaient, en 1882, des avantages techniques en faveur du courant continu.



En se fondant sur ses travaux sur les champs magnétiques rotatifs, Tesla développa un système pour la production, le transport et l'utilisation du courant alternatif. Il s'associa à George Westinghouse pour commercialiser ce système. Westinghouse avait préalablement acheté les droits sur les brevets du système polyphasé de Tesla, ainsi que d'autres brevets pour des transformateurs de courant alternatif auprès de Lucien Gaulard et John Dixon Gibbs.

De nombreuses dissensions sous-tendent cette rivalité. Edison était avant tout un expérimentateur, plus qu'un mathématicien. Le courant alternatif ne peut pas être correctement compris ni mis à profit sans une bonne compréhension des mathématiques et de la modélisation mathématique de la physique, compréhension dont disposait Tesla.

Tesla avait travaillé pour Edison mais se sentait sous-estimé (par exemple, lorsque Edison entendit parler pour la première fois de l'idée de Tesla d'utiliser le courant alternatif pour le transport de l'énergie, il la rejeta : « Les idées de Tesla sont brillantes, mais strictement inexploitable en pratique »). Cette animosité s'est exacerbée lorsqu'Edison refusa à Tesla la récompense qu'il lui avait promise pour son travail : Tesla s'était vu promettre 50 000 dollars s'il parvenait à améliorer l'efficacité de la médiocre dynamo élaborée par Edison. Tesla améliora effectivement cette dynamo au terme de presque un an de travail, mais Edison ne lui versa aucunement la somme promise. Edison poussa l'audace jusqu'à prétendre que sa promesse était une blague, et dit à Tesla qu'il ne comprenait pas l'humour américain.

Edison regretta plus tard de ne pas avoir écouté Tesla et de ne pas avoir utilisé le courant alternatif. Le système de distribution à courant continu d'Edison comprenait des centrales électriques qui alimentaient d'épais câbles de distribution, et les appareils des clients (les lampes et les moteurs) se branchaient dessus. Le système au complet n'utilisait qu'une seule tension ; par exemple, des lampes de 100 V installées chez le consommateur étaient connectées à une génératrice produisant du 110 V, ce qui autorisait une certaine chute de tension dans les lignes de transport entre la génératrice et l'appareil. La tension électrique a été choisie par commodité pour la fabrication des ampoules. Les ampoules à filament de carbone pouvaient être fabriquées pour supporter 100 V, elles produisaient ainsi un éclairage comparable à celui du gaz, à un prix compétitif. À l'époque, une tension de 100 V n'était pas perçue comme présentant un grand risque d'électrocution.

Pour économiser sur le coût des conducteurs en cuivre, un système de distribution à trois câbles a été introduit. Les trois lignes étaient à des potentiels relatifs de +110 V, 0 V et -110 V. Les lampes à 100 V pouvaient être branchées entre, d'un côté, l'un des conducteurs à +110 volts ou à -110 volts, et de l'autre côté le conducteur neutre à 0 V, qui ne transportait que l'intensité résultant de l'inégalité d'utilisation entre la ligne + et la ligne -. Le système à trois lignes ainsi créé demandait moins de fil de cuivre pour une quantité donnée d'énergie électrique transmise, tout en se contentant de tensions relativement basses. Cependant, même avec cette innovation, la chute de tension causée par la résistance des câbles était si grande que les centrales électriques devaient se trouver à un ou deux kilomètres des points d'utilisation. Des tensions plus élevées ne pouvaient pas être utilisées facilement en courant continu, parce qu'il n'existait pas de technologie efficace et bon marché qui permette de réduire la tension du courant d'un circuit de transport à haute tension vers une basse tension d'utilisation.

Dans le système à courant alternatif, un transformateur prend place entre le réseau de distribution à relativement haute tension et les appareils de l'utilisateur. Les lampes et les petits moteurs peuvent toujours être alimentés sous une tension raisonnablement faible. Cependant, le transformateur permet de transporter l'électricité à des tensions nettement plus hautes,

typiquement dix fois plus élevées que celle fournie à l'utilisateur. Pour une quantité donnée d'énergie électrique transportée, le diamètre du câble est inversement proportionnel à la tension utilisée. De plus, la longueur acceptable pour le circuit de distribution, étant donnés le calibre du câble et la chute de tension admissible, augmente approximativement comme le carré de la tension de transport. Cela signifiait en pratique qu'un plus petit nombre de grosses centrales électriques pouvaient desservir un secteur donné. Les gros consommateurs, tels que les moteurs industriels ou les convertisseurs alimentant les réseaux de chemin de fer, pouvaient se raccorder au même réseau de distribution que l'éclairage, au moyen de transformateurs délivrant la tension secondaire appropriée. »

2.2. Grandeurs et unités

Dans cette sous-section on explique les grandeurs et les unités principales en électrotechnique. Pour mieux comprendre ces concepts on leur comparera au comportement d'une rivière.

- **La charge électrique** : une des propriétés énergétiques de la matière liée à deux particules subatomiques : protons de charge positive et électrons de charge négative. Généralement, la matière est électriquement neutre. Cependant, au cas où il y ait plus de particules d'un signe que d'autre l'objet sera électriquement positif ou chargé. L'unité internationale de la charge électrique est le **coulomb(C)**.
- **Le courant électrique** : flux de électrons traversant un conducteur. Pour bien comprendre ce concept on va comparer le comportement du courant électrique à celui d'un débit d'une rivière. Dans une rivière, l'eau se déplace du point le plus haut au point le plus bas. Plus grande est la différence entre ces deux points plus grande est le courant de la rivière. Dans le cas du courant électrique le comportement est similaire. Les électrons se déplacent du point le plus haut au point de tension le plus basse. De même, plus grande cette différence plus grande la puissance active. L'unité de courant, aussi dénommé « intensité », est l'**AMPÈRE (A)**.
- **Tension** : Pour qu'il y ait un courant électrique il est nécessaire qu'il y ait une différence de tension, dénommée « différence de potentiel ». De plus, pour qu'il y ait un flux d'eau on a besoin de pression. Cette pression peut être due à un réservoir d'eau où la pression est déterminée par l'hauteur du liquide. L'unité de courant est le **VOLT (V)**.
- **Résistance** : l'opposition que le conducteur présente au flux de courant est représentée avec la résistance, qui est directement proportionnel à la longueur du conducteur et inversement proportionnel à sa section. Autrement dit : $R = \rho * \frac{L}{S}$

Où :

R = résistance du conducteur en ohms

L = longueur du conducteur S = zone de section transversale r = constante connue comme résistance spécifique dépendant du matériel du conducteur.

L'unité de mesure est l'**Ohm (Ω)**. Un Ohm est la résistance présentée par un conducteur entre deux points quand, traversée par le courant continu d'intensité d'un Ampère (A) suit une différence de puissance d'un Volt (V).

- **Conductance** : dans le cas contraire, on trouve la conductance, qui a un usage plus utile dans certaines circonstances. $G = \frac{1}{R}$

L'unité de mesure est le **Siemens (S)**, en représentant la conductance électrique présentée par un conducteur dont la résistance électrique est d'un Ω .

- **Puissance active** : il s'agit de la puissance échangée entre deux points a et b d'un circuit qui est égal au produit de la tension entre a et b exprimée en **V** et l'intensité de a vers b exprimée en **A**. La dimension est le watt (W).

$$P_{ab} = U_{ab} I_{ab}$$

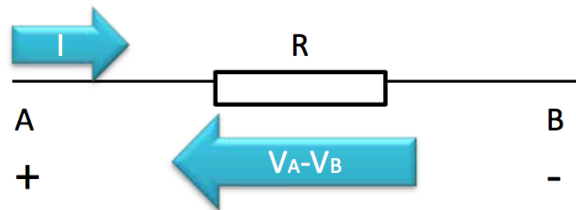
Il est important de noter que dans ce point l'effet Joule fournit la valeur de la puissance active transformée en chaleur dans une résistance.

$$P = RI^2$$

2.3. Formules fondamentales

Dans cette sous-section on présente les lois d'électrotechnique principales et ses respectives formules. Après avoir pris connaissance de ces formules on pourra résoudre tout type de circuit électrique.

- **Loi d'Ohm** : Ohm a découvert qu'on pouvait calculer le courant électrique entre deux points comme la différence de tensions entre lesdits points et la résistance qui oppose le conducteur. Pour que l'énoncé en mathématiques de la loi d'Ohm soit applicable, il est nécessaire d'indiquer les directions positives de l'intensité et de la tension. L'intensité circule toujours du point de plus haute tension au point de plus basse tension. Les directions naturelles de ces deux grandeurs sont :

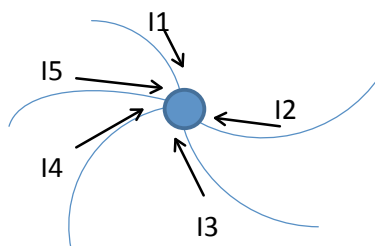


$$I = \frac{V_A - V_B}{R}$$

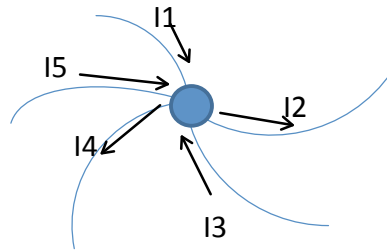
- **Loi des nœuds** : La somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui sortent du même nœud, c'est-à-dire, quand plusieurs conducteurs concurrents à un point, la somme des intensités doit être zéro.

Pour mieux comprendre le sens de cette loi il est présenté un exemple ci-après.

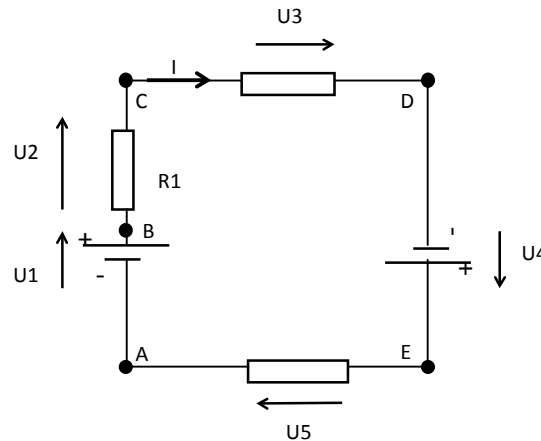
Comme on le voit dans l'image, tous les conducteurs ont un numéro quand ils entrent par le nœud et, selon cette loi, sa somme doit être zéro.



Cependant, il est important de noter que les directions des intensités de tous les conducteurs ne seront toujours entrantes. Dans ce cas on peut conclure que les courants entrants doivent être égaux aux courants sortants. Le suivant exemple a comme but analyser cette situation.



- **Loi des mailles:** Il s'agit d'un sous-ensemble d'éléments, générateurs comme conducteurs, interdépendant en boucle fermée (c'est-à-dire, en formant un circuit fermé), la valeur de la somme de toutes les tensions, considérées dans la même direction de rotation, est nulle.



Conformément à la loi des mailles on obtient l'équation suivante :

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

La somme des tensions dans le sens horaire peut aussi s'exprimer comme la différence entre les puissances des points extrêmes de chacun des points, où :

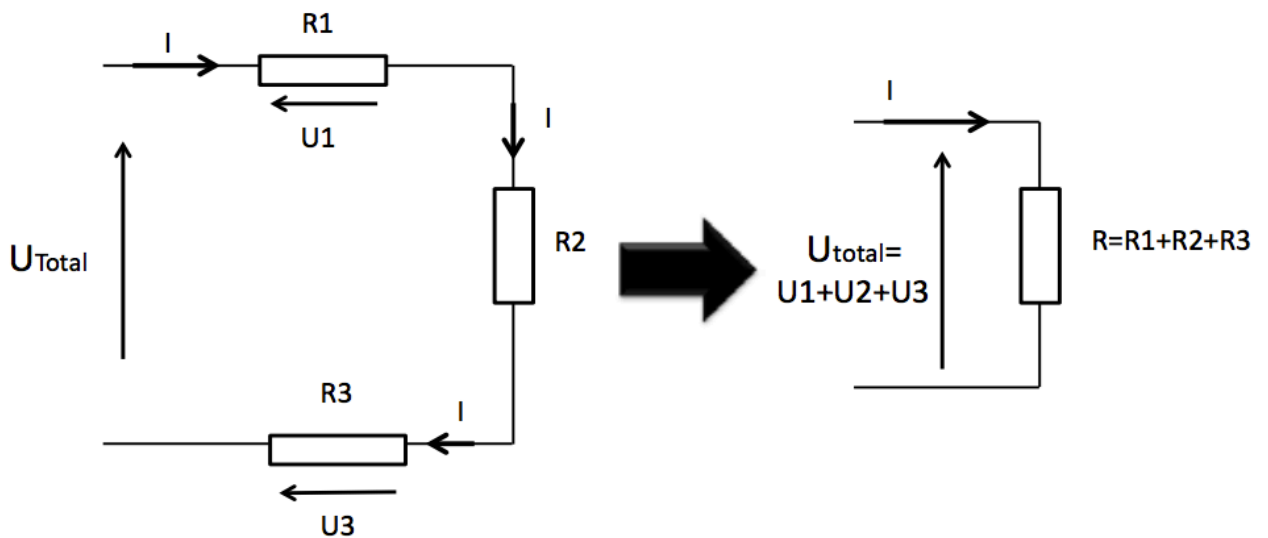
$$U_1 = V_B - V_A; U_2 = V_C - V_B; U_3 = V_D - V_C; U_4 = V_E - V_D; U_5 = V_A - V_E$$

La somme de ces facteurs fait également zéro.

2.4. Raccordement

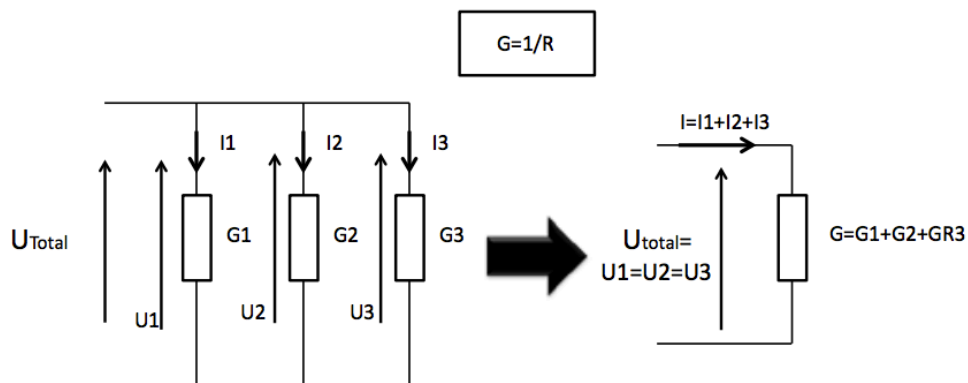
- **Raccordement en série de deux ou plus éléments :** connexion que supporte l'égalité des intensités de tous les éléments.

Le schéma ci-après montré analyse le comportement d'un ensemble d'éléments raccordés en série.



- **Raccordement en parallèle de deux ou plus éléments** : connexion qui implique l'égalité de tensions de tous les éléments.

Le schéma ci-après montré analyse le comportement d'un ensemble d'éléments raccordés en parallèle.



2.5. Exercices proposés

- 1) Si on connecte deux poêles de la même résistance, étant l'une à la moitié de tension que l'autre, par quelle poêle passera plus de courant? Combien de plus ?
- 2) A quelle tension devra-t-on connecter une lampe de 25 W pour qu'elle soit traversée par un courant de 4 A ?
- 3) A quelle tension devra-t-on connecter une lampe de 25 W pour qu'elle soit traversée par un courant de 4 A ?
- 4) Calculer le coefficient de résistivité du matériel dont un conducteur de 60 m de longueur, 3 mm² de section et 0,34 de résistance est construit.

5) Quelle puissance a une dynamo que produit 5A et 220V de courant continu ? Calculez la résistance du récepteur.

6) Entre deux points une différence de puissance de 10V est maintenue et dispose de deux résistances de 2W et 4W. Quelle intensité aura le courant si elle est raccordée en parallèle ?

7) Cinq résistances en 2W, 4W, 8W, 1W et 5W sont accouplées en série. L'ensemble intercale dans un circuit dont la différence de puissance est de 120 V. Calculez : a) la résistance totale ; b) l'intensité totale absorbée par le circuit et l'intensité que traverse chaque résistance ; c) les tensions partiales en faisant pression sur chacune des résistances ; d) La puissance totale et partiale consommée par chaque résistance

8) Quelle est la résistance résultante d'un système de trois conducteurs, respectivement couplé en parallèle à 3W, 6W et 9W ?

9) Un courant de 10A dérive par deux conducteurs de 3W et 7W unis en parallèle. Quelle sera la valeur de l'intensité en chacun d'eux ?

10) Nous avons une résistance de 80W et nous voulons réduire sa valeur, par l'intermédiaire d'une autre, à 60W : Comment devons-nous les connecter et quelle est la valeur que l'autre aura ?

2.6. Exercices résolus

1) Si on connecte deux poêles de la même résistance, étant l'une à la moitié de tension que l'autre, par quelle poêle passera plus de courant? Combien de plus ?

Il passera plus de courant par la résistance branchée à une tension supérieure. De plus, il passera deux fois plus de courant par la résistance branchée au double de tension.

$$V=I_1 \cdot R \quad I_1= V/R$$

$$V/2= I_2 \cdot R \quad I_2= V/(2 \cdot R)$$

2) Quand on raccord un radiateur électrique de 30W au réseau (électrique), on observe que l'intensité du courant est de 8A. Déterminez la tension du réseau.

$$V=I \cdot R=8A \cdot 30\Omega=240V$$

3) À quelle tension devra-t-on connecter une lampe de 25W pour qu'elle soit traversée par un courant de 4A ?

$$V=I \cdot R=4A \cdot 25\Omega=100V$$

4) Calculer le coefficient de résistivité du matériel dont un conducteur de 60 m de longueur, 3 mm² de section et 0,34 de résistance est construit.

$$=0.017(\text{W mm}^2)/\text{m}$$

5) Quelle puissance a une dynamo que produit 5A et 220V de courant continu ? Calculez la résistance du récepteur.

$$P=V \cdot I=220 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}=1100\text{W}$$

$$R=V/I=220 \text{ V}/5 \text{ A}=44\text{W}$$

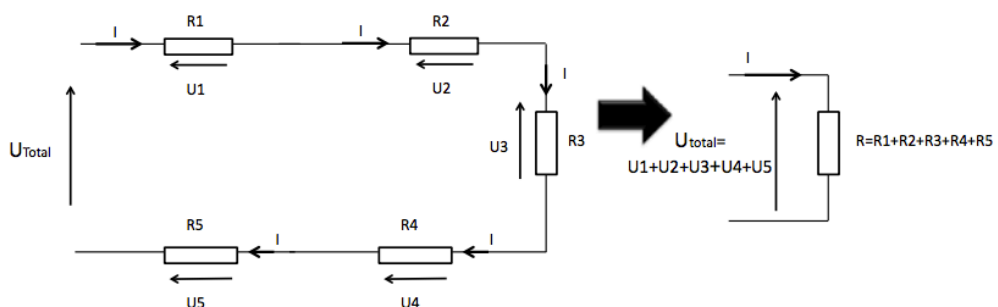
6) Entre deux points une différence de puissance de 10V est maintenue et dispose de deux résistances de 2 W et 4W. Quelle intensité aura le courant si elle est raccordée en parallèle ?

$$R_{\text{TOTAL}}=R_1+ R_2=2\text{W}+4\text{W}=6\text{W}$$

$$I=V/R=10\text{V}/6\text{W}=1.66\text{A}$$

7) Cinq résistances en 2W, 4W, 8W, 1W et 5W sont accouplées en série. L'ensemble intercale dans un circuit dont la différence de puissance est de 120 V. Calculez : a) la résistance totale ; b) l'intensité totale absorbée par le circuit et l'intensité que traverse chaque résistance ; c) les tensions partiales en faisant pression sur chacune des résistances ; d) La puissance totale et partielle consommée par chaque résistance.

a) La résistance totale



$$R_{\text{TOTAL}}=R_1+ R_2+ R_3+ R_4+ R_5=2\text{W}+4\text{W}+8\text{W}+1\text{W}+ 5\text{W}=20\text{W}$$

b) L'intensité total absorbée par le circuit et l'intensité que traverse chaque résistance

$$I=V/R=120V/20W=6A$$

En étant les résistances en série, le courant total est égal a celui de chacune des résistances

c) Les tensions partiales en faisant pression sur chacune des résistances

$$U_1=R_1 \cdot I=2W \cdot 6A=12V$$

$$U_2=R_2 \cdot I=4W \cdot 6A=24V$$

$$U_3=R_3 \cdot I=8W \cdot 6A=48V$$

$$U_4=R_4 \cdot I=1W \cdot 6A=6V$$

$$U_5=R_5 \cdot I=5W \cdot 6A=30V$$

$$\text{Constatation } U_{\text{TOTAL}}=120V=12V+24V+48V+6V+30V$$

d) La puissance totale et partiale consommée par chaque résistance

$$P_{\text{TOTAL}}=U_{\text{TOTAL}} \cdot I=120V \cdot 6A=720W$$

(On peut aussi le calculer comme $P=I^2 \cdot R$)

$$P_1=U_1 \cdot I=12V \cdot 6A=72W$$

$$P_2=U_2 \cdot I=24V \cdot 6A=144W$$

$$P_3=U_3 \cdot I=48V \cdot 6A=288W \quad P_4=U_4 \cdot I=6V \cdot 6A=36W$$

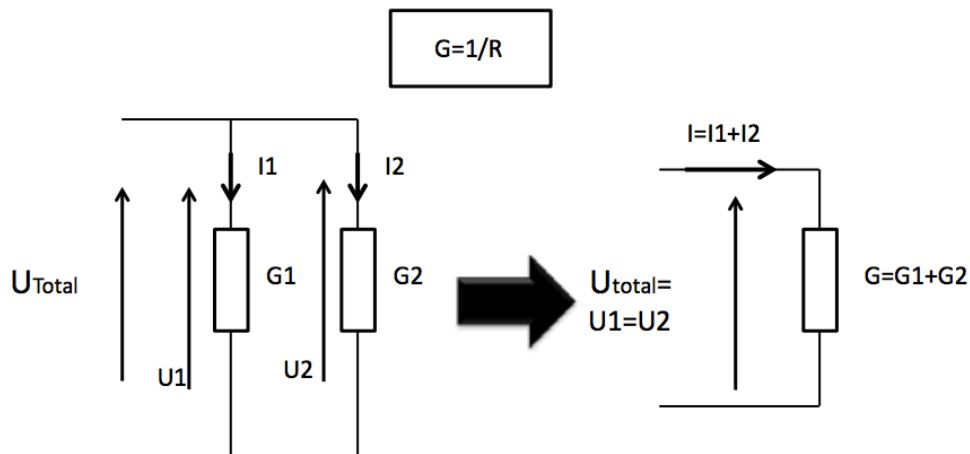
$$P_5=U_5 \cdot I=30V \cdot 6A=180W$$

8) Quelle est la résistance résultante d'un système de trois conducteurs, respectivement couplé en parallèle à 3W, 6W et 9W ?

$$\begin{aligned} G_{\text{TOTAL}} &= G_1 + G_2 + G_3 = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) = (1/3W) + (1/6W) + (1/9W) \\ &= 0.61S \end{aligned}$$

$$R_{\text{TOTAL}} = 1/G_{\text{TOTAL}} = 1/0.61S = 1.636W$$

9) Un courant de 10A dérive par deux conducteurs de 3 W et 7 W unis en parallèle. Quelle sera la valeur de l'intensité en chacun d'eux?



$$G_{TOTAL} = G_1 + G_2 = (1/R_1) + (1/R_2) = (1/3W) + (1/7W) = 0.476S$$

$$R_{TOTAL} = 1/ G_{TOTAL} = 1/0.476S = 2.1W$$

$$U_{TOTAL} = R_{TOTAL} \cdot I_{TOTAL} = 2.1W \cdot 10 A = 21V$$

$$I_1 = U_{TOTAL} / R_1 = 21V / 3W = 7A$$

$$I_2 = U_{TOTAL} / R_2 = 21V / 7W = 3A$$

10) Nous avons une résistance de 80W et nous voulons réduire sa valeur, par l'intermédiaire d'une autre, à 60W : Comment devons-nous les connecter et quelle est la valeur que l'autre aura ?

$$1/R_{TOTAL} = (1/R_1) + (1/R_2)$$

$$1/60W = (1/80W) + (1/R_2)$$

$$(1/R_2) = (1/60W) - (1/80W) = 0.0041S$$

$$R_2 = 1/0.0041S = 240W$$

3 La radiation solaire

Le soleil est une grande source d'énergie, avec un flux radiant de 3.8×10^{26} W, équivalente à une densité de 62.5MW par chaque mètre carré de superficie solaire.

De cette énorme quantité d'énergie radiante, seulement une petite partie parvient à notre planète. Néanmoins, cette quantité représente une très grande quantité en comparaison avec l'énergie nécessaire pour maintenir notre civilisation technologique.

Le problème n'est pas la quantité d'énergie totale disponible mais les difficultés pour son profit. L'énergie solaire est dispersée sur toute la superficie de la terre et les océans. En moyenne la quantité d'énergie qui est appelée par notre atmosphère extérieure équivaut à une puissance de 1.4 kW par chaque m², quantité qui se réduit jusqu'à approximativement 1 kW/m² quand il traverse l'atmosphère et arrive au sol. En fait, la quantité d'énergie utile qui se peut générer à partir de la quantité d'énergie incidente totale, est décrite par l'équation suivante :

$$E = \eta A G_{dm}(\beta)$$

Où η désigne le rendement de l'installation photovoltaïque (qui dépend de la qualité des modules, des câbles d'interconnexions, etc.), A est la surface des module et $G_{dm}(\beta)$ est la radiation globale incidente qui dépend l'inclinaison du module. Cette section s'occupe avant tout de la radiation solaire.

On commence par définir la radiation solaire. Ensuite, on présente une méthode d'estimation de la radiation solaire et finalement, un exercice est proposé et résolu.

3.1. Définition

La radiation solaire est formée par des ondes électromagnétiques de différentes fréquences¹. Quelques fréquences (les longueurs d'ondes correspondantes comprises entre 0.4 et 0.7 mm) peuvent être détectées par l'œil humain constituant le flux visible, des autres ne sont pas visibles. N'importe quelle la fréquence, une onde électromagnétique ou une groupe des ondes transporte une certaine quantité d'énergie.

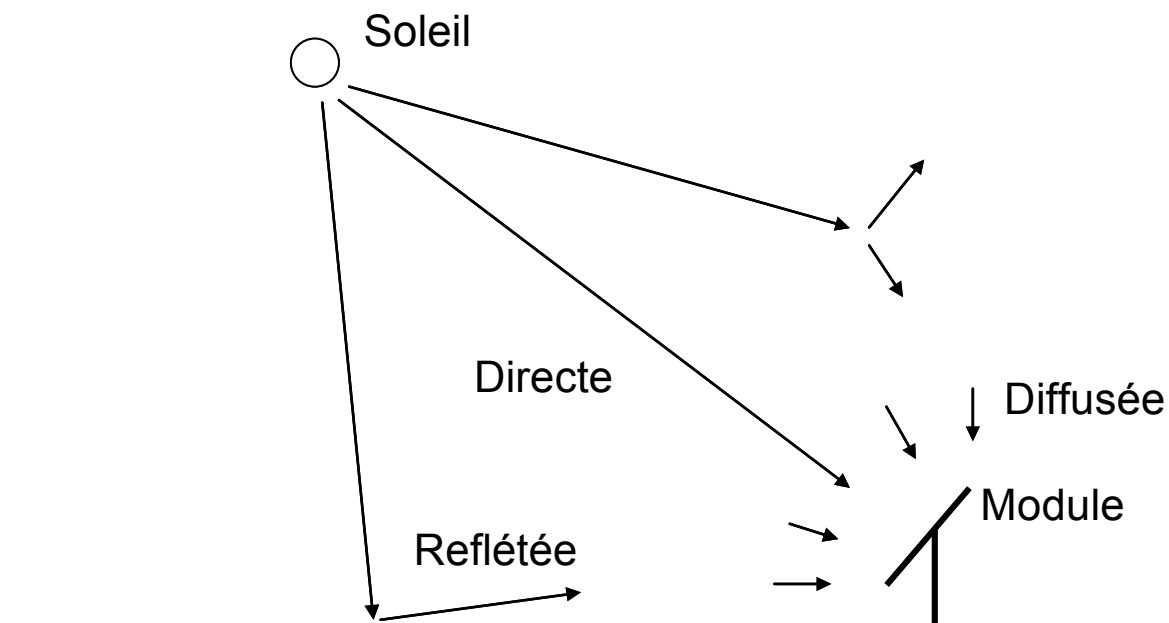
La radiation qui arrive sur la terre varie de forme aléatoire à cause de plusieurs effets divers qui sont provoqués sur elle par l'atmosphère terrestre. Par exemple, une grande partie de la radiation est victime d'une absorption et d'une dispersion dans l'atmosphère comme conséquence de sa propre structure et des agents variables qui s'y trouvent tel que la pollution ou la nébulosité.

La radiation solaire qui arrive à la superficie terrestre se divise en trois parties: la radiation directe, la radiation diffusée et la radiation réflétée. La somme des trois radiations forme la radiation globale (G).

¹ . La physique classique considère la lumière comme un conjoint des ondes électromagnétiques qui se peuvent décrire selon les équations de Maxwell. Malgré tout, la lumière est l'exemple par excellence du dualisme onde-particule. Dans le monde de la physique quantique, tout objet quantique se laisse décrire de fois par une onde et de fois par une particule selon l'expérience réalisée.

- La radiation directe (I) est formée par les rayons en provenance directe du soleil. Cette partie provient d'une source quasi ponctuelle et se caractérise par une directivité élevée. Par conséquent, l'orientation d'un module photovoltaïque est fortement influencée par la radiation directe. En général, la radiation directe est la plus intense.
- La radiation diffusée (D) provient de toute la voûte céleste sauf celle qui vient du soleil. En fait, l'atmosphère absorbe et disperse une partie de la radiation provenant du soleil. La radiation diffusée est donc la radiation dispersée qui arrive à la surface terrestre. Bien que aléatoire, on peut supposer qu'elle arrive à la surface d'une manière uniforme et donc son effet est majeur si le module est horizontal. En général, la radiation diffusée n'est pas intense mais plutôt vaste et elle se fait plus importante en conditions nuageuses.
- La radiation reflétée (R) est due à la réflexion d'une partie de la radiation incidente sur la surface ou d'autres objets voisins au module. Sa contribution à la radiation globale est très petite. En général et afin d'estimer la radiation reflétée, on suppose que la surface reflète d'une manière uniforme la radiation incidente y selon le coefficient de réflectivité ρ . Par conséquent, l'incidence de la radiation reflétée est maximale si le module est vertical et elle s'annule si le module est horizontal.

La figure suivante montre la radiation et ses différentes parties.



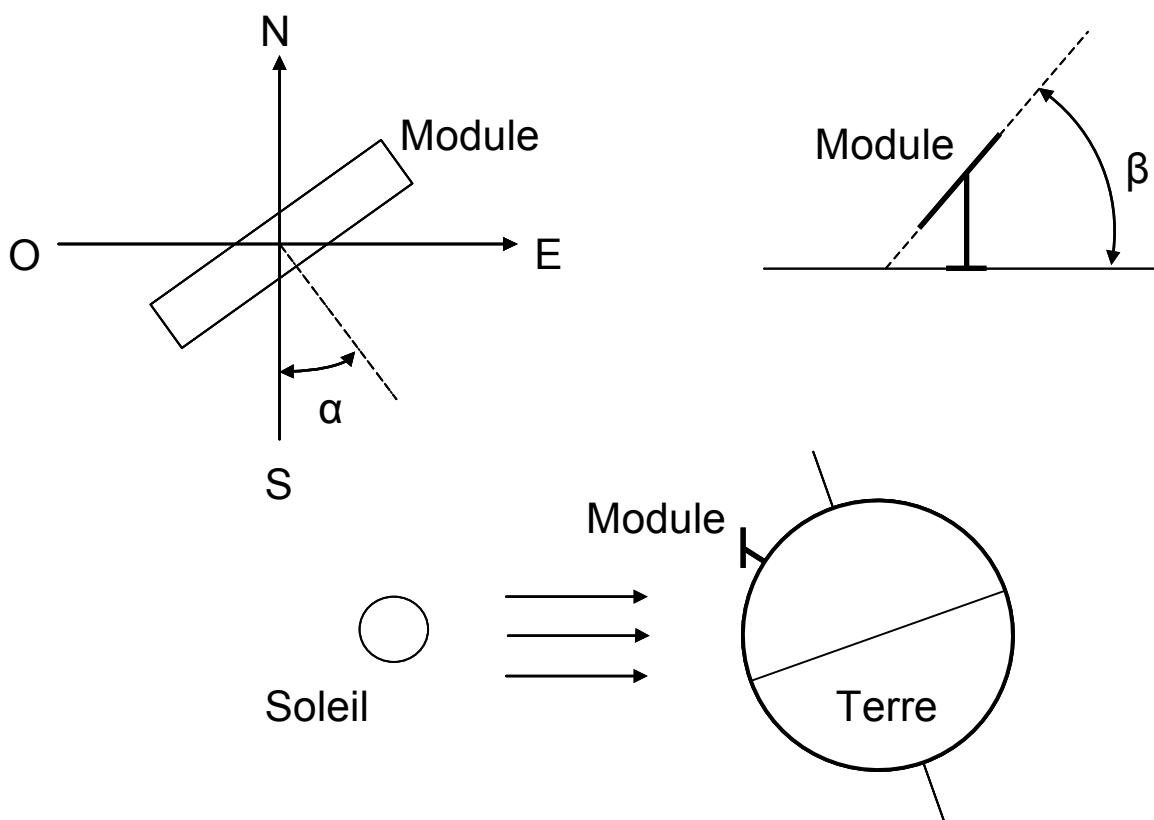
La radiation globale incidente sur la surface terrestre et par conséquent sur une surface quelconque dépend de la position géographique, du mouvement du soleil et de l'orientation de la surface. La radiation est maximale si la surface est orientée face au soleil, c'est-à-dire, perpendiculaire à la ligne qui unit la position de l'installation avec le soleil. Puisque le soleil bouge, l'orientation varie et il faut donc trouver l'orientation la plus appropriée.

3.1.1. L'orientation de la superficie

Les deux paramètres qui définissent l'orientation de la superficie sont l'azimut et l'inclinaison.

- L'azimut α mesure la rotation de la surface autour d'un axe perpendiculaire à la terre (plan horizontal).
- L'inclinaison d'une superficie β est l'angle entre le plan de la superficie et l'horizontale.

La figure suivante illustre ces deux paramètres de l'orientation pour une installation sur l'hémisphère du nord (ce serait l'inverse pour une installation sur l'hémisphère du sud). On voit que l'inclinaison dépend de la position géographique et du trajet de soleil. En plus, le 90% de l'énergie solaire se reçoit pendant les huit heures autour de midi puisque la quantité d'atmosphère que les rayons de soleil doivent traverser est plus petite et donc l'atmosphère atténue moins l'énergie solaire reçue. Donc, la superficie devrait se centrer à midi, c'est-à-dire, elle devrait s'orienter à l'équateur (l'azimut $\alpha = 0$). A cause de l'inclinaison d'axe terrestre, il y a une exception à cette dernière règle dans les zones tropicales où la superficie doit s'orienter à la direction inversée de l'équateur (l'azimut $\alpha = 180$). Finalement et dans le cas idéal, l'inclinaison de la superficie devrait suivre la variation de la hauteur maximale du soleil à midi afin de maximiser la production d'énergie.

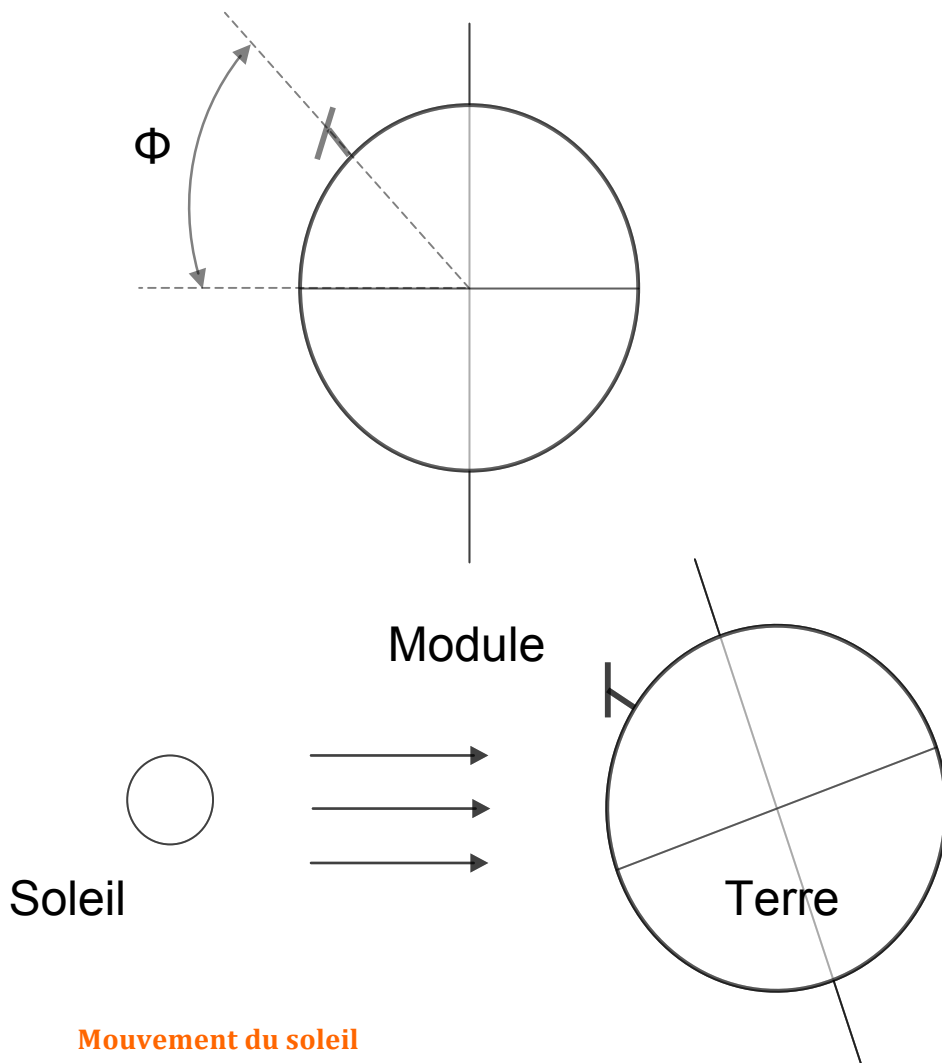


3.1.2. Position du module

Le paramètre décrivant la position géographique est la latitude.

- La latitude ϕ est l'angle entre l'équateur et un point sur le méridien.

La figure suivante illustre le paramètre de la position géographique. De nouveau, on peut y déduire que la position géographique influence l'orientation du module et avant tout l'inclinaison. Par exemple, si l'installation se trouve dans l'hémisphère du nord, à mesure que le module s'approche au pôle, l'inclinaison doit augmenter

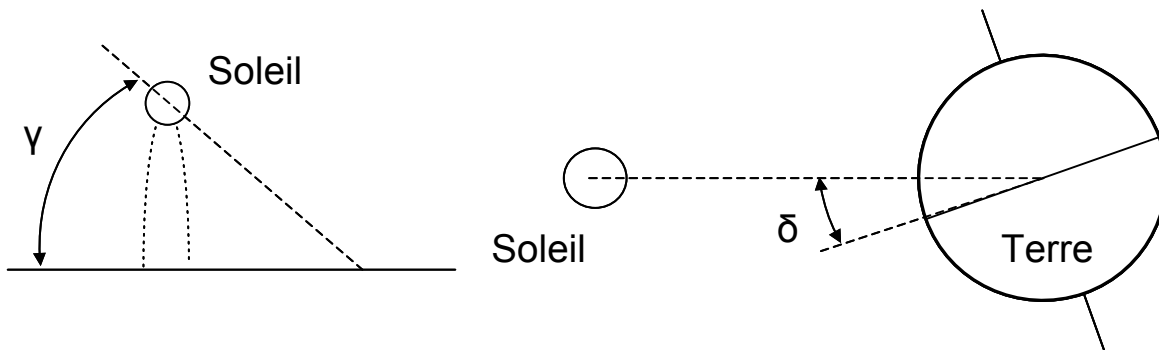


3.1.3. Mouvement du soleil

Finalement, le mouvement du soleil est décrit par l'élévation du soleil. En fait, le trajet diurnal du soleil (l'élévation du soleil) a un maximum à midi, mais la hauteur maximale de ce trajet varie selon le cycle annuel.

- L'élévation du soleil γ est l'angle entre le soleil et le plan horizontal. La hauteur maximale dépend de la latitude et de la déclinaison solaire.
- La déclinaison solaire δ est l'angle qui forme le soleil avec le plan de l'équateur.

La figure suivante illustre le mouvement du soleil et les paramètres correspondantes.



La déclinaison solaire peut se décrire en fonction du numéro du jour d selon l'équation suivante.

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

Où 23.45 est la déclinaison maximale. L'élévation du soleil est donc donnée par :

$$\gamma = 90 - |\phi - \delta(d)|$$

La radiation est maximale si la surface est orientée face au soleil, c'est-à-dire, perpendiculaire à la ligne qui unit la position de l'installation avec le soleil, l'inclinaison de la surface β vaut donc :

$$\beta = |\phi - \delta(d)|$$

3.1.4. Conclusions partielles

La radiation solaire sur une surface quelconque dépend de la position géographique, du mouvement du soleil et de l'orientation de la surface. La radiation est maximale si la surface est orientée face au soleil, c'est-à-dire, perpendiculaire à la ligne qui unit la position de l'installation avec le soleil. Par conséquent, l'orientation du module dépend de son orientation qui est à la fois fonction de la position géographique et du mouvement du soleil. On peut formuler trois règles simples :

- Il faut éviter n'importe quelle source d'ombrage.
- La surface devrait s'orienter à l'équateur (l'azimut $\alpha = 0$).
- La surface devrait s'orienter face au soleil

La section 5.1 donnera plus de détails.

3.2. Estimation

On a vu que la radiation incidente sur la surface terrestre peut se diviser en trois parties: la radiation directe, la radiation diffusée et la radiation réflétée. La radiation incidente est un phénomène aléatoire dépendant des conditions météorologiques et de la position géographique. En plus, la radiation dépend du mouvement relatif soleil terre, régi par des équations assez complexes.

Il y a plusieurs méthodes afin de caractériser et estimer la radiation incidente. Ces méthodes ou bien sont basés sur une approximation simplifiée du problème ou bien utilisent des utiles

informatiques afin de résoudre ce problème de façon plus réaliste. Or, on commence par exposer d'une manière résumée une méthode typique de l'estimation de la radiation globale. Ensuite et pour le lecteur intéressé, on présente cette méthode de l'estimation en plus amples détails.

3.2.1. Méthode en bref

La méthode de l'estimation de la radiation part des douze valeurs moyennes de la radiation globale diurne sur une superficie horizontale $G_{dm}(\beta=0)$, mesurées dans un observatoire météorologique.²

L'estimation de la radiation globale sur une superficie inclinée peut se décrire par une équation quadratique en $G_{dm}(\beta=0)$ avec coefficients linéaires et quadratiques A et B, respectivement :

$$G_{dm}(\beta) = A(\beta, \rho)G_{dm}(0) + B(\phi, \beta, m)G_{dm}(0)^2$$

On peut voir que le coefficient A dépend de l'inclinaison β et du coefficient de réflexion, ρ pendant que le coefficient B dépend de la latitude, ϕ de l'inclinaison β et du mois m.

La table suivante présente des coefficients de réflexion typiques [2].

Terre	Réflexion
Sèche	0.2
Herbe humide	0.3
Désert	0.4
Neige	0.6

Les deux tables suivantes montrent les coefficients A et B pour une zone géographique similaire à celle de Bénin [2].

A	$\rho=0.2$	$\rho=0.3$	$\rho=0.4$	$\rho=0.5$	$\rho=0.6$
$\beta=+-5$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta=+-10$	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997
$\beta=+-15$	0.986	0.988	0.99	0.991	0.993
$\beta=+-20$	0.976	0.979	0.982	0.985	0.988
$\beta=+-25$	0.963	0.967	0.972	0.977	0.981
$\beta=+-30$	0.946	0.953	0.96	0.967	0.973
$\beta=+-35$	0.928	0.937	0.946	0.955	0.964

² Parfois, on dispose plutôt des valeurs moyennes des heures solaires par jour. A partir de ces valeurs, on peut estimer la radiation globale diurne.

B φ=10	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
β=35	0.0493	0.0281	0.0055	- 0.0145	- 0.0291	- 0.0381	- 0.033	- 0.0207	- 0.0023	0.0205	0.0439	0.0572
β=30	0.0445	0.0259	0.0061	- 0.0114	- 0.0244	- 0.0306	- 0.0279	- 0.0169	-0.007	0.0193	0.0398	0.0514
β=25	0.0389	0.023	0.0062	- 0.0087	- 0.0193	- 0.0252	- 0.0228	- 0.0133	0.0005	0.0174	0.0349	0.0447
β=20	0.0324	0.0195	0.0059	- 0.0062	- 0.0154	- 0.0198	- 0.0178	-0.01	0.0012	0.015	0.0292	0.0372
β=15	0.0253	0.0155	0.0051	- 0.0041	- 0.011 1	- 0.0146	- 0.013	-0.007	0.0016	0.012	0.0228	0.0289
β=10	0.0175	0.0108	0.0039	- 0.0024	- 0.007 1	- 0.0071	- 0.008 4	- 0.0043	0.0015	0.0085	0.0158	0.0199
β=5	0.009	0.0057	0.0021	-0.001	- 0.003 4	- 0.0046	- 0.004 1	-0.002	0.001	0.0045	0.0082	0.0102
β=0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2.2. Méthode détaillée

La méthode de l'estimation de la radiation globale qui se présente ici commence par définir mathématiquement la radiation directe, la radiation diffusée et la radiation reflétée. Ensuite, on calcule l'effet de l'inclinaison d'une superficie irradiée (e.g., le module photovoltaïque) sur les trois radiations. Le calcul de la radiation globale se répète pour chaque mois afin d'obtenir un compromis entre la précision et la fiabilité de l'estimation.

3.2.3. Point de départ

On suppose qu'on connaît les douze valeurs moyennes de la radiation globale diurne sur un superficie horizontale $G_{dm}(\beta=0)$, mesurées dans un observatoire météorologique. Parfois, on dispose plutôt des valeurs moyennes des heures solaires par jour. A partir de ces valeurs, on peut estimer la radiation globale diurne.

Pour chaque mois m , on calcule :

- La moyenne mensuelle de la radiation extraterrestre diurne sur une superficie horizontale, $B_{0dm}(\beta=0)$, et
- La moyenne mensuelle de la longueur du jour, S_{0m} , selon

$$S_{0m} = \frac{24}{\pi(d_{ini} - d_{fin})} \sum_{d=d_{ini}}^{d_{fin}} \arccos(-\tan \delta \tan \phi)$$

La radiation globale diurne s'estime donc :

$$G_{dm}(0) = B_{dm0}(0) 0.18 + 0.62 \frac{S_m}{S_{0m}}$$

Donné l'importance de la radiation directe et de la radiation diffusé, les douze valeurs moyennes de la radiation globale diurne se désagrègent en valeurs directes et diffusées. Il convient de

rappeler que la radiation reflétée est fonction de la radiation diffusée. Cette désagrégation se réalise avec les indices d'éclat et la fraction directe diffusée de la radiation horizontale.

3.2.4. Fraction directe et diffusée de la radiation horizontale

La radiation directe et diffusée se désagrègent avec les indices de brillance (K_t) et de fraction diffuse de la radiation horizontale (K_D). La radiation directe (I) et la radiation diffusée (D) sont donc :³

$$D(0) = K_D G_{dm}(0)$$

$$I(0) = G_{dm}(0) D(0)$$

L'indice de brillance K_t mesure la transparence de l'atmosphère et il est défini comme la relation entre la radiation globale horizontale $G(0)$ et la radiation extraterrestre horizontale $B_0(0)$. Le calcul de l'indice de brillance pour les m mesures mensuelles est donc :

$$K_t = \frac{G_{dm}(0)}{B_0(0)}$$

Où $G_{dm}(0)$ est une entrée et $B_0(0)$ se calcule selon :

$$B_0(0) = \frac{24}{\pi} B_0 \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \left(\frac{30.42m - 15.21}{365} \right) \right) \sin(-\omega_{sm} \cos(\omega_{sm})) \right)$$

B_0 est la constante solaire qui vaut 1367 W/m^2 , m est le numéro du mois et ω_{sm} est l'angle de la sortie du soleil pour chaque mois. Cet angle se détermine selon l'équation suivante :

$$\omega_{sm} = \arccos(\tan \delta \tan \phi)$$

Où δ_{dm} est la déclinaison solaire moyenne mensuelle.

L'indice de fraction diffuse de la radiation horizontal K_D est défini comme la relation entre la radiation diffuse horizontale et la radiation globale horizontale. Puisque le composant diffus augmente quand la transparence de l'atmosphère diminue, la fraction diffuse est liée avec l'indice de brillance. La relation entre ces deux indices est :

$$K_D = 1 - 1.113 K_t$$

3.2.5. L'effet de l'inclinaison

On suppose que la superficie est orientée à l'équateur (l'azimut $\alpha = 0$) et en plus on part de l'hypothèse que la radiation diffusée est isotrope.

D'abord on calcule pour chaque mois les angles de la sortie du soleil selon l'équation suivante :

$$\omega_{ssm} = \min \left[\omega_{sm}, \arccos(\tan \delta \tan(\phi - \beta)) \right]$$

³. On a vu que la radiation reflétée est zéro sur une superficie horizontal : $R(0) = 0$.

Ensuite, on détermine les relations entre les radiations directes diurnes incidentes sur la superficie inclinée et sur la superficie horizontale :

$$R_{bm} = \frac{\cos(\phi - \beta) \sin \omega ssm \cos \delta + \omega ssm \sin \delta \sin(\phi - \beta)}{\cos \phi \sin \omega ssm \cos \delta + \omega ssm \sin \delta \sin(\phi)}$$

Or, la moyenne mensuelle de la radiation globale diurne sur une superficie inclinée par un angle β est donnée par la somme des radiations directes, diffusée et reflétée :

$$G_{dm}(\beta) = \underbrace{(G_{dm}(0) - D_{dm}(0))}_{I} R_{bm} + \underbrace{\frac{1 + \cos \beta}{2}}_D D_{dm}(0) + \underbrace{\rho \frac{1 - \cos \beta}{2}}_R G_{dm}(0)$$

$$= \underbrace{0.5(1 + \cos \beta + (1 - \cos \beta)\rho)}_A G_{dm}(0) + \underbrace{\left(\frac{1.13}{B} \left(R_{bm} - \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right)}_B G_{dm}(0)^2$$

L'estimation de la radiation globale sur une superficie inclinée peut se décrire donc par une équation quadratique dont les coefficients linéaires et quadratiques sont A et B, respectivement

$$G_{dm}(\beta) = A(\beta, \rho) G_{dm}(0) + B(\phi, \beta, m) G_{dm}(0)^2$$

3.2.6. Exemple: Le Bénin


Le Bénin se situe plus ou moins à une latitude de 10 degrés et à une longitude de 2 degrés.

L'azimut pourrait être de 0 degrés, mais il faut tenir compte du fait que le Bénin se situe dans la zone tropicale et, par conséquent, l'azimut est préférablement de 180 degrés.

Les tables suivantes montrent la déclinaison moyenne par mois ainsi que l'élévation solaire horaire moyenne. La figure suivante montre l'élévation solaire horaire moyenne [1].

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Déclinaison moyenne	-21	-12	-1.8	9.71	18.8	23	21	13.7	3.08	-8.5	-18	-23

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0700 GMT	9.73	10.7	14.2	18.1	20	19.5	18	17.6	18.4	18.4	16	13
0800 GMT	23	24.8	28.9	32.8	34.2	33.3	32	32.1	33.1	32.7	30	25.9
0900 GMT	35.7	38.6	43.4	47.6	48.4	47	46	46.7	47.9	46.6	42	38
1000 GMT	47	51.4	57.6	62.3	62.3	60.3	60	61.2	62.4	59.4	53	48.3
1100 GMT	55.6	62.2	70.8	77.1	75.3	72	72	75.7	76.3	69.2	60	55.3
1200 GMT	59.2	67.5	78.1	88	80.7	76.7	79	86.1	82.4	70.7	61	56.8
1300 GMT	56	63.9	71.1	73.2	70.5	69	71	73.9	70.6	62.4	55	52.2
1400 GMT	47.7	53.9	58	58.5	56.9	56.6	59	59.5	56.3	50	45	43.3
1500 GMT	36.5	41.3	43.8	43.7	42.8	43.2	45	44.9	41.6	36.3	32	31.9
1600 GMT	23.9	27.7	29.3	29	28.7	29.4	31	30.4	26.9	22.1	19	19.4
1700 GMT	10.6	13.6	14.6	14.3	14.5	15.6	17	15.8	12.1	7.71	5.4	6.21

- 
- Il faut éviter n'importe quelle sorte d'ombrage.
 - La superficie devrait s'orienter à l'équateur (l'azimut $\alpha = 0$).
 - La superficie devrait s'orienter face au soleil (l'inclinaison dépend de la latitude et de la déclinaison solaire).

3.4. Références

[1] <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01#s01>

[2] Ingeniería Sin Fronteras, "Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo", IEPALA, 1999, Madrid.

4 Composants des systèmes solaires photovoltaïques

4.1. Description globale

Les systèmes solaires photovoltaïques fonctionnent comme suit :

La lumière solaire entre par la surface des modules photovoltaïques, où elle est convertie en énergie électrique de courant continu (**générateur photovoltaïque**). Plus tard, cette énergie est collectée et conduite au système de régulation de charge (**régulateur**) dont la fonction est d'envoyer cette énergie de manière totale ou partielle au système de cumul (**batterie**), où elle est stockée avec la précaution de ne pas excéder les limites de surcharge et de décharge profondes. Cette énergie stockée est utilisée pour le ravitaillement des charges pendant la nuit, en jours de faible ensoleillement ou lorsque le système photovoltaïque est incapable de satisfaire la demande lui-même.

Quand les charges à alimenter sont de courant continu, elles s'alimentent de manière directe. Quand les charges sont de courant alternatif, l'énergie s'envoie à un inverseur de courant où elle est convertie en courant alternatif (**onduleur**).

Ainsi, les éléments d'un système solaire photovoltaïque sont indiqués dans la fig. 1 et énoncés ci-dessous :

1. Générateur photovoltaïque
2. Batterie
3. Régulateur
4. Onduleur

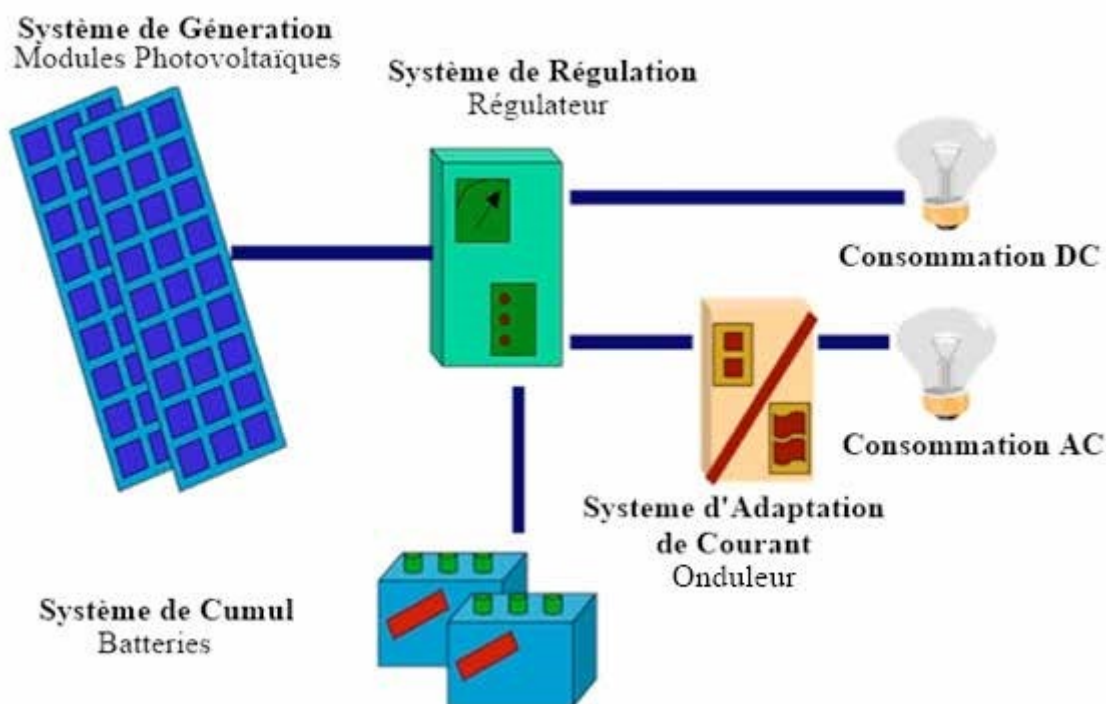


Fig. 1 : Éléments d'un système solaire photovoltaïque [1].

4.2. Le Générateur photovoltaïque

Le module photovoltaïque convertit directement la lumière du soleil en courant électrique continu par le biais des cellules solaire.

4.2.1. Bases du fonctionnement des panneaux photovoltaïques [2] :

Le fonctionnement des panneaux photovoltaïques se base sur l'**effet photovoltaïque**. Quand l'ensemble photovoltaïque s'expose au rayonnement solaire, les photons contenus dans la lumière transmettent leur énergie aux électrons des matériaux semi-conducteurs. Ces électrons peuvent alors franchir la barrière de potentiel de l'union P-N et sortir du matériau semi-conducteur à travers un circuit extérieur, donnant lieu à un courant électrique.

Le module le plus petit d'un matériau semi-conducteur avec une union P-N (et, par conséquent, avec la capacité de produire de l'électricité) est dénommé cellule photovoltaïque. Ces cellules photovoltaïques se combinent de manières spécifiques pour obtenir la puissance et la tension souhaitées. L'ensemble de cellules situé sur un support approprié et recouvert de matériaux qui le protègent d'une façon efficace contre les agents atmosphériques s'appelle panneau photovoltaïque.

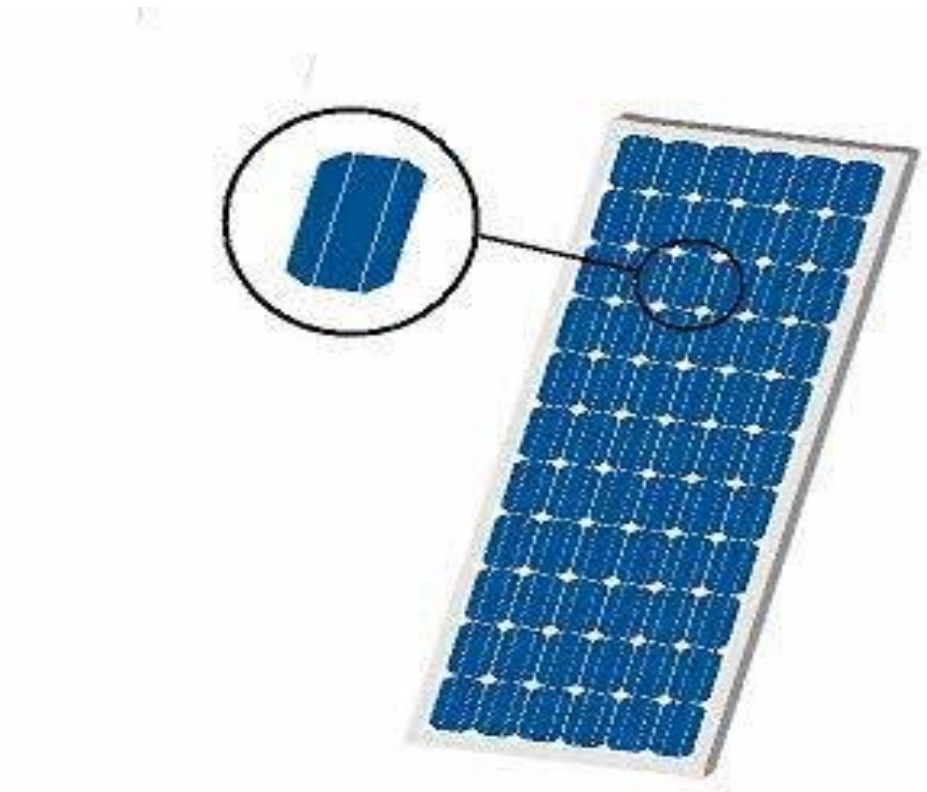


Fig. 2 : Cellule photovoltaïque et panneau photovoltaïque [2].

4.2.2. Sur le marché on peut trouver les types suivants de panneaux solaires [2]:

- **Module au silicium monocristallin** : cellules de couleur bleu nuit, uniforme par un monocristallin avec un meilleur rendement. Le rendement maximal obtenu dans le laboratoire est de 24.7 %, et de 16 % dans les modules commercialisés [2].



Fig 3 : Module au silicium monocristallin [2]

- **Module au silicium polycristallin** : cellules de couleur bleu avec des motifs, et formé par plusieurs cristaux avec un rendement meilleur. Ils sont très reconnaissables visuellement parce que leur superficie présente un aspect granulé. Le rendement obtenu avec ces modules est inférieur à celui des modules monocristallins (19.8 %

dans le laboratoire et 14 % dans les modules commercialisés), et leur prix est aussi plus bas [2].

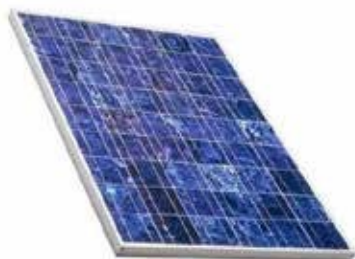


Fig 4 : Module au silicium polycristallin[2]

- **Module au silicium amorphe** : ils sont aussi à base de silicium, mais contrairement aux modules précédents, ce matériau n'a pas de structure cristalline. Son rendement maximal obtenu dans le laboratoire est de 13 %, et de 8 % pour les modules commercialisés. Ils sont moins utilisés. (Ils s'appellent aussi modules à couche mince).



Fig 5: Module au silicium amorphe [3]

4.2.3. Paramètres électriques d'un module photovoltaïque [4] :

Les paramètres les plus importants d'un panneau photovoltaïque sont :

- **Courant de court-circuit (I_{cc})** : C'est l'intensité de courant maximale fournie par le panneau. Il s'agit du courant qui se produit lors de la connexion directe des deux pôles. I_{cc} est généralement autour de 3 A.
- **Tension de circuit ouvert (U_{cO})** : C'est la tension maximale fournie par le panneau. Elle se produit quand les pôles se trouvent « en plein air ». U_{cO} est généralement inférieur à 22 V dans les modules qui fonctionnent avec 12 V.
- **Point de puissance maximale** : Il existe un point de fonctionnement (I_{pmax}, V_{pmax}) où la puissance fournie est maximale (P_{max}=I_{pmax} x V_{pmax}). C'est le point de puissance maximale du panneau. Il est indiqué en watts (W).

- **Facteur de forme FF** : Il s'agit de la relation entre la puissance maximale fournie par le panneau et le produit $I_{sc} \times V_{oc}$. Il présente une notion sur la qualité du panneau et sa valeur se trouve normalement entre 0,7 et 0,8.
- **Efficacité ou rendement η** : C'est le ratio entre la puissance électrique maximale que le panneau peut transmettre à la charge et la puissance du rayonnement solaire (PI) frappant le panneau. Il se trouve normalement autour de 10 %.

Notes :

Les valeurs d' I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} et V_{pmax} sont fournies par le fabricant en relation avec des Conditions Standard (CS) de mesure, notamment : (i) irradiance $G(CE) = 1kW/m^2$; (ii) Au niveau de la mer ; (iii) Pour la température des cellules $T_c(CE) = 25^\circ C$.

La puissance maximale fournie par le module est indiquée en watt crête (W_c).

Les caractéristiques principales d'un module photovoltaïque sont marquées par : (i) Sa puissance crête (W_c) ; (ii) Son courant de court-circuit (A) ; (iii) Sa tension de circuit ouvert (V) ; et (iv) sa tension de fonctionnement (12 V ; 24 V ; 48 V).

4.2.4. Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque [4] :

Le fonctionnement électrique d'un module est représenté par sa courbe caractéristique. Cette courbe indique le courant fourni par le module en fonction de sa tension. La fig. 6 et la fig. 7 montrent les possibles valeurs de tension et de courant qui dépendent surtout de la température et du rayonnement solaire reçu par les cellules du module.

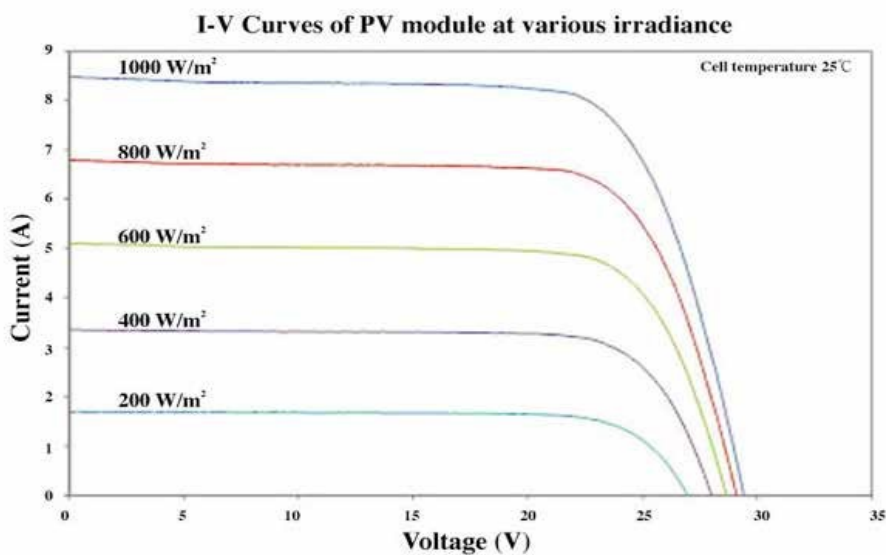


Fig. 6 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de valeurs différentes de rayonnement [5]

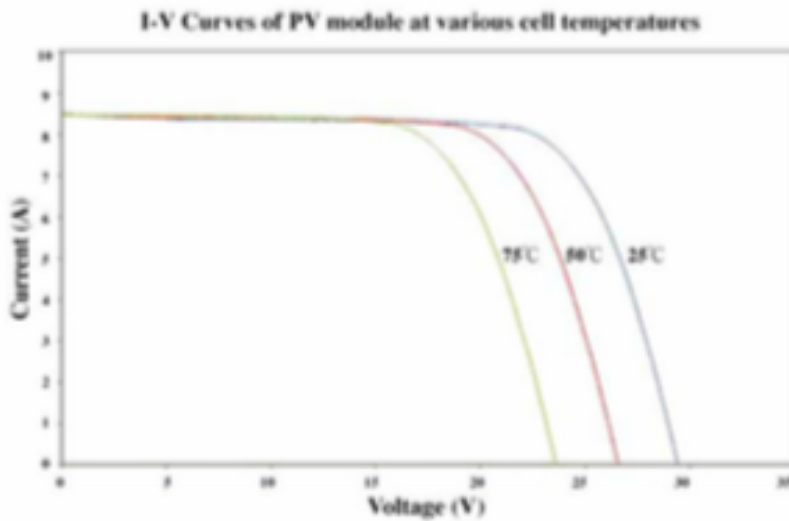


Fig 7 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque en fonction de valeurs différentes de température [5]

4.2.5. Interconnexion des panneaux photovoltaïques [4] :

Tous les panneaux à interconnecter doivent être égaux, c'est-à-dire, ils doivent être de la même marque et avoir les mêmes caractéristiques.

L'interconnexion des panneaux se fait, premièrement, à travers l'association de panneaux en série pour obtenir le niveau de tension souhaité ; et plus tard, à travers l'association en parallèle de plusieurs associations en série pour obtenir le niveau de courant souhaité. La Fig. 8 est un exemple de cette connexion.

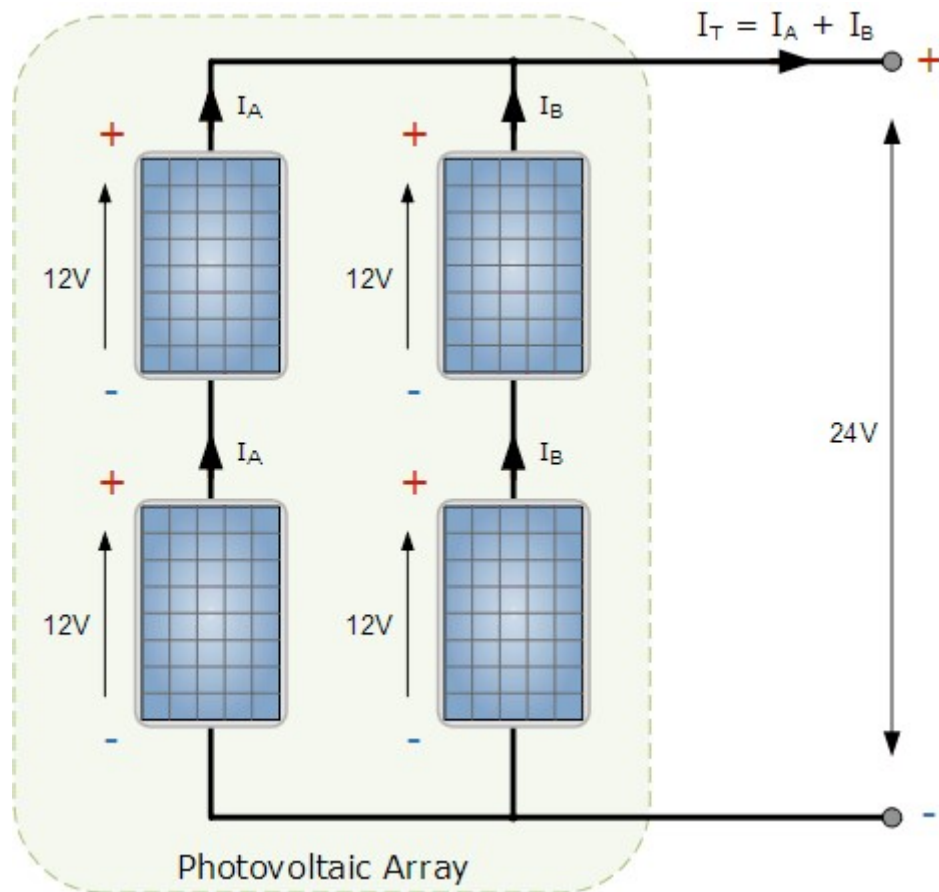


Fig. 8 : Exemple d'une connexion en série-parallèle.

4.3. La batterie

La batterie a pour fonction le stockage d'une partie de l'énergie produite par les panneaux (c'est-à-dire, la portion d'énergie qui n'est pas immédiatement consommée) afin qu'elle soit disponible dans des périodes où le rayonnement solaire est faible ou inexistant. Le stockage se fait sous la forme d'énergie électrique à travers l'usage de batteries, normalement de plomb-acide.

Une batterie est composée par l'association en série de plusieurs « éléments » ou « cellules », chacun d'eux comprenant deux électrodes de plomb dans une dissolution électrolytique. Entre les deux électrodes, une différence de potentiel de près de deux volts est établie, et la valeur instantanée dépend de l'état de charge de la batterie. Les batteries les plus utilisées pour les applications photovoltaïques sont de 12 ou 24 volts de tension nominale.

La batterie a aussi ces deux importantes fonctions :

- Fournir une puissance instantanée supérieure à celle fournie par l'ensemble des panneaux et nécessaire pour la mise en place de quelques éléments.
- Déterminer la marge des tensions de travail de l'installation.

4.3.1. Types de batteries

Les batteries sont de plusieurs types, à savoir [4] :

- Nickel-cadmium
- Plomb-acide
- Batterie d'automobile

Les batteries de Nickel-Cadmium sont les plus recommandées à cause de leur haute fiabilité et résistance, mais leur prix élevé fait pencher la balance en faveur des batteries de plomb-acide. Cependant, il y a quelques pays où ces batteries sont difficiles à trouver ou où leur prix peut être très haut (soient locales ou soient importées), et pour cette raison, les batteries utilisées sont celles offertes par le marché, notamment celles destinées au marché des automobiles. En plus, l'Union Européenne a interdit l'usage des batteries de Nickel-Cadmium à cause de la toxicité du Cadmium.

Pourtant, les batteries d'automobile ne sont pas très recommandées pour les applications photovoltaïques, car elles ont été désignées pour fournir une forte intensité pendant quelques secondes (démarrage), et pas pour fournir des courants bas de manière plus ou moins régulière. Cela réduit sa durée d'utilisation.

Note : Les batteries peuvent avoir une technologie à électrolyte liquide ou gel. Dans le cas des batteries à électrolyte gel, l'électrolyte se présente sous la forme d'un gel. Ce type de batterie a les avantages suivants : elle n'a besoin d'aucune maintenance et peut travailler dans un large éventail de températures (-15°C +55°C). Par contre, elles sont plus chères et se rechargent plus lentement.

4.3.2. Fonctionnement de la batterie [4] :

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.

4.3.3. Paramètres de la batterie :

- **Tension nominale** : Elle est normalement de 12 volts.
- **Capacité nominale** : Elle est la quantité maximale d'énergie qui peut être retirée de la batterie. Elle s'indique en ampères heure (Ah) ou en wattheures (Wh). Puisque la quantité d'énergie qui peut être retirée dépend aussi du temps nécessaire pour le processus d'extraction (plus le processus est long, plus d'énergie on pourra obtenir), la capacité est souvent indiquée en fonction du temps de décharge. Dans le cas des applications photovoltaïques, ce temps doit être égal ou supérieur à 100 heures.
- **Profondeur maximale de décharge** : Elle est la valeur (indiquée en pourcentage) extraite d'une batterie totalement chargée dans une décharge. La profondeur est limitée par les régulateurs, qui sont habituellement calibrés pour qu'ils puissent permettre des profondeurs de décharge de la batterie d'environ 70 %. En fonction de la profondeur maximale de décharge permise, la batterie peut avoir plus ou moins de cycles de charge et décharge pendant toute sa durée d'utilisation. Le fabricant doit fournir des graphes où la relation entre la quantité de cycles et la durée de la batterie puisse être vue.
- **Capacité utile ou disponible** : Elle est la capacité qui peut être véritablement utilisée. Elle est égale au produit de la capacité nominale et de la profondeur maximale de décharge celle-ci divisée par un.

4.3.4. Effets de la température dans le comportement d'une batterie [4]

- Si la température est basse, la durée d'utilisation s'accroît mais il existe un risque de gel.
- La capacité nominale d'une batterie (que le fabricant fournit pour 25°C) s'accroît avec la température au rythme de 1%/°C approximativement.

La Fig. 9 présente la relation de la température avec des cycles de durée et la capacité d'une batterie.

Température:

• Basses températures. Augmentation de la résistance interne et baisse de la tension de sortie.

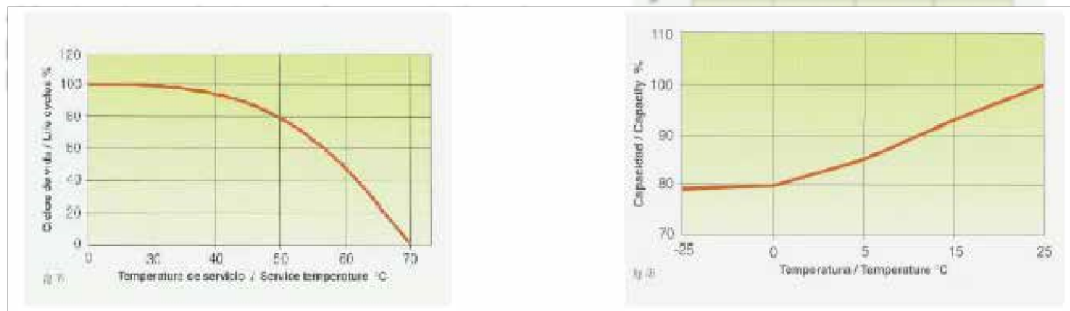


Fig. 9 : Courbes de cycles de durée et capacité pour des valeurs différentes de température.

La Fig. 10 présente la relation de la température avec la tension des éléments ou cellules.

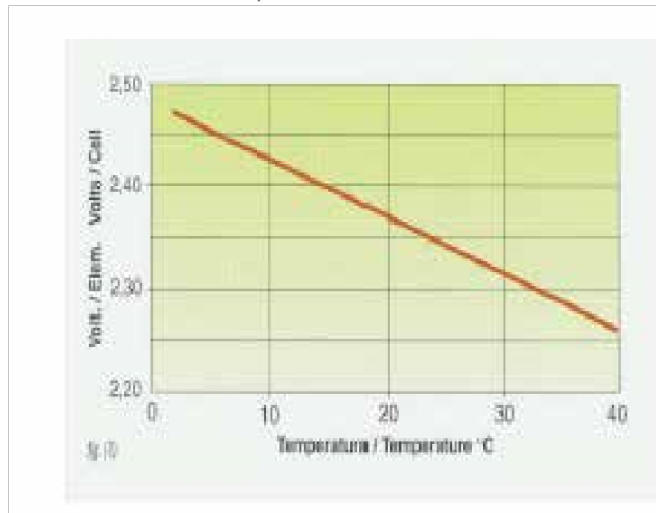


Fig. 10 : Volts par élément pour des valeurs différentes de température

La Table 1 montre un exemple du facteur de correction qui doit être appliqué à la capacité en fonction de la température.

TEMPERATURE	-10°C	0°C	10°C	20°C	25°C	30°C
FACTEUR DE CORRECTIO APPLIQUE	0.72	0.83	0.91	0.98	1.00	1.05

Table 1 : Facteur de correction de la capacité en fonction de la température.

4.3.5. Connexions des batteries (en série/en parallèle/mixte)

La Fig. 11 présente les types de connexion des batteries.

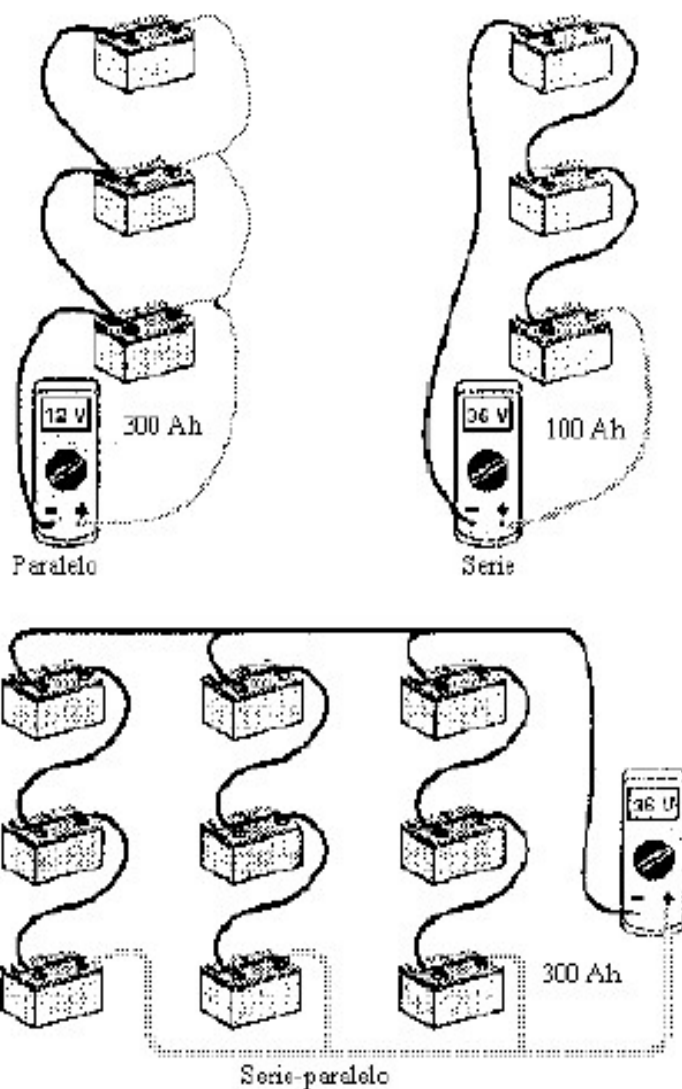


Fig 11 : Types de connexion des batteries.

4.4. Le régulateur de charge

Il implique une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire.

Fonction : Protection de la batterie contre les situations extrêmes afin de ne pas l'endommager.

Fonctionnement : Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharges ou de décharges extrêmes.

4.4.1. Différentes types de régulateur:

- **Régulateur parallèle** : Il régularise la surcharge. Il est indiqué pour des petites installations solaires photovoltaïques.
- **Régulateur série** : Il régularise la surcharge et la décharge. Son interrupteur peut être électromécanique ou statique. Il peut incorporer des autres fonctions (alarme, interruption nocturne, etc.). La Fig. 12 présente l'image d'un régulateur série.

Les régulateurs utilisés sont de type série : ils déconnectent l'ensemble de panneaux de la batterie pour éviter la surcharge ; et les équipements de consommation pour éviter la surdécharge. Cette déconnexion se fait à travers interrupteurs qui peuvent être des dispositifs électromécaniques (des relais, des contacteurs, etc.) ou des dispositifs d'état solide (un transistor bipolaire, etc.).

Afin de protéger la batterie de la surcharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie atteint sa *tension d'arrêt de la charge*, et se ferme de nouveau quand la batterie retourne à la *tension de réinitialisation de charge*. La tension d'arrêt de la charge est environ 2,45V par chaque élément de la batterie à 25°C [4].

En ce qui concerne la surdécharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie est inférieure à la *tension d'arrêt de la décharge*, et se ferme quand la batterie retourne à la *tension de réinitialisation de décharge*. La tension d'arrêt de la décharge est environ 1,95V par chaque élément [4].




Fig 12 : Régulateur série [6]

4.4.2. Paramètres qui définissent un régulateur :

- **Tension de travail** : 12, 24 ou 48 V
- **Intensité maximale** : Elle doit être supérieure au courant maximal du générateur photovoltaïque [4].

Le fabricant fournit aussi des autres données d'intérêt :

- Les valeurs de la tension d'arrêt de la charge (surcharge) et de la tension d'arrêt de la décharge (surdécharge).



- L'existence de compensation avec la température. Les tensions qui indiquent l'état de charge de la batterie changent avec la température, et c'est pour cette raison que quelques régulateurs mesurent la température et utilisent cette information pour corriger les tensions de surcharge.

- L'instrumentation de mesure et ses indicateurs : les régulateurs ont souvent un voltmètre qui mesure la tension de la batterie et un ampèremètre qui mesure le courant. La plupart d'eux ont des indicateurs qui notifient certaines situations comme : le bas état de charge de la batterie, déconnexion des panneaux avec la batterie, etc.

4.5. L'onduleur

Les onduleurs sont des équipes qui transforment la tension continue fournie par les modules en une tension différente, soit continue d'une autre magnitude (onduleurs DC/DC) ou soit alternative (onduleurs DC/AC, qui sont les plus communs) [4].

4.5.1. Onduleurs DC/AC

Les systèmes solaires produisent de l'énergie électrique en courant continu mais beaucoup d'électrodomestiques et de récepteurs fonctionnent avec le courant alternatif.

Dans les installations solaires photovoltaïques connectées au réseau électrique, l'onduleur doit non seulement transformer le courant continu du générateur photovoltaïque en courant continu du générateur photovoltaïque en courant alternatif, mais aussi réaliser des autres fonctions.

Ses fonctions principales : (i) inversion de modulation de l'onde alternative ; (ii) régulation de la valeur efficace de la tension de sortie.

Les onduleurs peuvent être en monophasé ou en triphasé, avec des valeurs différentes pour la tension d'entrée et avec une puissance qui peut aller jusqu'à des mégawatts

4.5.1.1. Types d'onduleurs DC/AC :

- **Onduleur à onde carrée** : Pour les utilisations de base comme les TV et l'éclairage, et en général pour les charges résistives. Ils sont moins chers.

- **Onduleur à onde sinusoïdale** : Pour tout type d'application, en particulier pour les moteurs. Ils sont plus chers.

4.5.1.2. Caractéristiques de fonctionnement les plus importants :

- **Tension et courant d'entrée/sortie**

- **Forme de l'onde**

- **Limites de la tension d'entrée**

- **Basse de consommation et haut rendement**

- **Puissance de sortie**

- **Capacité de surcharge (important quand il a accès au moteur)**
- **Facilité de réparation et la maintenance**
- **Fonctionnement dans les points de puissance maximale**
- **Conditions ambiantes (température de fonctionnement)**

4.5.1.3. Notes

La puissance nominale doit être environ 2 et 3 fois la puissance des appareils à alimenter.

Un onduleur est fourni avec les câbles d'entrée CC de grosse section pour réduire les chutes de tension (il faut les connecter au régulateur ou à la batterie selon le cas, sans les rallonger).

Il est impératif de choisir des appareils en AC puisque cela sera plus économe en électricité : ceci diminuera la taille de l'onduleur du panneau solaire et des batteries.

En dehors de la forme d'onde (carrée ou sinusoïdale), les onduleurs doivent avoir deux caractéristiques :

- **Fiabilité** vers les surtensions : ils doivent pouvoir distinguer si les surtensions sont provoquées par le démarrage d'un moteur (pour les tolérer) et les surtensions provoquées par un court-circuit (pour les couper).
- **Efficacité de conversion** : Elle est très dépendante de la puissance demandée à chaque instant. Car les onduleurs sont plus efficaces quand ils travaillent près de leur puissance nominale, il faut sélectionner bien le modèle à utiliser afin qu'il travaille normalement dans ces conditions. Le fabricant fournit souvent le rendement de l'onduleur à 70 % de sa valeur nominal.

4.5.2. Onduleurs DC/DC

Ils sont nécessaires afin de diminuer ou d'augmenter la tension en CC des récepteurs qui fonctionnent en CC. La plupart des convertisseurs offrent des tensions suivantes : 1,5 V ; 3 V ; 4,5 V ; 6 V ; 7,5 V ; 9 V ; 12 V ; 24 V.

4.6. Références

[1] <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>

[2] <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm>

[3] <http://www.directindustry.es/prod/vhf-technologies/modulos-fotovoltaicos-de-silicio-amorfosobre-chapa-flexible-54798-712351.html>

[4] [Libro de Ingeniería sin fronteras](#)

[5] <http://www.pvsystem.org/es/photovoltaic-panels.html>

[6] <http://www.solarmania.es/Regulador-carga-Steca-PR1515-12/24V-15A>

5 Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque

5.1. Calcul du rayonnement solaire

5.1.1. Obtention des données de radiation globale horizontale (0°)

Afin de réaliser l'étude des ressources solaires on peut consulter des bases de données diverses dont on obtient les valeurs du rayonnement sur la zone d'étude.

Nous utiliserons principalement deux bases de données : PVgis ou NASA, en fonction de la localisation.

- PVgis est une base par satellite qui présente une couverture spatiale plus grande avec une résolution de 1 km par 1 km en Europe, Asie et Afrique.

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

- Sur la page web de la NASA on trouve une grande base de données de paramètres météorologiques et de rayonnement solaire obtenus à travers plus de 200 satellites partout dans le monde. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.

5.1.1.1. PVgis: [<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>]

Étapes :

a) Sélectionner Horizontal irradiation

Choose country/region and city, or set latitude and longitude and hit "Show" to see the data values for that location.

Country/region:	<input type="text" value="Choose country/region"/>
City:	<input type="text" value="First choose a country/region"/>
Latitude:	<input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input type="text"/> " <input type="text" value="N"/>
Longitude:	<input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input type="text"/> " <input type="text" value="E"/>

b) Introduire les coordonnées de la situation géographique

Choose the data values you want to see, then click the map to open a new window where the results will appear. [[help](#)]

Choose data to be seen in a table. Select individual fields using ctrl and left mouse button

<input checked="" type="checkbox"/> Horizontal irradiation
<input type="checkbox"/> 15 deg irradiation
<input type="checkbox"/> 25 deg irradiation
<input type="checkbox"/> 40 deg irradiation
<input type="checkbox"/> 90 deg irradiation
<input type="checkbox"/> Irradiation at opt. angle
<input type="checkbox"/> Linke turbidity
<input type="checkbox"/> Dif. / global radiation
<input type="checkbox"/> Optimal inclination angle

Plot monthly values as graph
 Plot probability distribution of daily horizontal irradiation

c) On obtient la radiation globale horizontale par jour de chaque mois, dont les unités sont

kWh/m²/jour

Month	Irradiation at inclination: (Wh/m ² /day)
	0 deg.
Jan	6339
Feb	6993
Mar	7193
Apr	7049
May	5922
Jun	5000
Jul	4055
Aug	3793
Sep	4746
Oct	5556
Nov	5719
Dec	5886
Year	5677

5.1.1.2. NASA. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Étapes :

- Une fois sur le site web de la NASA, on entre sur " *Meteorology and Solar energy*", et ensuite sur " *Data table for a particular location*".



- over 200 satellite-derived meteorology and solar energy parameters
- monthly averaged from 22 years of data
- data tables for a particular location
- global solar energy data for 1195 ground sites

Data Retrieval:



- [Data tables for a particular location](#)

Tables of all SSE data set parameters for a single site.

- Introduire la latitude et la longitude de la situation géographique et spécifier "Insolation on horizontal surface"

Latitude 12.52 / Longitude 70.86 was chosen.

Select parameters and press Submit
(Default is ALL types) Submit Reset

<i>Geometry</i>	Latitude and longitude (center and boundaries)
<i>Parameters for Solar Cooking</i>	<input type="checkbox"/> Average insolation <input type="checkbox"/> Midday insolation <input type="checkbox"/> Clear sky insolation <input type="checkbox"/> Clear sky days
<i>Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Insolation on horizontal surface (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Diffuse radiation on horizontal surface (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Direct normal radiation (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Insolation at 3-hourly intervals <input type="checkbox"/> Insolation clearness index, K (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Insolation normalized clearness index <input type="checkbox"/> Clear sky insolation <input type="checkbox"/> Clear sky insolation clearness index <input type="checkbox"/> Clear sky insolation normalized clearness index <input type="checkbox"/> Downward Longwave Radiative Flux

c) On obtient la radiation globale horizontale par jour de chaque mois, dont les unités sont kWh/dayjour

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²-day)

Lat 12.52 Lon 70.86	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	5.71	6.47	7.10	7.24	6.57	4.94	5.29	5.80	6.06	5.72	5.45	5.43	5.97

5.1.2. Calcul de l'irradiation sur un plan incliné

Une fois qu'on aura l'information de la radiation globale à 0° (G (0°)), on devra connaître la radiation incidente sur le panneau photovoltaïque (G(α, β)), qui dépendra de deux facteurs, l'azimut α et l'inclinaison β du générateur.

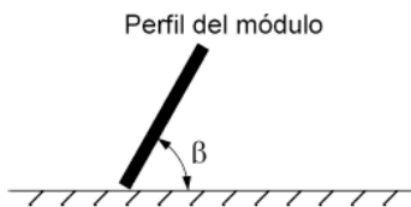


Fig. 1

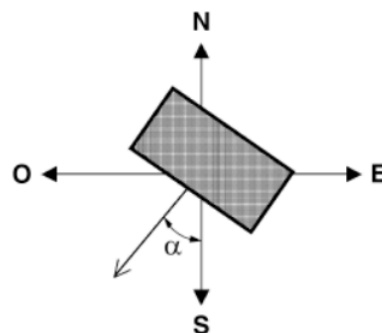


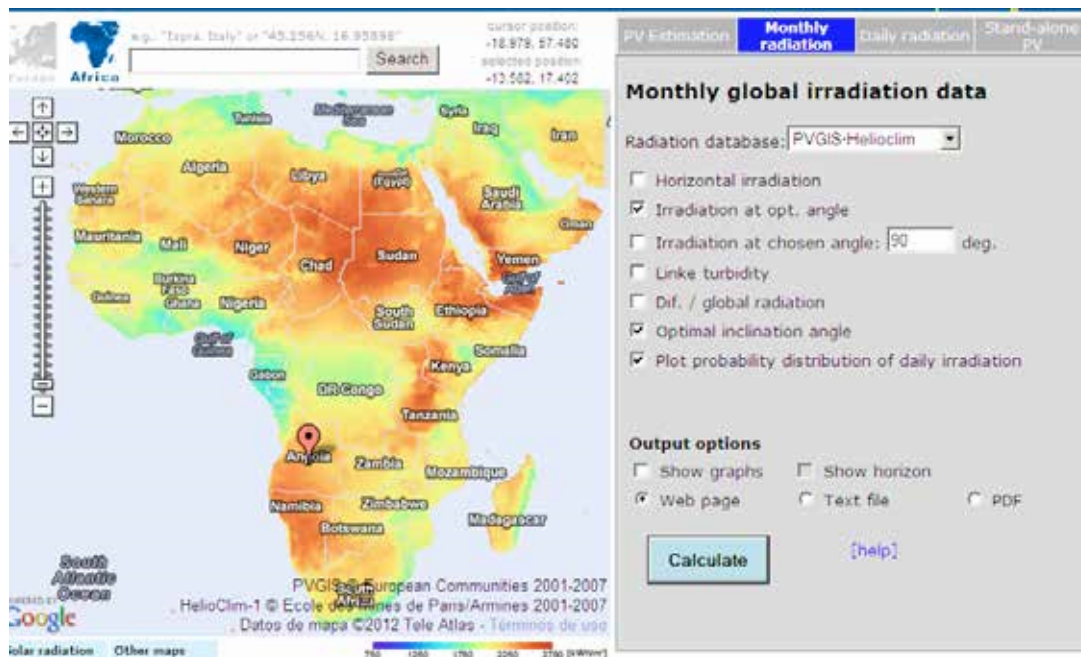
Fig. 2

Selon le placement on peut distinguer deux :

5.1.2.1. PVgis

Pour l'Europe et l'Afrique, le PVgis a une application permettant de calculer l'irradiation sur un plan incliné que l'on peut trouver dans le site web : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=en>

Spécifier “Monthly radiation” et vérifier que la case “Irradiation at opt.angle” est cochée.



Si on fait le calcul on obtiendra la radiation sur le plan incliné à inclinaison optimale, dans ce cas les unités sont Wh/m2/jour.

La radiation sur le plan incliné pendant le mois le plus critique est de 5,580 kWh/m2/jour:

Month	H_{opt}
Jan	5580
Feb	5720
Mar	6040
Apr	6700
May	7180
Jun	7200
Jul	7320
Aug	7230
Sep	6820
Oct	6220
Nov	5780
Dec	5580
Year	6450

5.1.2.2. Application du facteur K

Dans le cas de ne pas disposer de l'option de PVgis, on peut appliquer le facteur K sur l'irradiation horizontale. Tableau Excel ci-joint.

Dans le tableau on spécifie la latitude et l'inclinaison et ensuite on obtient les facteurs K par mois (Exemple).

Latitud	Inclinacio	ENERO	FEBRER	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUBR	NOVIEM	DICIEMBI
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	5	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.98	0.98	1	1.01	1.03	1.04	1.04
12	10	1.06	1.04	1.01	0.98	0.96	0.95	0.96	0.98	1.02	1.05	1.07	1.07
12	15	1.08	1.05	1.01	0.97	0.93	0.92	0.93	0.96	1.01	1.06	1.09	1.1
12	20	1.09	1.05	1	0.94	0.89	0.87	0.89	0.94	1	1.07	1.11	1.12
12	25	1.1	1.05	0.98	0.91	0.85	0.83	0.85	0.91	0.99	1.07	1.12	1.13
12	30	1.1	1.04	0.96	0.87	0.8	0.77	0.8	0.87	0.96	1.06	1.12	1.13
12	35	1.09	1.02	0.93	0.83	0.75	0.72	0.74	0.82	0.94	1.05	1.12	1.13
12	40	1.08	1	0.9	0.78	0.69	0.65	0.68	0.77	0.9	1.02	1.11	1.12
12	45	1.06	0.97	0.86	0.73	0.63	0.58	0.62	0.72	0.86	0.99	1.09	1.1
12	50	1.03	0.94	0.81	0.67	0.56	0.51	0.55	0.66	0.81	0.96	1.06	1.08
12	55	1	0.9	0.76	0.61	0.49	0.44	0.48	0.6	0.76	0.92	1.03	1.05
12	60	0.96	0.85	0.7	0.54	0.41	0.36	0.4	0.53	0.7	0.87	0.99	1.01
12	65	0.91	0.8	0.64	0.47	0.34	0.28	0.33	0.46	0.63	0.82	0.94	0.97
12	70	0.86	0.74	0.58	0.4	0.26	0.2	0.25	0.38	0.57	0.76	0.89	0.92
12	75	0.81	0.68	0.51	0.33	0.18	0.12	0.17	0.3	0.5	0.69	0.83	0.87
12	80	0.74	0.62	0.44	0.25	0.11	0.1	0.09	0.23	0.42	0.62	0.77	0.81
12	85	0.68	0.55	0.37	0.17	0.1	0.09	0.09	0.15	0.35	0.55	0.7	0.74

L'inclinaison sera celle conduisant la plus radiation sur le plan incliné, c'est-à-dire celle avec laquelle, après l'application du facteur K correspondant, on obtient plus de kWh/m2/jour.

Dans cet exemple, on obtiendrait:

	G(0°)	G(5°)		G(10°)	
	kWh/m2/day	K	kWh/m2/day	K	kWh/m2/day
Janvier	5,71	1,03	5,8813	1,06	6,0526
Février	6,47	1,02	6,5994	1,04	6,7288
Mars	7,1	1,01	7,171	1,01	7,171
Avril	7,25	1	7,24	0,98	7,0952
Mai	6,57	0,98	6,4386	0,96	6,3072
Juin	4,94	0,98	4,8412	0,95	4,693
Juillet	5,29	0,98	5,1842	0,96	5,0784
Août	5,8	1	5,8	0,98	5,684
Septembre	6,06	1,01	6,1206	1,02	6,1812
Octobre	5,72	1,03	5,8916	1,05	6,006
Novembre	5,45	1,04	5,668	1,07	5,8315
Décembre	5,43	1,04	5,6472	1,07	5,8101
Moyenne	5,981666667	1,01	6,04025833	1,0125	6,05325

L'inclinaison optimale est, donc, de 10° et la radiation sur le plan incliné pendant le mois le plus critique est de **4,693 kWh/m²/jour**.

Attention! Il faut faire attention aux Unités :

Les bases de données offrent généralement des valeurs en :

- kWh/m²/jour
- Wh/m² - kWh/m²
-

Il faut utiliser les mêmes unités. On emploie de manière générale kWh/m²/jour.

5.2. Estimation de la consommation

Note : L'information de ce paragraphe a été reprise du document : Calcul des installations solaires photovoltaïques :

<http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO%20AISLADAS.pdf>

<http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO%2520AISLADAS%5B1%5D.pdf>

1. La première étape pour estimer la consommation est de connaître la puissance consommée par les différents appareils que l'on souhaite installer, outre les heures hypothétiques ou calculées de service. On doit remplir le tableau suivant avec les données proportionnées par le fabricant (que l'on doit vérifier) et avec les données estimées par le futur consommateur. Si l'installation possède un convertisseur CC/CA il faut faire attention à sa performance η pour calculer la puissance ou l'énergie qui absorbera vraiment d'entrée en un courant continu. Une valeur de performance peut être de 0.85. Le tableau suivant montre un exemple.

Unités	Charge	CC/CA	Puissance (W)	h/jour
2	Lampe	CC	15	5
1	Machine à laver	CA	350/ η	1.5

2. Obtenir les données suivantes de la consommation :

- a. Puissance totale maximale
- b. Intensité totale maximale
- c. Energie calculée après le régulateur

À cet effet il convient de remplir le tableau suivant :

Quantité	Charge	CC/CA	Puissance (W)	Total P (w)	Total I (A)	h/jour	Ah/jour	Consommation EcWh/jour
2	Lampe	CC	15	15*2=30	30W/12V = 2.5	5	12.5	12.5*12V=150
1	Machine à laver	CA	350	350/0.85*1=411.76	411.76W/12V = 34.31	15	51.47	51.47*12V=617.6
				441.76 W	36.81 A			767.65 Wh/jour

Par conséquent:

- a. Puissance totale maximale **P_{max}= 441.76 W**
 - b. Intensité totale maximale **I_{max}= 36.81 A (à 12 V)**
 - c. Energie calculée après le régulateur **Ec=767.65 Wh/jour (à 12V)**
3. Lorsque l'on connaît les nécessités des utilisateurs il est conseillé de les augmenter d'un **pourcentage de sécurité** à cause des pertes du câblage, l'usure du système, les inexactitudes des données, etc. Ce pourcentage doit être entre les valeurs de **10%** et de **25%**. Normalement de 20 %. Par conséquent, on applique une augmentation de 20% comme marge ou facteur de sécurité obtenant les nécessités de l'utilisateur, **Nu** :

$$\mathbf{Nu=Ec*1.2=921.18\ Wh/jour}$$

4. L'étape suivante consiste à calculer le taux des pertes totales de l'installation **K_T**. Les taux des pertes dont on doit tenir compte sont :

- a. **K_A**: Pour la décharge naturelle quotidienne de la batterie, à 20° C. (**K_A: 0'005** en l'absence de données du fabricant)
- b. **K_B**: issue de la performance de la batterie. (**K_B**: généralement **0'05** et **0'1** pour les vieux accumulateurs, pour des fortes décharges ou des températures basses).
- c. **K_C**: à cause de la performance du convertisseur utilisé (s'il existe). (On prendra la valeur de **0'25** à **0'05** (75÷95% de η), et **0** s'il n'existe pas. La performance est déjà comprise lors de l'étape 1, donc la valeur est toujours **0**).
- d. **K_R**: pour la performance du régulateur utilisé. (Avec les valeurs comprises entre **0'1** à **0'01** (90÷99% de η)).
- e. **K_X**: des autres pertes pas soulevées, pour effet Joule, chutes de tension, etc. (qui concentre tout type de perte pas soulevée, on prend normalement la valeur

de 0'15 quand on connaît les puissances théoriques ; 0'1 de manière générale, sans connaître les performances ; si on a tenu compte des performances de chaque charge installée on peut le réduire jusqu'à 0'05.

- f. D_{aut} : jours d'autonomie avec une insolation nulle ou basse.
- g. P_d : Profondeur de la décharge de la batterie, en pourcentage.

Le taux des pertes totales K_T est annoncé par:

$$K_T = [1 - (K_b + K_c + K_e + K_x)] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_d} \right]$$

Pour une batterie de plomb/acide nouvelle, un régulateur de η 90%, 5 jours d'autonomie D_{aut} et une PD du 60%, connaissant les puissances théoriques; K_T sera:

$$K_T = [1 - (0'05 + 0 + 0'1 + 0'15)] \times \left[1 - \frac{(0'005 \times 5)}{0'6} \right] = 0'67$$

La consommation maximale que doit être proportionnée par les panneaux, C_{max} , sera:

$$C_{max} = Un / K_T = 921.18 / 0.67 = 1375 \text{ Wh/jour}$$

Note : L'information de ce paragraphe a été reprise du document : Calcul des installations solaires photovoltaïques :

<http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO%20AISLADAS.pdf>
<http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO%2520AISLADAS%5B1%5D.pdf>

5.3. Dimensionnement

Les principales équipes d'une installation photovoltaïque sont les panneaux photovoltaïques, le train de batteries, les régulateurs et les inverseurs. Par conséquent, il faut répondre trois questions : Combien de panneaux on en aura besoin pour obtenir énergie suffisante pour satisfaire la demande ? Combien de batteries sont nécessaires pour accumuler cette énergie ? Quel type de régulateur est nécessaire pour le garantir ?

Pour dimensionner les panneaux, les batteries et les régulateurs, on utilise la consommation énergétique quotidienne à satisfaire, tandis que pour le dimensionnement de l'onduleur on utilise la consommation maximale instantanée.

5.3.1. Panneaux

On définit la puissance crête de l'installation photovoltaïque (désormais, P_{pico}) comme la consommation énergétique quotidienne prévue divisée entre les heures solaires crêtes (désormais, HSP) et entre la performance attendue du panneau. On le mesure en W_{pico} .

$$P_{pico} = \frac{E}{HSP * h_{panneau}}$$

Les *HSP* correspondent aux heures d'irradiation solaire continue qui sont équivalentes à l'irradiation solaire quotidienne moyenne d'une zone géographique donnée. Par exemple, dans le cas de l'Amérique du centre, la valeur moyenne de *HSP* en placement horizontale se trouve autour d'une valeur du 5. Ce taux est multiplié par un facteur, selon l'inclinaison avec laquelle on place les panneaux (facteur de 1,1 pour 15° d'inclinaison). Pourtant, pour être prudent, on utilise souvent le taux de radiation du mois le plus restrictive (typiquement décembre), approximant les *HSP* à une valeur du 4 aux pays d'Amérique du centre.

La performance des panneaux est généralement de 90%. Le nombre de panneaux nécessaires sera le résultat de diviser la puissance crête de l'installation *Ppico* entre la puissance crête du panneau :

$$N_{panneaux} = \frac{P_{pico}}{P_{panneaux}}$$

Si on est perfectionnistes, outre la performance des panneaux, on peut aussi considérer une marge additionnelle pour la température (ml, valeur typique 11%). Si on combine les formules, le résultat est :

$$N_{panneaux} = \frac{E * (1 + m1)}{P_{panneau} * HSP * h_{panneau}}$$

Finalement, il est essentiel de tenir compte de la tension nominale du système contre la tension nominale des panneaux. Il faudra mettre en série les panneaux pour donner la tension nominale du système. Par exemple, au cas où le résultat de la formule préalable est de 6 panneaux, le système travaille à 48Vcc et les panneaux sont de 24 Vcc, il faudra mettre en série deux groupes de trois panneaux en parallèle.

5.3.2. Batterie

Le dimensionnement des batteries est d'une grande importance à l'heure d'élaborer un système photovoltaïque, du fait que son prix a une relation d'environ 1 sur 3 par rapport au prix des panneaux.

Afin de préserver la durée de vie outille il est essentiel de dégager un marge sans utilisation, c'est-à-dire elles ne doivent pas se décharger au-dessous du minimum et pas se dépasser. Le

marge totale de la capacité que l'on peut utiliser de la batterie est la profondeur de décharge (e), avec des valeurs typiques entre 60 et 70%).

D'autre part, on considère souvent plus d'un jour d'autonomie, en fonction de l'application. C'est-à-dire, il existe une possibilité que pendant plusieurs jours les panneaux ne produisent pas d'énergie électrique et les batteries continuent à être nécessaires.

Capacité de décharge = $E \cdot \text{jours} / (U \cdot \epsilon)$ [Ah]

5.3.3. Régulateur

Le régulateur distribue la puissance des panneaux entre les batteries et/ou l'onduleur, selon les besoins. L'intensité minimale I_{min} que le régulateur doit supporter est telle que l'intensité maximale que le régulateur gère est supérieure au nombre maximum de panneaux en parallèle par le courant de court-circuit des panneaux, $I_{cc,paneaux}$, de telle façon qu'en cas de court-circuit, les panneaux ne subissent pas de dommages graves. Par conséquent, la restriction est celle qui suit :

$$I_{min} = N_{paneaux,parallele} \cdot I_{cc,paneaux}$$

Par conséquent, dans l'exemple ci-dessus, l'intensité minimale du régulateur doit être supérieure à 3 (ou 6) fois le courant du court-circuit d'un panneau.

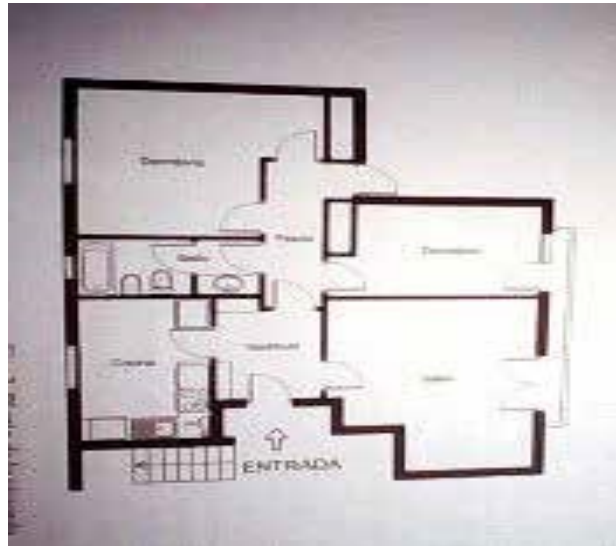
De toute façon, souvent la variable de la conception n'est pas l'intensité du régulateur, mais le nombre maximum de panneaux en parallèle. Par conséquent, dans ce cas il faudrait limiter le courant du court-circuit des panneaux.

5.3.4. Onduleur

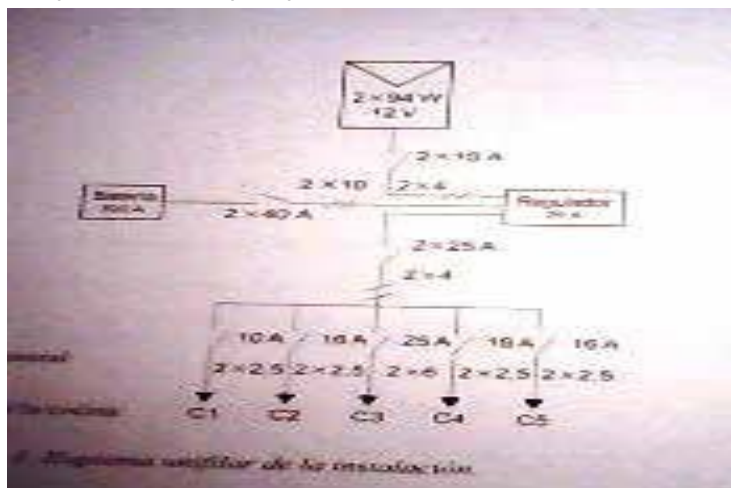
Il faut mettre en œuvre autant des onduleurs que possible afin de gérer la consommation maximale instantanée.

5.4. Exemple et exercice - Habitation solaire photovoltaïque en 12V ou 24V courant continu (CC)

5.4.1. Plan de la maison



L'installation fonctionne sous une tension de 12 V / CC un disjoncteur différentiel n'est pas nécessaire, mais les parties métalliques peuvent être connectées à la terre **Schéma unifilaire**



- C1 = Eclairage
- C2 = Frigo et prises
- C3 = Cuisine et four
- C4 = Lavabo
- C5 = Prise de bain et auxiliaire Cuisine

5.4.2. Calcul de la charge

Charge	Quantité	CC ou CA	Puissance w	Rendement h%	Utilisation h / jour	Consommation Wh /jour
Cuisine	1	CC	18w	100%	4	72
Salle à manger	1	CC	26	100%	5	130
Dortoir	1	CC	13	100%	1	13
Dortoir	1	CC	13	100%	2	26
Bain	1	CC	10	100%	3	30
Passage et lavabo	1	CC	10+10	100%	1	20
TV couloir	1	CC	70	100%	3	210
Frigo	1	CC	60	100%	6	360
230W					TOTAL	867 Wh /jour

Pour les récepteurs en CC prendre la valeur 100% pour le rendement

	Données pour les calculs du système	
	Valeur	Variable
Tension du système	12 Vcc	Us
Tension nominale du module	12 Vcc	Um
Courant moyenne du module	4 A	Im
Consommation totale de l'installation	867 Wh	E
Perte du système	15 %	e 1
% profondeur de décharge de la batterie	70 %	DDQ
Jours d'autonomie de la batterie	3	A
Radiation de référence	4.02 hsp	G
% énergie photovoltaïque	100 %	E%
% marge additionnelle des modules	0 %	m 1
% marges additionnelle des batteries	0 %	m 2

5.4.3. DDQ : Degré de Décharge Quotidien

On retiendra généralement de 50% à 70% pour les batteries solaires et 30% pour les batteries automobiles.

5.4.4. Calcul du nombre des modules photovoltaïques

Nombre des modules = $E\% \times E \times (1+e1+m1) \times (1+m2) / G \times I_m \times U_m$

= $1 \times 867 \times 1.15 \times 1 / 4.02 \times 4 \times 12 = 5.16$ modules

Nous utiliserons **6 modules photovoltaïques de 70Wc**

5.4.5. Calcul de la capacité de la batterie

Capacité batteries = $E \times (1+m2) \times A / DDQ \times U_s$

= $867 \times 1 \times 3 / 0.7 \times 12$

= 309.64 Ah

Nous utiliserons une batterie dont la capacité sera de **340Ah**

5.4.6. Calcul du régulateur

Courant d'entrée = nombre de modules en parallèle \times courant de court-circuit du module (I_{sc})

= $6 \times 4.5A$

= 27A

Le régulateur doit supporter un courant de 27 A en fonctionnement

Nous utiliserons un régulateur de charge de **30A**

5.4.7. Section des conducteurs

Les trois principales lignes à savoir sont les suivantes:

- Panneau au régulateur
- Régulateur à la batterie
- Régulateur à la charge

Le maximum de la chute de tension est de **3%**

5.4.8. Panneau - régulateur

S = $2LI / (56 \times 0,48)$

D'où

S = Section de la ligne en mm^2

L = Longueur de la ligne en m

e = chute de tension en % de tension. Maximum Longueur choisir 6m

$S = 2 \times 6 \times 24 / (56 \times 0,48)$

$S = 10.71 \text{ mm}^2$

L'intensité 24A est le maximum que les modules peuvent fournir au régulateur, conformément aux dates du fabricant.

Nous utiliserons un câble de section $S = 12 \text{ mm}^2$ avec une chute de tension de :

$$e = 2LI / (56S) = 2 \times 6 \times 24 / (56 \times 12)$$

$$e = 0,428 = 2.45 \%$$

5.4.9. Régulateur - batterie

$$S = 2LI / (56 \times 0,48)$$

Où

S = Section de la ligne en mm²

L = Longueur de la ligne en m

e = chute de tension en % de tension. Maximum Longueur choisir 2m

$$S = 2 \times 2 \times 30 / (56 \times 0,48) = 4.46 \text{ mm}^2$$

$$S = 4.46 \text{ mm}^2$$

Nous utiliserons un câble de section $S = 5 \text{ mm}^2$ avec une chute de tension de :

$$e = 2LI / (56 S) = (2 \times 2 \times 30) / (56 \times 5)$$

$$e = 0,42 = 2.4 \%$$

L'intensité de 30A est le maximum de fonctionnement du régulateur de charge, conformément au fabricant.

5.4.10. Régulateur - charge

$$S = 2LP / (56 e V_m)$$

S = Section de la ligne en mm²

L = Longueur de la ligne en m

P = Puissance des consommations

e = chute de tension en % de tension. Maximum

Longueur choisir: 5m

(Ici nous utiliserons la formule de la puissance des consommations)

$$S = 2 \times 5 \times 230 / (56 \times 0,48 \times 17.5) = 4.88 \text{ mm}^2$$

$$S = 5 \text{ mm}^2$$

Avec une chute de tension de :

$$e = (2 \times 5 \times 230) / (56 \times 5 \times 17.5) = 0,46$$

$$e = 0,46 = 2.68 \%$$

La puissance $P = 230 \text{ w}$ est la maximum qui peut fonctionner avec tout les récepteurs connectés et sans appliquer aucun coefficient de simultanéité. **Dans les circuits de la maison nous pourrons utiliser une section de 2,5 mm² tout en respectant les normes UNE 21123-4**

5.4.11. Photos

Exemple d'un coffret de la distribution du circuit / disjoncteur.



Exemple de la pratique terminée.



Fonctionnent avec un chargeur de batterie



Téléviseur et frigo alimentés par une installation photovoltaïque de 12 V cc :



6 Montage et maintenance

6.1. Description

Ce chapitre décrit le montage et la maintenance de l'installation d'un système solaire photovoltaïque. Le chapitre 4 présente et décrit en détail les différents éléments d'un système solaire photovoltaïque.

6.2. Normes de sécurité

Les normes de sécurité qu'il faut absolument tenir en compte pendant le montage et la maintenance de l'installation photovoltaïque sont présentées ci-après.

6.2.1. Généralités

- Ne pas installer ni manipuler des composants électriques dans des locaux avec d'éventuels gaz inflammables dus à la présence de peinture, vernis, ou dissolvants.
- Ne pas stocker de matériaux inflammables près des batteries ni des éléments électroniques.
- Ne pas travailler avec des bracelets, des chaînes, ou d'autres bijoux électriques indésirables et dangereux.
- Ne jamais travailler seul. Ayez une personne à côté qui puisse vous aider en cas d'accident
- Montage mécanique : Il est important d'utiliser des casques et des gants comme mesure de protection
- Attention à la manipulation d'objets volumineux et lourd. Danger de souffrir des coups, de rester coincé, etc.

6.2.2. Batterie

- Élément délicat. Manipulation dangereuse.
- Utiliser des protections pour les yeux
- Ayez à la portée de la main de l'eau propre pour nettoyer en cas de contact avec l'acide
- Il est possible qu'il y ait des gaz explosifs
- Utiliser des outils isolants
- Eviter la présence d'objets métalliques qui pourrait provoquer des courts-circuits en tombant sur les batteries.
- L'intensité des courts-circuits a des valeurs très élevées capables de provoquer des incendies et même de faire exploser la batterie.
- Ne pas stocker de matériaux inflammables près des batteries
- Ne pas fumer près d'une batterie

6.2.3. Panneaux

- Les panneaux sont constamment sous tension tant qu'ils reçoivent de la lumière.
- Utiliser des outils isolants pendant leurs branchements en tenant compte qu'on travaille avec des éléments sous tension.

6.2.4. Régulateur

- Emplacement
- Conditions de température adéquate (température ambiante maximale 50°C)
- Hors de la portée des enfants et animaux
- Proche des accumulateurs
- Eviter des chutes de tensions supérieures à 3% dans des conditions d'intensité maximale

6.3. Montage de l'installation

Les actions qui doivent être conduites pour le montage approprié de l'installation sont détaillées ci-dessous [3] :

1. Étudier un emplacement approprié de l'installation
2. Acquisition des équipements
3. Construction de l'armature
4. Positionnement et connexion des panneaux
5. Montage des batteries et du régulateur
6. Vérification

6.3.1. Emplacement de l'installation

D'abord, il faudra décider l'emplacement de l'installation. Certains points importants qui doivent être tenus en compte :

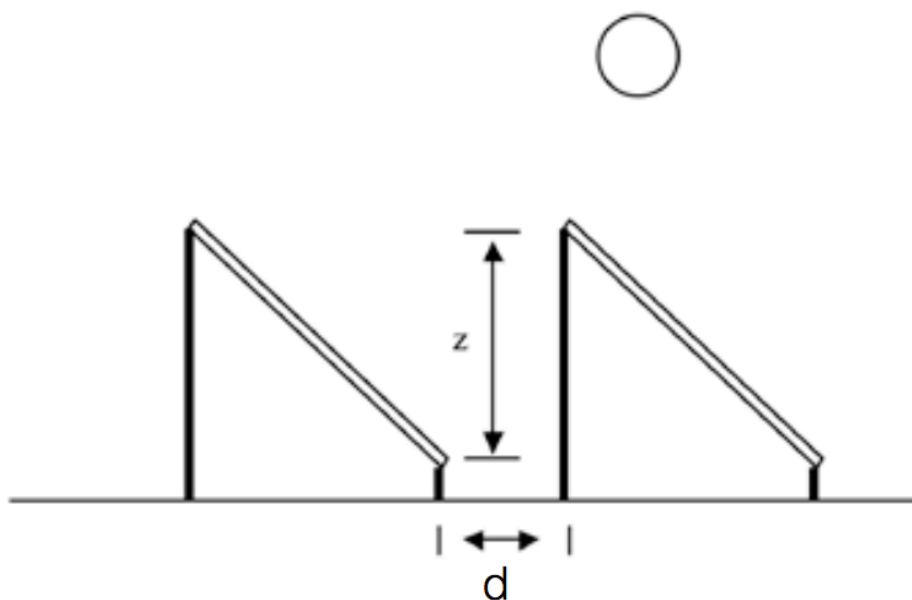
- Emplacement dans la communauté : Du point de vue social, il faut trouver un emplacement approprié. En cas d'un système centralisé, ne pas l'installer trop loin des ménages et des familles pour le protéger contre les actes de vandalisme et pour l'intégrer dans la communauté. En cas d'un système décentralisé il faut vérifier la structure du bâtiment avant l'installation des panneaux, car souvent les conditions ne sont pas réunies.
- Eviter les ombres : Au long de la journée la surface des panneaux ne doit pas être ombrée. En cas d'obstacles, un écart par rapport à son orientation vers l'équateur est toléré, jusqu'à 20° vers l'est ou l'ouest. Il est aussi essentiel que les panneaux ne projettent des ombres sur les autres.

La partie ombrée d'un panneau ne crée pas d'énergie mais elle la dissipe, en une importante augmentation de la température (le phénomène du point chaud) qui peut nuire le module.

Pour éviter que les panneaux projettent des ombres sur les autres, il est important de considérer les plus grandes ombres du jour, c'est-à-dire, dans le solstice d'hiver, quand le soleil est plus proche de l'horizon. Pour calculer la distance minimale entre les deux panneaux on utilise la formule suivante :

$$d = 1.35 \cdot z / \tan(h_0)$$
$$h_0 = 90^\circ - (|\text{latitudo}| + 23.5^\circ)$$

Où h_0 est l'altitude du soleil à midi dans le solstice d'hiver et le facteur 1.35 tient en compte la variation approximative de l'altitude dans les heures suivantes à midi.



- Réserver un espace pour l'accumulateur : Les batteries doivent être placées dans un enclos ou dans un local couvert et à ventilation constante, car elles sont sensibles à l'humidité et aux variations de la température.
- Finalement, minimiser la pose de câbles : La disposition des différents éléments de l'installation doit être telle que le câblage soit le plus simple et court possible. Ceci réduit le coût de l'installation aussi.

6.3.2. Acquisition des équipements

Il est important de vérifier les garanties des équipements de l'installation. Il faut aussi vérifier que les équipements soient conformes aux spécifications et remarquer les défauts de fabrication puisque la garantie couvre seulement ces défauts.

La garantie ne couvre pas les opérations usuelles de préservation, donc il pourrait être intéressant d'ajouter un contrat de préservation. Il est important que le fournisseur donne temporairement un remplacement pour les composants défectueux.

Il faut faire attention aux batteries et il faut exiger au fournisseur qu'il prenne en charge une fois la vie utile de la batterie finisse.

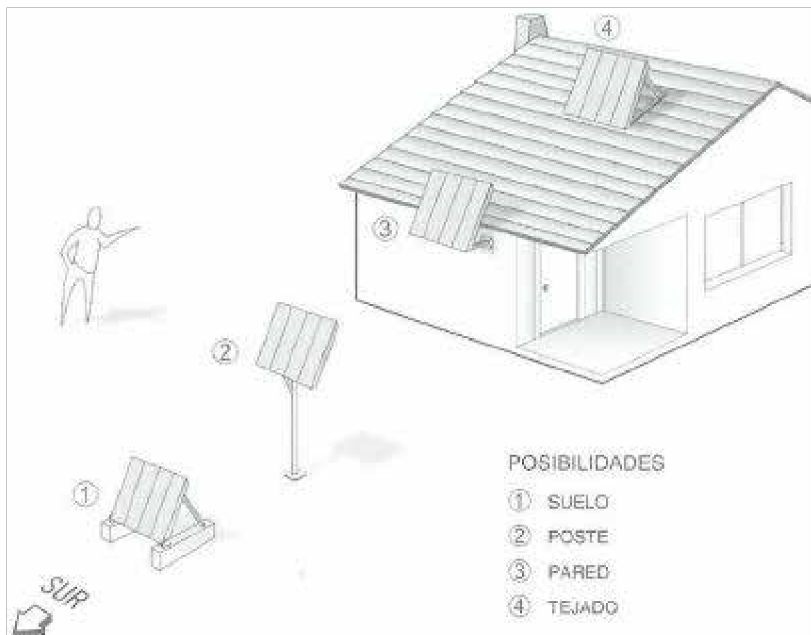
6.3.3. Construction de l'armature

L'armature maintient les panneaux fixés vers l'inclinaison et l'orientation choisies. Ces armatures doivent être suffisamment robustes (pour résister le fort vent) et faites des matériaux appropriés (pour éviter la corrosion et la putréfaction). Particulièrement,

- Pour réduire les charges dues au vent, ils devraient s'établir au moins 3 cm de distance entre les deux panneaux consécutifs
- Les panneaux ne doivent pas retenir d'eau de la pluie.

L'emplacement des panneaux pourrait être :

- Sur des mâts : Ils sont appropriés pour des installations petites (1 à 4 modules), ils sont économes et ils permettent d'éviter les ombres des obstacles facilement. Ils sont sensibles au vent.
- Sur le sol : Ceci est plus simple pour des installations d'un nombre de modules supérieur. Il faut placer les panneaux élevés 30 cm au dessus du sol pour éviter l'accumulation de boue ou d'eau.
- Sur le toit : Cette option offre l'avantage de protéger plus les panneaux contre les vols et l'encrassement. Il est difficile d'ancrer l'armature. On doit utiliser des matériaux légers. Il est recommandé pour des installations sur toits plats dans une zone à vent faible.
- Fixés au mur : Ils sont protégés contre les vols et l'encrassement et ils ne dépendent pas de l'orientation du toit ; l'exposition au vent est inférieure et il n'y pas de risque de nuire l'étanchéité.



À l'heure de construire l'armature, on peut travailler avec des matériels locaux, des matériels industriels ou avec des kits déjà élaborés.

- Matériels locaux : Ils sont moins chers (du bois des forêts plus proches, etc. Donc le coût de transport est réduit), on peut épargner les techniciens et la main d'œuvre extérieure, on connaît la résistance et l'adéquation des matériels au climat.
- Matériels industriels : Ils sont plus chers (coût du matériel et coût du transport) et ils sont souvent métalliques, donc on a besoin des techniciens et des instruments spécifiques pour les construire. Les plus communs sont :
 - Aluminium anodisé : Il est peu fréquent et cher. Les profils sont sciés avec une coupeuse électrique ou avec une torche oxhydrique et sont unis avec des vis et des rivets. Ils sont résistants à la corrosion.
 - Fer standard : Il est facile à trouver et pas cher. Les profils sont sciés avec une coupeuse électrique ou avec une torche oxhydrique et ce sont unis par une soudeuse d'acier ou par un chalumeau oxycoupeur. Il n'est pas résistant à la corrosion et il faut appliquer un primer anticorrosion après la construction.
 - Fer galvanisé : Ce sont des profils d'étagère et ce sont des structures simples et faciles à installer, on peut les couper avec une coupeuse manuelle et ce sont unis par des vis. Ils résistent à la corrosion.

- Kits préfabriqués : Il faut les demander à l'entreprise fournisseuse des panneaux. Le montage est simple, avec des éléments visés. La seule œuvre nécessaire est l'ancrage sur le terrain. Elle est une solution chère.

Finalement, le système de fixation de l'armature doit être capable de maintenir les charges dues au vent.

- Pour des installations sur le sol : Les installations sont ancrées souvent sur des fondations en béton formées par une dalle ou pour des cubes de béton pour chaque fixation. L'armature est fixée aux fondations à travers les vis.
- Pour des ancrages sur des toits et des murs : On utilise des ancrages reçus, des perceuses ou des vis d'expansion (sur les murs des blocs ou similaires) ou bien des vis passantes avec des écrous et des rondelles (sur les murs des tables ou similaires).

6.3.4. Placement et connexion des panneaux

Le fabricant fournit souvent des instructions pour la fixation des panneaux à la structure. Des vis en acier inoxydable sont normalement utilisées.

ATTENTION : Ne pas perforer le cadre du panneau afin de ne pas briser le verre protecteur des cellules.


S'il y a des vols habituellement, les panneaux peuvent être fixés d'une manière très difficile à désassembler. Cela complique aussi des possibles réparations.

Conformément au chapitre 4, les panneaux peuvent être connectés en parallèle ou en une combinaison de série-parallèle si on souhaite une tension de travail supérieure à celle fournie par un seul panneau.

Les points les plus importants à tenir en compte sont :

- Tous les panneaux doivent être le même modèle (c'est-à-dire, ils doivent être de la même marque et de la même caractéristique de courant-tension). Si la caractéristique fournie par le fabricant n'est pas la même, les panneaux se rangeront par courant de court-circuit.
- La pose des câbles et les connexions doivent résister aux conditions d'intempérie et humidité (il est nécessaire que les câbles soient couverts par un matériel résistant et que les connexions se fassent avec des cosses). Il faut aussi protéger les câbles de la lumière solaire. Les câbles ne peuvent pas être enroulés autour d'une vis.

Les cosses sont normalement localisées à l'arrière des panneaux. Si on travaille avec des bornes, il est nécessaire d'utiliser des caches en caoutchouc. Parfois il y a une boîte de connexion à l'arrière du panneau où les cosses sont placées.



ATTENTION : Les panneaux disposent souvent d'un troisième borne qui permet la connexion des diodes de passage (afin d'éviter le « point chaud »). Il est nécessaire de respecter la polarité des diodes.

6.3.5. Batterie et régulateur

Il est essentiel de placer les batteries dans un habitacle protégé, à l'intérieur. Cela bénéficie aussi le rendement de la batterie car il dépend en grande partie de la température ambiante. La température idéale de travail est environ 20°C. Quelques conditions pour le placement des batteries sont énoncées ci-dessus :

- Accès facile pour l'assemblage et la maintenance
- Vérification du type de batterie
- Placement de la batterie le plus près possible des panneaux (afin de minimiser les coûts des câbles et les chutes de tension).
- Placement de la batterie dans un lieu sec (l'élimination de l'humidité retarde la corrosion des éléments métalliques) et aéré (à cause des gaz)
- Placement de la batterie dans un lieu thermiquement isolé afin d'éviter les différences de température
- Il est important de placer les batteries sur une structure résistante à l'électrolyte pour les isoler du sol.

Avant d'assembler la batterie, il faut suivre ces étapes pour vérifier le bon état et le fonctionnement de la batterie :

- Mesurez la tension aux bornes de la batterie. Elle doit être égale à zéro
- Mesurez la densité de l'électrolyte dans le bidon. Elle doit être la même que celle indiquée sur la documentation de la batterie (1.24 à 1.28 g/l)
- Nettoyez le dessus avec un chiffon propre et sec
- Enlevez les bouchons de remplissage de l'électrolyte
- Remplissez la batterie avec l'électrolyte élément/ élément en utilisant un entonnoir jusqu'au niveau minimal indiqué sur la batterie. Laissez l'électrolyte se reposer pendant 20 à 30 mn (la batterie deviendra un peu chaude c'est normal)
- Mesurez à nouveau la tension de la batterie elle doit être supérieur à 12 V
- Complétez avec l'électrolyte chaque compartiment jusqu'au niveau maximal
- Remplacez les bouchons et nettoyez le dessus de la batterie avec un chiffon doux et sec

- Dénudez le câble pour le brancher aux cosses de la batterie mais attention sans connecter les cosses aux bornes + et – de la batterie
- À fin de protéger les contacts de la batterie contre la corrosion, il convient de les enduire de vaseline neutre.

En cas de connexion de plusieurs batteries en série ou en parallèle, les batteries doivent être égales (même tension en parallèle, même courant en série).

Les régulateurs et les autres systèmes de contrôle s'installent, dans la mesure du possible, dans la même cabine que les batteries, pour réduire le câblage du courant continu, étant donné que le coût de celui-ci est particulièrement élevé. Les exigences de montage sont les suivants :


- Les pôles positifs et négatifs de toutes les prises de courant doivent être clairement identifiés.
- Un interrupteur magnétothermique d'ampérage approprié doit être installé pour protéger l'installation en cas de court-circuit.
- Le système de régulation doit disposer d'un système de déconnexion de la charge.
- Si les régulateurs sont de type « shunt » ou parallèle, il convient de prévoir l'évacuation de la chaleur.
- Il faut prendre soin de l'exécution des connexions pour éviter des problèmes de maintenance.
- Décharger régulièrement l'électricité statique corporel puisque les circuits convertisseurs et régulateurs (qui contient des éléments MOS) sont sensibles aux décharges électriques.

Il est important de vérifier que le régulateur fonctionne bien avant de le connecter et l'utiliser.

6.3.6. Le câblage

En ce qui concerne le câblage, il faut prendre en compte les aspects suivants :

- Les câbles doivent avoir une protection appropriée contre l'intempérie.
- La pose des câbles doit respecter les normes de sécurité et d'installation en vigueur dans le pays en question (câbles de différentes couleurs selon la polarité, etc.).
- La pose doit se réaliser de sorte que le câble soit tendu mais sans efforts additionnels. Des éléments de fixation appropriés seront situés chaque 30 cm. Saisir la structure locale pour la conduction des câbles et assurer la fixation avec des agrafes et des anneaux.

- 
- Éviter l'entrée éventuelle de l'eau via des tubes dans le mur et des boîtes résistants à l'intempérie au moment de passer les câbles à travers les murs.
 - Les raccords entre conducteurs se font via des boîtes de connexion.

Pour son usage, la connexion entre les différents éléments de l'installation se fait de la manière suivante :

1. Régulateur vers la batterie
2. Panneau vers régulateur
3. Consommations vers régulateur
4. La déconnexion se fait dans le sens inverse

En plus, il est recommandé de réaliser les mesures suivantes :

- Mesures initiales dans les bornes du régulateur. Vérifier la valeur des tensions dans les différents éléments de l'installation.
- Mesures intermédiaires dans les extrémités des lignes qui finissent dans les consommations. Vérifier les valeurs de la tension dans les prises de courant, etc.
- Mesures finales. Vérifier le bon fonctionnement des équipements de consommation.

6.4. Maintenance

Les systèmes solaires nécessitent un entretien et une maintenance minimales mais indispensables.

Il y a deux niveaux de maintenance :

- **Le premier concerne le petit entretien** qui doit être effectué régulièrement par l'utilisateur. Il s'agit de nettoyer les modules, vérifier l'absence d'ombres portées sur les modules, si besoin élaguer, vérifier le niveau d'électrolyte et éventuellement rajouter de l'eau distillée, remplacer un tube fluorescent. Il faut vous assurer que ces tâches sont à la portée de l'utilisateur et qu'elles sont effectuées correctement et régulièrement.
- **Le second concerne la maintenance plus poussée** que vous devez effectuer en tant que technicien qualifié et équipé d'outils appropriés. Il s'agit de vérifier les principaux composants du système. Cette maintenance doit être effectuée tous les 6 mois.

Le petit entretien et la maintenance sont des mesures préventives (à réaliser systématiquement lorsque l'installation fonctionne bien) pour assurer fiabilité du service de l'électricité.

Les opérations de maintenance et leur fréquence sont résumés dans le suivant tableau:

	Hebdomadaire-Mensuel	Semestriellement
Panneaux	De manière assidue: - Nettoyage - Élimination des ombres - Inspection visuelle	- Inspection visuelle - Vérifier les connexions électriques et la pose de câbles - Mesure des caractéristiques des panneaux
Batteries	De manière assidue: - Inspection visuelle Mensuellement: - Nettoyage - Surveiller la corrosion - Surveiller le niveau de la dissolution - Vérifier l'état des cellules	- Mesure de la tension sans charge des éléments - Surveiller la stratification - Recyclage des batteries
Régulateurs	De manière assidue: - Inspection visuelle	- Inspection visuelle - Vérifier les connexions et la pose de câbles - Vérifier les tensions dans le régulateur

6.4.1. Préparez et organisez votre travail

1. Discutez avec l'utilisateur, avant de commencer tous travaux d'entretien.

Il est votre source principale d'informations. Demandez quels aspects du système satisferont correctement ses besoins et ceux qui lui faut. Les réponses à ces questions vous permettront de faire sans aucun doute un meilleur travail.

2. Consultez le bord du système et vos éventuelles notes.
3. Vérifiez que des nouvelles réceptions ont été rajoutées par rapport à ce qui était prévu lors de l'installation d'origine.
4. Vérifiez qu'aucun des composants n'a été bricolé ou mal utilisé.
5. Nettoyez chacun des composants avec l'aide de l'utilisateur. Cela vous permettra de vous faire une idée de la façon dont il entretient son système.

6.4.2. Procédure de maintenance du panneau solaire

1. Nettoyez avec de l'eau, tôt le matin ou tard le soir (évitez savon ou détergents).
2. Vérifiez si le panneau est toujours fixé, orienté et incliné correctement.


3. Vérifiez d'éventuelle décoloration de cellules, bris de vitres ou corrosion des connexions entre cellules.
4. Vérifiez l'absence d'ombre portée (ex : nouveau bâtiment, arbre ayant poussé, antenne TV).
5. Vérifiez si l'arrière du panneau n'est pas encombré de nids d'oiseaux ou d'insectes, enlevez-les dans tous les cas.
6. Vérifiez si la ou les boîtes de jonction son bien étanches.
7. Dans le cas où le support du module est relié à terre vérifiez sa continuité depuis le module jusqu'au piquet de terre. 8. Resserrez toutes les connexions.

Puissance du module (Wp)	5	20	30	40	50	60	70	80
Icc (A)	0.3	1.2	1.8	2.4	3	3.6	4.2	4.8
Uc0 (V)	19 à 22 quelques soient les puissances pour les modules avec 36 cellules							

6.4.3. Procédure de la maintenance de la batterie


Il est préférable de disposer de gants, d'une paire de lunettes de protection et d'une bassine d'eau pour laver d'éventuelles projections d'électrolyte.

1. Commencez toujours par demander à l'utilisateur :
 - S'il ou elle a de l'eau distillée en stock, et en quelle quantité.
 - Si de l'eau distillée a été rajoutée, quelle quantité et dans quelles cellules de la batterie.
 - Si le niveau d'électrolyte est au-dessus des plaques.
 - D'où provient l'eau distillée.
 - Dans quel récipient était-elle stockée.
 - S'il pense que la batterie est fatiguée et pourquoi.
2. Arrêtez la charge de la batterie (ex : déconnectez le câble du panneau solaire au niveau du régulateur et éteignez tout les récepteur ; attendez environ 30 minutes avant toute mesure).
3. Profitez de ce temps pour effectuer un contrôle visuel afin de détecter d'éventuelles fuites d'électrolyte. Nettoyez et séchez le dessus des batteries.
4. Enlevez les bouchons et vérifiez qu'aucune poussière ou corps étranger ne soit tombé dans les cellules. S'il y en a, essayez de les enlever sans utiliser d'outil métallique.
5. Mesurez et notez la tension de circuit ouvert.

- 
6. Mesurez la valeur de la densité et la température de l'électrolyte :
 - Dans chaque cellule de la batterie, pompez une fois, rejetez le contenu pompé.
 - Dans la même cellule. Pompez une seconde fois et lisez la valeur de la densité (Notez la valeur, par exemple : 1,150, 1,260...).
 - Rejetez l'électrolyte dans la cellule ou vous l'avez pompé (ne pas mélanger l'électrolyte avec celui d'une autre cellule).
 7. Si la batterie est en bon état (vérifiez avec les données du fournisseur), reconnectez-la au panneau.
 8. Vérifiez le niveau d'électrolyte.
 9. Si nécessaire, ajoutez de l'eau distillé avec un entonnoir en plastique (ne touchez pas les plaques avec l'entonnoir sous peine de les endommager). Ne remplissez JAMAIS une bassine avec de l'eau distillée si elle est déchargée. Rechargez-la d'abord.
 10. Remettez chaque bouchon de cellule en vous assurant que le trou de ventilateur n'est pas obstrué.
 11. Nettoyez les bornes avec du papier de verre ou une brosse métallique si nécessaire.
 12. Graissez avec de la vaseline les bornes de la batterie (afin d'éviter la corrosion) et reconnectez les câbles.
 13. Mesurez la tension aux bornes de la batterie avec une charge standard, puis laissez la batterie se recharger.

6.4.4. Procédure de maintenance du régulateur

1. Nettoyez le coffret du régulateur avec un chiffon propre et sec. La poussière et les nids d'insectes peuvent réduire le refroidissement du régulateur.
2. Assurez-vous que le boîtier soit bien fixé.
3. Enlevez le couvercle. Cela peut s'avérer impossible sur certains régulateurs.
4. Vérifiez qu'aucune chaleur excessive n'est émise par un composant, une connexion ou un fusible. Vérifiez qu'aucun câble n'ait été ajouté. Vérifiez et resserrez chacune des connexions.
5. Vérifiez que les indicateurs et voyants (ex : LED ou voltmètres) donnent des informations cohérentes (en particulier en fonction de la tension de la batterie).
6. Vérifiez que les valeurs de seuils de coupure et de reconnexion des utilisations sont conformes avec les valeurs indiquées sur la notice du constructeur.

- 
7. Vérifiez que les valeurs de seuils de tension en fin de charge sont en conformité avec valeurs indiquées sur la notice du constructeur.
 8. Allumez quelques récepteurs. Puis, aux bornes du régulateur, comparez la tension du panneau à celle de la batterie au cours de la charge. La tension du panneau doit être supérieure à celle de la batterie (de 0,1 à 1 V maximum).

Une astuce consiste à avoir une batterie étanche de faible capacité (ex : 7Ah-12 V) dans sa boîte à outils. Il suffit de la connecter en lieu et place de la batterie du client (e) et de faire les tests (seuils limitant la décharge et seuils de fin de charge).

Une autre astuce (l'idéal) est de posséder une alimentation stabilisée qui permet de faire varier artificiellement la tension à l'entrée du régulateur.

Il est souhaitable de réaliser la maintenance par temps ensoleillé et à environ deux heures de l'après-midi solaire (14h00). Il est alors probable que la batterie sera enfin de charge. Mesurez alors cette tension aux bornes de la batterie. La mesure doit être comparée avec la valeur de la notice technique en tenant compte de la compensation en température.

9. Aux bornes des régulateurs, comparez la tension de la batterie à celle du circuit des récepteurs, avec au moins un récepteur en fonctionnement. La tension de la batterie doit être supérieur à celle du circuit des récepteurs (de 0,1 à 0,5 V).
10. Vérifiez et resserrez une dernière fois les connexions.

ATTENTION: Soyez prudent et évitez tout court-circuit. Ceux-ci sont toujours susceptibles de provoquer des dommages importants.

Les régulateurs comportent de nombreux composants électroniques délicats. Quand vous vérifiez un régulateur, prenez votre temps.

6.4.5. Procédure de maintenance des récepteurs et câbles

Recommandation pour les récepteurs

Chaque type de récepteur a des besoins spécifiques d'entretien et il n'est pas possible de détailler chacun d'entre eux dans ce manuel, toutefois, d'une manière générale :

- Vérifiez si de nouveaux récepteurs ont été connectés, en plus de ceux initialement prévus.
- Nettoyez et dépoussiérez les différents récepteurs (ex : les lampes) avec l'utilisateur; Resserrez toutes les connexions.
- Mesurez la consommation des récepteurs si le client se plaint que sa batterie est toujours déchargée. Tout risque de surconsommation entraîne la réduction de la durée de vie de la batterie. Avec un multimètre, mesurer le courant consommé par

l'appareil et sa tension d'alimentation, et en déduire la puissance ($P=U \times I$). La comparé avec les indications indiquées au dos de l'appareil.

- Mesurez les chutes de tension dans les câbles.
- Remplacez les tubes fluorescents noircis, seulement à la demande de l'utilisateur. Après leur remplacement, estimez leur durée de vie. Elle doit être normalement de 3000 à 5000 heures (un tube qui tombe en panne après 3 ans en ayant fonctionné 4 heures par jour aura, au total fonctionné $3 \times 365 \text{ jours} \times 4 \text{ heures}$, soit 4 380 heures). Si le tube a noirci prématurément, vérifiez la tension d'alimentation aux bornes de la lampe en position allumée, elle est probablement trop basse.
- **Pour les réfrigérateurs solaires** : mesurez l'intensité consommée et les temps d'arrêt et de fonctionnement du compresseur pendant quelques heures, pour évaluer sa consommation électrique quotidienne. Mesurez la température de consigne et finalement, dégivrez le réfrigérateur en cas de besoin.
- Vérifiez et éliminez les consommations de veille (convertisseurs CC/CA, TV) par l'installation d'une prise avec interrupteur.
- Vérifiez tout les fusibles et assurez-vous qu'ils n'ont pas été « bricolés » (remplacés par des fils de cuivre). Dans ce cas, enlevez les fils de cuivre et remplacez-les par des fusibles.
- Pour les onduleurs, mesurez la tension CA du signal de sortie.
- Assurez-vous que les câbles sont tous bien fixés et améliorez, si nécessaire, leurs fixations. N'attendez pas que les câbles deviennent lâches au point de servir de porte-serviette : ils font désordre et les enfants peuvent tirer dessus.
- Assurez-vous qu'il n'y ait pas de câble nu visibles (ou cachés d'ailleurs) susceptibles de pouvoir donner lieu à des connexions pirates.

6.5. Mesures et vérification du fonctionnement

Les mesures et vérifications suivantes sont recommandées pour assurer le bon fonctionnement de l'installation :

- Vérifier la tension de la batterie sans charge
- Vérifier le niveau de la dissolution électrolyte
- Vérifier que le régulateur fonctionne bien
- Mesurer les tensions des bornes de la batterie, du régulateur, du générateur photovoltaïque et des consommations.

En particulier, et de façon plus détaillé, les chapitres suivants décrivent les manuels d'opération et d'épreuves des différents éléments.

6.5.1. Manuel d'opération et d'épreuves des batteries

Il est recommandé de remplir un tableau avec les données du fabricant de la batterie comme le tableau suivant :

N°	CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
	N° DE BATTERIES		
	MARQUE – INCOE	Plomb-acide	
	MODÈLE – N150T		
	Type de batterie		
N°	CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
1. 2.	Mesures	Longueur : 508, Largeur : 222, Hauteur : 213 mm 26,2 Kg.	
	Poids		
3. 4.	Volume d'acide Plaques par cellule		
N°	CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
1.	Voltage	12 Vdc	
2. 3..	Capacité Durée de vie : profondeur de décharge (DoD) minimum de 50% (avant que la capacité résiduelle ne soit en dessous de 80% de sa capacité nominale) et T° 20°C	150 Ah 2500 cycles à 50% DoD	
4.	Autodécharge mensuelle maximum à 20°C	<5%	

Il est recommandé de faire les tests suivants pour voir l'état des batteries :

XI. CONDITIONS PRÉALABLES

1.- NETTOYAGE DES BATTERIES

1. Déconnecter les contacts dans les bornes de différentes batteries.
2. Effectuer le nettoyage et la vérification de l'état des bornes et du câblage, en nettoyant les mêmes avec une brosse métallique et en vérifiant l'ajustement correct des bornes à la batterie.
3. Connecter à nouveau les batteries, en faisant un ajustement approprié des bornes.



Fig. 1. État possible des batteries

II. ESSAIS DE TERRAIN : INSPECTION VISUELLE

Paramètre LOCALISATION	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
Emplacement des batteries		Vérifier qu'il s'agit d'un endroit ventilé et protégé contre les intempéries, en s'assurant e le contact des batteries avec l'eau n'est pas possible	Protéger contre l'eau
Structure porteuse			
Paramètre BATTERIE	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
Structure de la batterie		Existence des fuites d'électrolyte à l'extérieur	Eliminer les batteries présentant des fuites et les remplacer par des nouvelles batteries
État des bornes et du câblage		Bornes propres et câblage approprié	
Niveau d'électrolyte		Niveau au-dessus de la marque minimale et au-dessous de la marque maximale, approximativement 1 cm audessus des plaques	Remplir avec de l'eau distillée
État de l'électrolyte		Vérification de la densité de l'électrolyte et de l'absence de corps étrangers dans l'électrolyte	Il convient de vérifier les valeurs de densité de chaque batterie ainsi que les valeurs de différentes batteries, en évitant qu'elles soient dissemblables

III. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Instruments de mesure nécessaires

- Équipements nécessaires
 - Multimètre DC et AC
 - Densimètre

1.- MESURE DU VOLTAGE À VIDE en chaque BATTERIE

Un voltage inférieur à 10.5 Vdc montre une décharge très forte de la batterie et la nécessité de la remplacer. Il est possible que, si les batteries ont subi une décharge et n'ont pas été chargées pendant une longue période de temps, il s'est produite une sulfatation des batteries, et il n'est pas possible de les recharger.

Symptômes de la sulfatation :

- Le densimètre enregistre toujours une faible densité de l'électrolyte, même si l'élément se soumet à la même charge que les autres éléments
- La tension est toujours inférieure à la tension normale
- Il est impossible de charger la batterie à sa pleine capacité
- Les deux plaques présentent une couleur bizarre

Dans ce cas, il est possible d'essayer de renverser cette situation par les actions suivantes :

- L'application de mouvements de secousse ou le chargement de la batterie
- Réaliser une charge de « topping », par laquelle la batterie de 12 vdc est conduite à un voltage de 16 vdc pendant 1 ou 2 heures. Ce processus exige un régulateur de charge et une attention constante pour éviter l'échauffement excessif de la batterie et une perte d'électrolyte par gazéification.

2.- MESURE DU VOLTAGE DANS LE PROCESSUS DE CHARGE ET APRÈS SA TERMINAISON en chaque BATTERIE

- Vérifier le correct processus de charge et que, une fois terminé, la valeur moyenne est constante à 12-13.5 Vdc pendant une heure.

3.- FONCTIONNEMENT

- Fonctionnement après sa déconnexion au système FV, vérifier son bon fonctionnement.

IV. RÈGLES POUR LA MAINTENANCE DES BATTERIES – ACCUMULATEURS

- Maintenir l'endroit où les batteries sont placées à une température d'entre 15 et 25 degrés. Le froid ralentisse les opérations de charge et de décharge. Par ailleurs, la chaleur augmente l'évaporation de l'eau de l'électrolyte et promeut l'oxydation des plaques positives.
- Dans la mesure du possible, fixer bien les batteries, en évitant leur mouvement.
- Maintenir les bornes de connexion propres, serrés (pas en excès) et le boîtier de la batterie sèche.
- Maintenir le niveau d'électrolyte approprié, en ajoutant de l'eau distillée en cas de besoin et en évitant laisser les plaques à l'air et le remplissage excessif qui provoque le débordement de l'électrolyte.
- Vérifier qu'il n'y a pas de différences de charge entre les différentes cellules de la batterie et, si c'était le cas, effectuer une charge de nivellement.

Une proposition de plan d'action :

- Mesure de la densité chaque semaine
- Contrôle du niveau de l'électrolyte, en le remplaçant par de l'eau distillé si nécessaire
- Si la batterie n'est pas en cours d'utilisation, charger et décharger bi-semestriellement
- Vérification de la tension trimestriellement
- Nettoyage des bornes et de la batterie après chaque inspection

ATTENTION AVEC LA DÉCHARGE PROFONDE (LA BATTERIE SE REND INUTILISABLE !!!)
Ceci est lié 100% à la tension de déconnexion qui se programme dès le régulateur !

6.5.2. Manuel d'opération et essais de l'onduleur

Il est recommandé de remplir une table avec les données du fabricant de l'onduleur comme la table suivante :

N°	CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
	Marque		
	Modèle		
	Puissance nominale	W	
N°	CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
1.	Mesures		
N°	CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
1.	Puissance nominale	[W]	
2.	Puissance de surcharge (5 minutes)	[W]	
3.	Tension nominale d'entrée	[V]	
4.	Variations de la tension d'entrée	[V]	
5.	Tension nominale de sortie	[V]	
6.	Variations de la tension de sortie	[V]	
7.	Rendement	%	
8.	Fréquence nominale de sortie	Hz	
9.	Gamme de fréquence de sortie	Hz	
10.	Forme de l'onde		
11.	Consommation maximale/minimale		
12.	Consommation en veille		
13.	Facteur de puissance $\cos \phi$		
14.	Degré de protection IP		
15.	Gamme de température de fonctionnement	[°C]	

16.	Gamme d'humidité relative de fonctionnement	[%]	
-----	---	-----	--

V. ESSAIS DE TERRAIN : INSPECTION VISUELLE

Paramètre LOCALISATION	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
Emplacement de l'onduleur		Vérifier qu'il s'agit d'un endroit ventilé et protégé contre les intempéries, en s'assurant que le contact de l'onduleur avec l'eau n'est pas possible	Protéger contre l'eau
Structure		Vérifier qu'il est bien fixé au mur ou à une structure fixante	

VI. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Instruments de mesure nécessaires

- Équipements nécessaires :
 - Multimètre DC et AC
 - Pince ampèremétrique

En ce qui concerne le test de l'onduleur, il est recommandé de suivre les pas suivants pour vérifier le bon fonctionnement de l'onduleur :

- Vérification du câblage et nettoyage des bornes.
- Vérification de l'alimentation à 12 V.
- Vérification de la sortie à 220 Vac.
- Mesure électrique de l'autoconsommation, en vérifiant que l'autoconsommation se trouve dans les limites définies par le fabricant.

Pour pouvoir vérifier ce qui précède, le mieux est de disposer d'un polymère digital et de mesurer le courant et la tension à l'entrée et à la sortie.

Pour cela, le processus serait le suivant :

1. Avec les pinces du polymère (mode voltmètre), mesurer dans les bornes et dans le câble de terre par le côté du courant continu
2. Déconnecter l'onduleur
3. Insérer le polymère (mode ampèremètre) entre le conducteur et l'onduleur, de sorte que le courant traverse le polymère
4. Répéter le processus par le côté du courant alternatif
5. Les valeurs mesurées dans le côté du courant alternatif seront différentes car le polymère mesure la valeur efficace de l'onde sinusoïdale

Avec ces valeurs on sera capable de connaître les pertes, l'élément plus important à prendre en considération.

6.5.3. Manuel d'opération et essais des panneaux FV

Il est recommandé de remplir une table avec les données du fabricant des panneaux photovoltaïques comme la table suivante :

N°	CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
	MARQUE MODÈLE DIMENSIONS		
1.	Type de matériau de la cellule	m X m Monocristalline/ Polycristalline	
2.	Nombre minimal de cellules	Cellules	
3.	Diodes de « by pass » (2 ?) (dans la boîte de connexion)	Unités	
4.	Tension nominale	Vcc	
5.	Puissance crête (Wp) (conditions standard : Irradiation = 1000 W/m ² Température de cellule = 25°C Masse d'air = 1,5)	Wp	
6.	Tolérance du panneau maximale : 3%	%	

7.	Température normale de fonctionnement de la cellule (NOCT), dans les conditions suivantes : Irradiation = 800W Température ambiante = 20°C Vitesse du vent = 1m/s/)	°C	
8.	Gamme de températures admissibles	°C	De -10 à +60°C
9.	Tension maximale dans des conditions de mesure standard	V_{oc} (V_{cc})	
10.	Courant maximal dans des conditions de mesure standard	I_m (A)	
11.	Tension de circuit ouvert dans des conditions de mesure standard	V_m (V_{cc})	
12.	Courant de court-circuit dans des conditions de mesure standard	I_{sc} , (A)	
13.	Règles de fabrication		IEC – 61215
14.	Durée de vie minimale garantie	Années	20
15.	Fraction de puissance initiale, minimale, après 20 ans de fonctionnement	%	80
Boîte déconnexion			
N°	CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	RÉQUIS
1.	Diodes de « by pass » (2 ?)	Unités	
2.	Solidement jointe au module	VCC	
3.	Bonne connexion (Les entrées/ sorties de câbles doivent être dotés de presse-étoupes pour atteindre une étanchéité effective)		
4.	Indice de protection (minimal IP 54)		

VII. INSTRUMENTS DE MESURE NÉCESSAIRES

1. Multimètre DC et AC
2. Pince ampèremétrique
3. Thermomètre
4. Cellule solaire étalonnée ou pyranomètre
5. Boussole (pour mesurer l'orientation nord/sud)

VIII. CONSIDÉRATIONS PRÉALABLES

1.-NETTOYAGE DES PANNEAUX

1. Baisser le panneau photovoltaïque et le mettre sur une surface plate appropriée.

2. Déconnecter les contacts dans la bornes du panneau photovoltaïque.
3. Effectuer le nettoyage du verre protecteur avec un drap humide, en évitant endommager le verre ou exercer une pression excessive sur la surface du verre, ainsi que vérifier que l'étanchéité n'a pas de piqûres ou des filtrages de l'eau ou d'autres. Nettoyer UNIQUEMENT avec de l'eau, en évitant les détergents abrasifs.
4. Avec une brosse métallique, nettoyer les contacts et bornes, en éliminant la saleté et les restes des rouilles.
5. De même, nettoyer avec la brosse métallique les contacts du conducteur qui va au régulateur de charge
6. Connecter de nouveau les contacts (en vérifiant toujours la polarité) et faire un réglage approprié des vis de contact.

2.- CONSIDÉRATIONS POUR LE TRAVAIL SOUS TENSION

COUVRIR LE MODULE POUR ÉVITER LA GÉNÉRATION DU COURANT ÉLECTRIQUE. UTILISER DES OUTILS CORRECTEMENT REVÊTUES D'UN MATÉRIAU ISOLANT PENDANT LE TRAVAIL AVEC LE MODULE. UTILISER DES GANTS ISOLANTS POUR LE TRAVAIL AVEC DES TENSIONS.

1. Ne pas toucher les bornes pendant que le module est exposé à la lumière.
2. Au moment de la connexion, il faut respecter les non-polarités électriques de tous les éléments, en les connectant dans l'ordre suivant : batterie, modules et consommation.
3. Si on utilise des batteries avec les modules, suivre tous les recommandations indiquées par le fabricant de batteries en matière de sécurité.
4. La section des conducteurs utilisés doit assurer que la chute de tension dans l'installation ne dépasse pas 2% de la tension nominale de la section.

IX. ESSAIS DE TERRAIN : INSPECTION VISUELLE

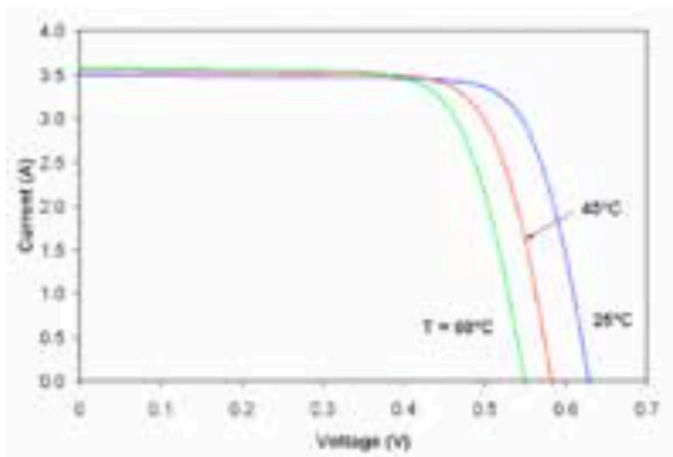
INSPECTION PHYSIQUE	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
Inclinaison (mesurer les côtés et la projection horizontale)		Entre 0 et 10°C d'inclinaison	
Orientation du module (boussole)		La face avant du module doit être tournée vers le nord (hémisphère sud)	
Fixations à la structure		Panneau bien fixé à la structure sans que le module soit percé	

Taches ou ombrages partiels		<ul style="list-style-type: none"> - Ombre ponctuel dans les cellules du module pendant que le reste reçoit une radiation élevée (diodes) - Excréments d'oiseaux, qui couvrent une surface du panneau 	<ul style="list-style-type: none"> - Éliminer les ombres. Tout au long de la journée/de l'année, se produisent <> des ombres. - Nettoyage UNIQUEMENT avec de l'eau 1/semaine le matin
INSPECTION MODULE	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
Rupture du verre des modules (verre frontal, cellules cassées)		Les éclats, etc. réduisent le rendement de 30%, mais le module peut continuer à être utilisé, même s'il convient de le changer le plus tôt possible. S'il y a une rupture qui implique la séparation de plus de 10%, rejet	Ne pas laisser tomber le module et ne pas jeter des objets sur le module. Ne monter ni marcher sur le module.
Cellules désalignées		S'il permet un contact physique entre les cellules, rejet (remplacer)	
Impuretés dans le laminage ou des bulles dans l'encapsulation		Impuretés avec couverture > 1% de la cellule, bulles qui contactent les cellules et le cadre rejet, remplacer	
Cadre en aluminium		Solidement joint au module sans creux par lesquels l'eau puisse s'infiltrer	
Oxydation de la cellule par de l'eau en module (TEDLAR ENDOMMAGÉ).		Oxydation du circuit intérieur des cellules et soudage de connexion --> Substitution du module	Protéger le TEDLAR postérieur contre les agressions externes
Oxydation des vis et rondelles		Pas oxydées (matériau inoxydable)	
BOÎTIER DE CONNEXION	Observation en temps réel	Effet/critères	Maintenance proposée
COUVRIR LE MODULE (CAR SI NON LE COURENT POURRAIT PASSER) !!!			
Faibles de connexion dans le boîtier de connexion (cassé, lâche ou détaché...)		Vérifier le serrage et l'état des bornes	Réviser chaque 6 mois le serrage et l'état des bornes des câbles de connexion des modules
Faibles d'étanchéité dans le boîtier de connexion		Il pourrait même ne pas être étanche !	Joints neufs ou un scellage de silicone
Conducteurs		En bon état	Application de vaseline/graisse pour la sulfatation
Connecteurs		En bon état	

X. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

La courbe I-V est la caractéristique de fonctionnement plus importante d'un système FV :

- **Courant de court-circuit (Isc) :** à avec $V = 0$



- Tension de circuit ouvert (V_{oc}) : à avec $I = 0$ -
- Point de puissance maximale (P_M) : à $V_{max} * I_{max}$

1.- COURENT DE COURT-CIRCUIT (ISC) :

Mesurer dans les bornes du module (boîte de connexion)

QUAND ?	Paramètre à mesurer	Équipement de mesure	Localisation
Mesurer à +/-2 heures de l'après-midi	Intensité court-circuit CC (A) Rayonnement solaire // jour ensoleillé/nuageux	Multimètre DC et pince ampèremétrique DC Pyranomètre	Intensité sortie de chaque SÉRIE DE MODULES Face au soleil

Notes : Les mesures peuvent varier de manière significative selon le temps, l'heure du jour et le possible ombre dans les modules. Mesurer à +/-2 heures de l'après-mid

2.- TENSION DE CIRCUIT OUVERT (VOC)

Mesurer dans les bornes du module (boîte de connexion)

Paramètre à mesurer	Équipement de mesure	Localisation
Tension de circuit ouvert CC (Vdc)	Multimètre DC	Tension sortie DE CHAQUE MODULE (sans charge !!)
Tension de circuit ouvert CC (Vdc)	Multimètre DC	Tension sortie DE CHAQUE SÉRIE DE MODULES (sans charge !!)
Température (°C)	Thermomètre	Environnement

Notes : La valeur de la tension du circuit ouvert de la série correspond à la somme des tensions individuelles du circuit ouvert des modules connectés en série. Si la valeur mesurée est beaucoup plus bas de ce qui était prévu, cela signifie que la série a un problème.

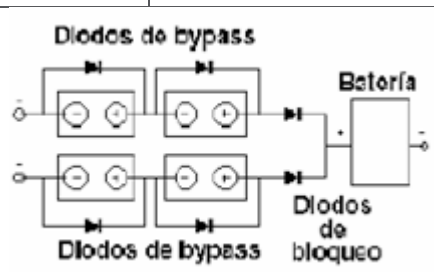
3.- FONCTIONNEMENT : $P_{cc} = I_{cc} * V_{cc}$

1. État du panneau : Pour assurer le bon fonctionnement du module FV, le baisser avec précaution et, avec le multimètre, le connecter dans les bornes de sortie du panneau, le couvrir avec un drap obscur et le découvrir progressivement ; le voltage dans le multimètre doit commencer à augmenter et après se stabiliser.
2. Fonctionnement en charge : l'inverseur sert de charge du champ FV (allumé)
 - a. Prendre des mesures chaque deux heures pendant une journée
 - b. Fonctionnement à bas éclairage énergétique. Prendre note de si le jour est clair ou pas.

QUAND ?	Paramètre à mesurer	Équipement de mesure	Localisation
Prendre des mesures chaque deux heures pendant une journée	Intensité de CC (A)	Multimètre DC et pince ampèremétrique DC	Intensité entrée à l'onduleur
	Tension de CC (Vdc)	Multimètre DC	Tension entrée à l'onduleur
	Température (°C)	Thermomètre	Environnement
	Jour ensoleillé ?		

XI. PROTECTIONS

Protection	Dispose ?	Protection contre	Observation champ :
Diodes de by pass (2 ?)		Protège les cellules	
Diodes de blocage (circuit principal de sortie du module)		Contre courent inverse	
Fusible (dans le circuit principal de sortie du module)		Contre surintensités	
Prise mise à la terre		Contre surtensions	
Câbles		Gamme T ^a -40°C à 90°C VDC = 600 et 1000 Vdc	



XII. PANNES POSSIBLES ; DÉTECTION ET RÉOLUTION DE PROBLÈMES

• TRÈS BASSE TENSION

Des tensions très basses sont généralement associées à de mauvaises connexions dans les bornes ou à défauts dans les diodes bypass. Procédure :

1. Vérifier tous les connexions dans les points du circuit ouvert ;
2. Couvrir tous les modules de la série avant d'agir et déconnecter les deux connecteurs de chaque module
3. Enlever la couverture des modules de la série et vérifier la tension dans le circuit ouvert pour chaque module, (Voc).
4. Si la tension est inférieure à 50% de la valeur prévue, il y a un problème dans les diodes bypass. Dans ce cas, veuillez contacter le support après-vente.
5. Si le niveau de radiation est bon et si la tension dans la borne varie de plus de 5% des valeurs prévues, vérifiez qu'il n'y ait pas de problèmes de connexion électrique.

- ISOLEMENT ÉLECTRIQUE

6.5.4. Manuel d'opération et essais du régulateur de charge

En ce qui concerne le test du régulateur de charge, il est recommandé de suivre les pas suivants pour vérifier son bon fonctionnement :




Fig. 5. Régulateur de charge

- Déconnecter les lignes de conduction du panneau photovoltaïque au régulateur de charge
- Dans le cas de saleté dans les contacts ou de restes d'oxydes, déconnecter tous les conducteurs et les nettoyer avec une brosse métallique, dans les bornes de connexion et dans les bornes des conducteurs. Reconnecter et faire l'ajustement nécessaire dans les bornes (attention à la polarité).
- Vérifier et serrer les vis des bornes
- Connecter de nouveau les conducteurs d'alimentation du panneau photovoltaïque.
- S'il y avait des fusibles, vérifier aussi l'état des contacts et s'il faut, les changer.
- Déconnecter les connecteurs de sortie du régulateur de charge et vérifier les tensions dans les bornes de ceci, après installer les sorties une à une en vérifiant le bon fonctionnement des équipes installés.

Le manuel de l'équipe est disponible et sert comme guide d'orientation en cas de doute.

6.5.5. Manuel d'opération et essaies des autres composants

Pour le reste de composants de l'installation, principalement le câblage, les points suivants devraient être révisés :

- 
- Inspection visuelle
 - Nettoyage : poussière, eau
 - Vérifier les connexions et tous les câbles, en vérifiant la continuité en tous les conducteurs pour éliminer la possibilité des connexions défectueuses.

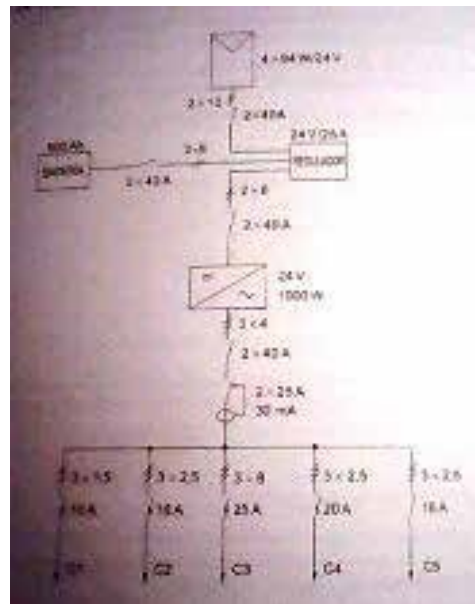
6.6. Références

[3] Ingeniería Sin Fronteras, “Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo”, IEPALA, 1999, Madrid.

7 Applications

7.1. La chambre solaire photovoltaïque en 220V alimentée avec de l'énergie solaire photovoltaïque

La figure suivante montre le schéma unifilaire d'une chambre solaire.



Dans ce circuit unifilaire nous voyons qu'il y a deux parties clairement différentes : une partie en courant continu formée par le générateur photovoltaïque, le système d'accumulation et le régulateur électronique de charge, et l'autre partie qui est alternatif constitué par l'inverseur de courant CC/AC et les circuits conventionnels d'une installation électrique normale. Les charges C sont les suivantes :

- C1= Eclairage
- C2= Prise (3)
- C3= prise (cuisine 1)
- C4= Prise (lavabo)
- C5= Prise (Bain)

La table suivante montre l'estimation d'énergie consommée totale. Pour les récepteurs en courant alternatif prendre pour le rendement 90%.

Charge	Qté	CC ou AC	Puissance W	Rendement	Utilisation h/jour	Energie totale Wh/jour
Cuisine	1	AC	18	90%	4	80
Salle manger	1	AC	22	90%	5	123
Dortoir1	1	AC	11	90%	2	25
Dortoir 2	1	AC	11	90%	1	13
Bain	1	AC	11	90%	3	37

Couloir	1	AC	11	90%	1	13
Vestiaire	1	AC	11	90%	1	13
TV couleur	1	AC	70	90%	3	234
Frigo	1	AC	60	90%	6	400
Lave- linge	1	AC	300	90%	½	167
Petit- électrodomestique		AC	200	90%	½	112
		Total	725W		Total =	1217Wh/jour

Nous disposerons d'une énergie de 1217wh / jour
La table suivante montre les spécifications du système.

	Données pour les calculs du système	
	Valeur	Variable
Tension du système	24Vcc	Us
Tension nominale du module	12 Vcc	Um
Courant moyenne du module	4 A	Im
Consommation totale de l'installation	1217 Wh	E
Perte du système	15 %	e 1
% profondeur de décharge de la batterie	70 %	DDQ
Jours d'autonomie de la batterie	3	A
Radiation de référence	4.02 hsp	G
% énergie photovoltaïque	100 %	E%
% marge additionnelle des modules	0 %	m 1
% marges additionnelles des batteries 0 %		m 2

DDQ : Degré de Décharge Quotidien : On retiendra généralement 50% à 70% pour les batteries solaires et 30% pour les batteries automobiles.

1. Calcule du nombre de modules photovoltaïques :

$$\text{Nombre de Modules} = E\% \times E \times (1+e_1+m_1) \times (1+m_2) / G \times I_m \times U_m$$

$$= 1 \times 1217 \times 1.15 \times 1 / 4.02 \times 4 \times 12 = 7.25 \text{ modules}$$

Nous avons besoin de **8 modules photovoltaïques de 70Wc**

2. Calcule de la capacité de la batterie

$$\begin{aligned} \text{Capacité batteries} &= E \times (1+m_2) \times A / \text{DDQ} \times U_s \\ &= 1217 \times 1 \times 3 / 0.7 \times 24 \\ &= 217.321 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Nous utiliserons une batterie d'une capacité de 250Ah. Nous utilisons 12 vases de 2 chacune et regroupés en série formant deux rangés de batteries 12V connectées entre elles en série pour obtenir une tension de 24 v et 250 Ah de capacité.

3. Calcul du régulateur

Courant d'entrée = nombre de modules en parallèle x courant de court-circuit du module

(Isc)

$$= 8 \times 4.5A$$

$$= 36A$$

Le régulateur doit supporter un courant de 36 A en fonctionnement

Nous utiliserons un régulateur de charge de 40A

	Section mm2	Chute de tension	Type de câble
Ligne du panneau	15	2.57 %	X2PE
Ligne batterie	6	2.68 %	X LPE
Ligne de charges	24 en CC et 2.5 et plus en AC	2.63 %	XLPE

4. Choix de l'onduleur

Connaître la puissance pique des modules solaires photovoltaïques et la puissance totale des appareils à installer :

Nous avons une puissance de 725 W à installer ; on aura besoin d'un inverseur de 1500W en régime normal. Inverseur : 1524 VA

La figure suivante montre l'installation terminée.



7.2. L'éclairage public

L'énergie solaire photovoltaïque pour l'éclairage public peut être individuelle ou collective, à travers d'une seule installation de production qui fournit de l'énergie électrique à plusieurs lampadaires. L'énergie produite pendant la journée est stockée dans des batteries qui seront utilisées pendant la nuit [7].

Les avantages d'utiliser l'énergie solaire photovoltaïque pour l'éclairage public sont les suivants [8]:

- Les lampadaires s'allument et s'éteignent automatiquement quand ils détectent que l'intensité de la lumière du soleil diminue. En plus, ils peuvent se programmer pour s'éteindre à une heure précise ou passées quelques heures.
- Les panneaux ont une durée de vie utile d'à peu près vingt-cinq ans et les batteries une vie d'à peu près huit ou dix ans.
- Pour son installation, il n'est pas nécessaire de faire aucun type de génie civil ou de construction (l'installation de câblage souterrain ou la connexion avec poteaux qui transmettent l'énergie ne sont pas nécessaires).

Selon [7], l'éclairage public est l'installation qui représente la plus grande incidence sur la consommation énergétique d'une municipalité, atteignant 52% du total des consommations énergétiques des installations municipales et 59% de la consommation électrique de titularisation municipale. L'importance des installations d'éclairage public est telle que dans certaines municipalités représente jusqu'à 80% de l'énergie électrique consommée et jusqu'à 60% de la facture énergétique d'une mairie [7].

L'image suivante montre un lampadaire qui utilise de l'énergie solaire photovoltaïque [9].



Fig. 13 : Lampadaire qui utilise de l'énergie solaire photovoltaïque [9]

[7] <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/uso-en-instalaciones-dealumbrado-y-senalizacion>

[8] <http://www.ventadepanelessolares.com/tipos/paneles-solares-alumbrado-publico.html>

[9] <http://www.energiafotovoltaica.ws/celdas/celdas-fotovoltaicas-para-alumbrado.html>

Le dimensionnement de l'éclairage public se fera de la même manière que dans le cas de la pièce solaire. Donnée ou estimée le rayonnement solaire et la consommation requise pour l'éclairage public, s'estimera la quantité de panneaux nécessaire et la taille de la batterie pour le fonctionnement autonome.

7.3. Le champ solaire

Les champs solaires sont des regroupements de modules solaires qui s'associent pour partager des dépenses communes, de manière que la rentabilité soit supérieure en partageant des dépenses comme la sécurité du périmètre, la maintenance, les onduleurs d'énergie, etc. [10].

Les éléments communs dans un champ solaire sont les panneaux solaires, qui peuvent être fixes ou avec des rotors tournants qui suivent le mouvement du soleil [10].

[10] <http://www.portalsolar.com/huertos-solares.html>

La taille du champ solaire dépend de la consommation qu'on essaie de couvrir et du rayonnement solaire. Compte tenu de ces deux éléments, la taille du champ solaire, i.e., la quantité des panneaux, peut se déterminer comme dans la section 7.1.

7.4. Le pompage solaire

Une des plus grandes applications de l'énergie solaire photovoltaïque est le pompage. Dans un système de pompage photovoltaïque l'énergie électrique fournie est transformée par un générateur (module solaire photovoltaïque) en énergie hydraulique (un volume d'eau est élevé à une grande hauteur).

Les principales applications du pompage photovoltaïque sont les irrigations d'eau et l'approvisionnement d'eau en zones rurales.

7.4.1. Description et connexion des éléments qui forment le système de pompage d'eau

Les composants qui forment le système de pompage sont:

- les générateurs photovoltaïques.
- l'ensemble moteur et pompe.
- le convertisseur d'accouplement entre le générateur photovoltaïque et le moteur pompe.
- l'accumulation et la distribution d'eau.

7.4.2. Calcul d'un système de pompage photovoltaïque

Les principaux facteurs qui déterminent la configuration d'un système de pompage sont :

- les situations hydrauliques

- o La profondeur du niveau d'eau jusqu'à la superficie.
- o La hauteur du puits jusqu'au point d'utilisation ou d'emmagasinage (hauteur statique).
- o Les pertes de pression dans les tubes et accessoires (hauteur dynamique)

- la radiation solaire et les conditions climatologiques

- o l'énergie fournit par les panneaux photovoltaïque tout le long de la journée dépendra de ces facteurs déterminantes.

Une fois analysé tous les facteurs. Nous allons choisir la meilleure configuration de notre système de pompage photovoltaïque.

7.4.2.1. Calcul de la hauteur total du pompage

Pour le calcul de cette hauteur totale H d'eau nécessaire à pomper nous devons connaître la hauteur statique et la hauteur dynamique.

La hauteur statique est la distance entre le niveau minimum de l'eau du puits et le point maximum d'élévation à laquelle l'eau sera pompée (H_g).

La hauteur dynamique est la valeur de la chute de pression (perte de charge) quand un liquide circule à l'intérieur d'un tube (H_d). Cette perte de charge dépend de la longueur des tubes, de son diamètre intérieur et du coefficient de sa rigidité lequel dépend des caractéristique de la circulation de l'eau.

$$H = H_g + H_d$$

Exemple : soit un puits de 5.4m et considérons une perte de charge de 10%(0.54m) alors on aura une hauteur totale de:

$$H = H_g + H_d = 5.4 + 0.54 \cong 5.94 \cong 6m$$

7.4.2.2. Calcul des générateurs photovoltaïques

Le moteur doit être capable de supporter la puissance pique des générateurs photovoltaïques et sa puissance électrique d'entrée doit être au moins de cette dernière. Le nombre de modules photovoltaïques connecté en série et en parallèle doit adapter les limitations de courant et de tension au moteur, l'effort de bien ajuster les deux éléments pour optimiser les relations de la puissance maximale.

Respecter l'inclinaison des panneaux pour avoir une bonne radiation solaire.

NB: connaître les caractéristiques électriques du module à utiliser et celles du moteur à utiliser.

$$\text{Nombre de module FV en série} = \frac{\text{U nominale du moteur}}{\text{U nominale d'un module FV}}$$

$$\text{Nombre de module FV en parallèle} = \frac{\text{Puissance pique du moteur}}{\text{Nombre de module FV en série} \times \text{Puissance pique d'un module FV}}$$

7.4.2.3. Calcul du moteur pompe

Calculer d'abord l'énergie E (en Joule) nécessaire pour envoyer un volume d'eau V à une hauteur H donnée: $E = \delta \cdot g \cdot H \cdot V$

δ = densité en Kg/dm³ (dans le cas de l'eau elle est approximativement égale à une unité) g = accélération de la gravité (9.8m/s²) H = hauteur à laquelle on veut pomper l'eau

U = volume de l'eau à pomper en litres

Il faudra connaître le nombre d'heures (le temps t) de pompage d'eau voulue et le nombre de volume V d'eau ; après le calcul, nous obtenons une puissance du moteur pompe en Watt. Cette puissance est divisée par le rendement du moteur pompe et nous obtenons la puissance totale du moteur.

$$\text{Puissance} = (E / \tau) * \text{Puissance} = E / \tau$$

$$\text{Puissance Totale} = \text{Puissance} / \eta$$

Calcul de la section des conducteurs

- Générateurs photovoltaïques au convertisseur

Connaître la tension maximum et l'intensité maximum générer par les modules photovoltaïques. Considérons une chute de tension maximum de 3% sur une longueur donnée.

$$S = 2 * L * I / \gamma e$$

$\gamma = 56$ $c = 3\%$ de la tension maximale des modules

- Convertisseur au moteur

Il faudra connaître la tension d'utilisation de la pompe et l'intensité qu'il consomme en considérant une chute de tension maximale de 3%.

$$S = 2 * L * I / \gamma e$$

8 Révision des normes

8.1. Introduction

L'objectif de cette section est de donner une vision globale des normatives en vigueur dans des pays différents. Les normes présentent les spécifications techniques et les mesures de sûreté. Il y a des normes locales et des normes globales.

8.2. Locales

La table suivante montre une liste de normes nationales [10].

Pais	Institución	Título	Año
Bolivia	PROPER	Especificaciones técnicas	1996
Brazil	Centro de Pesquisas de Energia Eléctrica	Manual de Engenharia, Sistemas fotovoltaicos	1995
Francia	Electricité de France	Directives générales pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée	1997
Alemania	GTZ	Basic Electrification for Rural Households	1995
Alemania	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme	Anforderungskatalog für Laderegler der Leistungsklasse von 50 W bis 200 W bei 12V/24V Nennspannung	1996
India	Indian Renewable Energy Development Agency	Model of Technical Specification for Solar Home Lighting Systems	1997
Indonesia	BPP Technology	Specifications for Solar Home Systems	1996
Kenia	Energy Alternatives AFRICA	Draft Components and Installation Standards	1997
Mexico	Instituto de Investigaciones Eléctricas	Especificación técnica para sistemas fotovoltaicos de iluminación doméstica	1992
Sahel	CILSS	Programme Regional d'Utilisation de l'Energie Solaire Photovoltaïque dans les pays du Sahel, CR-VI FED, Appel d'Offres Restreint	1989
Sud Africa	ESKOM Non-Grid Electrification	Standard Technical Specification for the supply of PV Systems Equipment for Solar Homes	1997
España	Instituto de Energia Solar	Elaboration of a label "Adapted PV Equipment for Developing Countries", Power for the World - A Common Concept, EC-JOU-CT93 - 0421	1994
España	CIEMAT	Estandares de calidad para los "Solar Home Systems (SHS)" en Sudáfrica	1997
Sri Lanka	Solar Power & Light Co. Ltd.	Specifications for Solar Home Systems	1997
Tunee	Agence pour la maîtrise de l'Energie	Cahier de charges: Acquisition et installation de 2000 petits systèmes photovoltaïques	1995
USA	Asia Alternative Energy Unit (ASTAE)	Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs	1996
USA	Sandia National Lab	Stand-Alone Photovoltaic Systems - A Handbook of Recommended Design Practices	1991
Zaire	Fonds National Médico-Social	Cahier des Charges pour Fourniture, Installation et Maintenance des Equipements	1991

Les normes en vigueur en Espagne et Benin son énoncées ci-dessus.

8.2.1. Espagne

· Législation à caractère général :

- Loi 82/1980, du 30 décembre, sur la Conservation de l'Énergie.
- Loi 54/1997, du 27 novembre, sur le Secteur Électrique.
- Décret royal 1955/2000, du 1^{er} décembre, qui réglemente les activités des transport, distribution, commercialisation, approvisionnement et procédures d'autorisation pour les installations d'énergie électrique.

- Décret royal 842/2002, du 2 août, par lequel est adopté le Règlement électrotechnique sur la basse tension, qui abroge le Règlement électrotechnique sur la basse tension adopté par le Décret 2413/1073, du 20 de septembre.
- Loi 11/1997, du 2 décembre, sur la Régulation du Secteur Électrique canarien.
- Décret 26/1996, du 9 février par lequel sont simplifiées les procédures administratives spéciales applicables aux installations électriques.
- Décret 216/1998, du 20 novembre, par lequel sont régulés l'organisation et le fonctionnement du Registre des Installations de Production Électrique.
- Décret royal 3490/00, du 29 décembre 2000, par lequel est établi le tarif d'électricité pour l'an 2001.
- Loi 30/1992, du 26 novembre, sur le régime juridique des administrations publiques et la procédure administrative commune.
- Loi 4/1999, du 13 janvier, qui modifie la Loi 30/1992, du 26 novembre.

Normative de nature spécifique.

- Décret Royal 2818/1998, du 23 décembre, sur la production d'énergie électrique pour des installations approvisionnées des ressources ou des sources d'énergie renouvelables, déchets et cogénération.
- Décret Royal 1663/2000, du 29 septembre, sur la connexion des installations photovoltaïques à la ligne à basse tension.
- Ordre du 27 mai 2002, modifiant les bases réglementaires pour la période 2000-2006 approuvées à travers l'Ordre du 23 mai 2000, pour la concession des subventions aux projets d'économie, diversification énergétique et utilisation des énergies renouvelables, effectuée par la convocation de l'année 2002.
- UNE-EN 61173:98 «Protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques producteurs d'énergie. Guide.» UNE-EN 61727:96 «Systèmes photovoltaïques. Caractéristiques de l'interface de connexion au réseau électrique».
- PNE-EN 50330-1 «Convertisseurs photovoltaïques des semi-conducteurs. Partie 1: Interface de protection interactive exempt de défaut des compagnies électriques pour des convertisseurs commutés FV-réseau. Qualification d'élaboration et homologation de type.
- PNE-EN 50331-1 «Systèmes photovoltaïques en bâtiments. Partie 1 : Exigences de sûreté».
- PNE-EN 61227. «Systèmes photovoltaïques terrestres générateurs de puissance. Généralités et guide».

8.2.2. Bénin

On applique la normative de la CEI.


8.3. Mondiales

Le tableau suivant montre une liste des normes mondiales correspondantes à l'industrie photovoltaïque [11].

Norme	Description
IEC 61173 Ed1.0	Protection des surtensions pour les systèmes photovoltaïques : guide
IEC 61194 Ed1.0	Paramètres caractéristiques des systèmes photovoltaïques autonomes
IEC 61277 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques terrestres : définitions et guide
IEC 61683	Systèmes photovoltaïques –conditionneurs de puissance : méthode de mesure du rendement
IEC 61724 Ed 1.0	Suivi des performances des systèmes photovoltaïques –guide pour la mesure l'acquisition et l'échange des données
IEC 61725 Ed 1.0	Expression analytique des profils solaires journaliers
IEC 61727 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques –caractéristique de l'interface avec le réseau
IEC 61829 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques en silicium cristallin -mesure sur site des courbes IV
IEC61836 1 & 2	Systèmes à énergie solaire photovoltaïque Termes et symboles parties 1&2
IEC/ PAS 62111 Ed 1.0	Spécifications techniques pour l'emploi des énergies renouvelables pour l'électrification rurale décentralisée
IEC 61427	Batteries et cellules secondaires pour systèmes à énergie solaire photovoltaïque – recommandations générales et méthodes de test
IEC 61723	Guide de sécurité pour les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau montés sur les bâtiments
IEC 62078	Programme de certification et d'accréditation pour les composants et les systèmes photovoltaïques : guide pour une qualité totale
IEC 62109	Sécurité électrique des onduleurs statiques et des chargeurs de batteries à usage photovoltaïque
IEC 61124	Systèmes photovoltaïque autonomes : qualification de la conception et homologation
IEC61721 Ed 1.0	Résistance d'un module photovoltaïque à une détérioration par impact accidentel
IEC 61701 Ed 1.0	Test de corrosion en brouillard salin des modules photovoltaïques
IEC 61646	Modules photovoltaïques à couches minces pour usage terrestre : qualification de la conception et homologation
IEC 61345	Test UV pour modules photovoltaïques
IEC 61215	modules photovoltaïque en silicium cristallin : qualification de la conception et homologation
IEC 60904	Dispositif photovoltaïque partie 10: mesure de la non linéarité
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïques partie 9 : exigences de performances des simulateurs
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 8 : mesure de la réponse spectrale d'un dispositif photovoltaïque
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 7 : calcul de l'erreur de mismatch introduite dans le test des dispositifs photovoltaïques
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 6 : exigence pour les modules de référence premier amendement
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 4 : détermination de la température équivalente pour la

8.3.1. Systèmes Photovoltaïques Domestiques : IES 1998 [10]

La « norme technique universelle pour les systèmes photovoltaïques domestiques » est le résultat d'un travail orienté à combler ce vide. L'objectif de sa présentation est de servir de base à une norme technique de nature universelle pour les systèmes photovoltaïques domestiques.



Une révision préliminaire des normes techniques, ou similaires, existantes au niveau international, a révélé un grand nombre d'inconsistances entre elles. Particulièrement, les différences entre les approches pour le dimensionnement des systèmes et pour spécifier les types de modules photovoltaïques, les types de batteries, les tensions de travail des régulateurs, l'information opérationnelle pour les usagers, les chutes de tension, les mesures de sécurité, et les exigences relatives aux ballasts, câbles et connecteurs.

8.4. Exercice de recherche et application

Cherchez le document "Guide de rédaction du cahier des charges techniques des générateurs photovoltaïques connectés au réseau".

Sol : http://mctparis.com/fr/images_db/Guide_Ademe_PVC.pdf

Cherchez dans ce document et discutez le fonctionnement autonome d'un générateur photovoltaïque. Sol : Aide : Section 3.1.2

8.5. Références

[10] "Universal Technical Standard for Solar Home Systems" Thermie B SUP 995-96, ECDGXVII, 1998.

[11] "Promotion de l'Electrification Rurale et de l'Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques", Direction de l'Energie du Senegal, GTZ.

9 Laboratoire

9.1. Liste des matériaux principaux pour le laboratoire

9.1.1. Mesures

Multimètres (tension, intensité).

Potentiomètres.

Thermomètre (température).

Pyranomètre (mesure de la radiation solaire).

9.1.2. Charges

Lampes (la puissance dépend du panel PV).

9.1.3. PV

Chargeur photovoltaïque portable (<http://www.x-greenpower.com/flexible/Coretella.html>)



Plaque photovoltaïque 75 W et 12 V de Yingli ; $I_{sc} = 4.7A$, $V_{oc} = 22V$
(122 €, twenga.es)



Cellule de 1W et 0.5V

9.1.4. Régulateurs

Régulateur de charge StecaSolsum 6.6F 6A 12/24v (25€, tekno-solar.com).

9.1.5. Onduleur

CoEnergy MIC 700/12 de 12 V et 230 Vac



9.1.6. Batterie

Master Battery 12 V, 12 A (24 €, http://www.reguerobaterias.es/p982_bateria-de-plomo-12voltios-12-amperios-151x98x95mm-.html)



9.1.7. Protections

Fusibles
Interrupteurs

9.2. Liste détaillée

Ci-dessous se retrouve la liste des matériaux du cours « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE THEORIE ET PRATIQUE ». Les matériaux proviennent du catalogue Dielectrico Industrial.

CONECTOR MACHO HEMBRBOLSA 25-25 6MM	8201189	1	157,79
CARGADOR BATERIA MON12V 30A 230V	K2000/1230M	2	764,42
DENSIMETRO PIPETA PARA BATERIAS	DENSIMETROB	2	30,16
VARIADOR TENS.TORDL.MONO EAM 1250VA	EAM1250	2	280,81
MULTIMETRO DIG.KM-02+SONDA	0894102	2	141,06
PINZAS AMPERIM.KP-03 750V AUT./MAN.	0894203	2	154,00
LUXOMETRO DIGITAL KL6610	0875810	1	77,00
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	4	5,61
REFLECTOR RIDOS 55 ZR/118 CHAPA ACE.BL.	5808500	4	3,11
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	4	21,04
LAMPARA LUMILUX L18/840 18W d26MM	4050300517797	4	1,59
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	4	5,61
REFLECTOR RIDOS 55 ZR/118 CHAPA ACE.BL.	5808500	4	3,11
LAMPARA LUMILUX L18/840 18W d26MM	4050300517797	4	1,59
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	2	5,61
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	2	21,04
TUBO LED PS60/10/6000/SMD	TUBO LED	2	51,00
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	1	5,61
TUBO LED PS60/10/6000/SMD	TUBO LED	2	51,00
PORTALAMP.E-27 4A 250V C.LISO BLANCO	6829CLB	28	0,56
AMBIANCE PRO 23W/827 E27 230-240V	46802400	8	7,61
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	8	21,04
LAMPARA DINT LL 18W/840 E27	4008321394224	4	7,49
L.COMPACTA GENIE ES 18W/840 E27 230-240V	21398910	4	3,28
LAMP.COMPACTA PLE-D 23W/LUZ DIA E27 230V	46906900	4	11,91
L.TORNADO 23W 865 E27 230-240V	80207110	4	4,54
LAMP.MINI SOFTONE EASAVR 8Y 12W/827 E14	26094625	4	5,06
MALETA HERRAMIENTA ALPHA	220169	1	240,00
CAJA SUPERF.GD 1 FILA 10m	GD110E	2	7,16
DIF.2P 25A 30mA TIPO AC	CDC728M	2	15,29
INT.AUT.1P+N 10A CURVA C 6kA	MUN510A	4	4,40
INT.AUT.1P+N 20A CURVA C 6kA	MUN520A	4	4,61
PUENTE UNION BIP.12MKB263A	KB263A	1	6,06
CAJA SUPERF.GD 1 FILA 10m	GD110E	2	7,16
DIF.2P 25A 300mA TIPO AC	CFC225M	1	38,68

DIF.2P 40A 300mA TIPO AC	CFC240M	1		38,45
PROGR.SEM.1CANAL,1COEG071	EG071	2		60,03
PORTAFUSIBLE 10,3x38 32A 1P+N	L50600	2		5,78
FUS.ZR-0(10,3x38)16A CLASE gG	0101100	2		0,54
PUNTE UNION BIP.12MKB263A	KB263A	2		6,06
PICA 1500x14 (100MICRAS)	EC1514	4		5,25
GRAPA DE CONEXION 14d PATGA14	PATGA14	4		0,83
KGS.CABLE CU 50 MM. - ROLLO -	CCU50R	19		8,82
REGL.IND.RIDOS 55 136K AF 1x36W	5805302	2		6,01
TUBO LED PS120/10/6000/SMD	TUBO LED	2		76,46
LAMP. DICROICA LEDS 3W 200LM GU10 3200°K	LC60GU10BC60	6		8,40
PORTALAMP. H4 GU/GZ10 20cm teflon T180°	990420C	6		0,93
TERMINAL COBRE TULIPA TT-6/6	009230	20	xMIL	96,73
TERM.PR.HORQUILLA A4653G AMARILLO	0973051	50	xMIL	105,98
PUNT.PREAI SLADA AI 6 VERDE	0779025	400	xMIL	63,77
M. CABLE L.H 1KV RZ1-K(AS)1x10	RZ1-K (AS)1x10	19	xMIL	1.051,33
HILO FLEX.H07V-K 6 MM2. GRIS	H07V-K 6 GR	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. MARRON	H07V-K 6 MR	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. NEGRO	H07V-K 6 NG	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. AZUL	H07V-K 6 AZ	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. A/V	H07V-K 6 A/V	100	xMIL	509,92

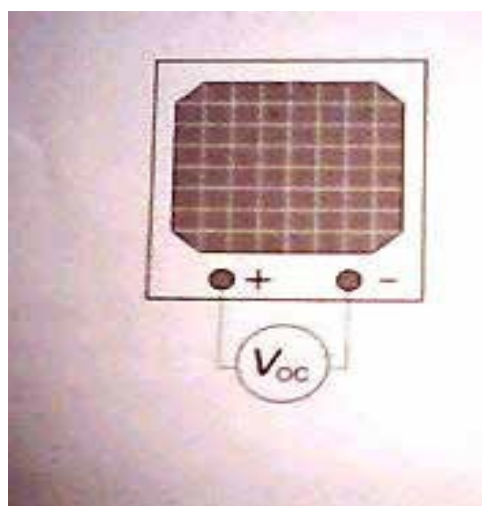
9.3. Laboratoire

9.3.1. Mesure de la Tension de Circuit Ouvert

La tension V_{oc} constitue la tension maximale qui peut traverser la cellule solaire. Le courant le traversant est nul.

La mesure se réalise avec un multimètre connecté comme indique la figure :

La surface de la cellule est de 95cm^2

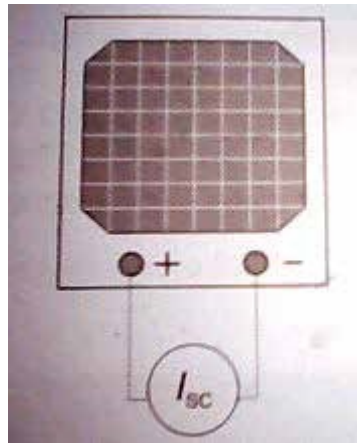


$$V_{oc} = 0.57V$$

9.3.2. Mesure du Courant du Court-Circuit

C'est le courant qu'on peut obtenir de la cellule quand la tension est égale à zéro volt.

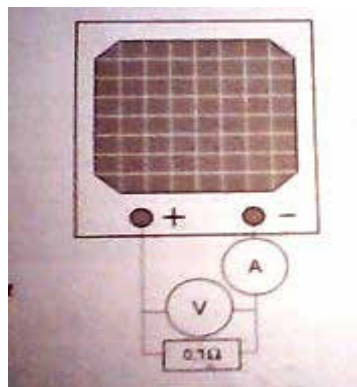
Sa valeur seule est entre 10 et 35 dizaines de milliampères pour chaque centimètre carré de cellule. La mesure se réalise avec un multimètre connecté comme indique la figure.



$$I_{sc} = 2.4A$$

9.3.3. Mesure de la Tension en Charge, Intensité de Charge et Puissance en Charge

Cette mesure s'obtient quand la cellule travaille avec une charge résistive. La pratique se réalisera avec une charge de $R=0.1 \text{ ohm} / 2w$. La charge ne doit pas être inférieure à la puissance de la cellule. La mesure se réalisera avec deux multimètres connectés comme indique la figure. La puissance de la cellule s'obtient avec la formule $P \text{ (watt)} = U \text{ (volt)} \times I \text{ (ampère)}$



$$P = U \times I \text{ d'où } P \text{ est en watt}$$

9.3.4. Essai de Variables Fondamentales

Elle peut être réalisée à l'intérieur ou à l'extérieur.

A l'intérieur, avec une lampe Philip 38 (lumière artificielle)

A l'extérieur, avec la lumière naturel (le soleil) Il nous faut :

2 multimètres (tension ; intensité)

1 thermomètre (température)

1 pyranomètre (mesure de la radiation solaire)

1 lampe Philip 38

1 cellule de 1W et 0.5V

· **ESSAI À REALISER À L'INTERIEUR**

Il faudra comprendre que la longueur des câbles pour les connections avec la cellule et les contacts dans les points de connexion avec celui-ci peuvent affecter (augmenter) la résistance totale de la charge ; il faudra travailler avec une résistance inférieure à 1 ohm. La variation de l'intensité de la lampe se fera par un rhéostat jusqu'à avoir une radiation de 1000 W/m². Cette radiation est marquée sur le pyranomètre. La distance entre la lampe et la cellule doit être constante tout le temps de l'essai.



· **ESSAI À REALISER A L'EXTERIEUR**

La radiation se prend à l'heure d'ensoleillement. Il faut effectuer les mesures aux heures solaires entre (11h et 14 h).

Le pyranomètre doit être fixe et sans mouvement ; et il doit avoir la même inclinaison que la cellule photovoltaïque. La lecture se fera chaque 15 ou 20 mn.



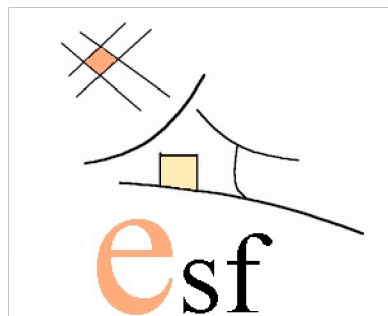


9.3.5. **Essaie avec le module portable**

- Avec une lampe: analyser l'effet de changer l'angle du module
- Avec un potentiomètre : déduire la caractéristique V-I

9.3.6. **Essaie d'une installation complète**

- Mesurer l'état de l'électrolyte
- Essai de mesure d'irradiation
- Mesurer l'énergie avec des compteurs d'énergie



Sponsored by

