



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseaux électriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Sellami abdelhak et Borni abderrahmane

Le : Dimanche 26 juin 2022

Etude de performance des systèmes photovoltaïques existants dans le laboratoire des énergies renouvelables université de Biskra

Jury :

Mr	Mohamed yacine hammoudi	MAA	Université Biskra	Président
Mr	Ramzy Saadi	MCA	Université Biskra	Encadreur
M	Karima darradji Belloum	MCA	Université Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021/2022



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseaux électriques

Réf. :

Etude de performance des systèmes
photovoltaïques existants dans le
laboratoire des énergies renouvelables
université de Biskra

Le :

Présenté par :Avis favorable de l'encadreur : Mr.Ramzy saadi

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciement

Mes remerciements à mon encadreur Mr. Saadi Ramzy pour sa patience ainsi sa confiance, ses remarques et conseils et sa disponibilité permanent qu'il trouve ici le témoignage de ma profond gratitude.

Mes remerciements :

- le chef de laboratoire des énergies renouvelables Mr : Merabti Youcef à son aide.*

Je voudrais également remercier les membres de jury pour avoir accepter dévaluer ma conception pratique et pour toutes leurs remarques et critiques ainsi que le personnel et les enseignants de département de génie électrique d'université de Biskra pour leur soutien inestimable pendant mes études .

A tous mes collègues qui m'ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect.

Merci a tous

Dédicace

A mon cher père et mère

A Ma femme qui a toujours été à mes côtés et sa patience et compréhension.

A mes chers enfants

A tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

A tous mes amis et collègues de travail

A tous ceux qui pour un mot m'ont donné la force de continuer mes études afin d'avoir mon Diplôme.

Sellami Abdelhak

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents et ma femme qui ont été toujours à

Mes coté pour soutenir et m'encourager.

Mes très chers frères et Sœurs.

Toute ma famille.

Tous mes professeurs tout au long de ma carrière

Académique.

Mes amies et mes collègues.

A tous ceux qui m'ont nourri de leur savoir,

Et à ceux avec qui je partage de bons souvenirs.

Borni abderrahmane

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------	---

Chapitre 01

Introduction	3
1.1 Principe de la conversion PV	3
1.2 Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque	3
1.3 Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque	4
1.3.1 Mode autonome (off-grid)	4
1.3.2 Mode connecté au réseau (on-grid)	6
1.3.3 Mode hybride (hybrid)	7
1.4 Constitution d'un système photovoltaïque autonome	8
1.4.1 Panneaux solaire photovoltaïque	9
1.4.2 Régulateur solaire	15
1.4.3 Batterie solaire	16
1.4.4 L'Onduleur	19
1.5 Protection d'un système photovoltaïque	21
1.6 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome	22
1.7 Pompage photovoltaïque	23
Conclusion	25

Chapitre 02

Introduction	27
2.1 Dimensionnement du système photovoltaïque isolé	27
2.1.1 Organigramme de dimensionnement pv isolé	29
2.1.2 Explication de l'organigramme	30
2.1.3 Exemple pratique	30
2.2 Dimensionnement d'une station de pompage photovoltaïque :	48
2.2.1 Energie électrique de la pompe	49
2.2.2 Choix des panneaux solaires :	50
2.2.3 Choix d'onduleur:	50

Sommaire

2.3 Etude de performance des systèmes existants	50
2.3.1 pompage PV avec une charge (pompe) DC	50
2.3.2 Système PV isolé	51
Conclusion	53
Conclusion générale	54
Bibliographie	55

Liste des figures

Figure 1-1	principe de l'effet photo voltaïque	3
Figure 1-2	système photovoltaïque en mode autonome avec batteries charge AC	5
Figure 1-3	système photovoltaïque en mode autonome avec batteries charge DC	5
Figure 1-4	système photovoltaïque en mode autonome sans batteries (pompage)	5
Figure 1-5	système photovoltaïque en mode autonome sans batteries (pompage) charge DC	6
Figure 1-6	modes d'exploitation d'un système photovoltaïque (connecté au réseau)	6
Figure 1-7	schéma d'un système photovoltaïque connecté au réseau	6
Figure 1-8	mode d'exploitation d'un système hybride (PV/ éolienne)	7
Figure 1-9	mode d'exploitation d'un système hybride (PV/groupe électrogène/batterie)	7
Figure 1-10	Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque hybride(PV/groupe Electrogène/réseaux/batterie)	8
Figure 1-11	Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome	8
Figure 1-12	caractéristiques $I(v)$ et $P(v)$ d'un panneau solaire [3]	9
Figure 1-13	Différentes zones de la caractéristique $I=f(V)$, a $T = 25^{\circ}C$	10
Figure 1-14	L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$.	10
Figure 1-15	Effets de la température sur les caractéristiques $I(V)$	11
Figure 1-16	Cellule mono cristalline	12
Figure 1-17	Cellule poly cristalline	12
Figure 1-18	Cellule amorphe	12
Figure 1-19	Raccordement des panneaux en parallèle	14
Figure 1-20	Raccordement des panneaux en séries	14
Figure 1-21	Raccordement des panneaux solaire en Mixte	14
Figure 1-22	Les régulateurs solaires	15
Figure 1-23	effet de DOD sur la durée de vie des batteries	17
Figure 1-24	Types des batteries solaires	17
Figure 1-25	Types de raccordement des batteries solaires	19
Figure 1-26	Exemples d'organes de protection	21

Liste des figures

Figure 1-27	Procédure de mise en marche d'un système PV, charge AC	22
Figure 1-28	Procédure d'arrêt d'un système PV, charge AC	22
Figure 1-29	Procédure mise en marche d'un système PV, charge DC	22
Figure 1-30	Procédure d'arrêt d'un système PV, charge DC	23
Figure 1-31	types des pompes hydrauliques	24
Figure 2-1	organigrammes de dimensionnement	29
Figure 2-2	Température moyenne journalier par mois de Biskra	35
Figure 2-3	plaque signalétique de panneau utilisé	37
Figure 2-4	raccordement des batteries	38
Figure 2-5	raccordements des panneaux selon le régulateur	38
Figure 2-6	Organes de protections photovoltaïques	46
Figure 2-7	coffrets de protections photovoltaïques AC DC	47
Figure 2-8	Schéma récapitulative de tout le système après le dimensionnement	48
Figure 2-9	Système de pompage PV charge (pompe) DC	50
Figure 2-10	Système PV isolé existant dans le laboratoire	52

Liste des Tableaux

Tableau 2-1 :	Besoins énergétiques	31
Tableau 2-2 :	Besoins énergétiques et puissance totale des éléments	32
Tableau 2-3 :	Energie totale journalière Demandée	33
Tableau 2-4 :	Tension du système en fonction de la puissance totale	34
Tableau 2-5 :	Ensoleillement moyenne journalier par mois et par An de Biskra	35
Tableau 2-6 :	section de file selon la longueur, le courant et la limite d'échauffement	42
Tableau 2-7 :	la limite d'échauffement selon la section de file	42
Tableau 2-8 :	Exemple de calcul de la section du câble en AC	44
Tableau 2-9 :	Exemple de calcul de la section câble en DC	45
Tableau 2-10 :	Exemple de calcul de la section du câble en DC et AC par Excel exemple réel	45

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة معمقة حول الأنظمة الكهروضوئية من حيث: أنواعها، مكوناتها، خصائصها، معايير اختيارها وكذا حمايتها. سلطنا الضوء حول طرق الحسابات الكهروضوئية الخاصة بنظام منفصل عن الشبكة وكذا نظام الضخ الكهروضوئي وحساباته مرفوقا بمثال عملي. وهذا كي نتيح لأصحاب التخصص والمهتمين نظرة عامة وتطبيقية تشرح قواعد الحسابات الكهروضوئية. ختمنا عملنا بدراسة نقدية لكفاءة الأنظمة الكهروضوئية المتواجدة على مستوى مخبر الطاقات المتجددة بجامعة بسكرة واقترح الحلول المناسبة.

الكلمات المفتاحية

الضخ الكهروضوئي، نظام منفصل عن الشبكة، حسابات كهروضوئية، الأنظمة الكهروضوئية، دراسة الكفاءة

Résumé

Dans ce modeste travail on entamé une étude approfondie concernant les systèmes photovoltaïque de point de vue : Types, composants, caractéristiques, critères de choix et protection.

On a éclairé la méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque isolé et de pompage suivi d'un exemple réel afin de fournir aux spécialistes et aux personnes intéressées par l'énergie solaire un aspect général expliquant ces règles.

On a fini notre travail par une étude de performance concernant les systèmes photovoltaïques au niveau de laboratoire des énergies renouvelables à l'université de Biskra suivi des propositions ou correction nécessaires.

Mots clés

Système photovoltaïque isolé, dimensionnement, Pompage photovoltaïque, étude de performance

Introduction générale

Les énergies renouvelables se manifestent comme une solution potentielle à la réduction de la pollution. Parmi les moyens de production prometteurs (éolien, hydraulique...), le photovoltaïque (PV) apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production d'électricité d'origine renouvelable pour l'habitat. Ajoutons à cela la libéralisation du marché de l'électricité qui introduit des changements majeurs dans le domaine de l'énergie. La multiplication des producteurs indépendants et des productions décentralisées [1].

L'augmentation du Coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. [2]

Dans ce travail, nous intéressons particulièrement à l'énergie photovoltaïque comme source d'énergie principale pour alimenter une maison à Biskra. Le travail qui sera présenté dans ce mémoire porte sur le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. Le présent manuscrit est subdivisé en trois chapitres.

Dans **le premier chapitre**, on va présenter quelques notions de base sur l'énergie solaire photovoltaïque. La suite du chapitre sera consacrée à la description des différents systèmes photovoltaïques d'une part et à l'étude du principe de fonctionnement et le constitué du système PV à savoir (le générateur PV, les batteries le régulateur, et l'onduleur...), d'autre part. Une partie théorique de base relative à l'énergie photovoltaïque est également exposée dans ce chapitre.

L'étude théorique concernant le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome plus un système de pompage est présentés dans **le deuxième chapitre**.

Le travail se termine par une conclusion générale qui résume l'ensemble des principaux résultats obtenus au cours de ce travail et proposer les éventuelles perspectives.

Chapitre 01

Généralités sur le photovoltaïque

Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à donner une brève présentation sur l'énergie photovoltaïque et ces différents systèmes.

On commencera par un rappel sur le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, puis on va expliquer les principaux constituants d'un système photovoltaïque, le fonctionnement de chacun avec ses caractéristiques et les critères de choix ainsi les types de protection.

Nous allons citer les différentes applications des systèmes photovoltaïques tel que les systèmes pv autonome, connecté, hybride et pompage.

1.1 Principe de la conversion PV

La cellule photovoltaïque contient des charges électriques du fait du dopage : négatives dans le type n (excès d'électrons), positives dans le type p (déficit d'électrons). Ces charges créent un champ électrique au niveau de la jonction.

Les photons de la lumière solaire arrachent des électrons aux atomes de silicium et créent des charges positives et négatives.

Les charges sont mises en mouvement par le champ électrique créé par la jonction, ce qui produit un courant électrique. et La quantité d'énergie Électrique ainsi générée peut varier en fonction du matériau utilisé, des paramètres géométriques du capteur et de sa capacité à collecter les électrons avant qu'ils ne se recombinent dans le matériau.

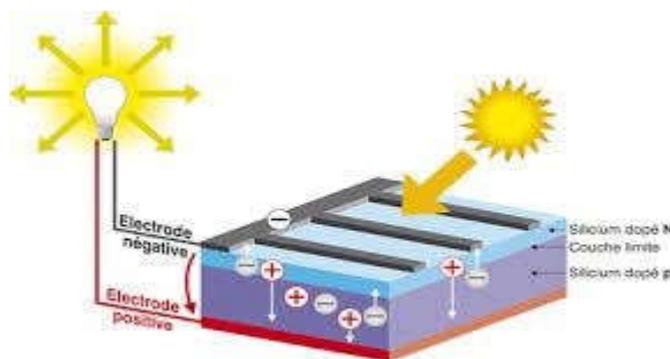


Figure. 1-1 principe de l'effet photovoltaïque [1].

1.2 Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est exploitée dans une large gamme d'applications afin d'alimenter plusieurs charges DC ou AC et parmi ces applications on distingue:

- ✓ Electrification rurale (éclairage, réfrigération...),

- ✓ Télécommunications (relais hertzien, relais T.V., relais radiotéléphone...),
- ✓ Tous types de pompage DC et AC.
- ✓ Signalisation (routière, aérienne, maritime et ferroviaire...),
- ✓ Détection,
- ✓ Protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme...),
- ✓ Stations de mesures (stations automatiques météorologiques, mesures de débit, de niveau, comptage de trafic),...
- ✓ Alimentation des systèmes de surveillance et de contrôle (camera et autres) [2]

1.3 Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque

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

1.3.1 Mode autonome (off-grid)

Dans le mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs. Ce mode est adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque le fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (pompage, éclairage, climatisation, chauffage, etc.). Généralement ce mode exige l'utilisation des batteries afin d'alimenter les charges électriques dans la nuit ou lorsqu'il s'agit d'insuffisance d'éclairage. Sauf le pompage qui

On peut distinguer alors deux types de ce mode :

- Mode Autonome avec batteries afin d'alimenter des charges DC ou AC
- Mode autonome sans batteries (pompage) afin d'alimenter des charges DC ou AC

Les figures suivantes expliquent ces types :

a. mode autonome avec batteries pour une charge AC

Ce mode se base sur des panneaux solaires qui alimentent les batteries à travers un régulateur de charge ensuite les batteries alimentent l'onduleur qui nous fournit de l'électricité alternative afin d'alimenter les charges AC. Ici les batteries remplacent le soleil dans la nuit.

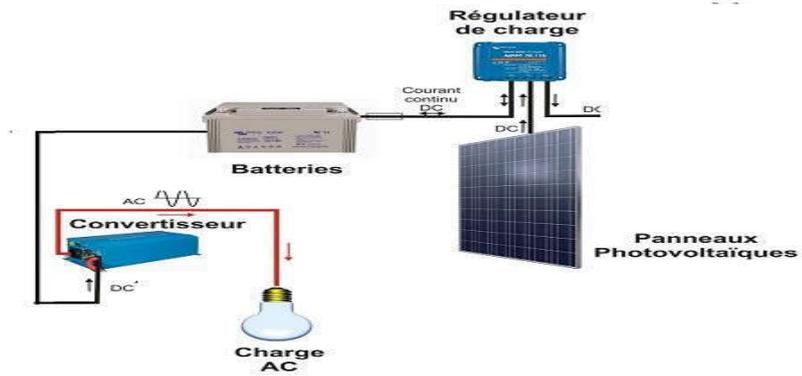


Figure. 1-2 système photovoltaïque en mode autonome avec batteries charge AC

b. mode autonome avec batteries pour une charge DC

Les panneaux solaires alimentent les batteries à travers un régulateur de charge qui doit alimenter lui-même une charge DC avec une tension 12V ou 24V ou 48V aussi ici les batteries remplacent le soleil dans la nuit.

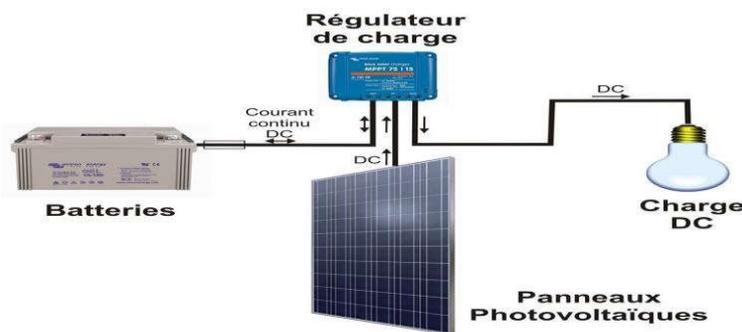


Fig. I-3 système photovoltaïque en mode autonome avec batteries charge DC []

c. mode autonome sans batteries (pompage) avec charge AC (pompe AC)

Les panneaux alimentent directement la pompe émergée à travers un onduleur et ce tant que la puissance de sortie du panneau est capable de faire fonctionner la pompe. Et ce qu'on appelle le fonctionnement au fil du soleil qui assure le fonctionnement de la pompe tant qu'il y a une suffisance d'ensoleillement.

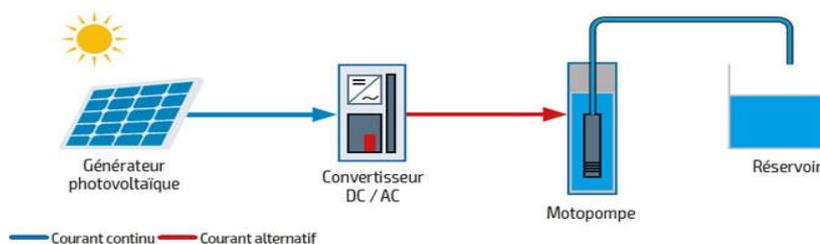


Figure 1-4 système photovoltaïque en mode autonome sans batteries (pompage)

Les panneaux alimentent directement la pompe émergée à travers un hacheur ou convertisseur DC et ce dernier assure l'alimentation de la pompe DC durant un tant suffisant de faire fonctionner la pompe. Et ca ce qu'on appel le fonctionnement au fil du soleil qui assure le fonctionnement de la pompe tant qu'il y a une suffisance d'ensoleillement.

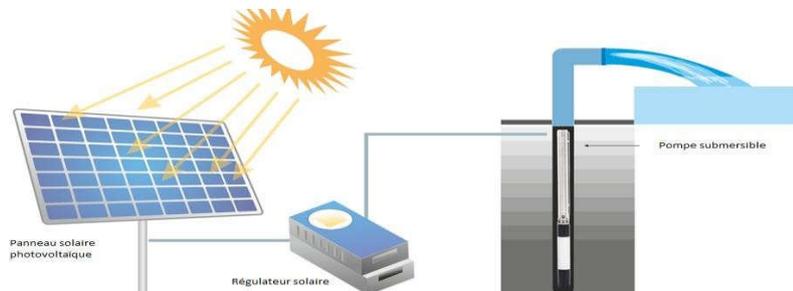


Figure 1-5 système photovoltaïque en mode autonome sans batteries (pompage) charge DC

1.3.2 Mode connecté au réseau (on-grid)

Les panneaux photovoltaïques qui sont reliés en série, parallèle ou mixte génèrent un courant électrique contenu DC qui va alimenter un onduleur afin de produire un courant alternatif d'une tension de 220v ou 380v ou plus avec une fréquence fixe 50 – 60 hz.

Cette tension AC générée par l'onduleur sera connectée au réseau électrique à travers un système qui assure l'injection de puissance adaptée avec le réseau (même amplitude, même fréquence même séquence de phases) comme le montre la figure suivante. [4]



Figure 1-6 modes d'exploitation d'un système photovoltaïque (connecté au réseau)



Figure 1-7 schéma d'un système photovoltaïque connecté au réseau

1.3.3 Mode hybride (hybrid)

Ce mode signifie qu'on a plus qu'une source d'électricité pour alimenter la charge, tel que les panneaux photovoltaïques, les éoliens, les batteries de stockage, les piles à combustibles les groupes électrogènes...etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau.

Les critères de choix se basent sur les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau. Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes (figure ci-dessous). [3]

a. Mode hybride (panneaux + éolienne)

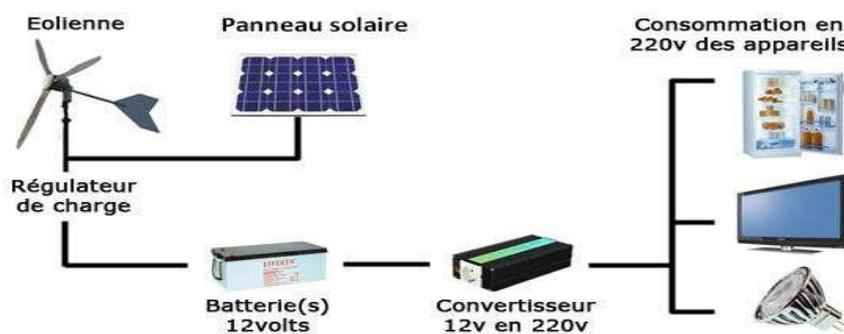


Figure 1-8 mode d'exploitation d'un système hybride (PV/ éolienne)

b. Mode hybride (panneaux + groupe électrogène + batteries)

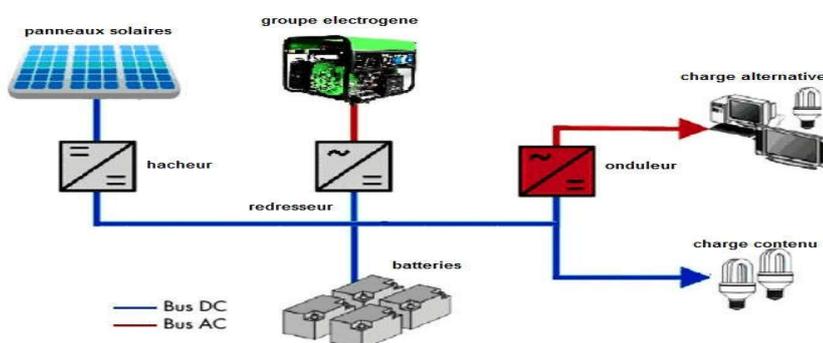


Figure 1-9 mode d'exploitation d'un système hybride (PV/groupe électrogène/batterie)

c. Mode hybride (panneaux + groupe électrogène + réseaux)

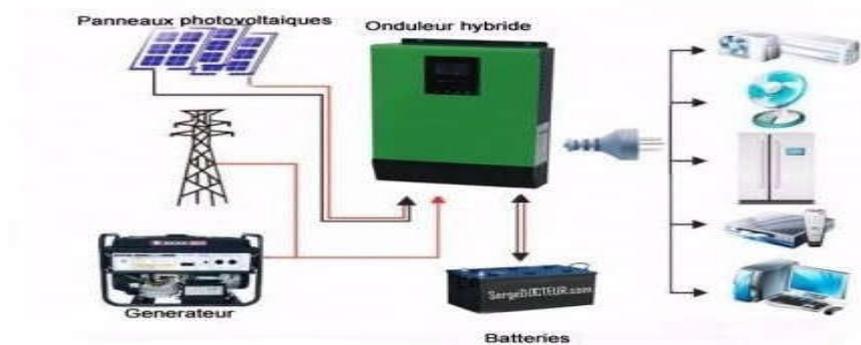


Figure 1-10 mode d'exploitation d'un système photovoltaïque hybride PV/groupe électrogène/réseaux/batterie [2]

1.4 Constitution d'un système photovoltaïque autonome

Tous un système photovoltaïque autonome doit comporte les éléments nécessaires suivants quoi que ce soit la nature de charge (alternative ou contenu) :

Panneaux solaires Batteries Régulateur de charge Onduleur Charge DC ou AC, Structure, Câbles et files

Et pour mieux comprendre ces éléments et leur fonctionnement on va détailler et expliquer chacun, son principe de fonctionnement et le mode de raccordement ainsi que la protection convenable.



Figure 1-11 Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome

1.4.1 Panneaux solaire photovoltaïque

Le panneau solaire est un dispositif qui produit de l'électricité contenu à travers les rayonnements de lumière qu'il a absorbé. Sa structure est la même : une couche de cellules de silicium est placée entre une plaque de verre trempé et un film polymère.

On peut définir aussi qu'un panneau photovoltaïque est composé d'un ensemble de cellules photovoltaïques et En présence de soleil, chacune de ces cellules produit un courant I (en ampère A) et une tension U (en volt V). Le produit de ces deux grandeurs donne une puissance P , exprimée en Watt (W).

A) caractéristiques électriques $I(v)$ et $P(v)$ d'un panneau solaire :

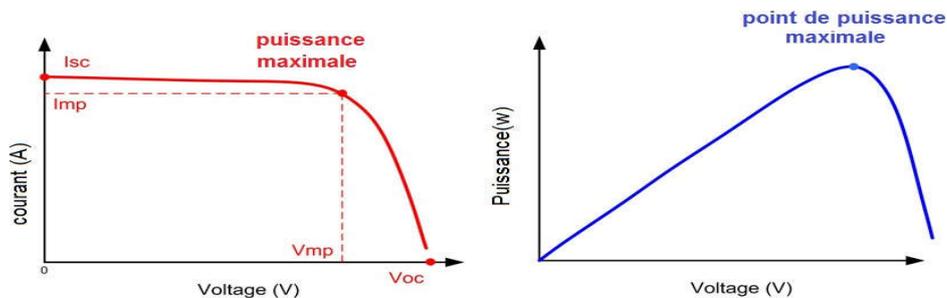


Figure 1-12 caractéristiques $I(v)$ et $P(v)$ d'un panneau solaire [3]

✓ La courbe rouge courant-tension :

V_{oc}: tension circuit ouvert (Open Circuit) indique la tension présente aux bornes du panneau quand il n'est pas branché.

I_{sc}: courant de court-circuit (Shorted Circuit) indique le courant max que peut délivrer le panneau.

✓ La courbe bleue : la puissance - tension

Cette courbe s'obtient par le produit du courant et de la tension de la courbe rouge. Le Point de Puissance Maximum (PPM ou **MPP** en anglais) sur cette courbe correspond au produit de 2 valeurs particulières qui sont :

- le courant de puissance maximale noté **I_{mpp}** (ou I_{ppm})
- la tension de puissance maximale notée **V_{mpp}** (ou V_{ppm})

Zone de fonctionnement du module (panneau) solaire :

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque, pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seule la courbe $I=f(V)$, est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. [1],[3]

Le point de fonctionnement appartient à la zone (I) : fonctionnement comme générateur de courant:

le point de fonctionnement appartient à la zone (III). Fonctionnement comme générateur de tension La tension est proche de la tension à vide V_{oc} et le courant est faible,

le point de fonctionnement appartient à la zone (II), fonctionnement optimal: quand l'utilisation est meilleure; la puissance absorbée est maximisée.

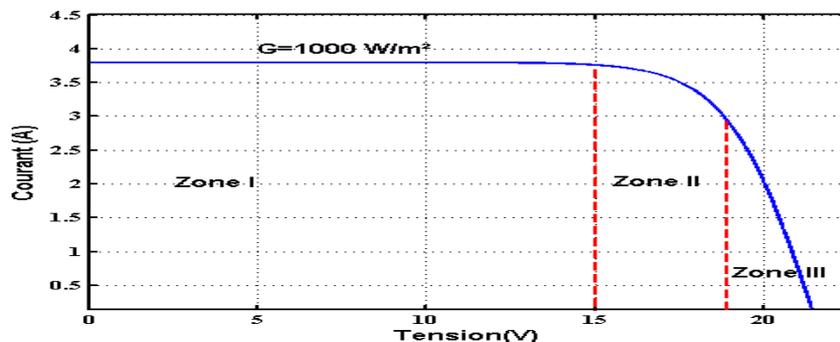


Figure 1-13. Différentes zones de la caractéristique $I=f(V)$, a $T = 25^{\circ}\text{C}$.

B) Influence de l'éclairement sur les courbes $I=f(V)$

La figure (1-14) montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. a une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique. [12]

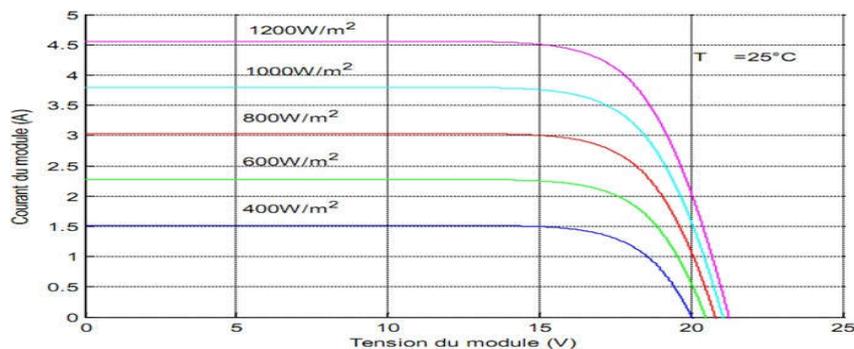


Figure 1-14 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$.

C) Influence de la température sur les courbes I=f(V)

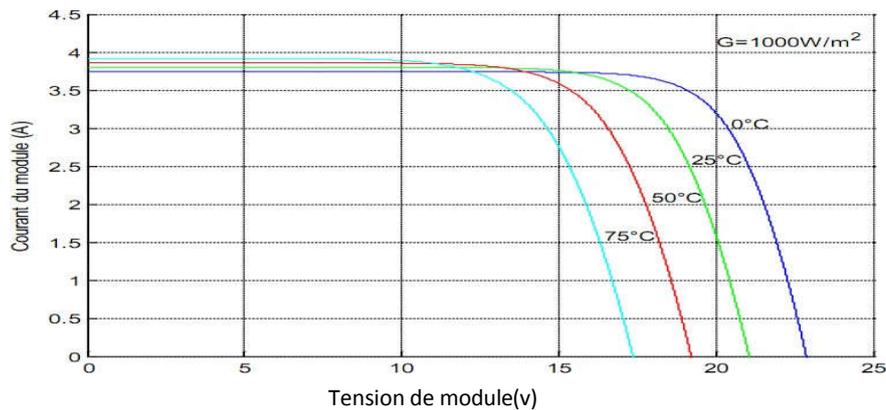


Figure 1-15 Effets de la température sur les caractéristiques I (V)

La figure (1.15) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

Alors et d'une manière générale on peut conclure que :

La température influe inversement sur la tension. Plus la température diminue plus la tension du panneau augmente

L'éclairement influe proportionnellement sur le courant : Plus l'éclairement augmente plus le courant du panneau augmente [5]

D) Autre facteurs influent sur le rendement ou fonctionnement des panneaux solaires

- le constructeur (qualité, technologie et durée de vie)
- l'orientation (en plain sud)
- L'angle d'inclinaison convenable avec le zone ou on doit installer notre système
- La poussière
- L'ombrage
- fientes d'oiseaux sur les panneaux

E) Type des panneaux solaires

Les différents matériaux utilisés Un des facteurs qui influence le rendement d'une cellule photovoltaïque est la qualité des matériaux utilisée dans sa fabrication. Leur rendement peut aller de 17% environ pour les plus efficaces à moins de 10% pour les moins efficaces.

Il y a **3 types** de matériaux qui sont largement utilisés dans l'industrie du photovoltaïque. Ils sont tous issus du silicium qui est un semi-conducteur.

Le silicium **Mono cristallin**, il est fabriqué avec du silicium fondu que l'on refroidit pendant plusieurs heures, on obtient ainsi un cristal que l'on découpe à l'aide d'une scie diamantée en tranche de 300 μ m à 400 μ m. Ce type de matériaux permet d'atteindre un **rendement de 15% à 18%**, il peut produire beaucoup d'énergie sur un petit espace (**environ 150Wc/m²**) et a une durée de vie de **25 ans**. Cependant sa fabrication est celle qui coûte le plus chère (**environ 3€/W**), sa pose est complexe et il ne fonctionne qu'avec un fort ensoleillement.



Figure 1-16 cellule mono cristalline

economie-denergie.wikibis.com

Le silicium **Poly cristallin**, c'est le **matériau le plus utilisé**. Il est fabriqué de la même façon que le monocristallin sauf que l'on refroidi beaucoup plus rapidement le silicium créant ainsi plusieurs cristaux (contrairement au silicium monocristallin). Il produit environ **100 Wc/m²** et possède un rendement de **10% à 14%**. Il a l'avantage d'être moins cher que le silicium monocristallin (**environ 2€/W**) pour la même durée de vie.



Figure 1-17 cellule poly cristalline

Le silicium Amorphe, ce matériau est construit à partir d'un substrat de verre. Il est généralement utilisé sur des appareils ne demandant pas une grosse quantité d'énergie tel que les calculatrices ou les montre "solaires".

Il a l'avantage d'être très bon marché (**environ 1€/W**), de pouvoir être intégré sur des supports souples (en effet une couche de 1 μ m est suffisante à son fonctionnement) de fonctionner même avec un éclairage faible et d'avoir une meilleur résistance à une hausse de température. Toutefois il possède un très faible **rendement, de l'ordre de 5% à 8%** et subit une perte de rendement durant les premiers mois d'utilisation (ce



Figure 1-18 cellule amorphe

phénomène est appelé la ‘stabilisation sous lumière’) de plus sa durée de vie est plus courte que les siliciums cristallin (**environ 10 ans**).

Enfin les processus de fabrication ne sont pas bien maîtrisés. Toutefois cette industrie n'est vieille que d'une trentaine d'année comparée à l'industrie cristalline vieille d'un demi-siècle.

Il existe plusieurs autres matériaux pour la fabrication de cellules photovoltaïques comme le CdTe qui est un alliage de tellure et de cadmium ou encore le CGIS qui est un alliage de cuivre, d'indium et de sélénium auquel on a rajouté du gallium. Ces nouveaux matériaux semblent prometteurs mais ils occupent une place négligeable du marché et en sont encore au stade expérimental.[6]

F) Plaque signalétique d'un panneau solaire

Chaque panneau solaire a des caractéristiques qui sont fournies par le fabricant ; sur leur dessous, normalement, une étiquette les rappelle. Les caractéristiques qui nous intéressent sont (abrégée en Anglais) :

- **le constructeur** ou le fabricant
- **la puissance maximale (Pmax)** : c'est la puissance maximum que le panneau peut fournir au conditions standard STC (25°C 1000W/m² AM 1.5)
- **la tension nominale** (nominal voltage) : de 12 V ou 24 V. selon Vmp
- **l'intensité de court-circuit** (short-circuit current - **Isc**) : c'est l'intensité maximum du courant délivré par le panneau ; elle permet de dimensionner le régulateur. et la protection.
- **la tension en circuit ouvert** (Open circuit voltage **Voc**) : c'est la tension à vide qu'on mesure au borne de panneau solaire.
- **la tension de charge** (voltage - **Vmp**) : c'est la tension qui permet de délivrer la puissance maximum réelle, en éclaircissement maximum, c'est cette tension qui est en entrée du régulateur.
- **l'intensité de charge** (current at maximum power - **Ipm**) c'est l'intensité observée à la tension de charge en éclaircissement maximum, c'est ce courant qui est en entrée du régulateur.
- **les dimensions du panneau solaire** : longueur, largeur et épaisseur
- **le rendement des cellules** ; 15% est une bonne valeur
- **la section des fils de raccordement** : dépend des paramètres d'utilisation.
- **La valeur de fusible utilisé** pour la protection

G) Montage des panneaux solaire

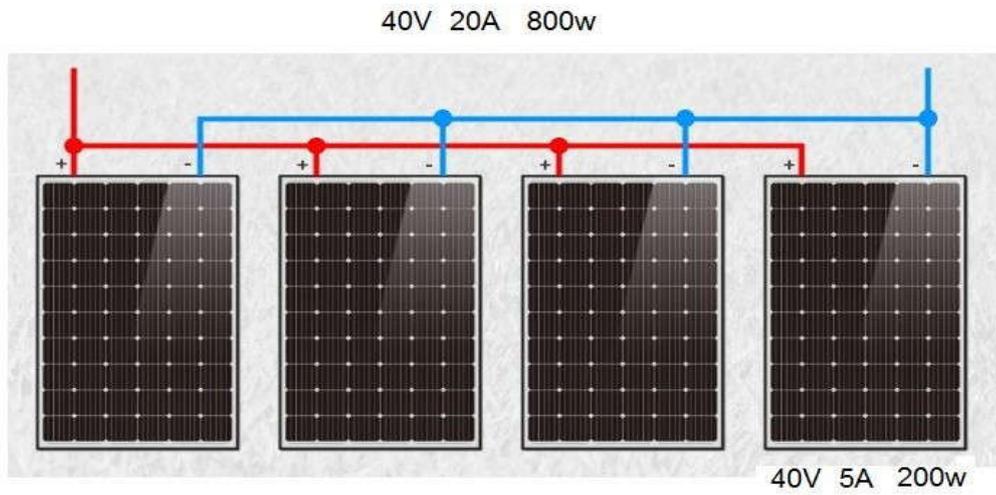


Figure : 1 –19 raccordement des panneaux en parallèle

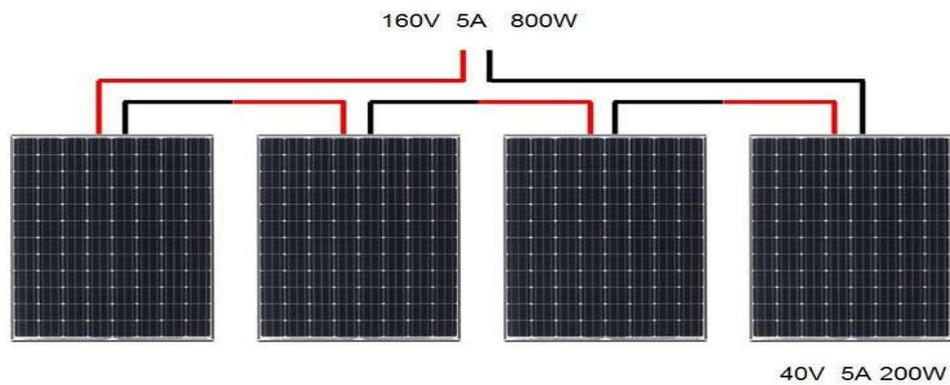


Figure : 1 – 20 raccordement des panneaux en séries

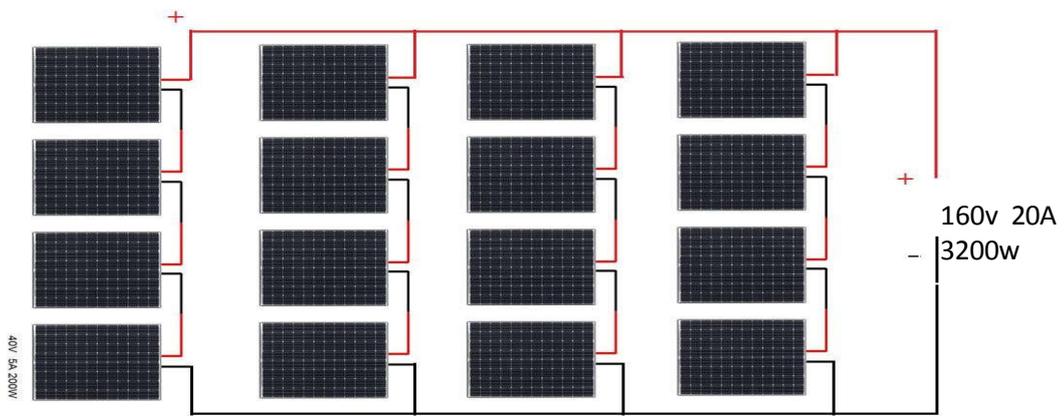


Figure 1-21 raccordement des panneaux solaire en Mixte [4]

1.4.2 Régulateur solaire



Figure 1-22 les régulateurs solaires

A) Définition

Le régulateur est le cœur du système photovoltaïque : il contrôle les flux d'énergie. Il sert à protéger la batterie contre les surcharges (solaires), les décharges profondes (utilisateur) et le court-circuit. De cette façon, le régulateur prolonge la durée de vie de la batterie. Il doit également assurer la surveillance et la sécurité de l'installation (alarmes, fusibles, inversions de polarité). Dans les systèmes plus élaborés, il peut aussi commander la recharge par d'autres sources d'énergie (génératrice d'appoint). Dans certains cas, il peut réaliser un conditionnement de puissance (recherche du point de puissance maximum, MPPT). [2]

B) Les différents types pour les régulateurs

On peut classer les régulateurs selon deux critères :

- ✓ le comportement de régulateur en cas de surcharge dans les batteries
- **Le régulateur shunt** : il court-circuite les panneaux en cas de surcharge de la batterie et convient aux **petites installations**
- **Le régulateur série** : il ouvre le circuit en cas de surcharge et est adapté aux installations photovoltaïques de **grande taille**
- **Le régulateur MPPT** (Maximum Power Point Tracking, soit recherche du point de puissance maximum) : cette technologie récente permet d'accroître la rentabilité du photovoltaïque en produisant 15% à 30% d'énergie. L'intérêt de ce régulateur tient également dans le fait qu'il prolonge davantage la durée de vie de la batterie.

C) Choix du régulateur solaire

Une fois la technologie la plus adaptée identifiée, il faut s'attacher au dimensionnement du régulateur photovoltaïque. Celui-ci dépend de 2 critères principaux :

- **La tension de système** : doit correspondre à celle qui existe entre les panneaux et la batterie photovoltaïque : 12, 24 ou 48 Volts
- **L'intensité maximale admissible** par le circuit d'entrée du régulateur doit être supérieure à l'intensité du courant produit par les panneaux solaires. Cela vaut également pour le circuit de sortie.

Ainsi, une fois tous ces aspects techniques pris en compte, il ne restera qu'à comparer les offres pour trouver le meilleur prix pour un régulateur photovoltaïque.

. **La plage de tension d'entrée** : elle est signifiée dans la fiche technique de régulateur elle représente la valeur de tension admissible que le régulateur peut recevoir. dans certain cas un régulateur de 48V peut recevoir une tension jusqu'à 125V.

. **la technique de commande utilise** : on constate deux techniques :Mppt ou Pwm et on préfère toujours le mode Mppt pour minimiser les perte et avoir le maximum de puissance.

1.4.3 Batterie solaire

A) Définition

Dans un système photovoltaïque autonome il est indispensable de s'équiper des batteries solaires afin d'assurer une continuité de l'énergie pour la nuit ou les périodes **moins ensoleillées**. Les batteries solaires sont obligatoires pour une installation **autonome**.

La batterie sera déchargée progressivement pendant son fonctionnement durant la nuit ou l'insuffisance de l'ensoleillement et dans ce cas on constate deux termes importants ditent:/

DOD : signifie la profondeur de décharge de la batterie qui ne doit pas dépassé 50:% au maximum. Selon son type(lithym, Gel, AGM ou Accide) et Plus la profondeur est petit, plus la durée de vie de la batterie est plus longue.

SOC : signifie l'état de charge inverse de (DOD) profondeur de décharge

B) Influence de profondeur de décharge (DOD) sur la durée de vie des batteries.

On constate que plus le DOD augmente plus le nombre de cycle (durée de vie) diminue car on ne doit pas dépasser 50% du DOD des batteries si on ignore sa valeur exacte d'après le constructeur.

Noter bien que les batteries lithium possèdent un DOD qui peut atteindre 80% par rapport aux autres types de batteries.

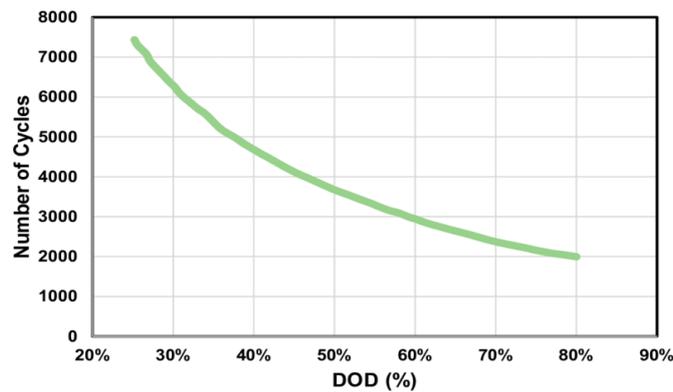


Figure 1-23 effet de DOD sur la durée de vie des batteries

C) Type des batteries solaires

On distingue généralement trois types de batteries solaires



Acide

Gel

AGM

lithium

Figure. 1-24 types des batteries solaires

D) Principales caractéristiques des batteries solaires

Les batteries utilisées pour les installations photovoltaïques sont appelées batteries stationnaires ou à décharge profonde. Ce sont des batteries au plomb qui utilisent comme conducteur une solution d'acide sulfurique aussi appelée électrolyte. [2]

Elles sont capables d'injecter un courant stable pendant de longues périodes (comme la nuit par exemple) et peuvent se décharger et se recharger très fréquemment (c'est ce qu'on appelle des cycles) sans se détériorer. Leur durée de vie est général supérieure à 8 ans selon le type de batterie.

Pour les installations photovoltaïques, il est recommandé d'utiliser des batteries correspondant aux critères suivants :

Profondeur de décharge (DOD) de 60 à 80% et Minimum de 400 cycles

Batteries à électrolyte liquide, aussi appelées batteries AGM ou à électrolyte gélifié, ou batteries GEL

. Comparaison entre les batteries GEL et AGM

Les batteries **AGM** ont une intensité maximale légèrement supérieure aux batteries **GEL** car les électrons se déplacent plus facilement en milieu liquide.

Le rendement d'une batterie photovoltaïque AGM sera donc légèrement meilleur que celui d'une batterie GEL. De plus, elles sont en principe plus tolérantes aux erreurs de manipulation.

Les batteries GEL, quant à elles, ont l'avantage d'éviter tout risque d'écoulement et demandent moins d'efforts de maintenance.

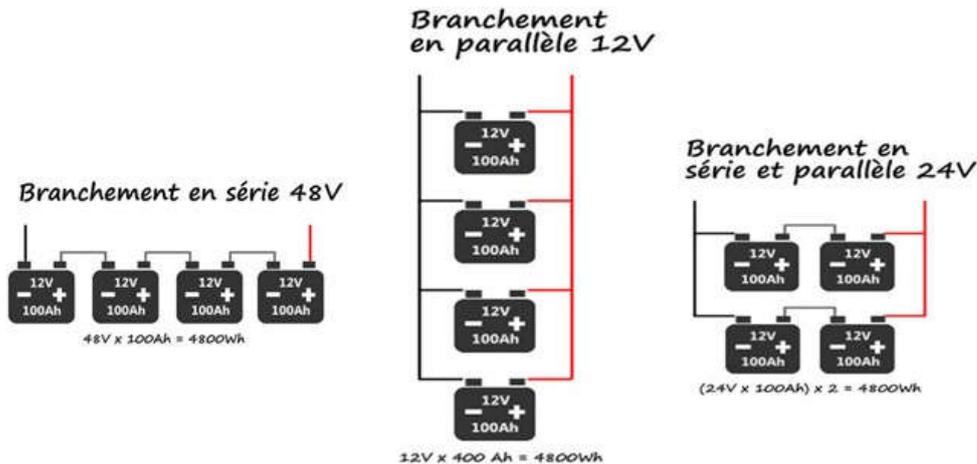
Concernant le prix des batteries photovoltaïques, celui-ci est assez élevé. Les échelles sont à peu près les mêmes selon que l'on choisisse une batterie GEL ou AGM. Le prix augmente en fonction de l'autonomie souhaitée, indiquée en AH (ampères-heures).

Grâce à une batterie solaire et si l'ensoleillement est suffisant, l'installation photovoltaïque pourra être autonome. En revanche, si l'installation est connectée au réseau de

distribution d'électricité, il est économiquement plus avantageux de se passer d'une batterie et de vendre les surplus d'électricité aux réseaux électriques.

E) Raccordement de batteries

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries



Figures 1-25 Types de raccordement des batteries solaires

1.4.4 L'Onduleur

A) Définition

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de fournir des tensions alternatif avec une fréquence fixe ou ajustable à partir d'une source d'énergie électrique de tension contenu. Avec même puissance presque, L'onduleur est un convertisseur statique de type continu/alternatif.

Ce fonctionnement dépend de l'ensoleillement et de la température. 1 string 8 / 12 Un onduleur possède un rendement supérieur à 94 %. Son remplacement est à prévoir tous les 10 ans environ.

B) Type d'onduleurs :

On peut trouver trois types d'onduleurs utilisés dans les énergies renouvelables, onduleurs autonomes et les onduleurs connectés au réseau, Il existe aussi les onduleurs hybrides ou intelligents.

a) Onduleurs autonomes

il fournit une tension alternative à partir d'une source contenu (Batterie ou panneau)

b) Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)

Il doit être connecté au réseau et à la source contenue pour délivrer une tension alternative et possibilité de l'injecter au réseau électrique

c) Onduleurs hybrides ou intelligents (onduleur solaire) :

Il représente une nouvelle génération dédiée aux applications d'énergie renouvelable pour

C) Caractéristiques d'onduleur solaire

Un onduleur solaire se caractérise généralement par :

- ✓ Puissance nominale
- ✓ Puissance au pic (puissance au démarrage qui doit être plus)
- ✓ Forme d'onde (purement sinusoïdale ou carrée)
- ✓ Plage de tension d'entrée
- ✓ Tension et courant d'entrée
- ✓ Tension et courant de sortie
- ✓ Protection contre : Court-circuit, surcharge, température élevée, chute tension de batterie
- ✓ Température de fonctionnement

D) Critères de choix d'un onduleur solaire

On a plusieurs critères pour choisir un onduleur solaire certains sont indispensables et d'autres sont optionnelles

Les critères indispensables sont :

- Puissance électrique
- Tension d'entrée
- Tension de sortie
- Forme d'onde

Les critères optionnels sont généralement :

- Puissance de pic
- Plage de tension d'entrée

- Protection contre le court-circuit
- Protection contre la surcharge
- Protection contre la baisse tension d'entrée
- Protection contre la température élevée
- Incorporation d'un régulateur de charge (pompage photovoltaïque)

1.5 Protection d'un système photovoltaïque

Chaque élément de ce système doit être protégé par des organes convenable a sa nature et principe de fonctionnement sans oublier le raccordement de ces éléments avec des câbles qui remplissent les conditions d'utilisation de point de vue section ou construction et pour cela on va mettre chaque élément avec la protection qui correspond :

- A) Les panneaux solaire** on met des disjoncteurs DC ou fusible plus la mise a la terre. aussitôt que le parafoudre
- B) Les batteries :** il faut les protéger contre la surcharge ou le court circuit dans les deux cotés (coté batteries-régulateur) et (coté batteries-Onduleur) avec des disjoncteurs DC ou fusibles.
- C) Le régulateur de charge:** il est déjà équipé d'une protection interne représenté par les deux éléments qui sont raccordés avec lui (les panneaux et les batteries) et qui sont équipés avec cette propre protection indiquée.
- D) L'onduleur :** généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, cour circuit ou autre défauts mais malgré ca il est indispensable de mettre un disjoncteur différentiel a la sortie de l'onduleur pour éviter les défauts de la charge tel que court circuit ou surcharge sans oublier la mise a la terre de tous le système afin d'obtenir une bonne protection.
- E) Le câblage dans les deux cas (DC et AC)** on choisit la section et le chemin de câble convenable de point de vue température ambiante, humidité..... etc [5]



Figure. 1-26 exemples d'organes de protection

1.6 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome

Il ne faut jamais avoir un conflit entre les étapes de fonctionnement d'un système photovoltaïque pour ne pas détruire les équipements c.a.d il y a une procédure à suivre pendant le fonctionnement et pendant l'arrêt du système que l'on expliquera comme suite :

A) Procédure de mise en marche d'un système PV charge AC

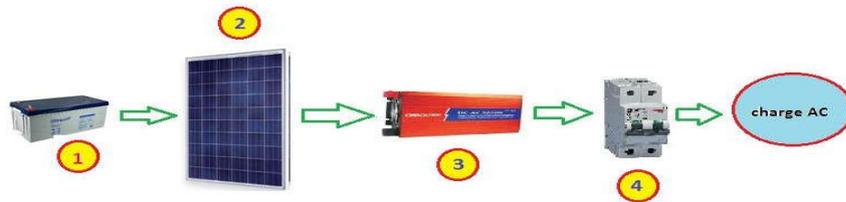


Figure 1-27 Procédure de mise en marche d'un système PV, charge AC

B) Procédure d'arrêt d'un système PV charge DC



Figure 1-28 Procédure d'arrêt d'un système PV, charge AC

C) Procédure de mise en marche d'un système PV charge DC



Figure 1-29 Procédure mise en marche d'un système PV, charge DC

D) Procédure d'arrêt d'un système PV charge DC



Figure 1-30 Procédure d'arrêt d'un système PV, charge DC

1.7 Pompage photovoltaïque :

A) Définition

Le pompage photovoltaïque c'est pomper l'eau en utilisant une pompe alimenté avec un système Photovoltaïque directe avec ou sans batterie. [7]

Une installation de pompage photovoltaïque est constituée des composants suivants :

- Générateur photovoltaïque
- L'électronique de commande et de contrôle
- Un groupe motopompe
- Élément de stockage (batterie)

B) Groupe motopompe :

Les moteurs utilisés pour le pompage photovoltaïque sont des moteurs à courant continu ou à courant alternatif mono ou triphasé qui peuvent être immergés ou non immergés. Si le moteur est à courant continu, le couplage de générateur est direct. Lorsque le moteur est à courant alternatif il est nécessaire d'intégrer un convertisseur (DC-AC). [8]

C) Types de pompes :

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement : elles sont soit de type volumétrique ou bien de type centrifuge. Elles sont distinguées selon l'emplacement physique (pompe de surface, et pompe émergée). [9]



Figure 1-31 types des pompes hydrauliques

D) Choix de la pompe :

Le choix de la pompe se fera en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit Q , HMT).

Pour les pompes de petite puissance (petite HMT et faible débit journalier) les moteurs sont en courant continu sans balais et de faible tension : 12V, 24V ou 48V.

Pour les pompes de moyenne puissance (HMT de 10 à 60 m et débit journalier moyen) les moteurs sont en monophasé ou triphasé avec un convertisseur continu/alternatif (onduleur), extérieur ou intérieur à la pompe. La tension d'alimentation peut être soit en continu soit en alternatif < 250V.

Il faut vérifier sur les courbes des constructeurs que la pompe est capable de fournir le débit voulu à la HMT désirée.

- Pour un niveau dynamique : profondeur d'immersion(N_d).
- $N_d < 6$ m (puits), utilisation d'une pompe de surface
- N_d de 10 m à 100 m, utilisation d'une pompe immergée centrifuge
- $N_d > 100$ m, utilisation d'une pompe immergée volumétrique. [10]

E) Principe de fonctionnement :

Les pompes peuvent être directement alimentées par les panneaux solaires pour un fonctionnement < au fil du soleil > dans ce cas le système est composé d'un ou plusieurs panneaux solaires photovoltaïques et de la pompe avec ou son contrôleur. Les panneaux

photovoltaïques génèrent sous le soleil un courant électrique qui alimente le contrôleur de la pompe. C'est le mode de fonctionnement le plus simple, le plus fiable et le plus économique.

Une citerne peut être placée en sortie de la pompe pour un stockage de l'eau permettant d'avoir une réserve utilisable même sans soleil. Les pompes peuvent aussi fonctionner en rajoutant des batteries. Dans ce cas un parc batterie est rajouté dans l'installation, ainsi qu'un régulateur de charge qui gère la charge des batteries. Les panneaux solaires chargent les batteries en journée et la pompe peut utiliser pendant la nuit.

Le pompage photovoltaïque au fil du soleil reste la technologie la plus utilisée car il utilise les réservoirs pour le stockage à la place des batteries et ça peut réduire le cout d'investissent. [11]

Conclusion

On peut dire que dans ce chapitre on a présenté la théorie concernant les systèmes photovoltaïques et ces applications ainsi que les éléments constituant ces derniers ses caractéristiques, types, critères de choix et ses raccordement.

On a bien expliqué : la protection de chaque élément d'un système photovoltaïque. (Panneaux, batteries, régulateur de charge, onduleur et charges AC ou DC)

Le chapitre suivant fera l'objet de l'étude théorique de deux systèmes PV (isolé et pompage) de point de vu dimensionnement, câblage et protection.

Chapitre02

Dimensionnement solaire et étude de performance

Introduction

Dans Ce chapitre on va consacré une étude théorique détaillé sur le dimensionnement d'un Système PV autonome et pompage. Puis on va faire une comparaison ou une étude concernant les systèmes PV installés au sein de laboratoire des énergies renouvelable.

Pour dimensionner un système PV il faut commencer d'abord par le site géographie afin d'extraire les grandeurs nécessaire tel que : l'orientation, l'angle d'inclinaison, l'autonomie et le nombre d'heurs ensoleillées puis on doit déterminer la charge totale (puissance et énergie).

Ces grandeurs nous aide à déterminer les éléments nécessaire constituant un système PV qui sont généralement : (panneaux, batteries, onduleur et régulateur). Plus la protection et la section du câble convenable.

Même procédure qu'on va suivie pour le pompage afin de définir le nombre des panneaux l'onduleur convenables avec une meilleur protection concernant tous le système.

Dans La deuxième partit et selon les critères qu'on a vus et l'étude de performance on doit donner nos observations ou propositions afin d'améliorer ces systèmes pour une meilleur exploitation concernant les travaux pratiques ou recherches.

2.1 Dimensionnement du système photovoltaïque isolé

Le dimensionnement du système photovoltaïque isolé doit suivre une démarche passant par des étapes que l'on peut résumer comme suit :

-Etape 1: **Détermination de site d'installation (coordonnés Géographique)**

- ◆ Latitude, Longitude et L'altitude

Ces grandeurs nous aident à définir : L'angle d'inclinaison L'orientation L'autonomie
Le nombre d'heurs ensoleillés (Irradiation)

-Etape 2 : **Détermination des besoins de l'utilisateur**

- Nombre et Puissance nominale de chaque appareil
- Durée d'utilisation pour chaque appareil

A fin de déterminer : **la puissance et l'énergie totale journalière** consommée

-Etape 3 : **Détermination des panneaux solaires** à partir de puissance crête calculée de :

- ◆ Energie totale consommés
- ◆ Nombre d'heurs ensoleillés

- ◆ Facteur de correction
- ◆ Puissance de chaque panneau
- ◆ Technologie utilisé dans les panneaux solaires

-Etape 4 : **Détermination de tension de système selon** : la puissance crête
(Un tableau déterminant les intervalles de puissance crête convenable avec la tension de système)

-Etape 5 : **choix du régulateur** a partir de

- ◆ Tension de système
- ◆ Tension des Panneaux solaire totale sortant
- ◆ Courant des Panneaux solaire totale sortant
- ◆ Technologie de commande utilisé mppt ou pwm

-Etape 6 : **Détermination des batteries** selon :

- ◆ Energie totale consommés
- ◆ L'autonomie
- ◆ Tension de système
- ◆ Profondeur de décharge
- ◆ Rendement de batterie

-Etape 7 : **Choix de l'onduleur** selon :

- ◆ Tension d'entrée = Tension de système
- ◆ Tension de sortie 220v ou 380v
- ◆ Puissance (w)
- ◆ Puissance de pic (w)
- ◆ Protection utilisée a l'entrée et a la sortie

-Etape 8 : **Choix des câbles**

Convenable au type de courant DC ou AC et a la distance entre la source et la charge puis le courant consommé ensuite la tension appliquée et en fin la chute de tension admissible

-Etape 9 : **Protection du system photovoltaïque**

Selon le courant consommé type de courant DC ou AC et les défauts qu'il faut éviter

Ces étapes de dimensionnement sont résumées par l'organigramme suivant :[3]

2.1.1 Organigramme de dimensionnement pv isolé

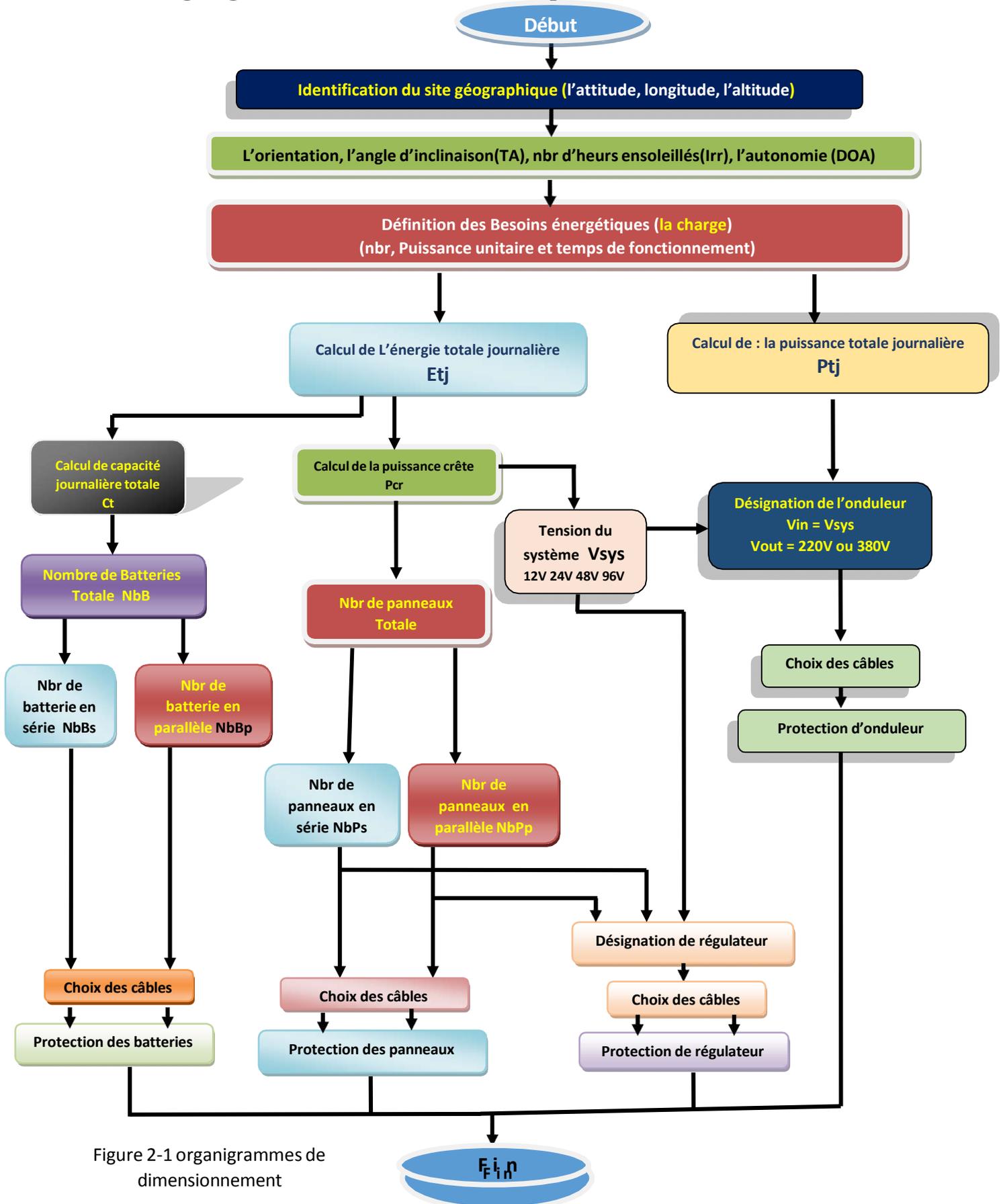


Figure 2-1 organigrammes de dimensionnement

2.1.2 Explication de l'organigramme

Dans l'organigramme on voit qu'on a suivi les mêmes étapes pour notre calcul ou bien la même procédure de dimensionnement

D'abord On va définir le site d'installation qui va nous donner les informations nécessaires déterminant :

- L'orientation
- L'angle d'inclinaison(TA)
- Nombre d'heures ensoleillées(Irr)
- l'autonomie (DOA)

Ensuite on passe par l'identification des besoins énergétiques c.a.d chaque charge avec sa puissance et sa durée d'utilisation afin de calculer **la puissance totale** et **l'énergie totale journalière**.

✓ **La puissance totale nous aide à calculer**

La puissance totale de **l'onduleur** Qu'on doit choisir sa puissance nominale et de pic, son courant et tension d'entrée et de sortie, son protection et en fin le rendement.

✓ **L'énergie totale journalière sert à déterminer :**

- a- La **puissance crête** pour calculer le nombre des **panneaux** nécessaires et sont raccordement (série, parallèle ou mixte) et définir aussi **la tension de système**.
- b- La **capacité totale** afin de calculer le nombre des **batteries** solaires et sont raccordement (série, parallèle ou mixte).

Une fois qu'on a déterminé le nombre de panneaux et son raccordement ainsi que la tension de système on peut maintenant définir Le **régulateur de charge** selon la technologie de construction (mppt ou pwm), la charge DC plus le constructeur.

Et avant de finir les étapes par **la protection** du système photovoltaïque (équipement et personnes) il ne faut jamais oublier la détermination des **sections des câbles** nécessaires dans les deux cotés DC et AC.

2.1.3 Exemple pratique

La détermination des éléments d'un système photovoltaïque nous oblige d'abord à faire une étude théorique concernant : Le site d'installation et La charge qu'on doit alimenter Afin de calculer : le nombre et le type de panneaux nécessaires, le nombre et le type des batteries

nécessaires, le Régulateur et l'onduleur convenable, et on fini par la section des câbles utilisés dans les deux cotés DC et AC plus la protection de tous les éléments constituant le système photovoltaïque.

a- calculs de la puissance et l'énergie totale journalière

On doit commencer comme il est expliqué dans l'organigramme par le calcul des besoins énergétiques concernant la charge (une petite maison comme exemple réel)

La charge ou ::la maison contient les éléments détaillés dans le tableau suivant :

N°	Désignation	Nb	P. unitaire (W)
1	Lampes	10	15
2	TV	1	250
3	Réfrigérateur	1	400
4	PC	1	150
5	Imprimante	1	200
6	Pompe a eau	1	400
7	Machine a laver	1	2000
8	Chargeur de téléphone	4	15
9	Sèche cheveux	1	500
10	Ventilo	1	50

Tableau 2.1 Besoins énergétiques

On doit déterminer : d'abord la puissance de chaque élément puis connaître la durée de fonctionnement (en heure) de chacun afin de calculer la puissance et l'énergie totale de tous les récepteurs de la maison.

Il faut calculer la puissance totale consommée de tous les éléments existants par la formule suivante :

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^n P_i$$

Avec :

n : représente le nombre des éléments

P_i : représente la puissance de chaque élément

Alors on aura les résultats récapitulés dans le tableau suivant :

N°	Désignation	Nb	P. unitaire (W)	P. Totale (W)
1	Lampes	10	15	150
2	TV	1	200	200
3	Réfrigérateur	1	400	400
4	PC	1	150	150
5	Imprimante	1	350	350
6	Pompe à eau	1	400	400
7	Machine à laver	1	500	500
8	Chargeur de téléphone	4	15	60
9	sèche cheveux	1	750	750
10	Ventilo	1	50	50
		0	0	0
				3010

Tableau 2.2 Besoins énergétiques et puissance totale des éléments

Donc : $P_{\text{tot}} = 3010$ W

Revenant maintenant à l'énergie totale journalière selon la formule suivante et d'après la puissance et la durée d'utilisation pour chaque élément :

$$E_{tji} = P_i \times Nh_i$$

Tels que :

E_{tji} : représente l'énergie journalière de chaque élément

Nh_i : représente le nombre d'heure d'utilisation de chaque élément

P_i : représente la puissance consommée par chaque élément

L'énergie de chaque élément est le produit de sa puissance par le nombre d'heurs d'utilisation.

$$E_{tj} = \sum_{i=1}^n E_{tj i}$$

Tel que

E_{Tj} : Energie totale journalière de tous les éléments

Energie totale journalière de tous les éléments représente la somme de l'énergie de chaque élément et d'après les calculs on a obtenu les résultats récapitulés dans le tableau suivants :

N°	Désignation	Nb	P. unitaire (W)	P. Totale (W)	Nb d'heurs	Energie.T.Journalière (Wh)
1	Lampes	10	15	150	5	750
2	TV	1	200	200	10	2000
3	Réfrigérateur	1	400	400	8	3200
4	PC	1	150	150	5	750
5	Imprimante	1	350	350	1	350
6	Pompe a eau	1	400	400	2	800
7	Machine a laver	1	500	500	2	1000
8	Chargeur de téléphone	4	15	60	2	120
9	sèche cheveux	1	750	750	1	750
10	Ventilo	1	50	50	4	200
		0	0	0	2	0

3010

↓

Pt j

9920

↓

Et j

puissance totale journalière

Energie totale journalière

Tableau 2.3 Energie totale journalière Demandée

Dans notre cas :

- L'énergie totale journalière est égale à **9920 Wh**
- La puissance totale journalière est égale à **3010 W**

A partir de ces deux valeurs on doit déterminer les autres paramètres de notre système qui sont: panneaux, batterie, régulateur, onduleur et protection plus la section convenable de file.

b- Détermination de la tension de fonctionnement

La tension de fonctionnement d'un système photo voltaïque se détermine à partir de la valeur de la puissance totale calculée de la charge selon le tableau suivant :

Puissance crête	0-500 W	500W - 2000W	2000W-10000W	Plus que 10kW
Tension du système	12V	24V	48V	96V ou plus

Tableau 2.4 tension du système en fonction de la puissance totale

D'après le tableau, la puissance totale de la charge (3010 W_{cr}) nécessite une tension du système **V_{sys} = 48v**

c- Détermination des panneaux solaires

D'abord on va calculer la puissance crête totale de notre système à partir de la formule suivante :

$$P_{cr} = \frac{E_{tj}}{E_{ns} \times Fc}$$

Ou

P_{cr} : est la puissance crête totale de l'installation, elle représente la puissance de tous les panneaux et elle est aussi en fonction de trois facteurs qui sont :

E_{tj} : L'énergie totale journalière, déjà calculée = 9920 Wh

Fc : facteur de correction du système (de 0.65)

E_{ns} : ensoleillement journalier de Biskra = 7 heures qu'on va extraire

des données climatiques, Selon les figures suivants :

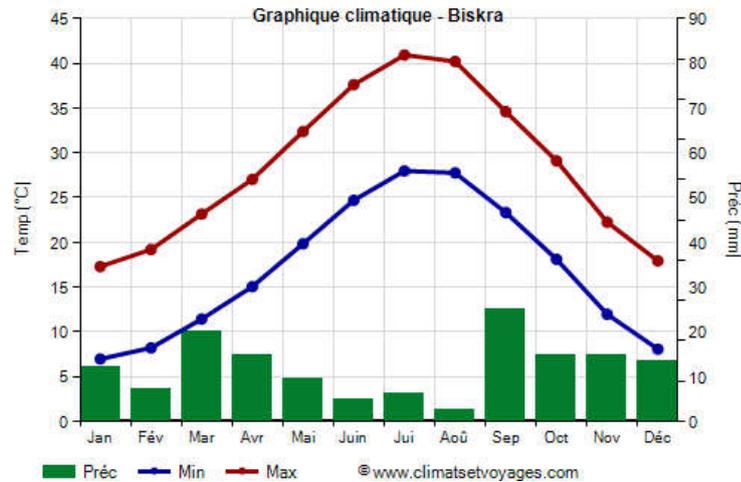


Fig.2-2 Température moyenne journalier par mois de Biskra

Biskra - Heures d'ensoleillement		
Mois	Moyenne quotidienne	Total Mois
Janvier	7	225
Février	8	225
Mars	8,5	260
Avril	9,5	280
Mai	10,5	320
Juin	11	335
Juillet	11,5	365
Août	10,5	330
Septembre	9	270
Octobre	8,5	265
Novembre	7	215
Décembre	7	210
An	9	3295

Tab.2-5 ensoleillement moyenne journalier par mois et par An de Biskra [12]

D'après le tableau précédent extrait de site Climats et voyages - Climats du monde on constate que :

En janvier

le mois le plus défavorable d'ensoleillement et le plus froid de l'année, généralement le climat à Biskra est doux. La température moyenne est de 12,1 °C, avec une minimale de 7 °C et une maximale de 17,3 °C. Aux nuits les plus froides du mois, la température descend généralement à environ 2 °C. Cependant, en janvier 2006 elle est descendue jusqu'à -1,5 °C.

Aux jours les plus chauds du mois, la température atteint généralement environ 22 °C. Cependant, en janvier 2003 on a atteint 26 °C, Le jour dure en moyenne 10 heures et 5 minutes.

En moyenne, il y a :

- ✓ **7 heures d'ensoleillement par jour. Le soleil brille donc 71% du temps.**
- ✓ **L'humidité moyenne est de 56%.**
- ✓ **La vitesse moyenne du vent est 14 km/h.**

En juill

le mois le plus chaud et le plus favorable d'ensoleillement de l'année, généralement le climat à Biskra est extrêmement chaud. La température moyenne est de 34,5 °C, avec une minimale de 28 °C et une maximale de 40,9 °C.

Aux nuits les plus froides du mois, la température descend généralement à environ 23,5 °C, Cependant, en juillet 2013 elle est descendue jusqu'à 20,5 °C, Aux jours les plus chauds du mois, la température atteint généralement environ 46 °C. Cependant, en juillet 2008 on a atteint 48,4 °C.

Les précipitations s'élèvent seulement à 6 mm, et il pleut seulement un jour. Le jour dure en moyenne 14 heures et 10 minutes. Donc les journées sont longues.

En moyenne, il y a :

- ✓ **11,5 heures d'ensoleillement par jour. Le soleil brille donc 83% du temps.**
- ✓ **L'humidité moyenne est de 26%. Par conséquent, normalement l'air est sec.**
- ✓ **La vitesse moyenne du vent est 14 km/h. [12]**

Alors si on fait l'application numérique de cette formule dont :

$$E_{ns} = 7 \text{ h et } F_c = 0.65$$

On aura la valeur suivante

$$P_{cr} = 9920 / (7 \times 0.65)$$

$$P_{cr} = 2180 \text{ Wc}$$

Cette valeur nous aide à déterminer le nombre de panneaux nécessaire en fonction de la puissance de panneau à choisir c.a.d :

Si on choisi des panneaux de 310Wc on doit deviser la puissance crête par la puissance de chaque panneau, on aura par application numérique 07 a 08 panneaux mono cristallins de 310Wc. selon le raccordement et la puissance de régulateur de charge (Ireg et Vreg).



Figure 2-3 plaque signalétique de panneau utilisé [13]

d- Détermination des batteries solaires

Pour déterminer le nombre de batteries nécessaires il faut d'abord calculer la capacité totale nécessaire au système selon la formule suivante :

$$C_t = \frac{E_{tj} \times Auto}{V_b \times DOD \times Rd}$$

Avec :

V_b : Tension du système.

DOD : profondeur de décharge

$Auto$: nombre de jour d'autonomie de la région.

Rd : rendement de batterie donné

Pour l'application numérique on va prendre les valeurs suivantes :

$$E_{ij} = 9920 \text{ wh} \quad \text{Auto} = 1 \text{ jours} \quad V_b = 12\text{v} \quad DOD = 50\% \quad Rd = 95\%$$

$$C_t = (9920 \times 1) / (12 \times 0.5 \times 0.95)$$

$$C_t = 1740 \text{ Ah}$$

Maintenant on va déterminer le nombre de batteries nécessaires suivant les disponibilités du le marché avec les caractéristiques : $V_b = 12\text{V}$ $C_b = 250\text{Ah}$

Alors le nombre de batteries sera :

$$Nb = \frac{C_t}{C_b}$$

$$Nb = 1740 / 250 = 6.96 \text{ batteries}$$

On va arrondir le nombre de batteries à 8 batteries puisqu'il faut prendre toujours les multiplicateurs de 4 pour obtenir une tension de $48\text{V} = 12 \times 4$ alors on prend 4 batteries ou 8 ou 12 ou 16Etc.

$$Nb = 8 \text{ batteries}$$

Pour avoir la tension de fonctionnement de 48V avec un fortement il faut monter les 8 batteries en deux bras de 4 batteries en série chacun comme indiqué au schéma ci-dessous



Figure .2-4 raccordement des batteries

e- Détermination du régulateur

Le bon choix d'un régulateur se base sur les critères suivants :

- ◆ La technologie utilisée PWM ou MPPT on a choisi **mppt**.
- ◆ Tension de fonctionnement du système **$V_{sys} = 48V$** .
- ◆ La puissance de régulateur qui doit être supérieur de la puissance crête ($P_{reg} > P_{cr}$; $P_{cr} = 2180 \text{ wcr}$).
- ◆ courant total délivré par le champ photovoltaïque. Qui doit être inférieur de courant de régulateur.
- ◆ Tension total délivré par le champ photovoltaïque. Qui doit être inférieur de tension de régulateur.

Dans ce cas et selon la disponibilité des gammes existants des régulateurs dans le marché nous avons choisis un Régulateur de **7200w 48V, 150Vdc 50A mppt**.

D'après le courant et la tension que le régulateur peut supporter coté panneaux et selon le nombre totale des panneaux calculé on peut accepter la configuration suivante :

3 string des panneaux chacune contient 3 panneaux ce que nous oblige a ajouter un panneau plus pour compléter les multiplicateurs de 3 c.a.d $3 \times 3 = 9$.

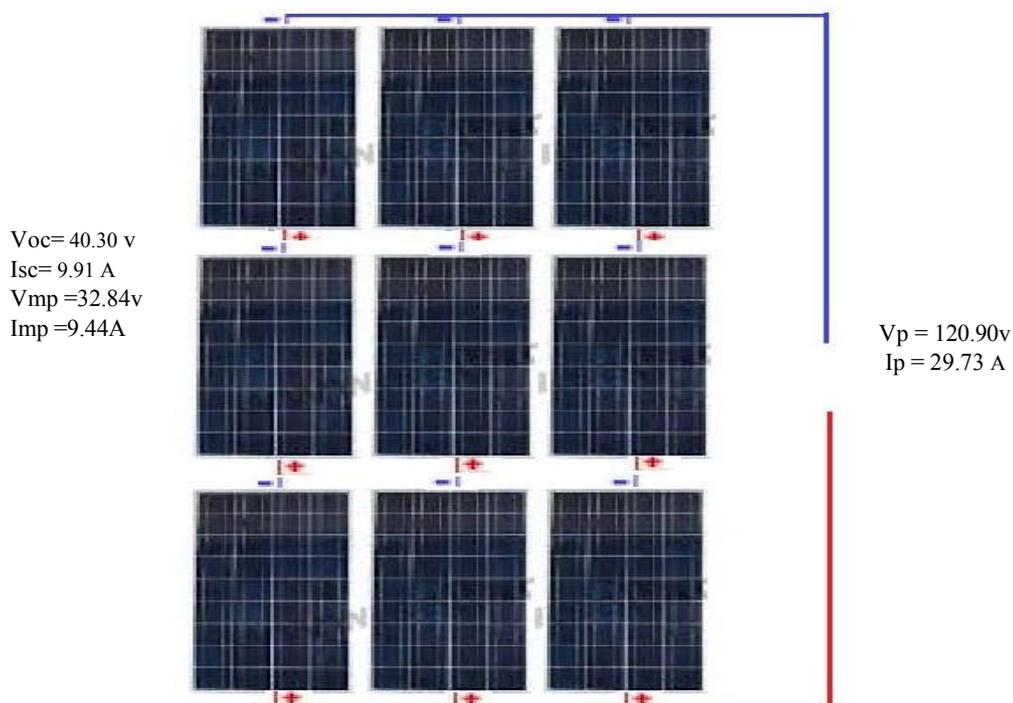


Figure 2-5 raccordements des panneaux selon le régulateur

f- Détermination de l'onduleur

D'après la tension de fonctionnement du système solaire (48v) et la puissance totale journalière calculée 3010w puis la tension de sortie 220V on va sélectionner un type d'onduleur convenable aux critères suivants :

- Puissance supérieur à P_t ; $P_{ond} > P_t$
- **48V** comme tension d'entrée
- **220V** comme tension de sortie
- **50Hz** comme fréquence
- rendement supérieur de 94%
- **Pure sinusoïdale** comme qualité de tension
- Technologie utilisé MLI ou autre

Théoriquement $P_{ond} = 1.3 \times P_t$

Pratiquement $P_{ond} = 1.45 \times P_t = 1.45 \times 3010 = 4365w$.

D'après la gamme existant dans le marché on doit obtenir un onduleur de :

- 4500w avec puissance de pic supérieur pur sinus
- 48v DC /220v AC 50Hz 95%

g- Détermination des sections des câbles DC et AC

Afin de calculer la section des câbles dans les deux cotés DC et AC on utilise soit la méthode de calcul théorique ou bien des abaques (fichier Excel, exécutable ou application).

✓ méthode de calcul théorique

Pour calculer la section du câble on doit respecter plusieurs critères tel que: le mode de pose, la chute de tension admissible et la limite d'échauffement indiquée par le constructeur :

$$S_{DC} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\mathcal{E}\% \cdot V} \quad \text{Pour courant contenu}$$

$$S_{AC} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{\mathcal{E}\% \cdot U} \quad \text{Pour courant alternatif 220v}$$

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{\mathcal{E}\% \cdot U} \quad \text{Pour courant alternatif 380v}$$

Tel que :

ρ : indique la résistivité de conducteur en cuivre = 0.022 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ a 55°C(Biskra)

S_{DC} : représente la section du câble coté DC en mm^2

S_{AC} : signifie la section du câble cote AC en mm^2 soit mono phase ou triphasé

L : représente la longueur entre source et charge

I : représente le courant consommé par la charge

$\cos(\varphi)$: représente le déphasage entre courant et tension = 0.8 ou 1 ou donnée

U : indique la tension AC de la charge 220V ou 380v ou autres

V : signifie la tension DC de la charge 12V 24V 48V 96V ou autres

$\mathcal{E}\%$: représente la chute de tension admissible 3% ou 5%

Ces équations représentent le premier critère chute de tension admissible (5% pour les moteur et 3% pour l'éclairage) .ce pendant le deuxième critère se base sur la limite d'échauffement qu'il faut respecter dont elle indiquée dans le tableau suivant :

TABLEAU ABAQUE
Installation monophasée 230V

Puissance	Intensité	Section											
		1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²	70 mm ²	95 mm ²	
500 W	2,3 A	100 M	165 M	265 M	395 M	-	-	-	-	DOMOMAT			
1000 W	4,6 A	30 M	84 M	135 M	200 M	335 M	530 M	-	-				
1500 W	6,8 A	33 M	57 M	90 M	130 M	225 M	355 M	565 M	-	-	-		
2000 W	9 A	25 M	43 M	68 M	100 M	170 M	265 M	430 M	595 M	-	-		
2500 W	11,5 A	20 M	34 M	54 M	80 M	135 M	210 M	340 M	470 M	630 M	-		
3000 W	13,5 A	17 M	29 M	45 M	65 M	110 M	180 M	285 M	395 M	520 M	-		
3500 W	16 A	14 M	24 M	39 M	56 M	96 M	155 M	245 M	335 M	450 M	-		
4000 W	18 A	-	21 M	34 M	49 M	84 M	135 M	210 M	295 M	395 M	580 M		
4500 W	20 A	-	19 M	30 M	44 M	75 M	120 M	190 M	260 M	350 M	515 M		
5000 W	23 A	-	-	27 M	39 M	68 M	105 M	170 M	235 M	315 M	460 M	630 M	
6000 W	27 A	-	-	23 M	32 M	56 M	70 M	140 M	195 M	260 M	385 M	530 M	
7000 W	32 A	-	-	-	28 M	48 M	76 M	120 M	170 M	225 M	330 M	460 M	
8000 W	36 A	-	-	-	-	42 M	67 M	105 M	145 M	195 M	290 M	400 M	
9000 W	41 A	-	-	-	-	38 M	60 M	94 M	130 M	175 M	255 M	355 M	
10 kW	45 A	- LIMITE -			-	34 M	54 M	84 M	120 M	155 M	230 M	320 M	
12 kW	55 A	- D'ÉCHAUFFEMENT			-	-	45 M	70 M	98 M	130 M	190 M	265 M	
14 kW	64 A	-	-	-	-	-	38 M	60 M	84 M	110 M	165 M	230 M	
16 kW	73 A	-	-	-	-	-	-	53 M	74 M	99 M	145 M	200 M	
18 kW	82 A	-	-	-	-	-	-	47 M	65 M	88 M	125 M	175 M	
20 kW	91 A	-	-	-	-	-	-	-	59 M	79 M	115 M	160 M	

Tableau 2-6 section de file selon la longueur, le courant et la limite d'échauffement

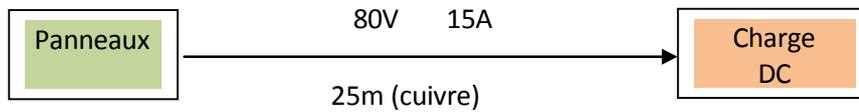
On peut résumer le critère d'échauffement à partir de le tableau précédent par le tableau suivant :

Gamme de section nominale du câble	mm ²			2	3	4	6	10	16	25	35	70	95	120	150
limite d'échauffement	A			16	20	27	32	45	64	82	91				

Tableau 2-7 la limite d'échauffement selon la section de file

Exemple1 DC :

Prenons un exemple réel DC



Application numérique:

$$\rho_{\text{cuivre}} = 0.022 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \quad L=25\text{m} \quad V=80\text{v} \quad I= 15\text{A} \Rightarrow S= \mathbf{6.78 \text{ mm}^2}$$

On va prendre la section trouvant dans la gamme normalisé (**6 mm²** ou **10mm²**)

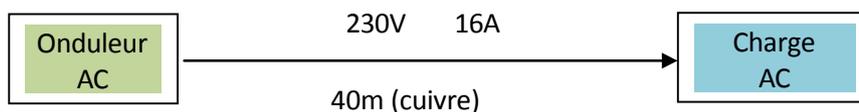
Si on prend :

- S= 6mm² la chute de tension devra 0.034 et cette valeur est plus proche de chute admissible 3% (0.03) et la section 6 moins cher a celle de 10mm².
- S= 10mm² la chute de tension devra 0.020 et cette valeur est plus loin de chute admissible 3% (0.03) et la section 10mm² très cher a celle de 6mm².

Alors on va prendre la section convenable avec la chute de tension admissible et la limite d'échauffement qui est représenté dans notre cas par S=6mm²

Exemple2 AC (220v):

Prenons un exemple réel DC



Application numérique :

$$\rho_{\text{cuivre}} = 0.022 \quad L=40\text{m} \quad V=230\text{v} \quad I= 16\text{A} \quad \text{Cos}(\varphi)= 0.8 \Rightarrow S= \mathbf{3.26 \text{ mm}^2}$$

On va prendre la section trouvant dans la gamme normalisé (4 mm²)

Si on prend :

- S= 4mm² la chute de tension devra 0.034 et cette valeur est plus proche de chute admissible 3% (0.03) et la section 6 moins cher a celle de 10mm².

Alors on va prendre la section convenable avec la chute de tension admissible et la limite d'échauffement convenable qui est représenté par S=6mm²

✓ **méthode des tableaux, abaques et applications**

Généralement on utilise des applications basées sur le même principe qu'on a expliqué, mais par programmation ou fichier Excel afin de faciliter les calculs et les faire d'une manière très rapide et efficace.

Aussi il y a des tableaux qui font le même principe, on peut les utiliser pour les applications précédentes.

L'essentielle Qu'il faut bien choisir la section convenable à la longueur et au courant de charge plus limite d'échauffement indiquée par le constructeur.

Exemple des abaques qui calcule la section du câble en AC

Puissance		en Watts	Calcul de la section d'un câble		
ou (l'un ou l'autre)					www.destockable.fr
Intensité		16 en Ampères			www.ombilicable.fr
Tension		230 en volts	Monophasé		
Longueur du câble		40 en Mètres	Cuivre		
Section		Puissance perdue	% Perdue	Chute de tension	Résistance du conducteur
1,5 mm ²		236	6,40%	14,7	0,9200
2,5 mm ²		141	3,84%	8,8	0,5520
4 mm ²		88	2,40%	5,5	0,3450
6 mm ²		59	1,60%	3,7	0,2300
10 mm ²		35	0,96%	2,2	0,1380
16 mm ²		22	0,60%	1,4	0,0863
25 mm ²		14	0,38%	0,9	0,0552
35 mm ²		10	0,27%	0,6	0,0394
50 mm ²		7	0,19%	0,4	0,0276
70 mm ²		5	0,14%	0,3	0,0197
95 mm ²		4	0,10%	0,2	0,0145
120 mm ²		3	0,08%	0,2	0,0115
240 mm ²		1	0,04%	0,1	0,0058
		En watts	à 20°C	en Volts	En Ohms

Tableau 2-8 exemple de calcul de la section du câble en AC

Exemple des abaques qui calcule la section du câble en DC

Calcul de la section d'un câble électrique en cuivre et en courant continu	
Puissance de l'équipement (en watts)	1000
Longueur de câble aller + retour (en mètres)	40
Tension de service (en volts)	48
Chute de tension acceptable (en %)	5%
Perte de tension (en volts)	2,4
Section du câble (en mm²)	6,6
Diamètre du câble (en mm)	2,90

Tableau 2-9 exemple de calcul de la section câble en DC

Exemple des abaques qui calcule la section du câble en DC ou AC 220v ou 380v

section du câble en AC 220V		section du câble en DC		section du câble en AC 380v	
ro oh.m ² /m	0.022	ro oh.m ² /m	0.022	ro oh.m ² /m	0.022
u (v)	230	v (v)	80	U (v)	80
I (A)	16	I (A)	15	I (A)	15
L (m)	40	L (m)	25	L (m)	25
eps ecl 3%	0.03	eps ecl 3%	0.03	eps ecl 3%	0.03
eps mot 5%	0.05	eps mot 5%	0.05	eps mot 5%	0.05
cos(phi)	0.8			cos(phi)	0.8
S1 (mm ²)	3.26	S1 (mm ²)	6.88	S1 (mm ²)	2.51
eps reel 1	0.0306	eps reel 1	0.03	eps reel 1	0.03

Tableau 2-10 exemple de calcul de la section du câble en DC et AC par Excel exemple

h- protection des équipements

Panneaux : on place un disjoncteur DC qui protège tous le champ et chaque string doit être protégé par un disjoncteur DC ou fusible convenable avec le courant sortant totale des panneaux ensuite diode anti retour pour chaque string .

Batterie : on utilise un disjoncteur DC ou fusible convenable avec le courant nécessaire dans le plus des batteries.

L'onduleur : on place un disjoncteur différentiel à la sortie, plus mise à la terre pour protéger les personnes, le parafoudre est nécessaire aussi dans certain cas.

Le régulateur : est déjà protégé par les protections de ses entrés (panneaux et batterie) reste sa sortie DC pour alimenter une charge contenu alors il faut mettre un dispositif de protection de cette dernière par exemple un disjoncteur DC.

Convenable au courant de la charge.



Figure 2-6 Organes de protections photovoltaïques

On peut aussi utiliser la protection par deux types : protection DC et protection AC :

- **un coffret** pour la protection **DC** comprenant les disjoncteurs DC pour les panneaux et les batteries plus la charge DC si le régulateur offre cette option (sortie DC).
- **Un coffret** pour la protection **AC** comprenant un disjoncteur différentiel convenable avec la charge qu'il faut alimenter par l'onduleur, sans oublier la mise à la terre et le para foudre.
- **Un coffret pour la protection DC et AC plus parafoudre au même temps**
Comme les deux figures suivantes indiquent



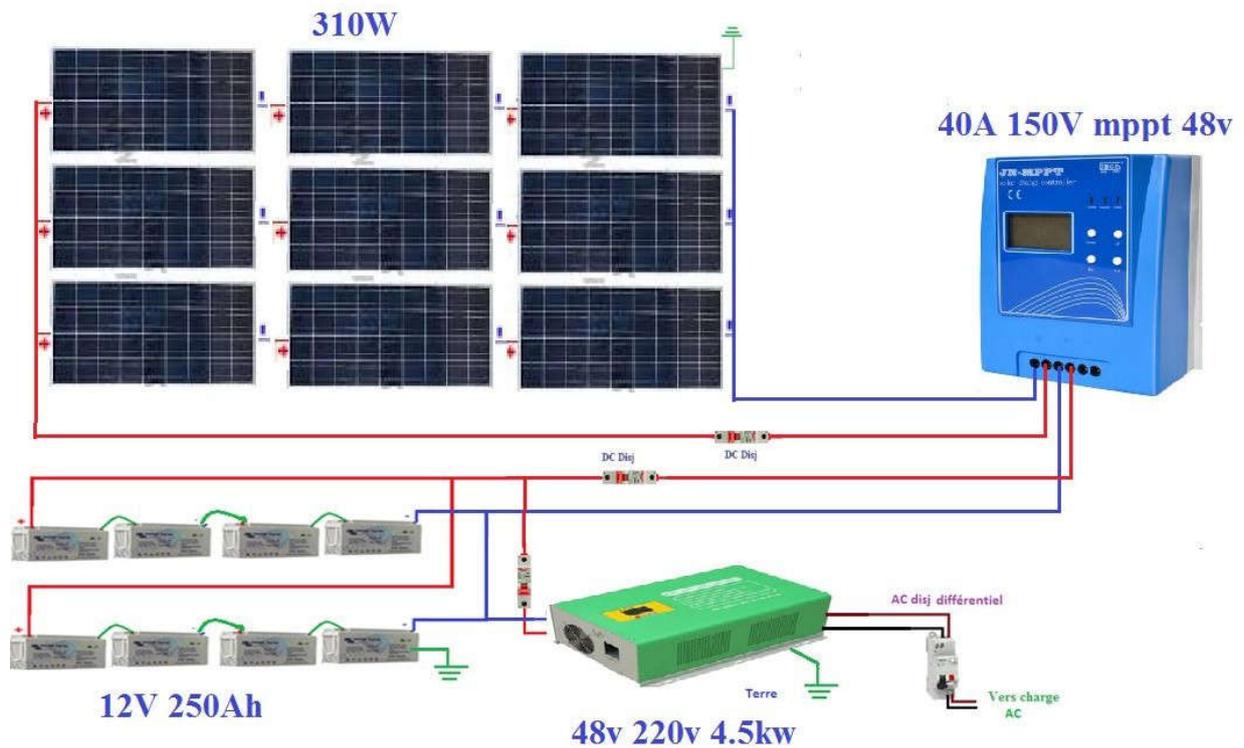
Figure 2-7 coffrets de protections photovoltaïques AC DC

i- Protection des personnes

Afin d'éviter tous risques dangereux aux personnes il faut les protéger contre tous les contacts avec les dispositifs électriques (carcasses ou filesEtc) Et ça s'effectue à l'aide de disjoncteur différentiel plus mise à la terre.

En cas d'intervention il ne faut jamais oublier les moyens de sécurité : gants, lunette, tournevis et pince isolésEtc. Il y a aussi des dispositifs de coupure manuelle de chaque côté en cas d'entretien ou contrôle périodique.

D'après les données de notre système on peut le conclure par le schéma suivant :



Figures 2-8 Schéma récapitulative de tout le système après le dimensionnement

2.2 Dimensionnement d'une station de pompage photovoltaïque :

Le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque est essentiel pour son fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur, dans tous les cas il est nécessaire de connaître le besoin, le gisement d'énergie solaire du lieu concerné. Ceci permet de faire le bon choix des composants électriques assurant la régulation et la protection du système et des usagers. Les étapes à suivre sont :

1. Evaluation des besoins en eau
2. Calcul de l'énergie hydraulique
3. Détermination de l'énergie solaire de site.
4. Choix des composants (pompe, onduleur et panneaux). [6]

2.2.1 Energie électrique de la pompe

Le débit horaire est le suivant :

$$Q_h = \frac{Q \left(\frac{m^3}{jour} \right)}{h}$$

Avec h : le nombre d'heures d'ensoleillement maximal;

Puissance hydraulique :

$$P_H = C_H \times Qh \times HMT$$

Energie hydraulique :

$$E_H = C_H \times Q \left(\frac{m^3}{jour} \right) \times HMT$$

HMT = hauteur manométrique totale de refoulement (pertes de charge 10% comprise).

C_H ; Constante hydraulique

$$C_H = g \times \rho = 2.725 \text{ kg.s}$$

Puissance électrique

$$P_{elec} = \frac{P_H}{R_p} \qquad E_{elec} = \frac{E_H}{R_p}$$

$$E_{elec} = \frac{C_H \times Q \left(\frac{m^3}{jour} \right) \times HMT}{R_p}$$

Où g = constante de la gravité (9.86 m/s²)

ρ = la densité de l'eau (1000kg/m³)

R_p = en général le rendement des groupes motopompes est de 30% à 70% ; selon le type de la pompe et de moteur (groupe motopompe).

$$E_{elec} = \frac{\text{Constante hydraulique} \times \text{le débit journalier} \times HMT}{\text{Rendement du groupe motopompe}}$$

E_{elec} Où est habituellement exprimé en kWh.

2.2.2 Choix des panneaux solaires :

Il est obligatoire de connaître la tension de fonctionnement de la pompe avant de définir le type et le nombre de panneaux solaires ainsi que leur couplage, Il faut toujours utiliser l'ensemble des panneaux solaires de même marque et de même puissance.

- La puissance crête du générateur photovoltaïque :

$$P_c = \frac{E_{elec}}{I_R \times C_p}$$

Avec C_p : constante de perte d'énergie. I_R : Irradiation journalière

- Nombre de panneaux

$$N_p = \frac{P_c}{P_{panneau}}$$

2.2.3 Choix d'onduleur:

Même méthode citée précédemment

2.3 Etude de performance des systèmes existants

Dans le laboratoire des énergies renouvelable on constate deux systèmes PV: l'un dit système de pompage photovoltaïque alimente une pompe DC et l'autre représente un système photovoltaïque isolé pour alimenter une charge AC (laboratoire)

2.3.1 pompage PV avec une charge (pompe) DC : comporte les éléments suivant :

- 6 panneaux solaires 170w
- Régulateur de charge 200V 10A
- Pompe DC 2Hp 1500w
- Câbles de raccordement entre panneaux et régulateur
- Câbles de raccordement entre régulateur et pompe.

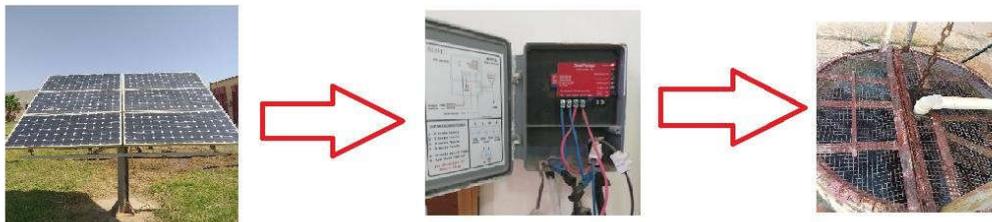


Figure 2-9 Système de pompage PV charge (pompe) DC

Observations : D'après les règles qu'on a pris et le câblage ou raccordement des éléments de pompage représenté dans la figure précédente on peut dire que :

- Pour le site (Biskra) : on a les même données qu'on détaille précédemment (Nb d'heurs ensoleillées = 7 ; Orientation plein sud ; angle d'inclinaison = 35° ; autonomie = 1J)
- Pour la charge (pompe DC) : puissance 1500w 2Hp avec 6 heures de fonctionnement minimale donc l'énergie nécessaire = 9000wh..

On a remarqué une absence de protection renforcé externe de la pompe convenable au courant nominale.(6A)

- Pour les panneaux Et d'après les formules qu'on a vue on est besoin de 2000Wc pour un fonctionnement optimal par contre le champs PV existant de(1020wcr) insuffisant au besoin de la pompe , donc il nous manque presque 980wcr autrement dit 6 panneaux de 170w.

Nous avons constaté qu'il n'y a pas de mise à la terre et protection des panneaux (pour chaque string ou l'ensemble des panneaux) contre le court circuit ou la surcharge.

Raccordement juste 2 strings chacun a 3 panneaux en série)

Section du câble (6mm^2) est convenable aux critères de la charge (courant consommé et distance entre panneaux et régulateur).

- Pour le régulateur, on a constaté qu'il est bien équipé par plusieurs protection concernant(le niveau d'eau, insuffisance d'ensoleillement, surcharge, baisse de tension) fonctionnement optimale ou meilleur.

2.3.2 Système PV isolé: comporte les éléments suivant :

- 6 panneaux solaires 170w fonctionnelle de 8 panneaux
- Onduleur de 2640w 48v/220v
- Régulateur de charge mppt 48V 40A 150V
- 4 batteries de 12v 150ah

- Disjoncteur de Protection DC pour les panneaux 60A
- Disjoncteur de Protection DC pour les Batteries 175A
- Disjoncteur de Protection AC pour l'onduleur 32A
- Câbles de raccordement de 6mm² entre panneaux et régulateur.
- Câbles de raccordement de 2.5mm² entre onduleur et charge
- Câbles de raccordement de 70mm² entre onduleur et Batteries



Figure 2-10 Système PV isolé existant dans le laboratoire

Observations : D'après les règles qu'on a pris et le câblage ou raccordement des éléments de système représenté dans la figure précédente on peut dire que :

- Pour le site (Biskra) : d'après les mêmes données qu'on a détaillé (Nb d'heures ensoleillées = 7 ; Orientation plein sud ; angle d'inclinaison = 35° ; autonomie = 1J).
- Pour une charge de 2500w 8 heures de fonctionnement implique que l'énergie consommée est 20000wh donc on a besoin d'un champ photovoltaïque de 4395wc presque.
- Pour les panneaux on a 6 panneaux de 170w (puissance crête de 1020wcr) est insuffisant par rapport à la puissance crête nécessaire calculée. 4395wc = 26 panneaux de 170wc.

On n'a constaté qu'un disjoncteur DC de 60 A est mal dimensionné par rapport au courant total (15A) maximum sortant des panneaux.

Section du câble de 6mm^2 est suffisante pour une distance de 25m et un courant de 15 A.

- Pour l'onduleur isolé de 2640w 48v/220v 55ADC /12A AC est suffisante pour une charge de 2500w par contre le disjoncteur de sortie 32A est mal dimensionné il : nous faut juste un disjoncteur de 16A.
- Concernant le régulateur de charge, il est suffisant par rapport au courant et tension totale des panneaux et batteries.
- Pour les batteries de 150Ah et 12v et d'après nos calculs on est besoin de 20 batteries par contre le nombre réel est 8 Batteries. Alors il faut corriger cette situation.
- Concernant la section des câbles ils sont bien dimensionnés

Conclusion

Sincèrement On a bénéficié beaucoup d'informations concernant le dimensionnement des systèmes PV isolé ou pompage tous les étapes de procédure dimensionnement (équations formule).

On a compris comment faire la combinaison entre les éléments de système photovoltaïque : panneaux, batteries, Onduleur et régulateur de charge plus accessoires.

On a pris tous les types de protections concernant les éléments de ce système pv et comment déterminer ces organes de protection convenable avec notre système dans les deux cas AC ou DC.

En fin on a fait une comparaison ou étude de performance des systèmes photovoltaïque existant et donné les solutions nécessaires.

Conclusion générale

Notre travail concernant la théorie des systèmes photovoltaïques était basé sur deux chapitres :

L'un est consacré sur les systèmes photovoltaïques de point de vue type, composant caractéristiques, mode d'exploitation, critères de choix ainsi que la protection convenable de chaque élément constituant ces systèmes, alors on a bien bénéficié pas mal d'informations qui nous a amélioré nos connaissances dans ce domaine.

Dans l'autre chapitre on a bien appris les méthodes de dimensionnement pour deux systèmes :

- L'un dit : système photovoltaïque isolé suivie d'un système réel avec ses étapes de dimensionnement étape par étape afin d'alimenter une simple maison avec ses charges.
- L'autre dit un système le pompage qu'on a profité tous les étapes de dimensionnement et ses éléments ainsi la protection convenable de chaque élément (pompe, convertisseur et champs photovoltaïque.) sans oublier le dimensionnement du câble nécessaire.

Toutes ces informations efficace nous a permis de faire une étude critique et réel de performance des systèmes PV existant au sein de laboratoire des énergies renouvelables afin d'améliorer ces systèmes. de point de vue matériels existant mode de raccordement, nombre et éléments de protection suivie des conseils nécessaire de chaque système.

Espérant que cette mémoire nous a donné une perspective générale concernant notre spécialité (réseaux électrique) et devient une référence utile pour les personnes qui s'intéressent par ce domaine.

Bibliographie

- [1] yann riffonneau, "gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau", thèse de doctorat, université joseph fourier, 23/10/2009.
- [2] sa. lahlah mémoire de magister « etude comparative des techniques mppt perturbation and observation(p&o), incrémental conductance (inc.con) et hill climbing (h.c) » université de batna 2007.
- [3] mémoire fin d'étude master : etude et réalisation d'un système photovoltaïque hybride à trois sources, mercati youcef université de biskra 2015-2016.
- [4] anne labouret .mchelviloz, energie solaire photovoltaïque, 3eme edition dunod, paris, 2003,2005,2006.
- [5] a. fortin, analyse numérique pour ingénieurs, 2000 édition, presses internationales polytechnique, 1996.
- [6] mémoire fin d'étude master : etude d'un système photovoltaïque autonome, djounaidi karim université de biskra 2012-2017
- [7] kial, f., & mansouri, s. (2020). contribution a une etude techno-economique d'un systeme de pompage photovoltaïque sur le site d'adrar (doctoral dissertation, universite ahmed draia-adrar).
- [8] sellamna, h. (2015). etude et réalisation d'un système de pompage solaire à base d'un moteur monophasé, gouverné par un microcontrôleur pic, pour utilisation domestique (doctoral dissertation, université de batna 2).
- [9] slimani, s., & mouloudj, m. (2013). méthodes de surveillance d'une turbopompe we 41 de la centrale thermique de cap-djinet (doctoral dissertation, université mouloud mammeri tizi-ouzou).
- [10] ouled hadj youcef, m. l., & hamida, a. (2021). etude comparative entre système de pompage solaire (photovoltaïque) et système de pompage classique (conventionnel) (doctoral dissertation, université ghardaia).

[11] dada, m. a. a., merimeche, m., taibi, d. e., &aomar, l. e. (2018). *optimisation de rendement énergétique d'un panneau solaire: application au pompage solaire* (doctoral dissertation, université de jijel).

[12] <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra>

[13] <https://nldsolar.com/product/310w-mono-perc-ja-solar-panel/>

[14] <https://www.domomat.com/blog/quelle-section-cable-electrique-choisir/>