

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

**UNIVERSITE MOULOD MAMMERI TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE**



Mémoire

Master Académique

Instrumentation

Domaine : Science Et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Présenté par

SERIK MOULOD

SILEMI ALI

Thème

**Dimensionnements d'un Système Photovoltaïque
Pompage Solaire**

Soutenance Publiquement

Le 27/09/2018

Devant le jury :

✓ **Mr. Zirmi**

✓ **Me.LAGHA**

✓ **Me. FEKRACHE**

Encadreur

Présidente

Examineur

Année D'étude :2017/2018

Remerciements

Nous remercions dieu qui nous a donné force et Volonté

Et courage afin d'élaborer ce mémoire.

Nous tenons à remercier nos encadrateurs,

*Mr **Zirmi Rachid** Maître de conférences à UMMTO*

*Et Mr **Mahmoudi** Le chef d'entreprise Solar Energie*

Pour le soutien moral et intellectuel, la gentillesse et

La haute compréhension qu'elle nous a apporté tout au long de notre

travail Nous lui exprimons ici nos sincères et profondes

Reconnaissances Nous remercions toutes les personnes qui ont

contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie très vivement les personnes Qui ont

accepté de jurer ce travail.

Merci à tous

Je dédie ce modeste travail

À

Ma très chère mère et ma grand-mère

A mes frères, et également à ma sœur

A toute ma famille SERIK.

Et ma deuxième famille OUHEB.

Je le dédie aussi à tous mes amis

Je dédie ce modeste travail

À

Ma très chère mère et père

A mes frères, et également à ma sœur

A toute ma famille SILEMI.

Je le dédie aussi à tous mes amis

Chapitre 01 : Généralité sur l'énergie solaire Photovoltaïques

1. Introduction	
Générale.....	01
Historique.....	02
1.1- Introduction	03
1.2- Energie solaire Photovoltaïques	03
1-2-1- Irradiation Solaire	04
1-2-2- Cellule Photovoltaïques	04
1-2-3- Caractéristiques courantes tensions d'une cellule solaire (I-V).....	04
1-2-4- Caractéristique Puissance tension (P-V).....	05
1-2-5- La puissance d'une cellule Photovoltaïque.....	06
1-3- Types de cellule photovoltaïques	06
1.3.1- Cellule monocristallines	06
1.3.2- Cellule Poly-cristallines.....	07
1.3.3- Cellule Amorphes	08
1.3.4- Modèle d'une Cellule Solaire	09
1.3.5- La variation du courant.....	10
1.4- Association des cellules	10
1.4.1- Association série.....	11
1.4.2- Association Parallèle.....	11
1.4.3- Association Mixte	11
1.4.4- Influence du Rayonnement sur les cellules.....	12
1.4.5- Influence de températures sur les cellules.....	13

1.5- Le champ Photovoltaïque	14
1-5-1 le module Photovoltaïque.....	14
1-5-2- Caractéristiques électriques des Modules.....	14
1-5-3- Le générateur Photovoltaïque.....	15
1-6 les système photovoltaïques.....	16
1-6-1 système autonome sans batterie	16
1-6-2 système autonome avec batterie.....	16
1-6-3 système hybride photovoltaïques génératrices.....	17
1-6-4 système sur réseau diesel.....	17
1-6-5 système photovoltaïques sur réseau décentralisé	17
1-6-6 système photovoltaïques centralisés	18
1-7 le stockage d'énergies	18
1-7-1 les batterie accumulateur (d'énergie ou de charge).....	19
1-7-2 caractéristiques des batteries.....	20
1-7-3 degré de charge et profondeur de décharge.....	21
1-7-4 tension	21
1-7-5 capacité d'utilisation	21
1-8 caractéristiques et option des régulateurs.....	22

Chapitre 02 : Pompage solaire

Introduction.....	23
1- Pompage solaire	24
a) Pompage au fil de soleil.....	24
b) Pompage avec stockage de l'Energie.....	24
2- Description.....	25
3- Fonctionnement	25
4- Définitions	26
5- Composants d'un système photovoltaïques.....	27
5-1- le générateurs Pv.....	28
5-2- le groupe motopompe	28
6- Classification selon la conception.....	29
a) Pompe centrifuge	30
a-1) caractéristiques de la pompe immergées	31
b) Pompe volumétriques.....	31
7- Classification selon la position de la pompe	32
a) Pompe de surface	33
b) Pompe immergées.....	33
8- Classification selon le moteur utilisées.....	34
a) Moteur a courant continue	34
b) Moteur a courant alternatif	35
9- Electronique de commande	35
a) Convertisseurs DC /DC	35
b) Convertisseurs DC/AC	35
10- Conclusion	36

Chapitre 03 : dimensionnements d'un système de pompage photovoltaïques

1- Partie Théorique : Dimensionnements d'un système de pompage photovoltaïques

Introduction.....	37
1- Données de base.....	38
a) Débit.....	38
b) Hauteur Manométrique Totale	38
c) Niveau Station	39
d) Niveau dynamique	39
2- Dimensionnement de la pompe photovoltaïque.....	40
2-1- Calcule de l'Energie quotidienne requise.....	40
2-2- fiche de dimensionnement n°1-Estimation de la charge	41
2-3-fiche de dimensionnement n°2-Definition des conditions du site	42
2-4-fiche de dimensionnement n°3 -Dimensionnement du champ PV.....	43
3- Dimensionnement d'un système de pompage solaire pour l'irrigations d'un champ d'agriculture	
3-1 introduction.....	44
3-2 les méthodes de dimensionnement.....	44
3-2-1 la méthode du mois le plus défavorable.....	44
3-2-2 la méthode de la moyenne annule.....	45
3-3 Technique de dimensionnement.....	45
3-3-1 détermination de la charge.....	45
3-3-2 Energie requise pour la pompe.....	45
3-3-3 le volume d'eau.....	46
3-3-4 la hauteur manométrique.....	46
3-3-5 calcule du champ photovoltaïque.....	47
a) La puissance crête du générateur PV.....	47
b) Le nombre de module PV.....	47

3-3-6 Calcule la capacite de batterie.....	48
3-3-7 choix de régulateur.....	49
3-3-8 choix de l'onduleur.....	50
3-3-9 Partie pratique : Dimensionnement d'un système Photovoltaïque de pompage solaire d'un Village de Ain Oussra wilaya de Djelfa	51
A) Fiche de dimensionnement estimation de charge.....	51
B) Fiche de dimensionnement définition du site.....	51
C) Dimensionnement de champs et de matérielle nécessaire.....	51
D) Schéma électrique de l'installation.....	52
3-4 Bilan économique.....	53
3-5 Application et résultats.....	54
3-6 Conclusion.....	61
3-7 Conclusion générale.....	62

Chapitre 01

Figure 1-1 : Structure de cellule solaire

Figure 1-2 : Caractéristiques courant tension d'une cellule PV

Figure 1-3 : Caractéristiques puissance tension d'une cellule PV

Figure 2 : cellule Monocristalline

Figure 2-1 : cellule Polycristalline

Figure 2-2 : Cellule Amorphe

Figure 2-3 : Schéma équivalents d'une cellule PV

Figure 2-4 : A) schéma d'un module PV en série

B) Caractéristiques courant tension (I-V) d'une cellule PV

Figure 2-5 : C) schémas d'un module former d'un groupement en Parallèle

D) Caractéristique courant tension (I-V) d'une cellule en Parallèle

Figure 2-6 : schéma association mixte des cellules

Figure 3 : Influence de rayonnement sur la caractéristique (I-V)

Figure 3-1 : Influence de rayonnement sur la caractéristique (P-V)

Figure 3-2 : Influence de température sur le courant (I-V)

Figure 3-3 : Influence de température sur le courant (P-V)

Figure 3-4 : Module Pv

Figure 3-5 : Champs PV

Figure 4 : Système autonome avec stockage

Figure 4-1 : Système PV sur un réseau décentralisé

Chapitre 2

Figure 1 : pompage PV au fil de soleil

Figure 2 : pompage PV avec stockage d'Energie

Figure 3 : Schéma explicatif de fonctionnement d'une installation de pompage solaire

Figure 4 : Champs PV

Figure 5 : Classification des pompes

Figure 5-1 : schéma d'une pompe centrifuge

Figure 5-2 : schéma d'une pompe volumétrique

Figure 6 : pompe de surface

Figure 7 : pompe immergée

Figure 8 : Moteur a courant continue avec balais

Figure 9 : Schéma synoptique simplifier du pompage PV par motopompe DC

Figure 10 : Schéma synoptique simplifier du pompage PV par motopompe AC

Figure 11 : convertisseur DC/DC

Figure 12 : convertisseur DC/AC

Chapitre 03

Figure 1 : Schéma d'une installation de pompage solaire

Figure 2 : Hauteur Manométrique Total

Figure 3 : Shama électrique de l'installation

Figure 4 : pompage d'eau pour l'irrigation

Figure 5 : Irradiation journalier reçus sur le plan Horizontal

Figure 6 : Algorithme de dimensionnement

Figure 7 : Histogramme d'amortissement du système de pompage solaire (sans aide de l'état)

Figure 8 : Histogramme d'amortissement du système de pompage solaire (avec aide de l'état)

1- INTRODUCTION GENERALE

Parmi les grands enjeux des temps modernes, l'approvisionnement en eau, soit pour la consommation domestique (de personnes), soit pour l'agriculture (élevage et irrigation).

Ce problème est lié directement à un autre enjeu qui est l'apport de l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de ce système d'approvisionnement.

En effet l'objectif de ce travail et l'étude d'un système de pompage photovoltaïque pour des puis de parcours et d'irrigation dans des sites isolés dans la région Ain Ouessara de la wilaya de Djelfa où on trouve beaucoup d'endroits isolés non connectés au réseau électrique (classique)

Notre hypothèse basée que cette solution est particulièrement intéressante pour ce type de site d'autant plus que le territoire national dispose des gisements les plus élevés au monde (durée d'insolation peut atteindre les 3900 heures par an sur le Sahara l'énergie acquise quotidiennement sur une surface horizontale 1m^2 et de l'ordre de 5 kwh soit pris de 2263 kwh/an au sud du pays et qui disposent également d'une grande réserve d'eau souterraine à quelque mètre du sol

Pour ce faire, notre travail est partagé en 03 chapitres. Dans le premier, on énonce les notions fondamentales de l'énergie solaire et ses principes. Ensuite à travers le second chapitre, on présentera le système de pompage solaire et ses composants.

Enfin, on abordera l'algorithme de dimensionnement, qui sera appliqué sur un exemple réel, On termine bien sûr par conclusion générale.

Historique : Découverte de l'effet photovoltaïque.

Le mot **photovoltaïque** vient du grec **Photo** qui signifie **lumière** et de **volt** du nom du physicien italien qui en 1800 découvrit la pile électrique.

En 1839, Antoine-César Becquerel constate les effets électriques que produisent les rayons Solaires dans une pile.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1954 : Trois chercheurs américains, Chaplin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante. Le domaine spatial a besoin d'une énergie sans combustible embarqué. La recherche s'intensifie sur le photovoltaïque.

En 1954 est créée par les laboratoires BELL la première cellule photovoltaïque avec un Rendement de 4%.

Le spatial devient le banc d'essai de la technologie photovoltaïque. Les coûts de fabrication Élevés des cellules et leurs rendements médiocres ne leur permettent pas encore une exploitation à Grande échelle.

Il faudra attendre les années 70 pour que les gouvernements et les industriels Investissent dans la technologie photovoltaïque

1.1- Introduction :

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés régions sahariennes, régions montagneuses, où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse. Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation.

Les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible.

De plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts d'opération et de maintenance sont relativement faibles.

Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural. Où les populations sont réparties dans de petites communautés et la demande énergétique est relativement faible.

1.2-Energie solaire photovoltaïque : [1]

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire dans une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire ou module photovoltaïque. Plusieurs modules regroupés forment un champ photovoltaïque.

1. 2.1- Irradiation solaire (ensoleillement) : [2]

L'irradiation Ensoleillement ou éclaircissement est définie comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré).

L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en $(J \cdot m^{-2})$ (Joule par mètre carré).

D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré)

Signalons que, l'irradiation solaire dépend de :

- **L'orientation et l'inclinaison du panneau solaire.**
- **La latitude du lieu et son degré de pollution.**
- **La période de l'année.**
- **L'instant considéré dans la journée.**

1.2.2-Cellule photovoltaïque : [3]

Une cellule photovoltaïque est conçue en se basant sur le phénomène physique appelé **Effet Photovoltaïque**. Une **force électromotrice** apparaît lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, sa disposition, température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule.

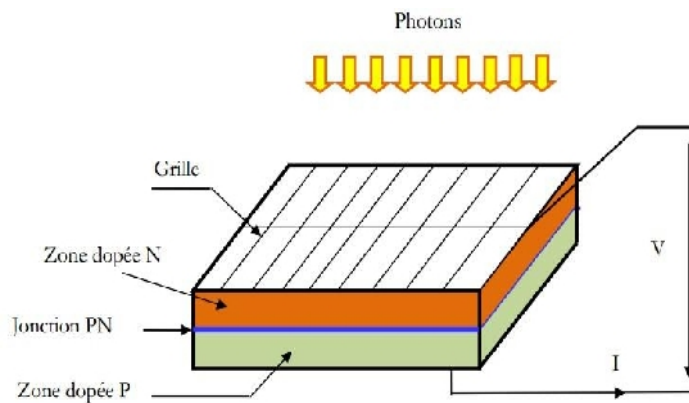


Figure 1: Structure de cellule solaire.

Une cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P et l'autre couche dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel comme montré dans la figure précédente.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des porteurs de charge positive et négative

Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

1.2.3- Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque :

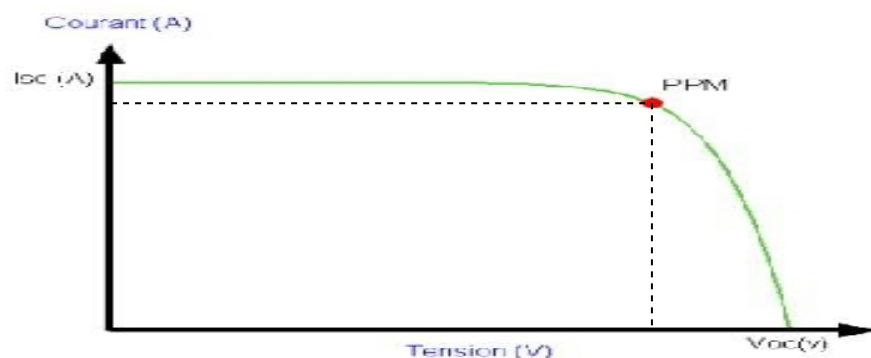


Figure 1-2 : Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.

Comme nous le voyons sur la figure 1-2, la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe $I(V)$ non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température.

Cette courbe nous informe sur trois points importants :

- Le point de fonctionnement optimal PPM la puissance maximale de la cellule.
- Le point du courant maximal I_{sc} . Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit I_{sc} .
- Le point de la tension maximale de la cellule V_{oc} , environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert.

1.2.4- Caractéristique puissance-tension (P-V) : [5]

La puissance crête d'une cellule PV, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak) représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :

- Eclairement solaire de 1 kW/m^2 ;
- Température de la cellule PV égale à $+ 25^\circ\text{C}$.

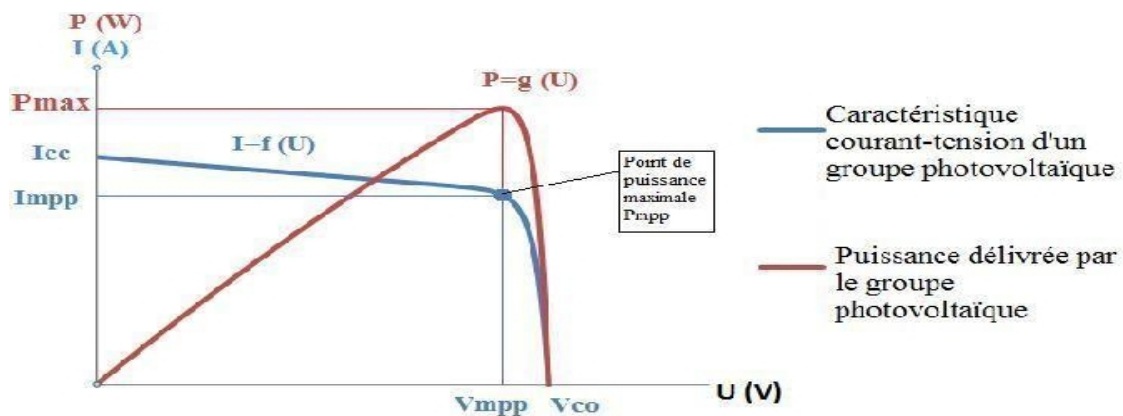


Figure 1-3: Caractéristique puissance-tension.

1.2.5- La puissance d'une cellule PV :

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.),

La puissance électrique P (W) disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni I par une tension continue donnée V :

$$P = V \cdot I$$

P (W), Watt : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.

U (V), Volt : Tension mesurée aux bornes de la cellule PV.

I (A), Ampère : Intensité mesurée aux bornes de la cellule PV

La puissance max :

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximum $P_{\text{max idéale}}$ correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{CO} multipliée par le courant de court-circuit I_{CC} (c'est-à-dire à la surface du rectangle OABC) :

$$P_{\text{max idéale}} = V_{\text{CO}} \cdot I_{\text{CC}}$$

$P_{\text{max idéale}}$ (W), Watt : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.

V_{CO} (V), Volt : Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{CC} (A), Ampère : Intensité de court-circuit mesurée aux bornes de la cellule PV.

1.3.- Type des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent.

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle et sont :

1.3.1- Cellules monocristallines : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi le coût le plus élevé.



Figure 2 : Cellule monocristalline

1.3.2- Cellules polycristallines : Leurs coût de fabrication est moins important, vu leur conception facile. Cependant leur rendement est plus faible.

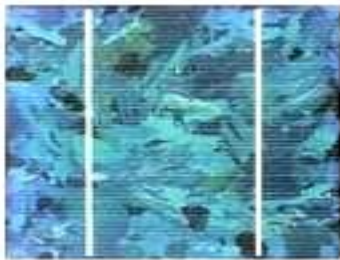


Figure 2-1 : Cellule polycristalline

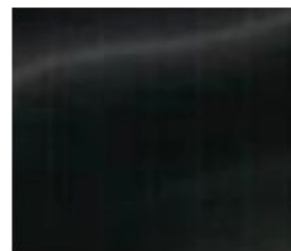


Figure 2-2 : Cellule amorphe.

1.3.3-Cellules amorphes : Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé.

Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements.

Technologies de cellules	Rendement en	Rendement production
Silicium amorphe	13%	5-9%
Silicium poly cristallin	19,8%	11 à 15 %
Silicium monocristallin	24,7%	14 à 20%

Tableau 1 : Rendement des cellules

1.3.4 - Modèle d'une cellule solaire : [6]

Une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_p (R_{sh}) résistance de fuit (résistance parallèle) comme le montre le schéma équivalent de la figure suivant :

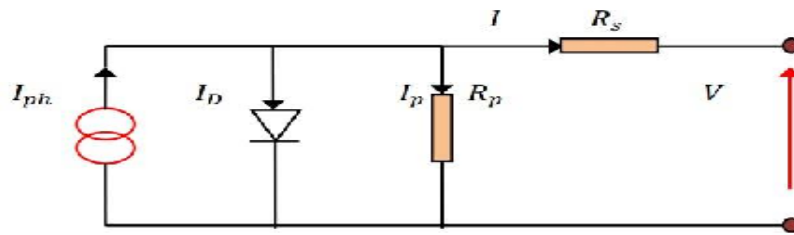


Figure 2-3: S c h é m a é q u i v a l e n t d e c e l l u l e P V

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.

Symbole	Définition	Unité	Valeur
R_s	Résistance série	Ohm (Ω)	-
R_{sh}	Résistance de shunt	Ohm (Ω)	-
I_l	Courant d'éclairement ou photoélectrique	Ampère (A)	-
I_0	Courant d'obscurité ou saturation de diode	Ampère (A)	-
I_c	Courant de sortie	Ampère (A)	-
V_c	Tension de sortie	Volt (V)	-
A	Coefficient d'idéalité de la diode	Sans dimension	$1 < A < 5$
T_c	Température absolue de la cellule	Kelvin (K)	-
T_a	Température ambiante	Kelvin (K)	-
E	Charge de l'électron	Coulomb (C)	$1,6 \cdot 10^{-19}$

K	Constante de Boltzmann	J / K	1,38
G*	Flux solaire incident ou éclairement	W / m ²	-
h_w	Coefficient d'échange par convection avec le milieu ambiant	W / m ² . °C	25
K	Résistance thermique (inverse du coefficient d'échange : 1 / h _w) dépendant de l'inclinaison et de la distance au sol de la cellule	°C . m ² / W	cf. § 2.6.2)

La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction. Les notations pour ce schéma et pour les équations sont les suivantes :

1.3.5 La Variation du courant :

La variation du courant en fonction de la tension V_c pour un éclairement donné G (en W / m²), une température de cellule T_c et une vitesse de circulation de l'air ambiant d'air (en m / s) autour de la cellule est représentée par l'équation suivante :

$$I_c = I_1 - I_0 \left(\exp \left[\frac{e(V_c + I_c.R_s)}{A k T_c} \right] - 1 \right) - \frac{V}{R_{sh}} \quad (I.1)$$

$$I_d = I_0 \left(\exp \left[\frac{e(V_c + I_c.R_s)}{A k T_c} \right] - 1 \right) \quad (I.2)$$

$$I_c = I_1 - I_0 \left(\exp \left[\frac{e(V_c + I_c.R_s)}{A k T_c} \right] - 1 \right) - \frac{V}{R_{sh}} \quad (I.3)$$

L'équation devient alors, en exprimant V_c en fonction de I_c :

$$V_c = \frac{A k T_c}{e} \ln \left(\frac{I_c - I_1}{I_0} + 1 \right) - I_c.R_s \quad (I.4)$$

(I.5)

$$I_c = I_l - I_o \left\{ \exp \left[c \frac{(V_c + I_c \cdot R_s)}{A \cdot k \cdot T_c} \right] - 1 \right\}$$

Par extension et par facilité,

Les professionnels caractérisent un module PV simplement par :

La puissance nominale aux conditions de fonctionnement standard (STC);

$$N_{\text{ominale}} = P_{\text{max}} \text{ (W) Watt}$$

La tension nominale du module PV (en général 12, 24, 48 Vcc; V_{nominale} (V) Volt).

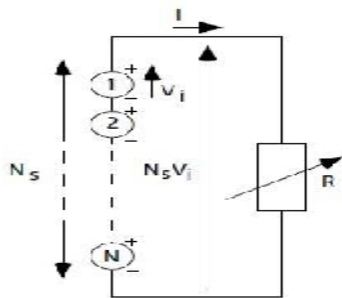
$$12 \leq V_{\text{nominale}} \leq 24$$

$$24 \leq V_{\text{nominale}} \leq 48$$

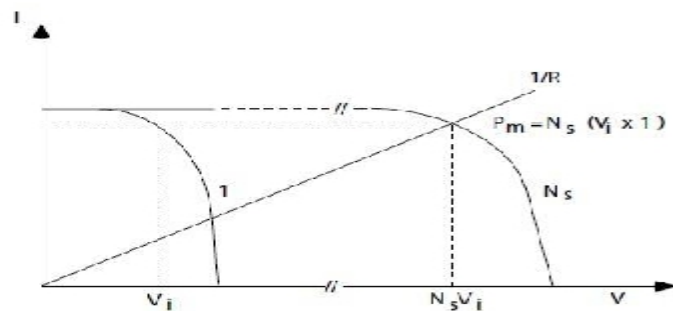
1.4 - Association des cellules :

1.4.1 - Association série :

Ici les tensions des cellules s'additionnent, augmentant ainsi la tension totale de générateur.



-A-



-B-

Figure 2-4 : -A- Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série.

-B- Caractéristique $I(V)$ d'un groupement des cellules en série.

1.4.2 - Association parallèle : C'est le courant qui augmente.

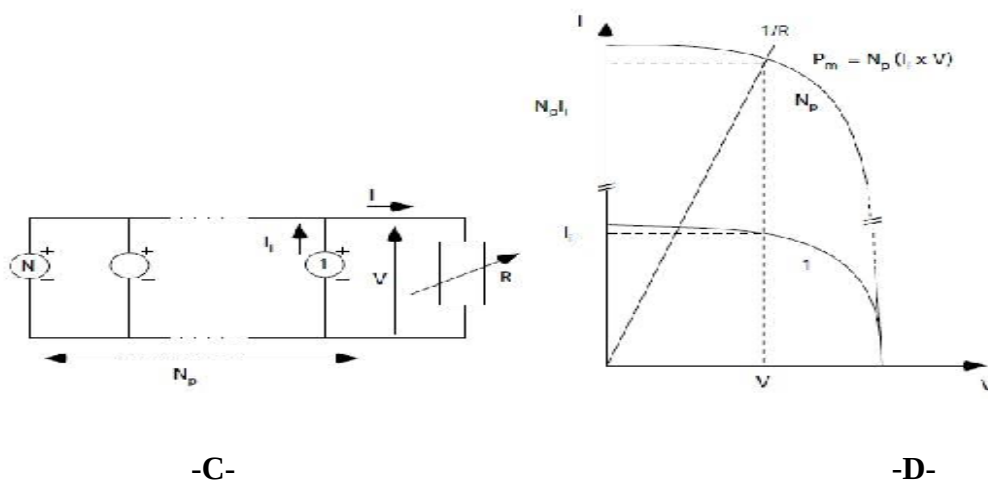


Figure 2-5 : -C- Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle.

-D- Caractéristique $I (v)$ d'un groupement des cellules en parallèle.

1.4.3 - Association mixte :

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle. Cette interconnexion des modules forme un module photovoltaïque panneaux solaire.

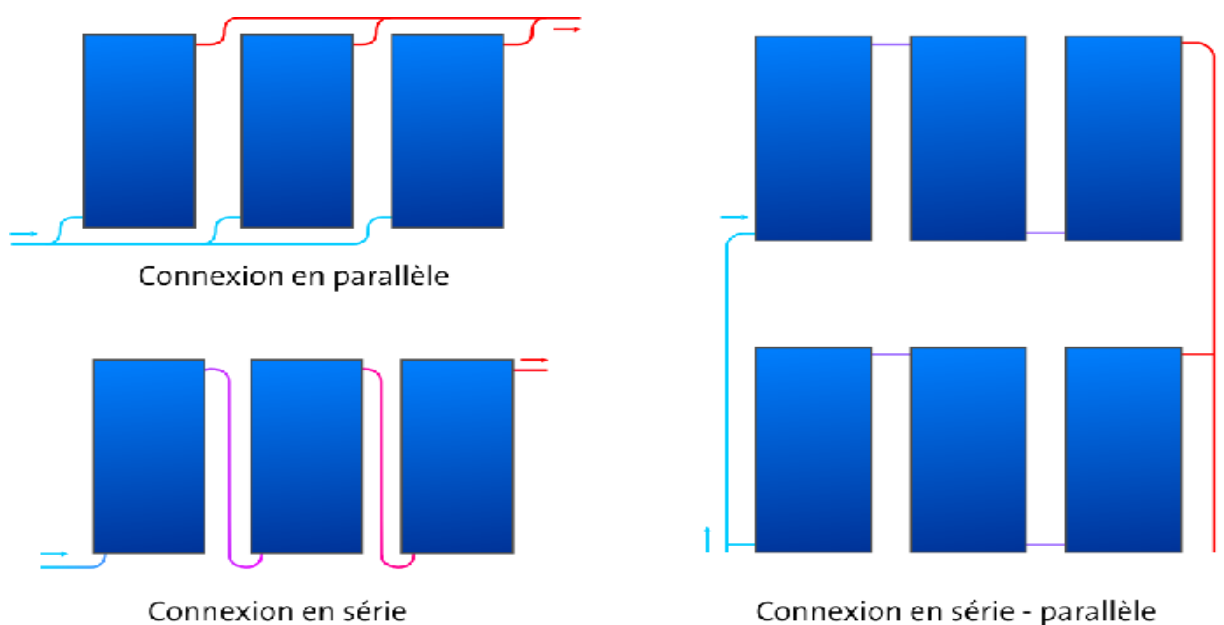


Figure 2-6 : schémas association mixte des panneaux

1.4.4 - Influence du rayonnement sur les cellules[7]

La cellule photovoltaïque réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue, mais toujours avec un coefficient de rendement faible.

La variation des caractéristiques est représentée sur les courbes de la figure -3-.

Pour Différents niveaux d'irradiation, le changement du courant optimal est important.

Selon les conditions météorologiques, nous obtenons différentes courbes avec différentes Puissances maximales au cours d'une même journée.

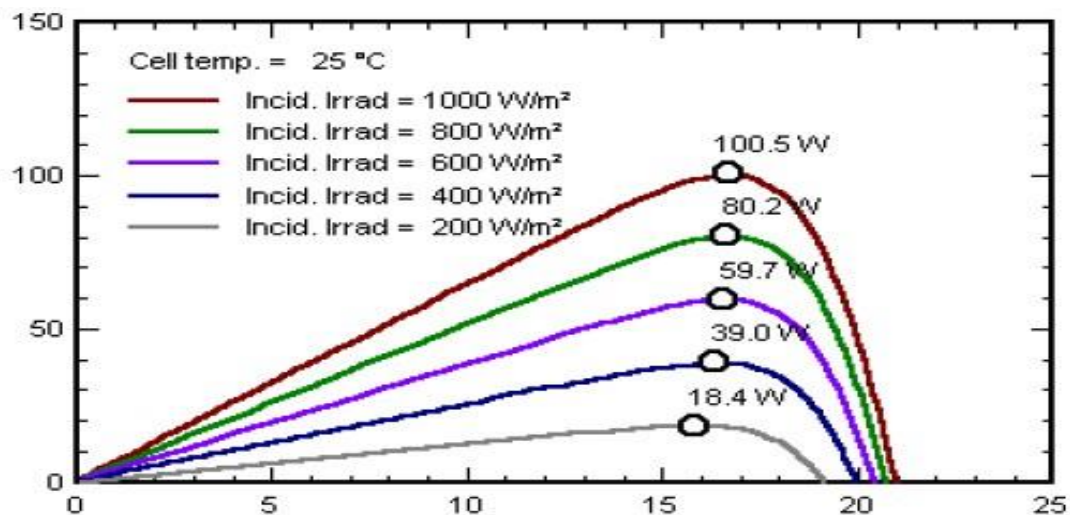


Figure 3 : Influence de rayonnement sur la caractéristique I-V

Même chose remarquée sur les différentes courbes avec différentes puissances maximales. En fixe la température à 25 c°

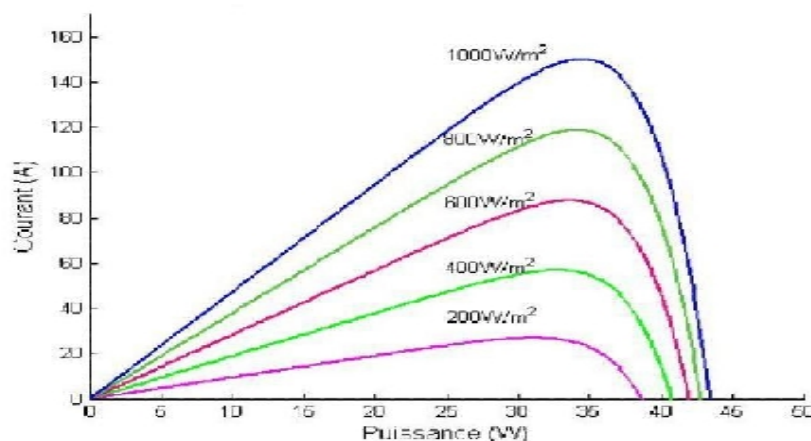


Figure 3-1 : Influence de la puissance sur la caractéristique P-V

1.4.5 - Influence de la température sur le rendement des cellules :

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la base des cellules photovoltaïques est une jonction PN. Ceci nous laisse envisager que son rendement variera selon la température de la jonction.

La figure 3-2 ci-dessous montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule.

En fixe l'éclairement à $1000 \text{ W} / \text{m}^2$

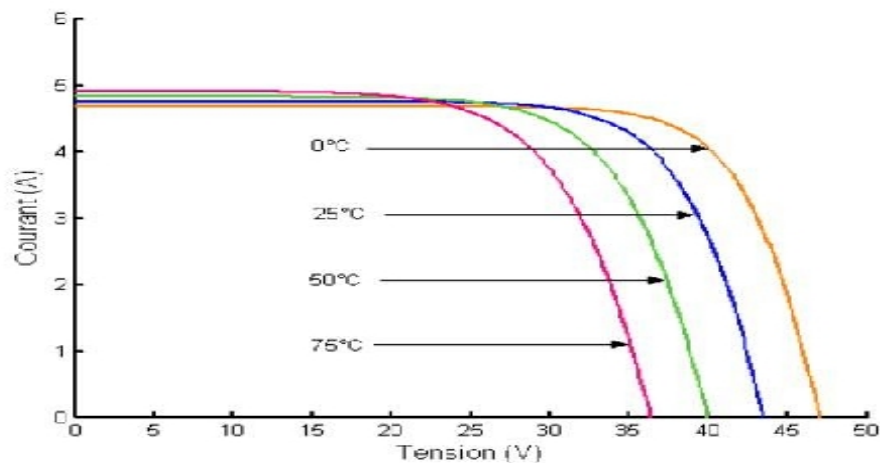


Figure 3-2 : Influence de la température sur la caractéristique I-V

Même chose remarquée sur la courbe de puissance. En effet, l'augmentation de la température ; Se traduit par une diminution de la puissance maximale disponible.

En fixe L'éclairement à $1000 \text{ W} / \text{m}^2$

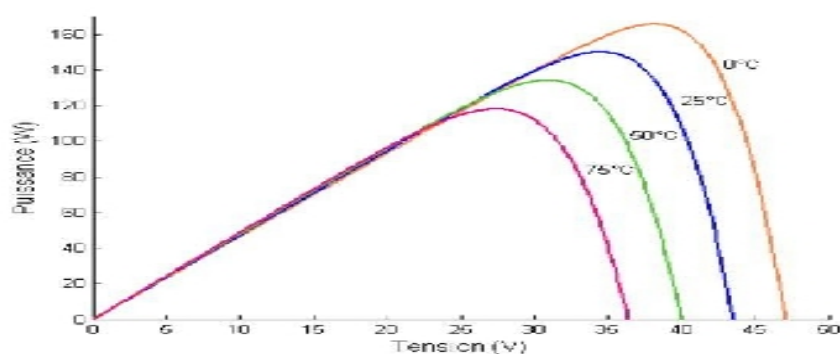


Figure 3-3 : Influence de la température sur la caractéristique P-V.

1.5 - Le champ photovoltaïque :

1.5.1 – Le module photovoltaïque :

L'association mixte de plusieurs cellules photovoltaïque forme un module appelé aussi panneau solaire.

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge de 12 volts et les modules auront donc généralement 36 cellules.

De plus la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque.

Les modules peuvent également être connectés en série et en Parallèle



Figure 3-4 : Module photovoltaïque.

1.5.2- Caractéristiques électriques des modules

La puissance-crête (W_c) d'un module photovoltaïque est la puissance électrique maximale qu'il peut fournir, dans les conditions de mesures Normalisées suivantes :

- Lorsqu'il est connecté à une charge optimale ;
- Lorsqu'il reçoit du soleil une puissance de $1\,000\text{ W/m}^2$. Ceci correspond approximativement à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil le midi par temps clair;
- Lorsque la température à la jonction des cellules est de 25°C .

Il s'agit donc de conditions idéales conventionnelles qui sont très rarement remplies dans la pratique. La figure 2.12 montre l'influence de la luminosité sur la production électrique d'un module typique de 50 Wc.

Le courant de sortie (A) est affecté principalement par l'intensité de la lumière. La tension de sortie (V) du module varie peu. La puissance maximale (P_m) de ce module se situe autour de 16 volts à 25 °C et autour de 15 volts à 47 °C. L'influence de la température est visible surtout au niveau de la tension.

1.5.3 – Le générateur photovoltaïque :

L'interconnexion de plusieurs modules, en série ou en parallèle, permet d'obtenir une puissance plus grande, formant ainsi un générateur photovoltaïque appelé aussi champ photovoltaïque.

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopiles assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

En effet, une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension entre 0.5 et 1.5 Volt selon les technologies. Il faut presque toujours plusieurs photopiles en série pour générer une tension utilisable.

On réalise donc des modules de diverses puissances selon la surface mise en œuvre (1 à 150 Wc par module) capables de générer du courant continu en basse tension lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Ces modules constituent la partie Productrice d'énergie dans un générateur photovoltaïque.

Comme le montre le schéma suivant :

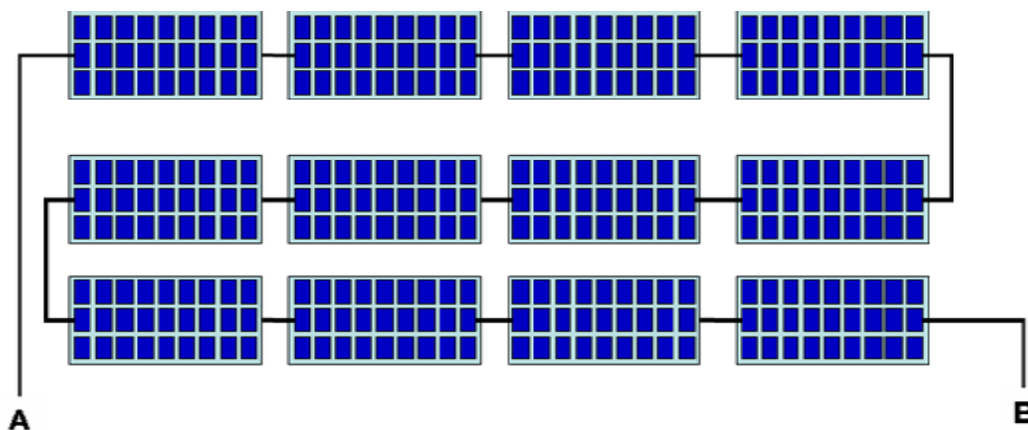


Figure 3-5 : Champs photovoltaïque

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV.

L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu.

Elle peut aussi être utilisée en reliant directement les modules à la charge sans les batteries (ex. : pour une pompe solaire, l'eau sert de stockage), ou en les branchant sur un réseau électrique. Il est également possible de combiner la sortie du champ PV avec d'autres sources d'énergie telles une génératrice ou une éolienne qui serviront d'appoint, si l'ensoleillement n'est pas suffisant.

1.6 Les systèmes Photovoltaïques :

Bien qu'il existe une grande variété de systèmes photovoltaïques, on peut cependant les classer en six groupes distincts. Les trois premiers groupes sont des systèmes autonomes, non reliés à un réseau électrique. Les trois autres types sont des systèmes PV reliés différemment au réseau électrique.

1.6.1 Système autonome sans batterie.

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex. : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex. : pompe à eau : le réservoir d'eau sert de stockage).

1-6-2 Système autonome avec batterie.

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour.

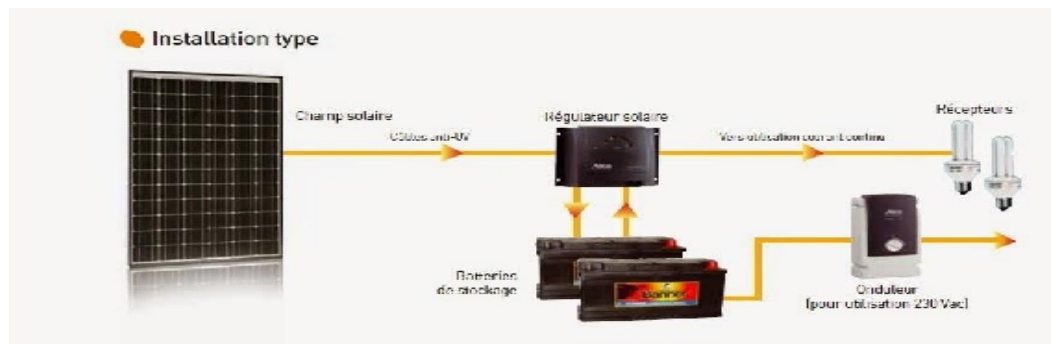


Figure 4 : système autonome avec batterie

1-6-3- Système hybride PV/génératrice. [8]

Ce système utilise les avantages de l'énergie photovoltaïque et de la génératrice au diesel, au propane ou à l'essence. Le système photovoltaïque fournit une énergie intermittente mais souvent moins coûteuse en régions éloignées

La génératrice sert d'énergie d'appoint, selon la demande. Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport du carburant sont élevés et où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système photovoltaïque seul avec les batteries.

Les systèmes hybrides PV/génératrices sont souvent utilisés pour les tours de communications ainsi que pour les refuges et les camps forestiers en régions éloignées. Ils peuvent également être couplés avec d'autres sources d'énergie telles les éoliennes et les microcentrales hydrauliques, lorsqu'il y a une complémentarité des productions électriques.

1.6.4 Système PV sur réseau diesel.

Ce système est utilisé principalement dans les communautés ou les villages éloignés. Le générateur PV est branché en parallèle avec les génératrices au diesel du réseau villageois et fournit l'électricité sur ce réseau lorsque l'ensoleillement le permet. Il permet de réduire la consommation d'un carburant diesel très coûteux en régions éloignées et diminue les temps de fonctionnement des génératrices.

1.6.5 Système PV sur réseau décentralisé.

Ce système photovoltaïque est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé près de la demande. Il peut être installé, par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour.

Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise sur le réseau. Ce système permet de diminuer les frais de transport d'électricité et la surcharge de ligne, particulièrement en ce qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïque tels les systèmes d'air conditionné (gestion de la demande).

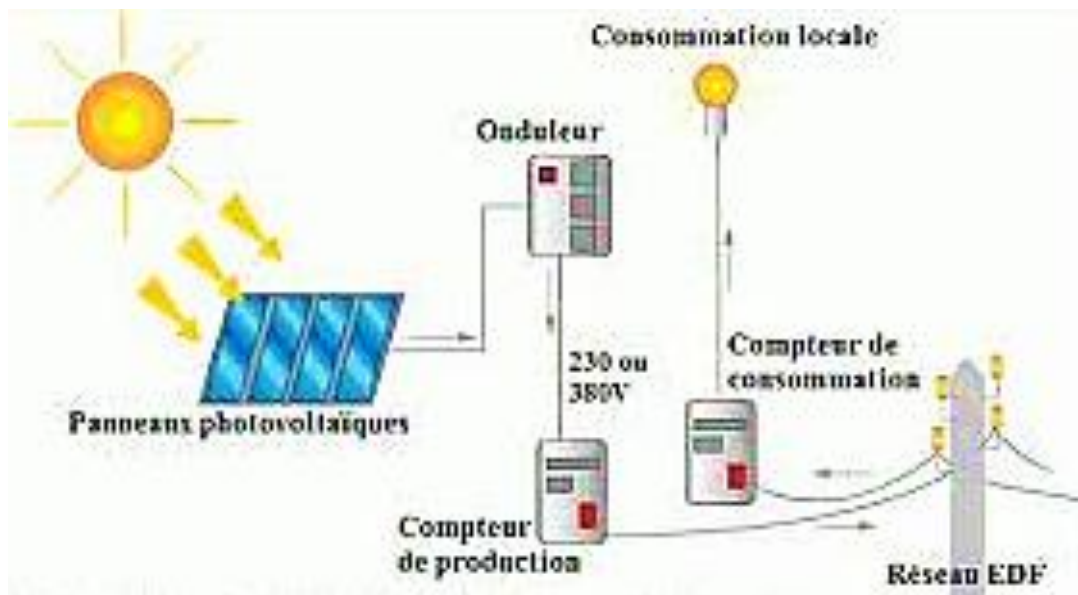


Figure 4-1 : Système PV sur réseau décentralisé

1.6.6 Système PV centralisé.

Ce système fonctionne comme une centrale électrique normale mais doit tenir compte de la fluctuation de la production d'énergie qui est liée à l'ensoleillement.

1.7 Stockage d'énergies :

Le stockage de l'énergie dans les systèmes Photovoltaïques Autonomes et en général assuré par des **batteries**, composant utilisé dans la majorité des cas. Seules quelques applications utilisant l'énergie au fil du soleil par exemple du **pompage** ou de la ventilation peuvent se passer d'accumuler l'énergie ; aussi la maîtrise des batteries est un élément essentiel au succès des systèmes autonomes.

Dans ces systèmes le stockage d'énergie représente environ 13 à 15 % des investissements initiaux mais sur une durée d'exploitation de vingt ans, ce coût peut atteindre 50 % des frais totaux ; il est donc primordial d'essayer de réduire ce prix en augmentant la durée de vie des batteries.

En effet, elle est toujours inférieure à celles des panneaux, il faut donc les remplacer plusieurs fois au cours de la durée de service du système (toutes les deux, cinq ou dix ans selon le cas).

Les batteries utilisées dans les systèmes solaires autonomes sont en générales de type plomb-acide (Pb). Les batteries cadmium-nickel (NiCd) ne sont plus que rarement utilise car leur prix est beaucoup plus élève et elles contiennent du cadmium (toxique) .leurs remplaçantes , les batteries nickel-métal-hydrure (NiMH) sont intéressantes et on en donnera quelques paramètre typique ,leurs emploi étant plus fréquents dans les appli- cation professionnelles haut de gamme ,ou de très petite traille ($< 2\text{Ah}$), d'autres batte- ries sont en développement principalement chez les constructeurs s'intéressant à la voi- ture électrique .

1.7.1 Les batteries Accumulateur (d'énergie ou de Charge) : [10]

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules PV. Il y a né- cessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis- à-vis de l'apport énergétique solaire.

En effet :

- La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils uti- lisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;
- L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques).

Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électri- cité. Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est la bat- terie d'accumulateurs

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie.** Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.
- **Courant de surcharge.** Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pen- dant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils re- quérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.
- **Stabilisation de la tension.** Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonc- tionnement à une tension optimisée.

1-7-2 Caractéristiques des batteries (Accumulateurs) :

Les systèmes photovoltaïques exigent habituellement des batteries qui peuvent être chargées pendant le jour et déchargées durant la nuit. Ces batteries doivent pouvoir fonctionner ainsi pendant des années sans marquer plus qu'une détérioration minimale de leur rendement, tout en satisfaisant la demande, les jours où il n'y a que peu ou pas de soleil.

Il y a donc deux paramètres importants à considérer lors de la conception du système :

- **Jours d'autonomie (réserve)**: nombre de jours pendant lesquels la batterie doit fournir la puissance requise sans être rechargée ni subir de dommages.
- **Fonctionnement à cycle de décharge faible ou profonde**: autonomie assurée soit par une batterie de grande capacité à faible décharge (cycle à faible décharge), soit par une batterie de capacité moindre à décharge profonde (cycle à décharge profonde).

Les systèmes qui fonctionnent selon un **cycle à faible décharge** sont dimensionnés de manière à employer au maximum de 15 % à 25 % de la capacité de la batterie chaque jour. Par exemple, si la demande journalière s'établit à 1200 Wh (100 Ah à 12 V), la batterie doit avoir une capacité de 400 à 670 Ah.

En concevant un système à cycle de faible décharge, on prolonge la durée de vie des batteries, ce qui permet d'employer des batteries d'accumulateurs au plomb-calcium, et l'on dispose d'une réserve automatique pour pallier la non-production d'énergie par mauvais temps.

Les installations canadiennes de télécommunications aménagées en régions éloignées, par exemple, sont souvent conçues en fonction d'une autonomie de 20 à 30 jours.

Dans le cas d'un système qui fonctionne selon un **cycle à décharge profonde**, la batterie d'accumulateurs est dimensionnée en fonction d'une consommation journalière de 50% à 80% de sa capacité.

Les accumulateurs au plomb-antimoine peuvent supporter ce genre de traitement pendant plusieurs années. Presque toute la capacité est utilisée, de sorte qu'il faut moins d'accumulateurs ; mais on dispose aussi de peu de réserve pour alimenter la charge pendant les périodes prolongées de mauvais temps.

La dimension effective de la batterie pour un système photovoltaïque dépend aussi du régime de décharge au cours de chaque cycle et de la température de fonctionnement (la plus faible), car, comme le démontre la figure 3.5, la capacité utilisable peut être très réduite à faible température et à un régime de décharge rapide.

1-7-3 Degré de charge et profondeur de décharge

Le **degré de charge** (SOC : state-of-charge) est une fraction ou un pourcentage de la pleine charge de l'accumulateur, dans lequel 100 % représente la pleine charge et 0 %, la décharge complète.

La **profondeur de décharge** ou **degré de décharge** (DOD : degree of- discharge) est la fraction ou le pourcentage de la décharge que l'accumulateur atteint avant d'être rechargé pour une utilisation déterminée. Elle varie habituellement entre 20 % (faible décharge) et 85 % (décharge profonde),

1-7-4 Tension

La tension réelle de l'accumulateur dépend de son type et de la concentration ou densité relative de l'électrolyte. Elle varie selon le degré de charge, le régime de charge/décharge et la température. Elle est légèrement plus élevée pendant la charge que pendant la décharge. La figure 3.6 montre comment la densité relative et la tension des batteries au plomb-acide et au Ni-Cd (tension seulement) varient en fonction de la profondeur de décharge.

la tension de charge finale d'une batterie au plomb-acide varie selon la température. Lorsque les températures sont basses, la batterie doit être chargée à une tension plus élevée.

1-7-5 Capacité utilisable

La capacité utilisable de l'accumulateur est le pourcentage de sa capacité nominale qui peut effectivement être consommé pour une utilisation déterminée. Elle dépend de son régime de décharge et de sa température :

- Plus le régime de décharge est élevé (c'est-à-dire rapide), plus la capacité utilisable de l'accumulateur est faible.
- Plus la température baisse, plus la capacité utilisable de l'accumulateur diminue.

La capacité des batteries s'exprime habituellement en fonction d'un régime de décharge de 8, 10 ou 20 heures à 25 °C, alors que pour les systèmes photovoltaïques, il est courant d'utiliser des régimes de décharge de 100 heures (C/100). Ainsi, la capacité utilisable serait plus élevée pour une batterie d'un système PV.

1-8 Caractéristiques et options des régulateurs de batteries

Les points suivants sont à observer lors de l'achat de régulateurs de batteries :

- *Choix entre les régulateurs de type shunt ou série* – Lorsque les batteries ont atteint leur pleine charge, le régulateur shunt intercepte le courant en provenance du champ et l'envoie directement à la terre (ou à une borne négative dans le cas d'un système sans mise à la terre), par l'intermédiaire d'une charge résistive. Le régulateur série ouvre le circuit électrique pour couper le courant en provenance du champ PV.

Capacité :

- – La capacité correspond normalement à la limite supérieure de courant ; la plupart des régulateurs sont conçus pour une tension nominale fixe.
- *Diode anti-retour intégrée* – Le régulateur intègre souvent une diode anti-retour afin que la batterie ne se décharge pas dans le champ PV.
- *Compensation thermique* – Habituellement adaptée à un type d'accumulateurs précis (par exemple, au plomb-acide) pour une gamme de températures données.
- *Capacité de charge d'égalisation ou d'entretien* – Certains régulateurs permettent une surcharge de la batterie pendant une période prédéterminée afin d'égaliser la charge entre les cellules et de diminuer la stratification de l'électrolyte.
- L'ampèremètre et le voltmètre sont souvent intégrés dans le régulateur.
- Protection contre les surtensions dues à la foudre.
- *Protection contre l'inversion de polarité* – Cette caractéristique protège les circuits contre les dommages résultant d'une mauvaise connexion accidentelle.
- *Distribution de charge* – Cette caractéristique permet de mettre certaines charges en circuit ou de les délester, lorsque la tension du système est inférieure ou supérieure à des valeurs prédéterminées.

Elle permet Notamment le démarrage d'une génératrice et l'envoi d'un signal d'alarme lorsqu'une basse tension est détectée. Elle peut aussi ajouter une charge fictive lorsque la tension est trop forte.

Introduction :

Dans nos jours, la demande d'eau est plus en plus importante. Le problème se multiplie en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie.

La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier dans les régions désertiques.

En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Un système de pompage solaire fournit aux personnes, aux animaux et aux terres agricoles une qualité d'eau dépendant du forage ou de la source utilisée. **Un système de pompage solaire au fil du soleil doit être dimensionné en fonction du débit souhaité et de la profondeur du forage.** Bien entendu, la localisation du projet a un impact considérable sur la taille du champ photovoltaïque.

Les systèmes de pompage solaire au fil du soleil possèdent un champ d'application spécifique qui ne convient pas à toutes les situations et à toutes les applications. Les caractéristiques de l'énergie solaire sont d'être périodique (jour/nuit) et continuellement variable en fonction de l'ensoleillement au cours d'une journée.

Souvent, le pompage au fil du soleil n'est pas adapté à la demande des usagers. Alors que l'énergie solaire est plus intense au milieu de la journée, les besoins en eau ne sont pas très élevés en cette période.

Ainsi, la courbe de débit de l'eau pompée par l'énergie solaire ne coïncide pas avec celle de la demande en eau.

Pour cette raison, il peut être nécessaire de **stocker l'eau dans un réservoir, de telle sorte qu'elle puisse y être extraite au besoin.** Son dimensionnement devra prendre en compte le fait qu'une partie de l'eau requise chaque jour devra être stockée durant la journée, au fur et à mesure que la pompe extrait l'eau.

Dans ce chapitre on traite plus particulièrement les éléments nécessaires qui consistent une station de pompage solaire.

1- Le pompage solaire [11]

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux méthodes sont possibles.

a) Pompage « au fil du soleil » :

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.

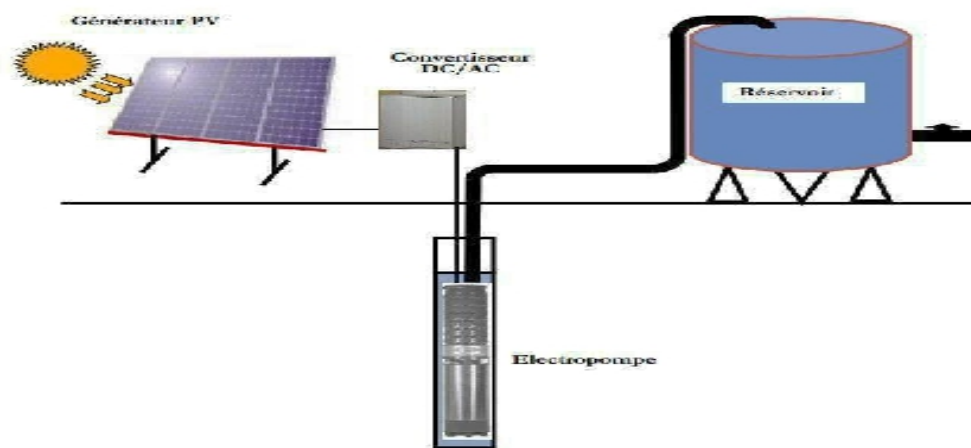


Figure 1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.

b) Pompage avec stockage d'énergie :

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.

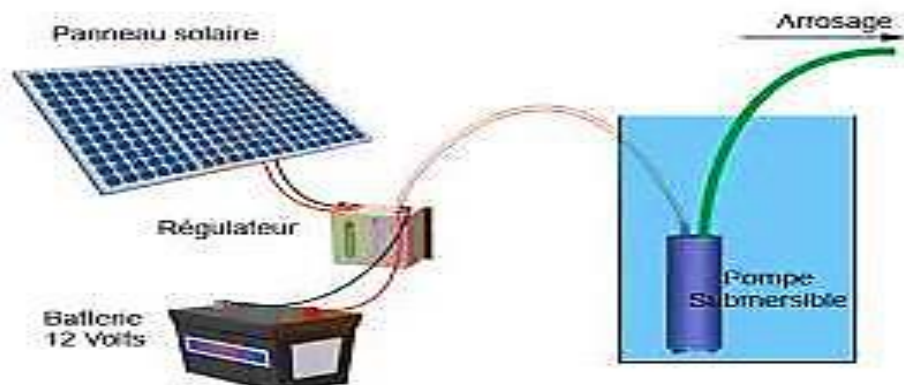


Figure 2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

-2- Description :

Une pompe solaire peut être composée avec plusieurs technologies différentes, volumétrique (Shurflo), centrifuge ou hélicoïdale (Lorentz) et pour des utilisations variées comme le pompage de surface (étang, lac, rivière, cuve) et le pompage immergé (puits, forage).

L'avantage de cette alimentation en courant continu est que l'on va pouvoir adapter la vitesse de rotation en fonction de l'énergie disponible, ce qui va permettre de pomper même avec un ensoleillement ou une tension batterie faible. De plus, de parts la technologie ou via à un contrôleur, on se débarrasse des pointes de courant au démarrage.

-3- Fonctionnement :

Généralement, lorsqu'on veut faire fonctionner un récepteur à tout moment, jour ou nuit, ensoleillement ou non, avec un système photovoltaïque, on utilise une batterie d'accumulateurs. Pour le pompage, c'est différent. En effet, il est plus facile et moins onéreux de stocker de l'eau que de l'énergie. De plus, on s'affranchie de la durée de vie de la batterie et de l'entretien.

Dans ce cas, on pratique le pompage "**au fil du soleil**". La pompe est couplée directement au champ solaire photovoltaïque via un contrôleur qui va permettre, entre autres, d'optimiser le rendement journalier de la pompe. Le débit varie en fonction de la vitesse de rotation et donc de l'ensoleillement.

Dans certains cas, le fonctionnement sur batterie sera inévitable, on essayera de rester sur des pompes avec une tension d'alimentation semblable à celle d'une batterie 12 V, 24 V ou 48 V voir 36 V et 96 V.

-4- Définitions : [12]

Pour le pompage en général, on utilise un vocabulaire bien spécifique, voici les termes les plus couramment employés et leurs définitions

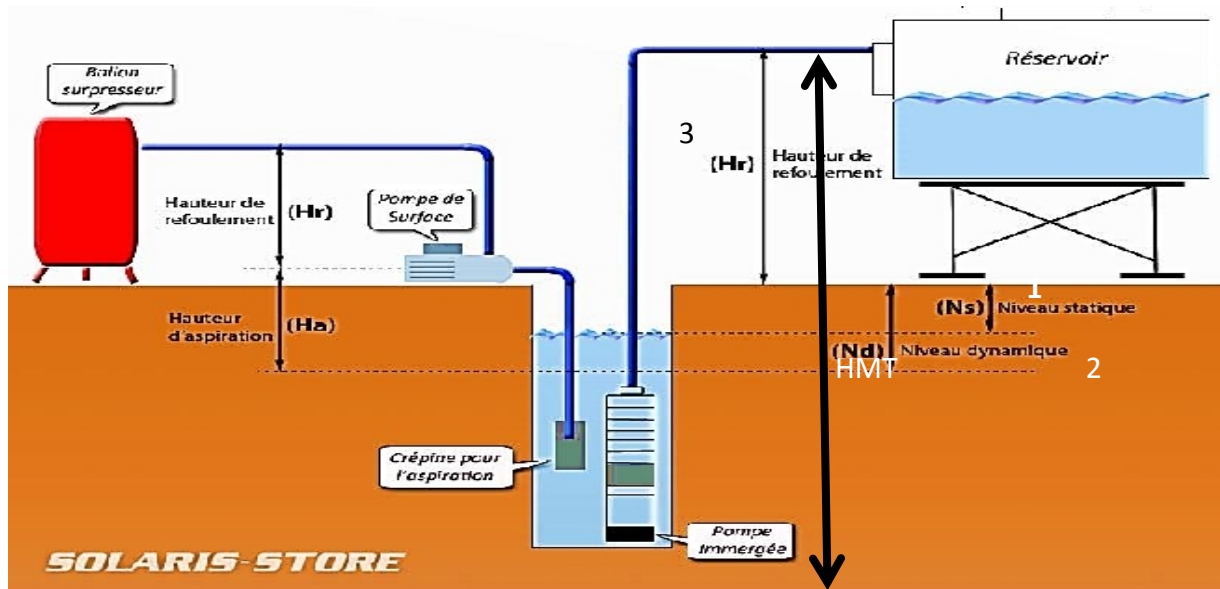


Figure 3 : schéma explicative de fonctionnement de pompage solaire

1/ Niveau statique (N_s)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol lorsque la pompe est arrêtée, il n'y a donc pas de variations de niveau.

2/ Niveau dynamique (N_d)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol lorsque la pompe est en marche. Le niveau peut être amené à varier et même fortement dans des forages par exemple ou en fonction des saisons (évaporation). Cette information est obtenue auprès du foreur.

3/ Hauteur de refoulement (Hr)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le sol et l'arrivée au point le plus haut de la cuve, du réservoir, du robinet, surpresseur, etc...

4/ Hauteur d'aspiration (Ha)

Uniquement pour les pompes de surface, c'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau dynamique et la pompe.

5/ Perte de charge (ΔP)

C'est la perte de pression et de débit provoquée par les frottements de l'eau sur les parois des tuyaux. Plus le tuyau est long et le débit important, plus les pertes de charge augmentent. Elles sont exprimées en pourcentage (%) ou en (bars).

6/ Pression utile (Pu)

C'est le besoin en pression (bars) à l'arrivée. Pour un réseau domestique, dans une habitation par exemple, la pression utile est en général de 3 bars, il est donc important d'en tenir compte dans le dimensionnement de la pompe.

6/ Hauteur Manométrique Totale (HMT)

C'est le total des contraintes hydrauliques liées à la hauteur (**H**), la longueur de tuyau (**L**), les pertes de charges (**ΔP**) et la pression utile à l'arrivée (**Pu**). Exprimé en mètres (m).

Soit pour une pompe de surface : **$H_a + H_r + L + P_u + \Delta P$**

Et pour une pompe immergée : **$N_d + H_r + L + P_u + \Delta P$**

-5- Composants d'un système de pomaage

Un système de pompage solaire est généralement constitué de :

- **Le générateur photovoltaïque.**
- **Le groupe de motopompe.**
- **L'électronique de commande.**
 - **Les éléments du stockage.**

5.1- Le générateur photovoltaïque :

Modules photovoltaïques interconnectés en une seule unité de génération d'électricité, montés sur des structures diverses (support ou châssis, toits et autres).

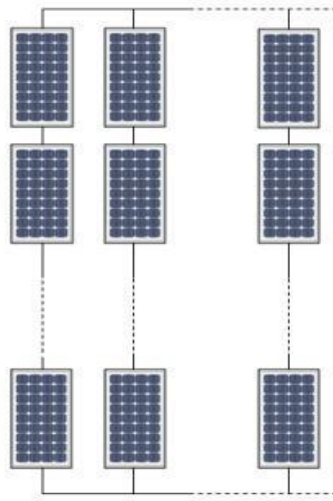


Figure 4 : Champ photovoltaïque

5.2- Le groupe de motopompe :

La classification des pompes peut se faire selon différents critères : conception de la pompe, sa position dans le système et le type du moteur utilisé.

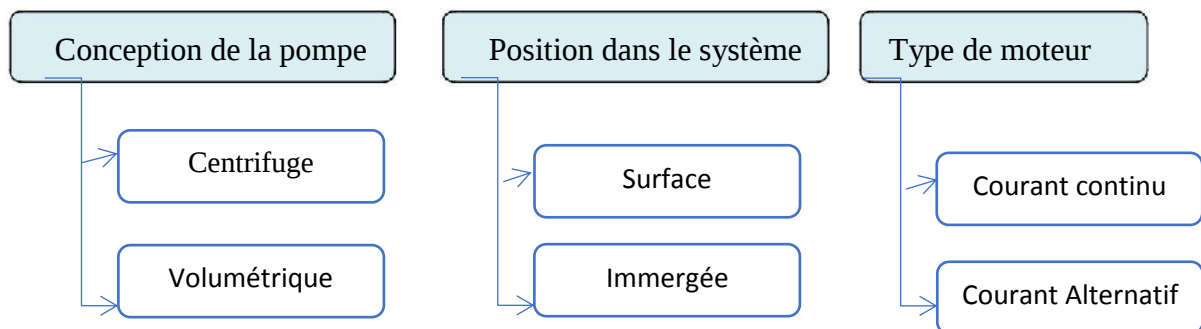


Figure 5 : Classification des pompes

-6- Classification selon la conception de la pompe :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide.

Il existe deux types de pompes : **les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.**

a) Pompe centrifuge :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rente au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

Afin d'augmenter la pression, donc la hauteur de refoulement, plusieurs étages d'aubages peuvent être juxtaposés sur même arbre de transmission. Chaque étage fait passer l'eau à l'étage suivant en relevant la pression jusqu'à l'étage final, délivrant un volume d'eau à pression élevée. Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration.

La pompe centrifuge est conçue pour une HMT relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un

Bon débit. La puissance consommée, proportionnelle à $Q \times HMT$, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse.

On utilisera habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres).

Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul.

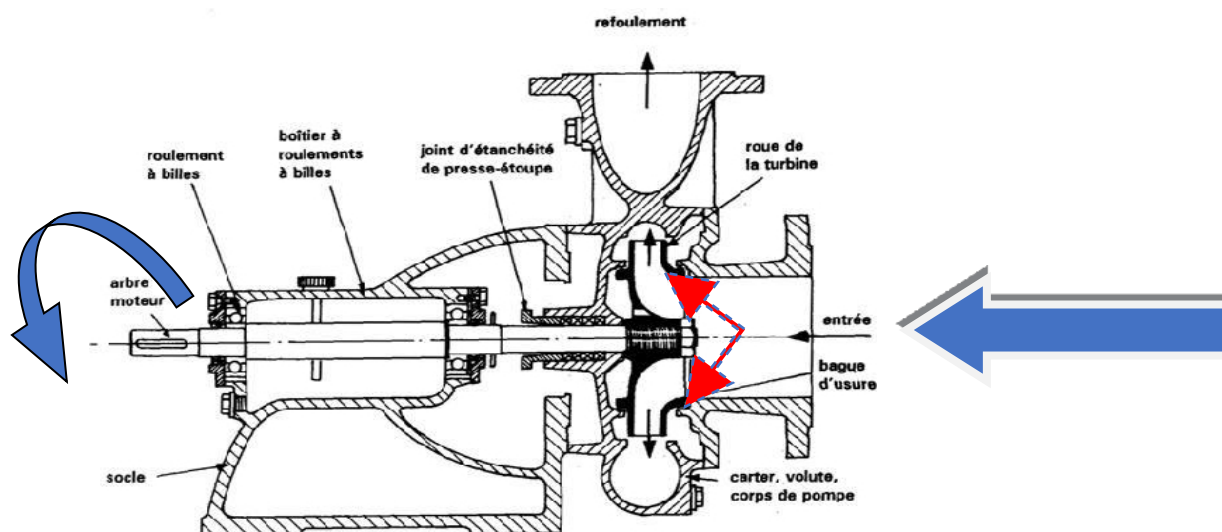


Figure 5-1 : Schéma d'une pompe centrifuge

Le rendement de la pompe centrifuge est fonction du débit ; elle fonctionne de façon plus efficace à une certaine HMT et à une vitesse de rotation prédéterminée. Il est donc important de bien concevoir le dimensionnement de la pompe selon les conditions du terrain.

Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque parce que le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante. De plus, l'exhaure de l'eau domestique se fait traditionnellement à partir de puits, à des profondeurs de 10 à 50 mètres, qui conviennent bien aux pompes centrifuges à étages multiples.

Ces pompes peuvent également s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique entre 30 et 100 mètres.

a) -1- Caractéristiques de la pompe centrifuge immergée : [13]

- ✓ Son diamètre est soit de 4" (95 mm), soit de 6" (142 mm). Le corps de pompe est en acier inoxydable, les roues et les diffuseurs étant soit en acier inoxydable, soit en matériau synthétique. Ces matériaux présentent une très bonne résistance à l'abrasion.
- ✓ Le corps d'aspiration est protégé par une crépine contre les grosses impuretés (> à 3mm). Un clapet anti-retour est intégré à la tête de pompe, qui est taraudée pour le raccordement au tuyau de refoulement. La lubrification est assurée par l'eau pompée.
- ✓ Le nombre d'étages est lié à la hauteur manométrique totale de refoulement.
- ✓ Le type d'aubage de chaque étage est lié à la puissance hydraulique à fournir pour la HMT nominale.

- ✓ Les rendements hydrauliques des pompes solaires sont élevés (utilisation de technologies de pointe). Ils sont de l'ordre de 55% à 60 % au point de fonctionnement nominal.
- ✓ La durée de vie peut être estimée entre 5 et 7 ans (elle est fortement liée à la qualité de l'eau).
- ✓ L'entretien courant consiste au nettoyage des étages (boue, sable, déchets si la pompe est installée dans un puits). La fréquence de celui-ci dépend de la qualité de l'eau pompée.

b) Pompe volumétrique :

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement De va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations Successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et À l'orifice de refoulement.

Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à Palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers Types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres).

L'entraînement est habituellement assuré par un arbre de transmission très long, à partir d'un moteur électrique monté en surface.

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement Indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces Pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau. On les utilise parfois comme pompes de surface lorsque le couple est lent et irrégulier et que le débit demandé est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes Multiples.

Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

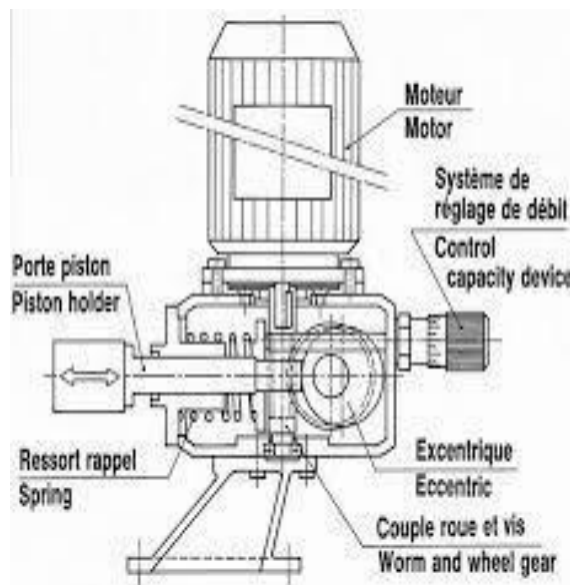


Figure 5-2 : Schéma d'une pompe volumétrique.

7- Classification selon la position de pompe :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : Les pompes de surface, et les pompes immergée.

a) Pompes de surface :

Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper.

Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.

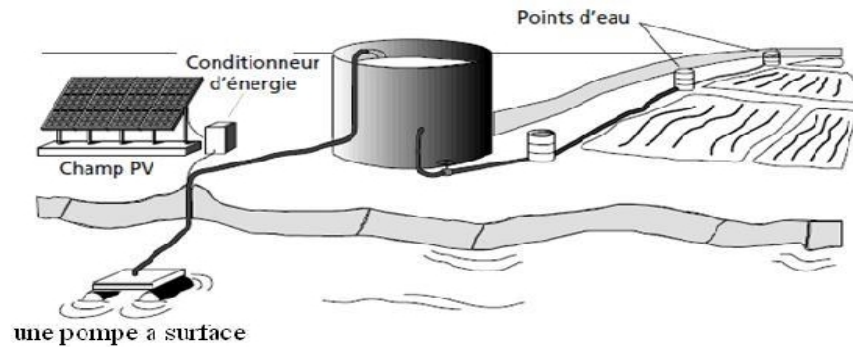


Figure 6: Pompes de surface.

b) Pompes Immergées :

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface.

La transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

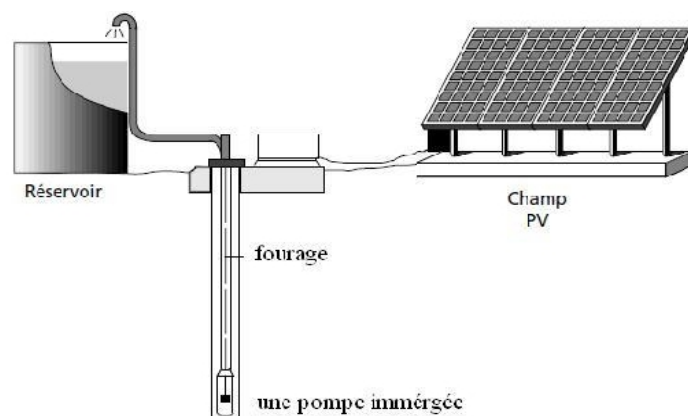


Figure 7 : Pompe immergée.

-8- Classification selon le moteur utilisé : [14]

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs : à courant continu et alternatif.

a) Moteur à courant continu

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique.

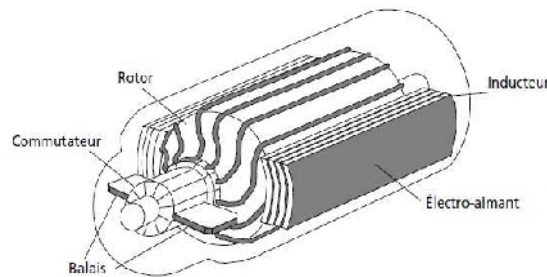


Figure 8 : Moteur à courant continu avec balais

Le couplage est direct ou avec adaptation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance.

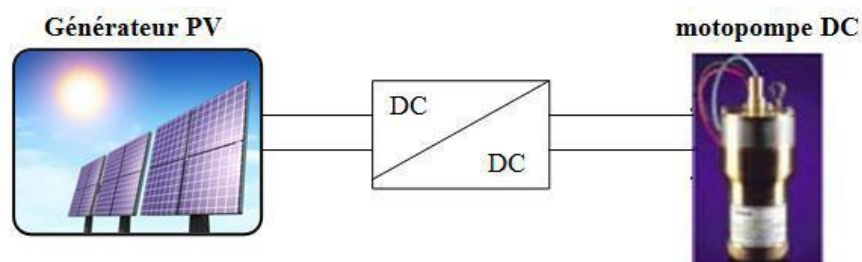


Figure 9 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.

a) Moteur à courant alternatif

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts.

L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire.

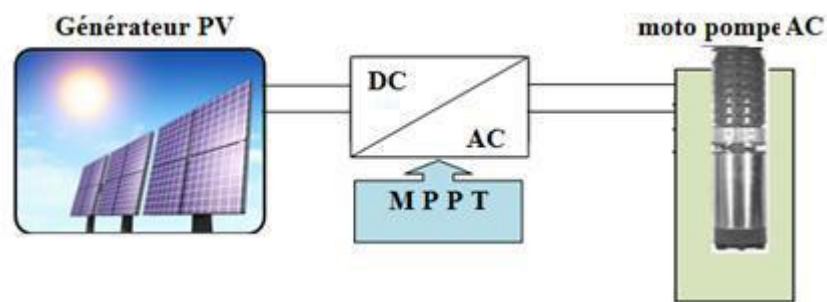


Figure10 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC.

-9- Electronique de commande :

a) Le convertisseur DC/DC (hacheur) :

Utilisé dans le cas d'une pompe montée à un moteur à courant continu.

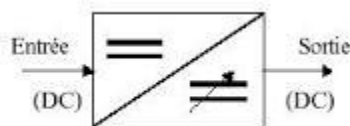


Figure11 : Conversion DC / DC

a) Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif

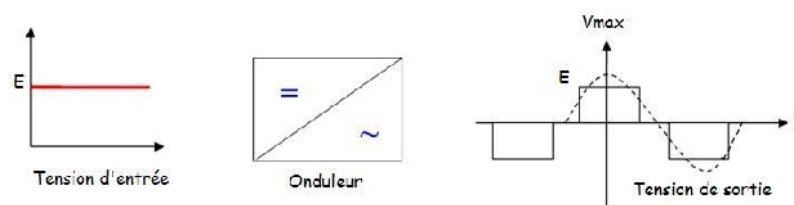


Figure 12 : Conversion DC / AC.

-10- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les composants essentiels d'un système de pompage photovoltaïque. On verra dans ce qui suit, l'algorithme de dimensionnement à utiliser et on montrera l'intérêt d'un tel système et sa valeur à long terme

Introduction :

Dans ce chapitre en vas voir les déférent composante de système de pompage solaire et l'Energie nécessaires pour valorise l'eau de surface au des puits pour l'utilisation domestiqué aux industrielles pour sa en vas utiliser un dimensionnement des besoin énergétiques et en eau pour réaliser un système autonome d'énergie et de l'eau potable au pour un champs d'agriculteur

En effet dans ce chapitre en vas faire une étude d'un champ d'agriculture pour la région saharienne de Ain Oussara wilaya de Djelfa a la présence d'un forage de 110 m

Le dimensionnement précis est en réalité un processus relative complexe car il y de nombreux paramètres a prendre en considérations, une certaine dose d'impondérable (la météo) ,et surtout de multiple interactions entre les choix .

Par exemple ;la consommation du régulateur de charge doit être ajoute a celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système de pompage solaire .Or le choix du régulateur dépend de la taille du champs photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation d'énergie (irradiation solaire) et la sa puissance .

Ensuite en mesure de dimensionner les différents composants de la pompe solaire et de choisir les caractéristiques de ces éléments pour l'application donnée.

Dans ce chapitre en vas suivre les étapes de calcule d'un système de photovoltaïque permettant de réaliser une installation autonome

1- DONNÉES DE BASE

Les données suivantes seront nécessaires pour dimensionner la pompe solaire et ses composants. Ce chapitre donne une définition des données utilisées en pompage en général et explique les particularités du pompage photovoltaïque.

a) Débit

Le débit (**Q**) est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. En pompage, le débit est habituellement donné en litres par heure (l/h) ou gallons par heure (gph). En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en m³ par jour.

b) Hauteur manométrique totale

La hauteur manométrique totale (**HMT**) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

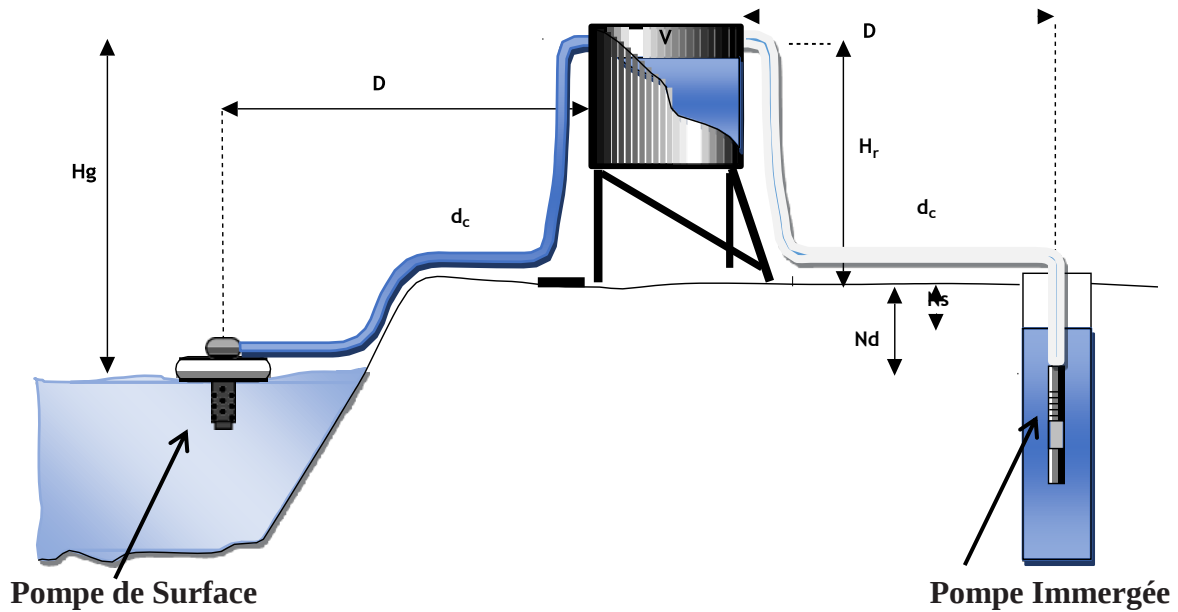
$$\mathbf{HMT = H_g + P_c}$$

Où

H_g = hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (**H_r+N_d**). Pour une pompe de surface sur un plan d'eau, H_g sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.

P_c = pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites (**D**), de leur diamètre (**dc**) et du débit de la pompe (**Q**) et s'expriment en mètres d'eau.

Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10% de la hauteur géométrique totale (voir section sur le dimensionnement de la conduite d'eau).



a) **Niveau statique**

Le niveau statique (**Ns**) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

b) **Niveau dynamique**

Le niveau dynamique (**Nd**) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen. La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique est appelée rabattement. **Rm** est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe.

1- Dimensionnements de la pompe photovoltaïque :

2.1 -Calcul de l'énergie quotidienne requise :

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur pendant une journée est calculée à partir des données de débit et de HMT requises et est exprimée en watt heure. Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (C_H) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé.

Énergie requise pour la pompe :

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

$$E_{elec} =$$

$$\frac{C_H * Q \left(\frac{m^3}{j} \right) * HMT (m)}{R_p}$$

$$C_H = g * \varrho = \frac{9.81 (m.s^{-2}) * 10^3}{3600 \left(\frac{s}{h} \right) \cdot 2,725 \frac{kg.s.h}{m^2}} = \frac{\frac{kg}{m}}{m}$$

où

g = constante de la gravité (9,81 m/s²)

ϱ = la densité de l'eau (1000 kg/m³)

R_p = en général le rendement des groupes motopompes est de 30 % à 45 %, selon le type de pompe et de moteur.

Bien qu'il soit assez complexe de prédire le rendement précis d'une pompe solaire pour des conditions de fonctionnement variables, nous suggérons ici une méthode simplifiée qui permettra de dimensionner le système de pompage avec un degré de précision acceptable. Les trois facteurs les plus importants de cette approche devront être estimés soigneusement afin d'obtenir un dimensionnement satisfaisant. Ce sont les besoins en eau, les données d'ensoleillement et le rendement du groupe motopompe ; Choisi sur la plage de fonctionnement du système. Pour illustrer notre propos et diriger le lecteur dans les différentes étapes de dimensionnement, nous avons préparé les fiches de dimensionnement suivantes en utilisant l'exemple d'une pompe solaire installée dans un village de Ain Oussara wilaya de Djelfa Algérie. L'exemple utilise une pompe au fil du soleil et un groupe motopompe immergé à courant alternatif. Lorsque le système photovoltaïque utilise une batterie, le dimensionnement devra inclure, en plus, les

2-2- Fiche de dimensionnement n° 1 – Estimation de la charge

- Choisir ou définir la charge, c'est-à-dire déterminer le débit requis et la HMT.
 - Débit : déterminer les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal. Noter que le forage doit être capable de remplir ces conditions d'exploitation
 - HMT : mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie.
- Arrêter la configuration du système (type de pompe, moteur, etc.).
- Choisir la tension nominale à la sortie du générateur.
- Choisir le genre de conditionnement de l'énergie électrique nécessaire et en estimer l'efficacité.
- Rajuster la charge aux fins d'optimisation de l'efficacité et la convertir en ampère-heure par jour.

Fiche de dimensionnement n° 1 – Exemple d'analyse de la charge

Fiche de dimensionnement de la charge

Eau domestique

Famile	Nb/Fam	litres/pers.			Total (m ³)
HMT					
Niv. statique	Rabatt.	Niv. dynam.	Haut. réserv.	Pert. tuyau.	HMT
Ns (m)	RS (m)	Nd (m)	Hr (m)	Pc (%)	(Nd + Hr) (1 + Pc)

Selon notre fiche de dimensionnement, pour un Champ d'agriculteur, le débit journalier requis sera de 10 m³ par jour. La HMT de la station a été calculée à 110 mètres.

La pompe sera utilisée dans les limites de hauteur recommandées et les tuyaux auront un diamètre suffisant pour minimiser les pertes dues à la friction.

Dans ces conditions, nous avons choisi, pour notre exemple, une pompe immergée avec un moteur ca. Ce choix a été déterminé par les courbes fournies par le manufacturier, montrant que l'efficacité de la pompe choisie est de près de 55 %, et l'efficacité du moteur ca, d'environ 80 % au point de fonctionnement nominal. Le total de l'efficacité du groupe motopompe (R_p) sera donc de 44 %.

Ainsi, la charge moyenne quotidienne est de wattheures. À 100 volts (tension de fonctionnement nominale du moteur ca), ceci équivaut à ampères-heures par jour.

2-3- Fiche de dimensionnement n° 2 – Définition des conditions du site

- Recueillir les données sur le site.
- Recueillir les données sur l'ensoleillement mensuel moyen selon différentes inclinaisons du champ.
- Recueillir les données sur les moyennes mensuelles de température ambiante.

Exemple de définition des conditions du site

- Lieu: Ain Oussara , wilaya de Djelfa Algérie
- Ain Oussara Latitude: 35°N
- Longitude: 3°O
- Saison d'exploitation : toute l'année
- Température moyenne de fonctionnement : 25-40 °C
- Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible et les besoins en eau sont au maximum.
- Ensoleillement = heures ou kWh/m²

Fiche de dimensionnement n°3 – Dimensionnement du champ

- Choisir inclinaisons du champ.
- Estimer l'ensoleillement minimal pendant la période de fonctionnement.
- Déterminer l'efficacité approximative du champ.
- Estimer la capacité, en watts-crête, que doit avoir le champ.
- Déterminer la configuration du champ, réajuster selon les spécifications des modules.

soit 15°. En se reportant à la fiche n°2, on constate que c'est en août que le nombre moyen d'heures de soleil maximal est le plus faible pour cette inclinaison, c'est-à-dire un maximum de 4,9 heures de soleil par jour. En supposant des pertes de 20 % attribuables à la température et à la poussière, la dimension théorique de celui-ci sera de :

$$W_c = E_{elec} = \frac{\frac{4335}{4.9} \times 0,8}{Ensoleil. (1 - Pertes)} = 679 W_c$$

Comme il a été déterminé que le point de fonctionnement du champ serait autour de 100 volts à cause des caractéristiques de l'onduleur, le champ sera composé de multiples de 7 modules en série (V_m se situant à 14,3 volts pour la plupart des modules à 60 °C). La puissance du générateur étant de 250 W_c , I_m sera donc d'environ 7 A. Le choix du type de module déterminera le nombre de modules en parallèle. Par exemple, il faudra 60 modules en parallèle si l'intensité maximale du module est de 3,5 A.

Fiche de dimensionnement n°3 – Dimensionnement du champ et des éléments de conditionnement de l'électricité

E _{elec} Intensité	Ensoleil. Config.	Pertes	P _{champ}	Tension		
Wh	Heures	%	W _c	V	I	S × P
11 000	8	20		37	7	7 × 2

Le champ aura donc une puissance de 11000 W_c et sera composé de 60 modules de 250 W_c .

3- Dimensionnements d'un système de pompage solaire pour l'irrigations d'un champ d'agriculture :

3-1- Introduction

Nous allons dans ce chapitre, appliquer l'algorithme de dimensionnement sur des exemples d'applications réels, répondant à des besoins locaux dans la région d'Ouargla. Nous faisons remarquer que souvent, le souci d'investissement est prioritaire à l'efficacité du système. Pour cela nous allons étudier aussi la rentabilité de l'installation.

3.2- Les méthodes de dimensionnement

3.2.1- La méthode du mois le plus défavorable :

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois ayant une irradiation mensuelle la plus faible de l'année (Décembre pour Ain Oussara ,wilaya de Djelfa , l'irradiation égale à 3,25 kwh /m²/jour).

Site	Irradiation (Kwh/M ² /jour)												Irradiation annuelle
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Ain Oussara	3,72	4,65	5,81	6,74	7,21	7,21	7,9	7,21	6,06	4,88	3,84	3,25	5,71

3.2.2-La méthode de la moyenne annuelle :

Cette méthode consiste à considérer l'irradiation moyenne de l'année entière (Pour Ain Oussara, l'irradiation moyenne annuelle est égale à 5,71 kwh /m²/jour).

3.3- Technique de dimensionnement :

Les étapes de dimensionnement sont organisées comme suit :

- Détermination du profil de charge.
- Dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Calcul de la capacité de la batterie (au besoin).
- Choix du régulateur et de l'onduleur (au besoin).

Un bilan économique du système (coût / amortissement) est calculé à la fin.

3.3.1- Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) :

L'énergie nécessaire pour soulever une quantité d'eau, sur une certaine hauteur pendant une journée, est calculée à partir des données de débit et de HMT requises. Elle est exprimée en watt heure. Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (**CH**) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé.

3-3-2- Énergie requise pour la pompe :

Elle est donnée par:

$$E_c = CH \cdot Q \cdot HMT / R_p \quad (3.1)$$

Q: Débit m³/.

HMT est la hauteur manométrique totale.

C_H est le constant hydraulique dépendant de la gravité terrestre et de la densité d'eau :

$$C_H = g \cdot \delta = 9.81 \cdot 10^3 / 3600 = 2,725 \text{ (Kg.s.h/m}^2\text{)}$$

et R_p le rendement du groupe motopompe (en général de 30% à 45%).

3-3-3 Le volume d'eau(Q) :

Les besoins en eau peuvent être définis, selon le cahier de charge, en utilisant les valeurs du tableau suivant :

Besoins en eau	
Humains	
5 l/jour	Survie
10 l/jour	Minimum admissible
30 l/jour	Conditions de vie normales en Afrique
Animaux	
Bœuf	40 l/jour
Mouton, chèvre	5 l/jour
Cheval	10 l/jour
Âne	20 l/jour
Chameau	20 l/jour (réserve de 8 jours)
Irrigation	
Cultures à l'échelle du village	60 m ³ /jour/ha
Riz	100 m ³ /jour/ha
Graines	45 m ³ /jour/ha
Canne à sucre	65 m ³ /jour/ha
Coton	55 m ³ /jour/ha

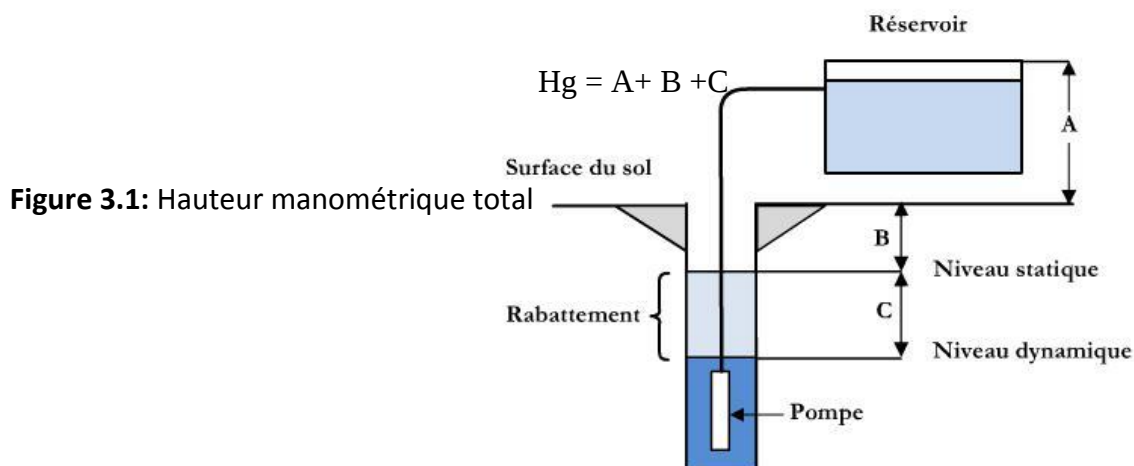
Tableau 3.2: Tableau d'estimation des besoins en eau.

3-3-4- La hauteur manométrique HMT :

La hauteur manométrique totale (**HMT**) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Elle est donnée par:

$$H_{MT} = H_g + P_c$$

H_g : hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir figure 3.1). Elle est calculée par la formule suivante :



P_c= pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites, de leur diamètre et du débit de la pompe. Elle s'exprime en mètres d'eau.

3.3.5- Calcul du champ photovoltaïque : [2]

L'énergie produite par un champ photovoltaïque est égale à :

$$E_P = E_C / K$$

Où :

E_C est l'énergie consommée (Wh/jour).

K un coefficient correcteur dépendant de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison des modules solaires et du rendement global du système photovoltaïque. Sa valeur théorique est comprise entre 0.55 et 0.75 mais en pratique la valeur moyenne utilisée est de **0.65**.

a) Le nombre de modules photovoltaïques :

Le nombre total de modules photovoltaïques est calculé en rapportant la puissance globale du champ à celle (P_M) d'un seul module :

$$N = P_{PV} / P_M$$

Le nombre de modules connectés en série sera :

$$N_s = V / V_M$$

Le nombre de branches (modules en parallèle) :

$$N_p = N / N_s$$

Où V et V_M sont respectivement les tensions du système et du module.

3.3.6- Calcul de la capacité de batterie (au besoin) :

La batterie la plus utilisée est l'accumulateur au Plomb-acide de durée de vie limitée. Il constitue l'élément le plus sensible du système photovoltaïque. Et exige une bonne maintenance.

Son dimensionnement se fait différemment d'une région ensoleillée à une région tempérée.

Une période d'autonomie (période continue d'absence de rayonnement) est prise en compte.

L'énergie stockée dans la batterie vaut :

$$EBAT = \%BAT * EPV$$

Où :

$\%_{bat}$ est son rendement (estimé à 80 %.)

EPV étant l'énergie photovoltaïque fournie.

La capacité de la batterie est calculée en plusieurs étapes :

- On calcule l'énergie totale consommée (E_C).
- On détermine le nombre de jours (N_A) d'autonomie de la batterie, définie comme étant le temps minimum de disponibilité continue d'énergie dans les conditions météorologiques les plus défavorables. Chez nous, il est estimé à trois (03) jours.
- On détermine la profondeur de décharge maximale admise (D) estimée à 80 % pour une batterie stationnaire au plomb acide.

Et enfin, on détermine la capacité :

$$C = (E_C * N_A) / (D * V * \%_{BAT})$$

Où V est la tension d'utilisation du système.

3.3.7- Choix du régulateur (contrôleurs au besoin) :

Le régulateur sert à protéger la batterie contre toute surcharge importante et contre toute décharge profonde.

Dans le cas d'un autorégulateur, les principales caractéristiques sont calculées comme suit :

Paramètres	Caractéristiques de fonctionnement
Plage de tension	$550 V_{nom} < V_e < 750 V_{nom}$
Seuil de déclenchement contre surcharge	$120\% V_{nom}$
Seuil de déclenchement contre décharge	$90\% V_{nom}$
Seuil de ré-enclenchement	$105\% V_{nom}$
Courant de court-circuit	$120\% I_{nom}$

La tension d'entrée du régulateur est imposée par celle des modules (A prendre en compte s'ils sont en série ou en parallèles). La tension de sortie est celle du système (12 , 24 et 48 V)

3.3.8- Choix de l'onduleur :

Les principales caractéristiques de l'onduleur sont estimées comme suit :

Paramètres	Caractéristiques de fonctionnement
Plage de fonctionnement	$80\% V_{nom} < V_e < 160\% V_{nom}$
Tension de sortie nominale	220V
Courant d'entrée nominal	$I_{e\ nom} = I_{PV\ nom} = P_{PV} / V_{nom}$
Courant de sortie nominal	$I_{s\ nom} = I_{CH\ nom} = P_c / 220$
Rendement en puissance	$\square\square\square$ 95% à charge nominale P_{nom} $\square\square\square$ 80% à partir de $75\%P_{nom}$
Surcharge admissible	115 % P_c
Courant de court-circuit	120% I_{nom}

Tableau 3.4 : Caractéristiques de l'onduleur.

3-3-9 Partie pratique : Dimensionnements d'un système photovoltaïque de pompage solaire d'un Village de Ain Oussara wilaya de Djelfa

A) Fiche de dimensionnement estimation de la charge :

- Puissance de la pompe : 11KW donc 11000watt

-Débit : le besoin journalier en eau et de 50 m³/jours donc

-HMT : 110 m

-Niveaux de la pompe immergée : 70 m

- Niveaux de réservoir : 40 m

Maraichage :

Type : Terre Agricole

Surface : 4 hectares

M³/ Hectare : 20

Totale : 80 m³

B) Fiche de dimensionnement définition du site :

Lieu : Ain Oussara ,Wilaye de Djelfa Algerie

latitude : 3 °O

saison d'exploitation :Tout l'année

Température moyenne de Fonctionnement :25-40 °C

C) Dimensionnement de champs et de matérielle nécessaires :

-Pompe de puissance de 11000watt

-Contrôleur de puissance de 11000 watt ; $550 \leq \text{Volte} \leq 750$

-Panneaux photovoltaïques : Puissance = 250 watt ; V=37 volt ; I= 8.83

-Réservoir d'eau de hauteur de 40 m

-Trois capteur de niveau : deux sur le corp de la pompe et le troisième dans le réservoir

Dans tout sa en calcule le besoin des PV pour alimente la pompe de 11000Watt

- Panneaux PV : 60 ; 20 mise en série avec 3 String
- Pompe : 11000Watt
- Contrôleur : 11000 watt

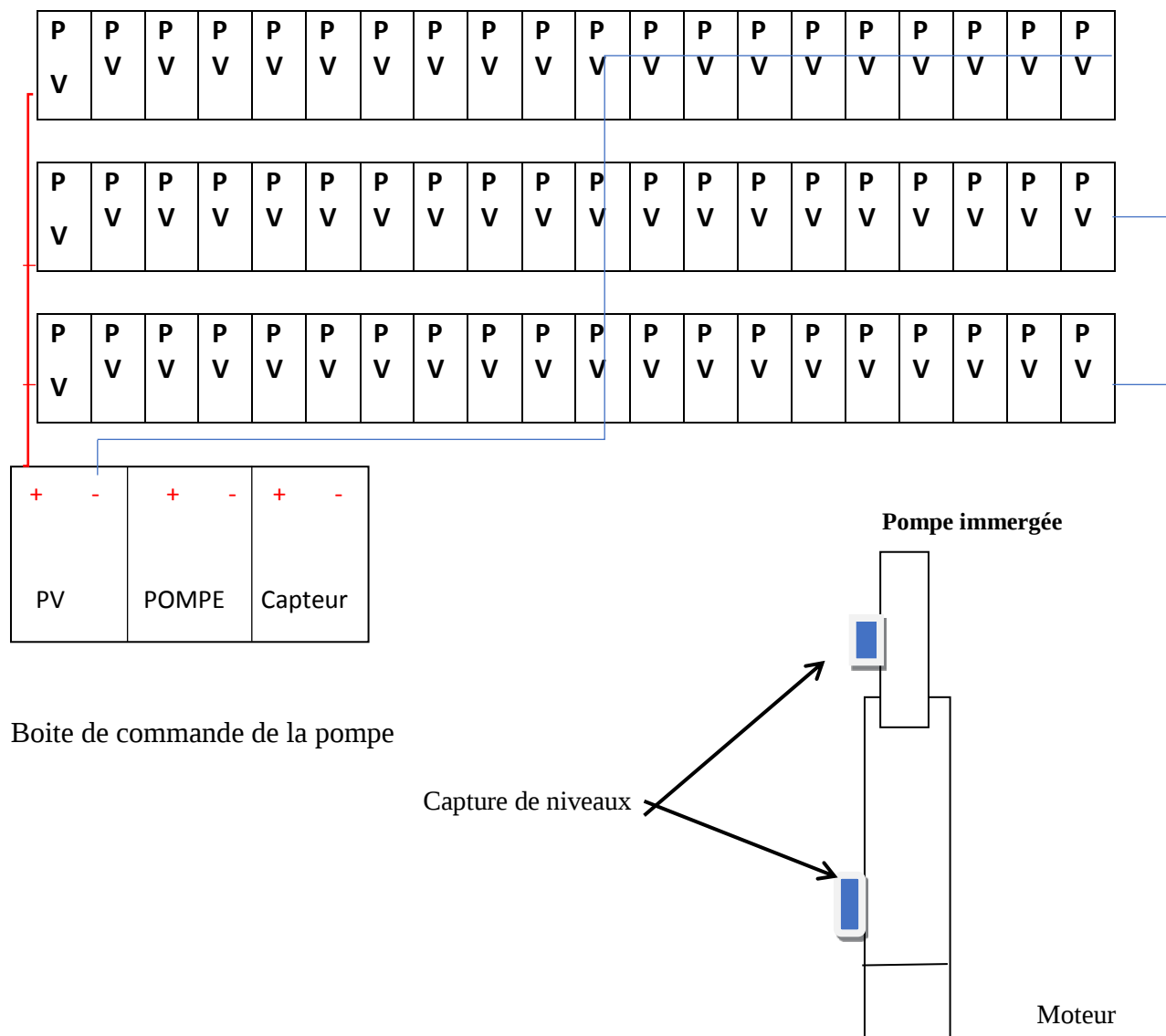


Figure 3 : Schéma électrique de l'installation

3.4- Bilan économique :

Il est intéressant d'évaluer de tels systèmes, afin de voir leur rentabilité à long terme. Ce qui reflète concrètement leur importance. Pour ce faire, on calcule le coût du KWh et on compare à celui de l'électricité conventionnelle.

Le coût du KWh = Coût annuel de l'investissement / Energie annuelle produite

Ou :

Le coût annuel de l'investissement est le coût du système en tenant compte de la durée de vie de ses composants. Il est donné par :

Coût annuel de l'investissement = $\sum_i$ coût du composant (i) / durée de vie (i)

Et :

L'énergie annuelle produite est l'énergie produite par jour multipliée par 365.

Il est intéressant aussi de calculer l'amortissement du système, qui exprime la rentabilité sur 30 ans. En effet, pour chaque année, on retranche du coût total de l'investissement (coût total des composants + coût de l'installation + coût de maintenance) la valeur C suivante :

$$C = Ca \times (k + (k - 1) \times \beta)$$

Avec :

K : est l'année considérée.

β : T est un coefficient qui caractérise la vétusté du système (estimé à 3%). Ca : Coût annuel de l'investissement.

3.5- Application et résultants

a) Profil de charge :

Touggourt est une ville du sud-est de l'Algérie, située dans la région de Ain Oussara wilaya de Djelfa . Ain Oussara est essentiellement connue pour ses oasis et ses palmiers.

L'approvisionnement en eau est un grand souci, en particulier, pour les agriculteurs de la région

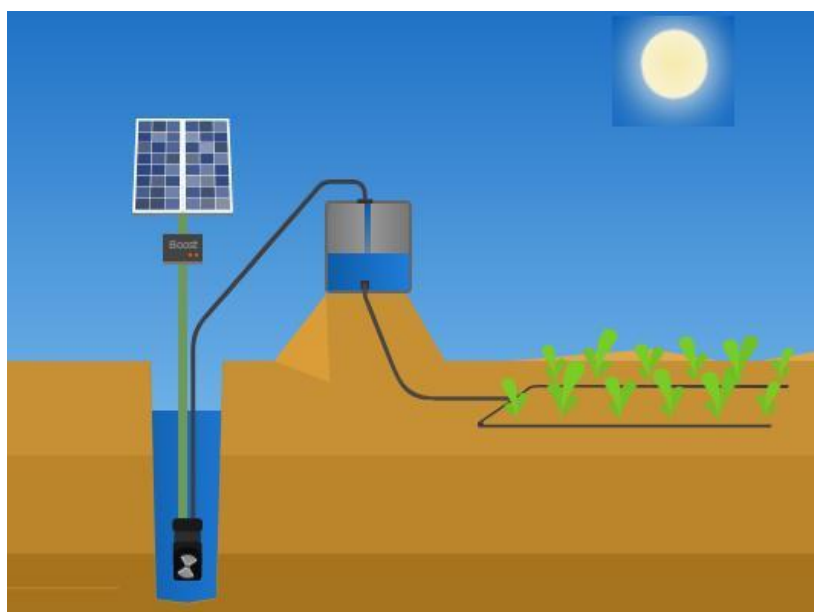


Figure 4: Pompage d'eau pour irrigation.

Le besoin d'eau en irrigation dépend du type de la culture, de la méthode d'irrigation et des facteurs météorologiques (température, humidité, vitesse du vent, saison de l'année).

l'irrigation et Autre pour la région de Ain Oussara sont donnés dans le tableau suivant :

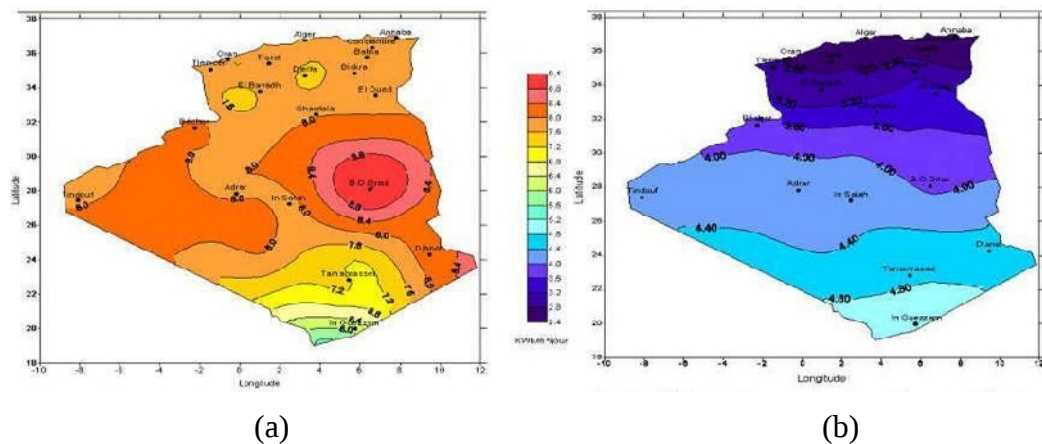
période	L'hiver			Le printemps			L'été			L'automne		
mois	Déc	Jan	fév	Mar	Avril	Mai	jun	juil	Aout	Sep	Oct	Nov
Volume d'eau (m3/an)	13	10	22	36	49	62	67	66	64	50	35	18

Tableau 3.5 : Besoins annuels moyens en eau d'une irrigation.

b) Données météorologiques :

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

Figure 5 : Irradiation journalière reçue sur plan horizontal : (a) Juillet (b) Décembre

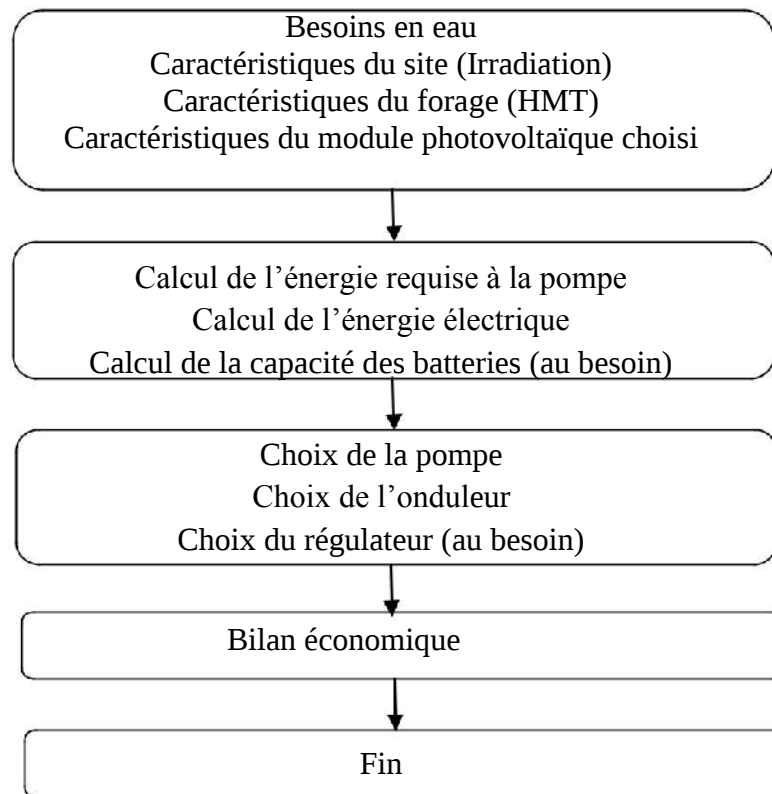


c) Hypothèses :

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque, d'approvisionnement en eau pour l'irrigation.

Les données suivantes caractérisent le système :

- **Projet** : Irrigation d'une terre agricole.
- **Site** : Ain Oussara ,wilaya de Djelfa
- **Irradiation quotidienne** : 5.71 kWh/m²/jour.
- **Débit maximum** : 10 m³/jours.
- **Forage** : HMT = 110 m.
- **Module photovoltaïque choisi** :
 - Poly-cristallin IBC Solo Sol
 - Puissance nominale : 250 Watt.
 - Tension nominale : 37 Volt.

d) Algorithme de dimensionnement :**Figure 6 :** Algorithme de dimensionnement.**Résultats du dimensionnement :**

- **Energie hydraulique :** 18257,5 Wh/j.
- **Energie électrique :** 28088,46 Wh/j.
- **Nombre total de modules :** 60.
- **Modules en série :** 20.
- **Modules en parallèle :** 3.

f) Choix du matériel :

- **Choix de la pompe**

On choisit la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale, on calcule le débit horaire par la formule suivante :

Avec :

h : nombre d'heures d'ensoleillement maximal (Environ 7 heures).

Q : débit voulu ($10 \text{ m}^3/\text{jour}$).

Ceci donne un débit horaire d'environ $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Sachant que la hauteur manométrique totale est de 110 m, alors on choisit la pompe immergée Lorentz PS2-600 .

Qui a les caractéristiques suivantes :

- **Type** : Lorentz PS2-600.
- **Débit nominal** : $5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Tension d'entrée** : 380 v.
- **immersion** : Jusqu'à 150 m

- **Choix de l'onduleur :**

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimenté (puissance, tension). Pour notre étude, l'onduleur choisi est :

- **Type** : Victon phoenix 24 / 500 VA

g) Bilan économique :

Afin de voir leur rentabilité à long terme. On calcule le coût du KWh. Les coûts des différents composants sont donnés dans le tableau suivant.

Composants	Prix (DA)	Quantité	Cout total (DA)
Module photovoltaïque	23 885,15	60	143 3109,80
Fixation du module	24 000,00	60	768 000,00
Pompe	258 958,00	01	258 958,00
Onduleur	22 300,93	01	22 300,93
Génie civil, accessoires	20 000,00	01	20 000,00
Cout total			1 833 582,80

Tableau 3.6: Coût total de l'investissement.

On remarque que le coût total du système est relativement cher, mais sa rentabilité à long terme nous donne une autre vision. N'oublions pas que l'état algérien fait de grands efforts afin de promouvoir l'agriculture, notamment dans le sud. Plusieurs aides (subventions) sont données aux agriculteurs. Ces derniers demandent, fortement que le pompage photovoltaïque ait une subvention de 50%. Ceci reste en négociation, mais donne une bonne amélioration dans ce domaine. Pour montrer la rentabilité, on calcule le prix du Kwh du système photovoltaïque, et on le compare au prix à payer si le système fonctionnait avec l'électricité conventionnelle (Sonelgaz). On s'intéressera aussi à l'amortissement du système sans et avec aide de l'état.

Le tableau suivant présente la durée de vie des différents composants d'un système photovoltaïque de pompage :

Composant	Durée de vie (ans)
Module photovoltaïque	25
Fixation du module	25
Pompe	15
Onduleur	25
Régulateur (Au besoin)	12
Batteries (Au besoin)	08

Tableau 3.8 : Durée de vie des composants d'un système de pompage photovoltaïque.

Résultats :

Sansai de l'état :

Les calculs ont donné les résultats suivants :

- **Cout annuel :** 80 248,90 Da.
- **Prix du KWh :** 7,83 Da.
- **Prix du KWh de Sonelgaz :** 5 Da.
- **Amortissement du système :** illustré par l'histogramme suivant :

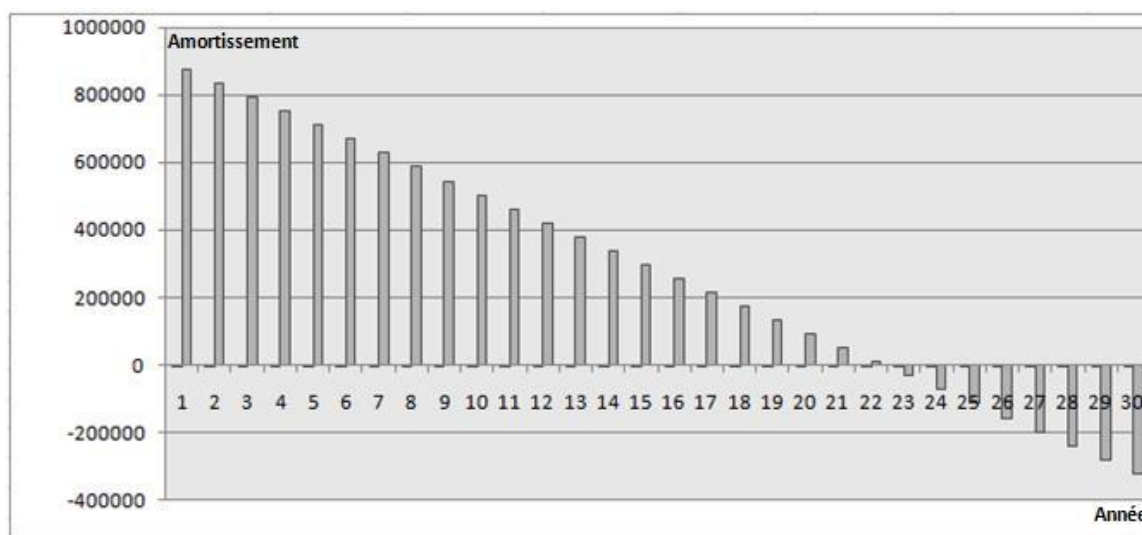


Figure 7: Histogramme d'amortissement du système de pompage (Sans aide de l'état).

On remarque que l'amortissement du système est atteint au bout de 21 ans. C'est vrai que c'est un peu long, mais il ne faut pas oublier que pendant cette période, on ne paie aucune somme à SONEGAS. Ainsi qu'au-delà de cette période l'énergie sera « gratuite ».

Et pour compléter la comparaison, les prix du KWh ne sont pas très loin. Signalons qu'ici, on a pas considéré une connexion payante au réseau d'électricité, sinon le prix du KWh offert par la SONEGAS sera de même ordre.

Avec aide de l'état :

Ces résultats sont calculés pour une aide de l'état de 50 % :

Il est clair que l'aide de l'état apportera un plus au système. On remarque sur l'histogramme qu'au bout de 10 ans uniquement, le système est totalement amorti. Ce résultat est très prometteur, car la rentabilité commencera à partir de la 11ème année.

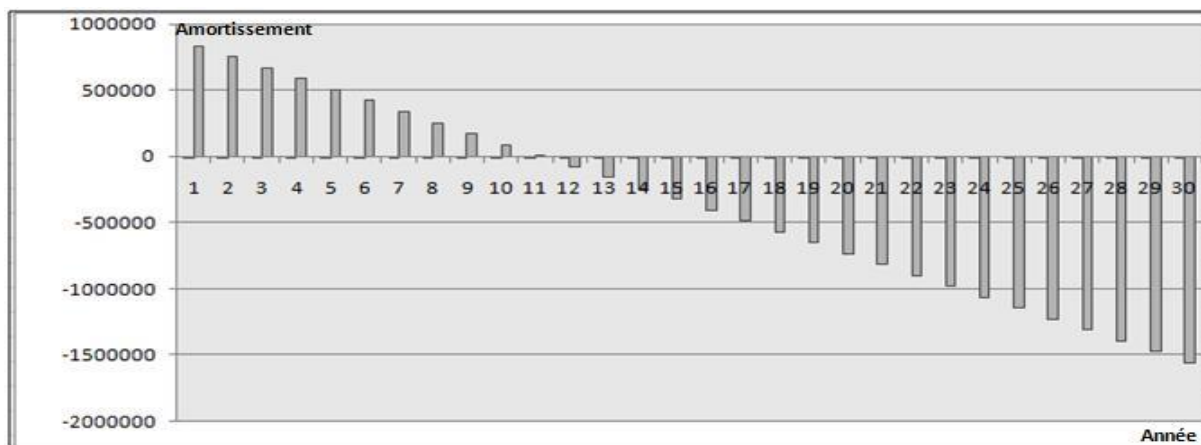


Figure 8: Histogramme d'amortissement du système de pompage (Avec aide de l'état).

3.6- Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre l'algorithme de dimensionnement de système de pompage photovoltaïque, qu'ont appliqué à un exemple d'irrigation d'un champ d'irrigation, qui touche particulièrement la région Ain Oussara de Djelfa.

Une étude économique est faite afin de montrer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque comparée à l'énergie conventionnelle.

On constate qu'il sera plus intéressant d'utiliser l'énergie photovoltaïque avec l'aide de l'état, que de raccorder les zones isolées et lointaines (avec une densité faible de population) au réseau d'électricité conventionnelle, qui se fait avec des coûts très élevés.

Conclusion générale

Dans ce travail, on a étudié le système de pompage solaire. On a traité un exemple réel situé à la région de Ain Oussara a Djelfa .

La problématique qui se pose est le cout de l'énergie exprimé par le cout du KWh, Ou par le cout de mètre cube d'eau pompé dans la littérature.

On a démontré au cours de notre étude, que le cout du KWh du système de pompage solaire est proche du cout de KWh offert par la Sonelgaz. Et l'espoir qu'il soit réduit est grand, vu que l'état Algérien propose des aides importants aux agriculteurs, au cours de ces dernières années.

On a constaté qu'on considérant une subvention de l'état de 50%, le cout du KWh est réduit considérablement.

Il est a signalé, qu'une bonne installation, une bonne orientation des modules solaires et un bon dimensionnement permet d'exploiter l'énergie de façon optimale. Ce qui augmente le rendement du système est réduit par conséquence, le cout du KWh.

Il est intéressant de voir les méthodes qui optimise la production d'énergie, par exemple introduire un système de poursuite du point de puissance maximal (MPPT), d'intégrer aussi l'irrigation par point ou pourquoi pas, le système traditionnel « El-foggara ». Afin d'avoir un système d'irrigation fiable et à moindre cout.

Bibliographie

Livre ;

[1] A Labouret M .villos « Energie Solaire Photovoltaïque » 3^e Edition , Editions Le Moniteur série environnement et sécurité , Dunod paris 2003-2006 Bibliothèque département électronique Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou cote CI420 :15

[2] A. Moumi, N. Hamani, N. Moumi et A. Z. Mokhtari, « Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra», Centre Universitaire de Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.

Thèse ;

[3] Djarallah, Mohamed, "Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique," université de Batna, Thèse de Doctorat en Science, 2008.

[4] B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.

[4] K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », a LSPiE Laboratory, Electrical Engineering Department, Engineering Science Faculty, Batna University,2004

[5] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Thèse de Magister d'université El Hadj Lakhdar – Batna2008

[6] A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005

-A. C. Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques," Institut National de Science Appliquée de Toulouse Thèse de doctorat.

[7] [8] M. Angel, C. Pastor, « Conception et réalisation de modules Photovoltaïque électroniques », Thèse de Doctorat « Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.

[9] M. SLAMA Fateh, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques Interconnectés au réseau électrique », Thèse de Magister de l'université Ferhat Abbas - Sétif-

[10] B. Molle, « Les stations de pompage individuelle pour l'irrigation », juin 1996.

[11] J. Royer,T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002 , publ en collaboration avec : IEPE université d'Ottawa EIER ,CREPA ISBN 2-89481-006-7

Bibliographie

- Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse Tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004
- B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa.
- A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- Atlas d'Algérie extrait d'internet par le site de Ministre des énergies et des mines (Consulté le 01/09/2018) « irradiation global journalière reçus sur un plan horizontal au moins de juillet)
- A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région Saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.
- B. Azoui et M. Djarallah, « Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia.
- B. Bouzidi et A. Malek, « Analyse économique des systèmes énergétiques-station de pompage », Rev.Energ. Ren : ICPWE (2003)53-60.
- :B. Chabotfrom cost to prices: « Economic analysis of PV energy and services progress in photovoltaics research and applications », Vol 6. P55-68 (1998).
- La nouvelle technique comptable : L. GUIZARD et C. PEROCHON. Les éditions Foucher - Paris.

Site ;

- Site de ministère de l'énergie <http://www.energy.gov.dz> (Consulté en septembre 2018)
- <https://www.solaris-store.com> (Consulté en septembre 2018)
- <http://www.pvsyst.com> -Programme de dimensionnement PVSYST
- Site www.ise.fhg.de -Institut Fraunhofer (Allemagne)

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude Dimensionnement d'un système de pompage solaire pour des puis de parcours et l'irrigation dans des sites isolées avec un exemple de site de Ain Oussara pour alimente une pompe immergée d'une source d'énergie renouvelable et le Photovoltaïque à l'aide des panneaux solaire.

Mots clé :

- Photovoltaïque
- Cellule solaire
- Système Photovoltaïque Hybride
- Pompage au fil de soleil
- Pompage solaire
- Dimensionnement d'un système de pompage solaire