



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE ou INSTITUT : Science et technologie

DEPARTEMENT : Electrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : GUEDDOUDA Med Taha Adnane

DOMAINE : Science et technique

FILIERE : Electrotechnique

OPTION : Energies Renouvelables

Thème

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE
POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE DANS UNE EXPLOITATION
AGRICOLE À LAGHOUAT**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Med Ali Kouidri	MCA	Président
Hamdi Abdelwahab	MAA	Examineur
Vilbois leila	MAA	Rapporteur

Promotion : Juin-2022

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme Vilbois Leila, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes ses remarques et critiques, ainsi que les enseignants et toute l'équipe administrative et pédagogique du département de génie électrique à l'université de Laghouat pour leur soutien inestimable.

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

Finalement, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail :

Aux femmes qui ont souffert sans me laisser souffrir, qui na jamais dit non à mes exigences pour me rendre heureux, a la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur : ma chère mère et ma chère sœur.

A l'homme qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, qui n'as cessé de me donner : mon cher père.

A mes frères Tayeb, Farouk, Abdeljalil..

A tous mes amis, tout particulièrement Racim, Baker, Housseem ,Yacine, Hadj Aissa , Chemsou , Mohamed, Brahim ,Mekki ,Ali ,Sofiane, Abdellah, que dieu vous bénisse et vous guide vers le bon chemin.

A tous ceux qui me sont chers.

Merci.

Adnane

Liste des abréviations et symboles

I_0 : Courant de saturation de la diode

V_d : Tension à la borne de la diode

V_t : KT/q Potentiel thermique

K : Constante de Boltzmann = $(1,381.10^{-23}$ Joule/Kelvin)

q : Charge d'électron = $(1,602.10^{-19}$ C)

T : Température de la cellule en Kelvin

I_{ph} : Courant photonique

P_H : la puissance hydraulique

ρ : masse volumique du liquide en (Kg / m^3)

Q : débit en (m^3/s)

g : accélération de l'apesanteur $(9.81m/s^2)$

H : hauteur de charge (m)

P_u : La puissance mécanique du moteur (utile) (W)

η_m : Le rendement du moteur

E_h : énergie hydraulique $(Wh/jour)$.

h : hauteur totale (m) .

V_a : volume d'eau $(m^3 /jour)$.

ρ_a : densité de l'eau $(1000 kg/m^3)$.

g : accélération de la pesanteur $(9,81m/s^2)$.

G : L'éclairement dans les conditions STC.(unité)

F_m : Facteur de couplage,

γ : Coefficient de température des cellules

T : Température moyenne journalière des cellules

T_{ref} : La température de référence

P_{max} : La puissance du module PV (W)

P_c : La puissance crête du générateur (W)

N_M = Nombre de modules.

E_h : Énergie hydraulique [KWh/j].

η_{mp} : rendement du groupe motopompe .

η_{Ond} : rendement de l'onduleur

(β) : L'irradiation moyenne

V_{ch} : la tension nominale de la charge (l'onduleur).

V_M : La tension nominale du module.

N_{ms} = modules en série.

I_m : Le courant nominal de la charge (l'onduleur)

I_s : Courant à puissance maximale (I_{max})

P_h : puissance hydraulique nécessaire (W)

η_{MB} : rendement crête du sous-système moteur-pompe.

n : le facteur d'idéalité de la diode.

q : la charge de l'électron.

k : la constante de Boltzman,

P_{kw} : Puissance consommée par la pompe en kw.

Q : Débit en($m^3/h.$)

η : Rendement donné par le constructeur au point de fonctionnement

Listes des tableaux et figures

Liste des tableaux:

	Page
Tableau I.1 : Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques	9
Tableau III.1: Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque.	32
Tableau III.2: Température moyenne mensuelle à Laghouat	37
Tableau III.3: Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle.	38
Tableau III.4: Caractéristiques électriques du module photovoltaïque "IF-P280-60"	41

Liste des figures:

	Page
Figure I.1 : Le système PV	6
Figure I.2 : Modèle d'une cellule PV.	7
Figure 1.3 : Schéma d'une cellule photovoltaïque idéale.	9
Figure 1.4 : Schéma d'une cellule photovoltaïque réelle.	10
Figure 1.5: Association des Cellules PV en Série.	10
Figure 1.6 : Association des Cellules PV en Parallèle	11
Figure 1.7 : Régulateur MPPT et PWM	12
Figure 1.8 : Onduleur et son principe de fonctionnement	13
Figure 1.9 : Adaptateur	13
Figure 1.10 : Un Hacheur Buck-Boost	14
Figure 1.11 : Schéma de principe de pompage solaire	15
Figure II.1 : Schéma d'une pompe centrifuge	19
Figure II.2 : représentations d'une pompe centrifuge réelle	19
Figure II.3 : Schéma d'une pompe volumétrique.	20
Figure II.4 : représentations d'une pompe volumétrique réelle	20

Figure II.5 : schéma d'une pompe immergée	21
Figure II.6 : Les avantages et types d'un moteur AC	23
Figure II.7 : Les avantages et types d'un moteur DC	24
Figure II.8 : Schéma d'un Couplage générateur PV-groupe motopompe.	25
Figure III.1 Principe de fonctionnement du pompage avec stockage électrochimique.	31
Figure III.2 : Principe de fonctionnement du pompage au fil de soleil	32
Figure III.3 : L'irrigation par goutte à goutte	33
Figure III.4 : Goutteurs turbulents	34
Figure III.5 : Goutteurs autorégulant	35
Figure III.6 : Goutteurs intégré	35
Figure III.7 : Goutteurs rapporté	36
Figure III.8 : Carte de la localisation géographique de Laghouat	37
Figure III.9: Irradiation mensuelle sur plan fixe	40
Figure III.10: Diagramme D'un système de pompage PV	45
Figure IV-1: Schéma bloc sous simulink pour le calcule du nombre de module (série,parallèle)	47
Figure IV-2: schéma représentant les deux principaux blocs constituant notre système de pompage	48
Figure IV-3: Bloc de la puissance P_c	49
Figure IV-4: Bloc de l'énergie électrique	49
Figure IV-5 : Bloc du générateur PV	50
Figure IV-6 : Les résultats	51
Figure IV-7 : Diagramme d'Algorithme de suivi MPP simple "perturber et observer"	52
Figure IV-8: modèle de la cellule sous Matlab	53
Figure IV-9: Paramètres du module	53
Figure IV-10: Le modèle électrique du Boost DC-DC sous Matlab	54
Figure IV-11: Schéma du PV-Boost DC-DC et MPPT sous Matlab	54
Figure IV-12: Graphe représente l'efficacité du convertisseur	54
Figure IV-13: Graphe représente duty cycle	55

Figure IV-14: Graphe représente le courant I_{ref}	55
Figure IV-15: Graphe représente le $P_{pv}, P_{out}, P_{ideal}$	56
Figure IV-16: Les Valeur d'ensoleillement	56
Figure IV-17: Graphe représente les puissances $P_{out}, P_{pv}, P_{ideal}$	57
Figure IV-18: Graphe représente la variation du I_{ref}	57
Figure IV-19: Graphe représente la variation du V_{pv}	58
Figure IV-20: Graphe représente Duty cycle	59
Figure IV-21: Graphe représente l'efficacité du Boost DC-DC	59

Sommaire

Liste des abréviations

Listes des tableaux et figures

Introduction générale

1

Chapitre I: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction	5
I.2 Système PV	5
I.2.1 La cellule PV	6
I.2.1.1. Principe de fonctionnement	6
I.2.2.La jonction PN	8
I.2.1.3. Les différentes technologies des cellules PV	9
I.2.2 . Le générateur PV	12
I.2.3.Le régulateur	13
I.2.4. Les batteries	14
I.2.5. L'onduleur	14
I.2.6. L'adaptateur	15
I.2.7.Le hacheur	15
I.3. L'irrigation solaire	16
I.3. 1.Le Pompage Photovoltaïque	16
I.4. Conclusion	18

Chapitre II : Pompage solaire

II-1- Introduction	20
II-2- Groupe motopompe	20
II-2-1- La pompe	20
II-2-1-1- Types des pompes	20
II-2-2- Le moteur	23

II-2-2-1- Les types des moteurs	24
II-3- Couplage générateur PV-groupe motopompe	26
II-3-1- Principe de fonctionnement	26
II-3-2- Le rendement	27
II-4- Conclusion :	28
<i>Chapitre III : Dimensionnement du Système de Pompage Photovoltaïque pour l'irrigation</i>	
III-1. Introduction	30
III-1.1. Définition du système de pompage solaire	30
III-1.2. Méthode de pompage	30
III-1.2.1. Système de pompage avec batterie	30
III-1.2.2. Système de pompage au fil de soleil	31
III-1.2.3. Les avantages et inconvénients des pompages au fil du soleil et avec batteries	32
III-1.3. Irrigation goutte à goutte	33
III-1.4. Equipements Utilisés	34
III-1.5. Les différents types de goutteurs	34
III-1.5.1. Goutteurs turbulents	34
III-1.5.2. Goutteurs autorégulant	35
III-1.5.3. Goutteurs intégrés	35
III-1.5.4. Goutteurs rapportés	36
III-2. Présentation de la région	36
III-2.1. Les conditions climatiques	37
III-2.1.1. La température	37
III-2.1.2. Rayonnement solaire	38
III-2.2. Présentation du site	38
III-3. Le Dimensionnement du système de pompage	38
III-3.1. Evaluation des besoins en eau	38
III-3.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire	39
III-3.3. Détermination de l'énergie solaire disponible	39
III-3.4. Inclinaison du générateur photovoltaïque	40

III-3.5. Mois de dimensionnement	40
III-3.6. Dimensionnement de la station de pompage	40
III-3.6.1. Dimensionnement du générateur PV	40
III-3.6.1.1. Nombre de modules	42
III-3.6.1.2. Nombre de modules en série	43
III-3.6.1.3. Nombre de modules en Parallèle	43
III-3.6.2. Choix de la pompe	43
III-3.6.3. Choix de convertisseur DC/AC	44
III-3.6.4. Diagramme D'un système de pompage PV	45
III-3.6.5. Choix de stockage	45
III-3.6.6. Tableau de résultat	45
<i>Chapitre IV: Simulation et résultats .</i>	
IV.1. Introduction	47
IV.2. descriptif de l'environnement Matlab/Simulink	47
IV.3. Calcule du nombre de modules nécessaires	47
1-La puissance Pc	49
2-Le générateur PV	50
IV.4. Les résultats	51
IV.5. Le point de puissance maximale MPPT	51
IV.6. Modèle de la cellule PV	53
IV.7. Le convertisseur Boost DC-DC	54
IV.8. Schéma du PV-Boost-MPPT	54
IV.8.1. Condition STC	55
IV.8.2. Variation de l'ensoleillement	57
IV.9. Conclusion	62
Conclusion générale	64
Référence bibliographique	66
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie et l'eau sont des composants vitaux, essentiels et nécessaires à la vie. Pour le développement du monde et de l'Algérie à long terme. L'un des plus grands défis du 21^{ème} siècle est d'avoir accès à des ressources durables en eau et en énergie. Le problème de l'eau en Algérie devient de plus en plus aigue, compte tenu notamment de la situation géographique du pays, de sa région sèche et/ou semi-aride et du récent réchauffement climatique. La croissance démographique rapide en Algérie et la recherche du bien-être et du développement économique nécessitent une augmentation des besoins en eau pour les usages domestiques (par habitant), l'agriculture (élévation et irrigation) et l'industrie, ainsi qu'une augmentation de la demande en ressources en eau.

Cependant, l'eau est facilement disponible dans le Sahara grâce à la nappe albiennne. Mais l'énergie électrique est soit rare, éloignée de certaines zones, soit très chère à obtenir. Le recours aux énergies renouvelables, et en particulier l'énergie solaire au Sud, est l'une des méthodes pratiques, propres et durables d'acquisition d'énergie en Algérie. Nous avons l'un des plus grands systèmes solaires au monde, et cette source d'énergie est abondante dans notre vaste désert. En effet, au Sahara, la durée d'insolation ou d'insolation peut atteindre 3900 heures annuellement. La quantité d'énergie acquise quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est d'environ 5 KWh, soit environ 2263 kWh/m²/an dans le sud du pays. [1]

Dans ce projet de mémoire de master, la problématique de l'approvisionnement en eau est spécifiquement abordée en relation avec l'irrigation solaire dans le sud algérien, notamment à Laghouat. Dans ce contexte, la rationalisation de l'irrigation par la recherche permanente d'une meilleure efficacité de l'eau est une exigence qui s'impose à tous et le dosage au goutte à goutte est l'une des approches les plus adaptées à des situations similaires à la nôtre. Par rapport à l'irrigation gravitaire, elle permet des économies d'eau de 50% à 70%. De plus, l'énergie solaire est une méthode durable, propre et optimale pour obtenir de l'énergie électrique pour les besoins du pompage hydraulique. [1]

Pour y parvenir, nous allons concevoir et dimensionner un système d'irrigation à énergie solaire pour une ferme de la ville de Laghouat, dans le sud de l'Algérie, pour notre étude. Ensuite, nous procéderons à une analyse du projet pour évaluer la viabilité des systèmes d'irrigation goutte à goutte et d'énergie solaire. Notre mémoire a été divisée en quatre chapitres désignés.

Introduction générale

Le premier chapitre a été dédié à la présentation de l'énergie solaire et des systèmes photovoltaïques.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté Les pompes et défini tous les paramètres nécessaires à la conception et au dimensionnement de notre système de pompage solaire et d'irrigation de cette ferme.

Dans le troisième chapitre on a présenté les différentes techniques de pompage solaire et d'irrigation et dimensionné le système utilisé et fait une comparaison économique.

Le quatrième et dernier chapitre a été dédié au dimensionnement des systèmes de pompage solaire photovoltaïque sous Matlab.

Chapitre I:

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction :

Le soleil est responsable du climat et des phénomènes météorologiques sur la terre et une source énergétique quasiment inépuisable. Le développement de l'exploitation des énergies renouvelables a connu une forte croissance ces dernières années. La production d'électricité par des sources d'énergie renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant les normes écologiques de l'énergie. [1]

L'énergie photovoltaïque fait partie des énergies les mieux exploiter et l'une des mieux compétitive à plusieurs niveaux par rapport aux autres sources d'énergies renouvelables. Il s'agit de la source d'énergie la plus répandue et la plus accessible sur terre. Chaque jour, le soleil envoie vers la terre 10 000 fois la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle de la planète. Aussi, la quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. [1]

Dans ce premier chapitre, nous aborderons en premier lieu quelques concepts dont la connaissance est nécessaire à la compréhension du fonctionnement des cellules photovoltaïque en décrivant les différents modes de regroupement, en suite nous présentons la constitution d'un système photovoltaïque (régulateurs, onduleur, batteries...).

I.2 Système PV :

Un système PV est constitué de générateurs PV, de régulateurs, d'onduleurs et des charges correspondantes.

- Les systèmes PV sont classés en fonction de trois types : autonomes, hybrides et connectés au réseau.
- Les systèmes autonomes sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie.
- Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires.
- Les systèmes connectés au réseau permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public. [1]

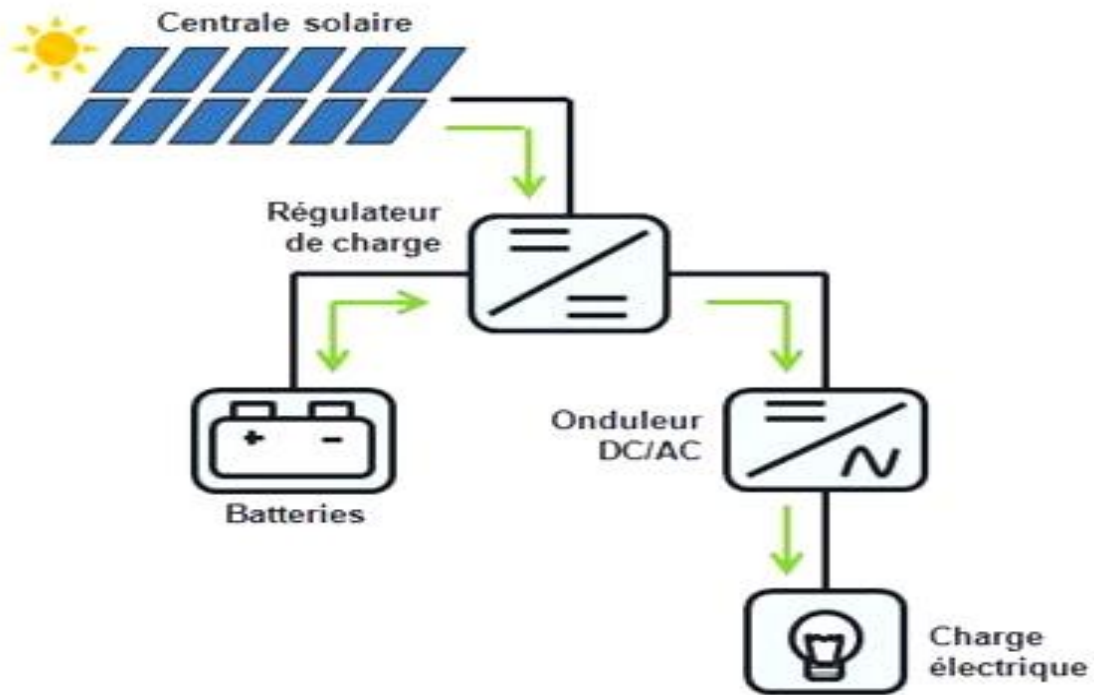


Figure I.1 : Le système PV.

I.2.1 La cellule PV :

Les cellules photovoltaïques, appelée cellule solaire constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. C'est un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par le soleil. Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une couche dopé p (positive) où la conduction électrique se fait par les trous, et l'autre dopé n (négative) où la conduction se fait par des électrons créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. . Actuellement, il existe trois principaux types de cellules à savoir se sont les cellules monocristallines, cellules poly cristallines et Les cellules amorphes.

I.2.1.1. Principe de fonctionnement :

Tout rayonnement électromagnétique, y compris le rayonnement solaire, est composé de particules énergétiques appelées photons, ces photons heurtent la surface du matériau photovoltaïque disposé en cellules ou en couche mince. Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes, ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner. Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements

d'électrons aillent tous dans le même sens, pour les y aider les électrons doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leurs places, ce qui engendre un courant. [2]

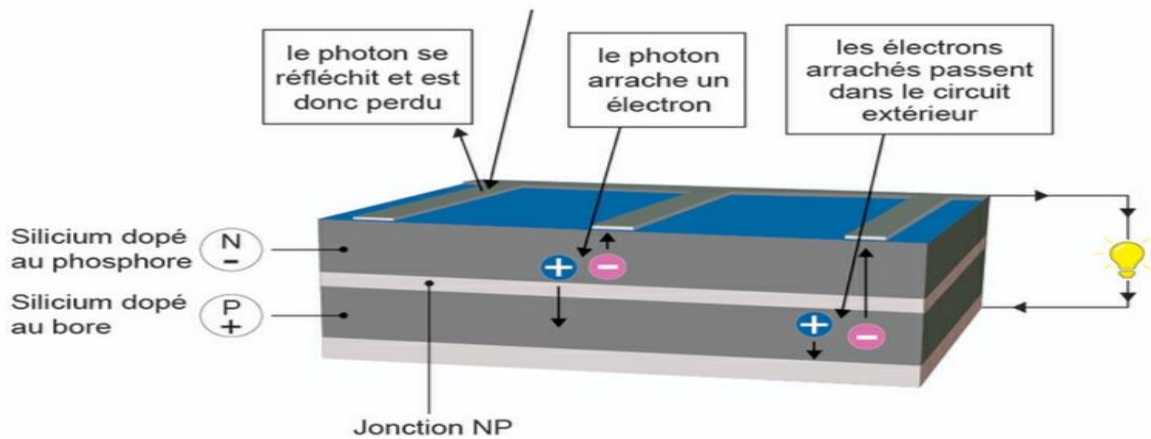


Figure I.2 : modèle d'une cellule PV.

I.2.1.2. Les différentes technologies des cellules PV :

-Cellule monocristallin :

Cette cellule photovoltaïque offre un rendement d'environ 25 %, l'un des meilleurs sur le marché. La durée de vie des panneaux solaires composés de cellules en silicium monocristallin avoisine les 35 ans, ce qui est très rentable, malgré le coût élevé à l'achat. [4]

-Cellule poly cristallin :

La fabrication de ce type de cellule photovoltaïque est plus simple que la version en silicium monocristallin. Son coût est donc moindre. Côté rendement du panneau solaire, on peut espérer entre 10 et 15 % . [4]

-Cellule amorphe :

Cette cellule solaire présente de nombreux avantages. Elle est tout d'abord peu chère à fabriquer. Elle peut aussi être intégrée sur tout type de support, flexible ou rigide. Un autre point positif est qu'elle capte les rayons solaires même par temps nuageux. Son principal inconvénient est qu'elle offre un faible rendement, environ 7 % au maximum. [4]

Tableau I.1 : Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques [4]

Type	Mono cristallin	Poly cristallin	Amorphe
Durée de vie (ans)	35	35	<10
Avantages	Bon rendement en soleil Direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse. Prix moins élevé que le cristallin Bon rendement en diffus
Inconvénients	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil.

A- Le schéma équivalent d'une cellule PV:

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, elle est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice 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, de sa disposition de la température et du vieillissement de la cellule. [4]

A-1 Cellule photovoltaïque idéal :

La photopile est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant I_{ph} , proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure(1.7) qui correspond à l'aire de transition P-N de la cellule PV. [4]

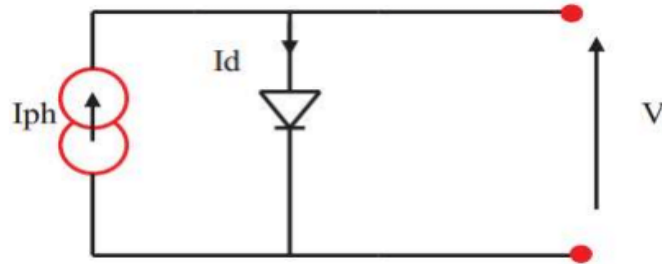


Figure 1.3 : Schéma d'une cellule photovoltaïque idéale.

D'après la loi des nœuds :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (\text{I.1})$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_d \quad (\text{I.2})$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique est donnée par la relation:

$$I_d = I_o \times e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \quad (\text{I.3})$$

Donc la relation (I.1) sera :

$$I = I_{ph} - [I_o \times e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1] \quad (\text{I.4})$$

A-2 Cellule photovoltaïque réelle :

Le model d'une cellule photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_{sh} et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_p . [4]

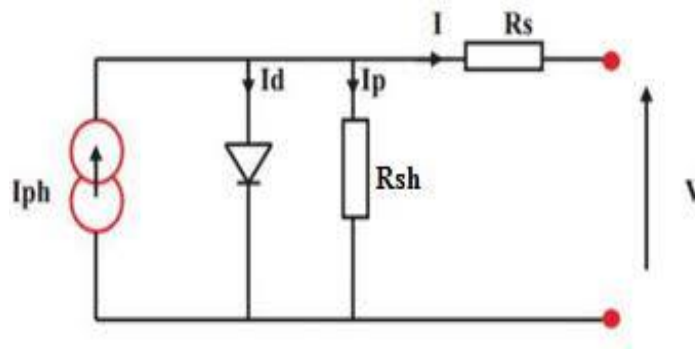


Figure 1.4 : Schéma d'une cellule photovoltaïque réelle.

On a:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \tag{I.5}$$

$$I_p = \frac{(V + R_s \times I)}{R_{sh}} \tag{I.6}$$

$$I_d = I_o \times e^{\frac{V + R_s \times I}{V_t}} - 1 \tag{I.7}$$

De (1.6) et (1.7) ; (1.5) devient :

$$I = I_{ph} - [I_o \times e^{\frac{V + R_s \times I}{V_t}} - 1] - [\frac{(V + R_s \times I)}{R_{sh}}] \tag{I.8}$$

B - Association des Cellules Photovoltaïques :

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur PV et on distingue deux types d'association. [4]

B-1 -Association des Cellules PV en Série :

Une association de cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque(GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. [4]

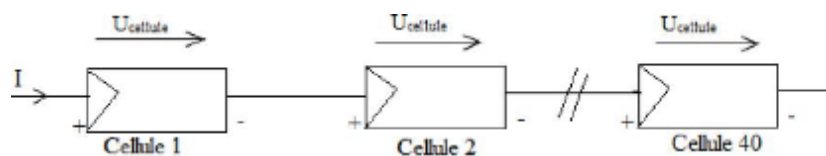


Figure 1.5 : Association des Cellules PV en Série.

B-2 -Association des Cellules PV en Parallèle :

Une association parallèle de cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [4]

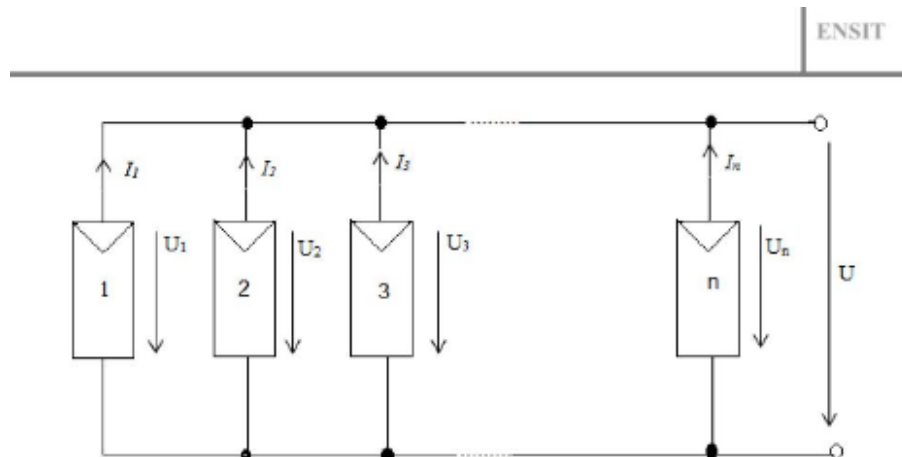


Figure 1.6 : Association des Cellules PV en Parallèle

I.2.2 . Le générateur PV :

Un générateur photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïques qui sont associés en série ou en parallèle, son rôle dans le système est de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. [5]

I.2.3.Le régulateur :

Le régulateur, également appelé contrôleur de charge solaire sert à optimiser la charge de la batterie d'une installation de production d'énergie solaire photovoltaïque (PV) et permet aussi d'accroître la puissance des panneaux solaires. Il existe actuellement deux principaux types de régulateurs, PWM et MPPT. La gamme de prix de ces appareils est large et liée à de nombreux critères techniques. [6]



Figure 1.7 : Régulateur MPPT et PWM

I.2.4. Les batteries :

Le soleil n'est pas toujours là quand vous avez besoin d'utiliser son énergie, pour optimiser votre production solaire et devenir davantage autonome vous devez intégrer à votre installation une batterie de stockage solaire. L'électricité produite par vos panneaux solaires en journée y sera stockée, avant d'être utilisée au moment où vous en avez vraiment besoin (le soir et la nuit notamment). Une batterie solaire modulable permet d'adapter la capacité de stockage (exprimée en kWh) aux besoins énergétiques.

En résumé la batterie de stockage solaire vous permet de stocker puis consommer votre énergie solaire quand vous le souhaitez. [6]

I.2.5. L'onduleur :

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue.

Ils sont utilisés en électrotechnique pour :

- Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables.
- Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes.

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion AC*/DC* est

le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. [7]

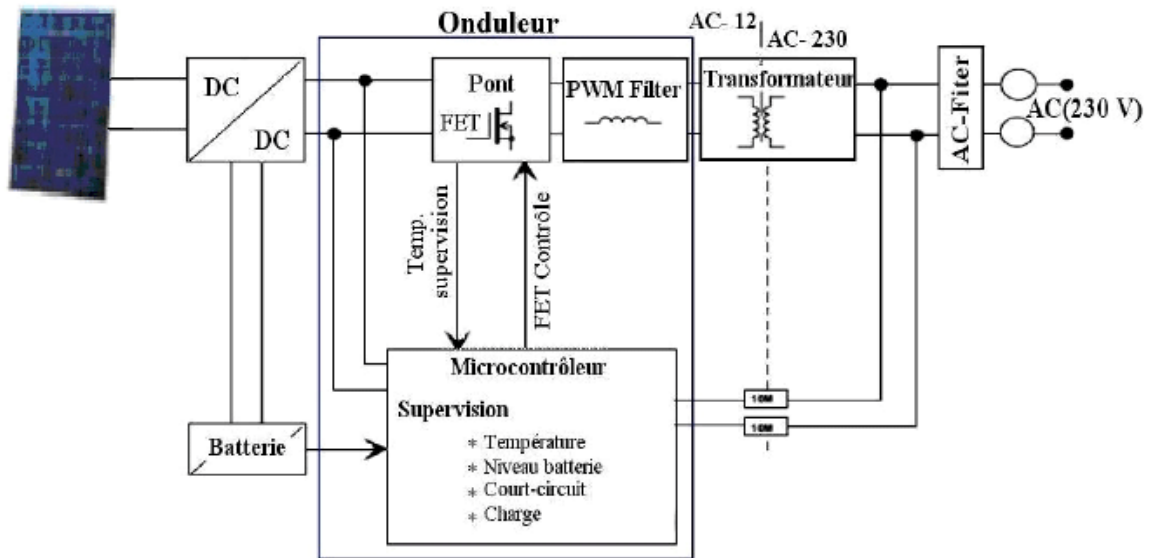


Figure 1.8 : Onduleur et son principe de fonctionnement

I.2.6. L'adaptateur :

Un adaptateur est un accessoire qui permet d'adapter ou de connecter deux appareils ou deux pièces, qui n'ont pas été initialement conçus pour être assemblés. Ce type d'accessoire permet de résoudre principalement les incompatibilités de connectique, ou de forme, dans certains cas l'adaptateur comporte une partie active chargée d'adapter les divers signaux électriques. [8]



Figure 1.9 : adaptateur

I.2.7. Le hacheur :

L'hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). [9]

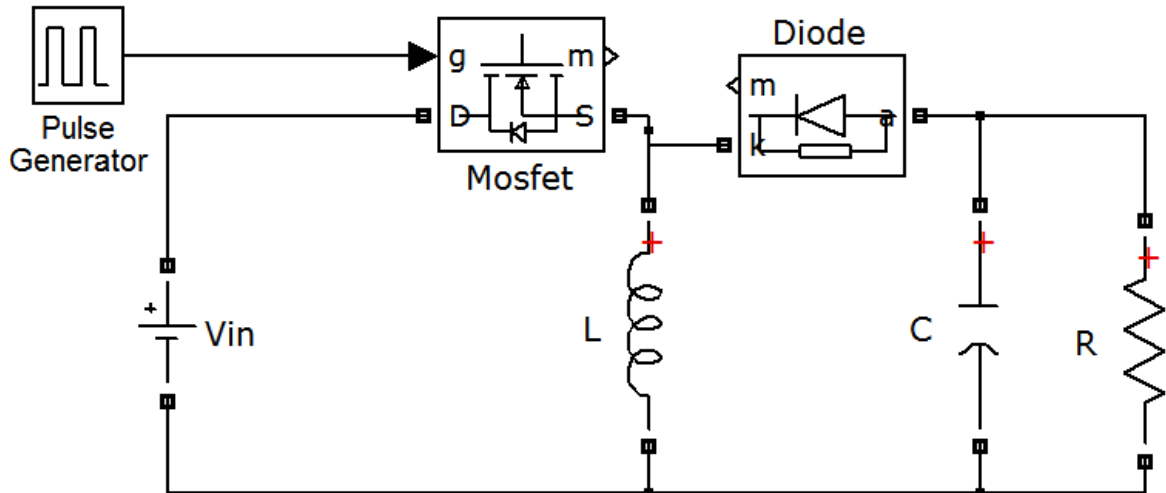


Figure 1.10 : Un Hacheur Buck-Boost

I.3. L'irrigation solaire :

L'irrigation représente dans les exploitations agricoles totalement dédiées à la production végétale, la part la plus importante de la consommation énergétique, on utilise les systèmes de pompage photovoltaïque dans les petits périmètres pour l'irrigation à partir des eaux de puits et de forages. La demande moyenne en eau par hectare, réellement irrigué est évaluée par $5500 \text{ m}^3/\text{Mois}$ avec toutefois de fortes disparités en fonction de type de culture de la région. Pour l'irrigation des cultures dans sites isolés, le pompage solaire est bien souvent la solution la plus évidente. L'évolution progressive, depuis 20 ans, des matériels et des gammes de performances permet aujourd'hui de considérer le pompage solaire comme une meilleure solution. [10]

I.3.1. Le Pompage Photovoltaïque:

Dans un système d'irrigation plusieurs modules photovoltaïques solaires sont connectés en série et parallèle pour créer un « champ photovoltaïque ». Ce champ photovoltaïque génère un courant et une tension continue (DC) à partir des rayons du soleil. Cette tension continue est convertie en tension triphasée via un onduleur de pompage. Par la variation de fréquence, les systèmes d'irrigation solaire permettent d'utiliser directement une puissance variable issue

des modules photovoltaïques donc on dit que Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement. [11]

Il existe deux options de Pompage PV :

1- Avec Batterie : pour stocker l'énergie électrique produite ce qui permet d'avoir une disponibilité de l'eau en dehors des heures d'ensoleillement (production).

2- Sans batterie : la disponibilité de l'eau pendant la nuit ou pendant les journées à faible ensoleillement est assurée par un réservoir de stockage d'eau. [11] représenté dans la **figure I-15**. [12]

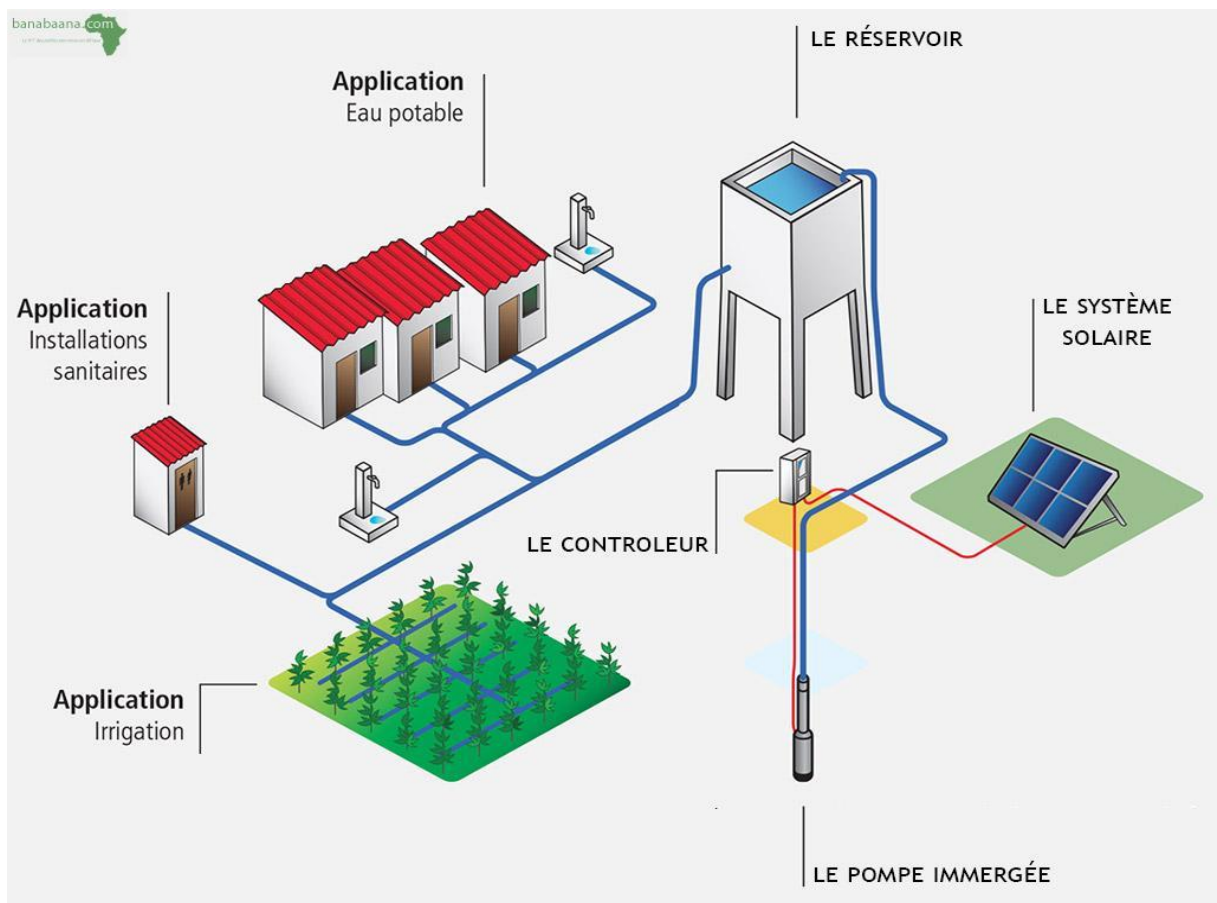


Figure 1.11 : Schéma de principe de pompage solaire.

I.4. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons étudié la source de production photovoltaïque, qui nous permet de bien comprendre le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi que les différentes applications de ce système.

Dans le chapitre suivant nous aborderons les différents éléments d'une installation de systèmes de pompage PV.

Chapitre II :

Pompage solaire

II.1.Introduction :

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés nécessite la réalisation d'une solution pratique et économique pour amener en surface les eaux souterraines. Le pompage de l'eau par l'énergie solaire est une solution attrayante pour les régions bien ensoleillées de la planète, les systèmes de pompage solaire de l'eau sont un moyen moderne dans des endroits où l'accès au réseau électrique n'est pas disponible, ou lorsque le réseau n'est pas fiable. Ces systèmes utilisent des cellules photovoltaïques (PV) pour convertir la lumière du soleil en électricité afin d'alimenter des pompes à courant continu qui peuvent être utilisées pour pomper les eaux souterraines ou de surface.

Généralement, un système de pompage photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque, un hacheur, un onduleur et un groupe motopompe.

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur le système solaire photovoltaïque de pompage, ensuite on va traiter plus particulièrement les éléments nécessaires qui consistent une station de pompage solaire.

II.2.Groupe motopompe :

II.2.1. La pompe :

On appelle pompe tout appareil qui aspire un fluide d'une région à basse pression pour le refouler vers une région à plus grande pression. Ainsi, d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide

II.2.1.1. Types des pompes :

- les pompes centrifuges :

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 rentre au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. [13]

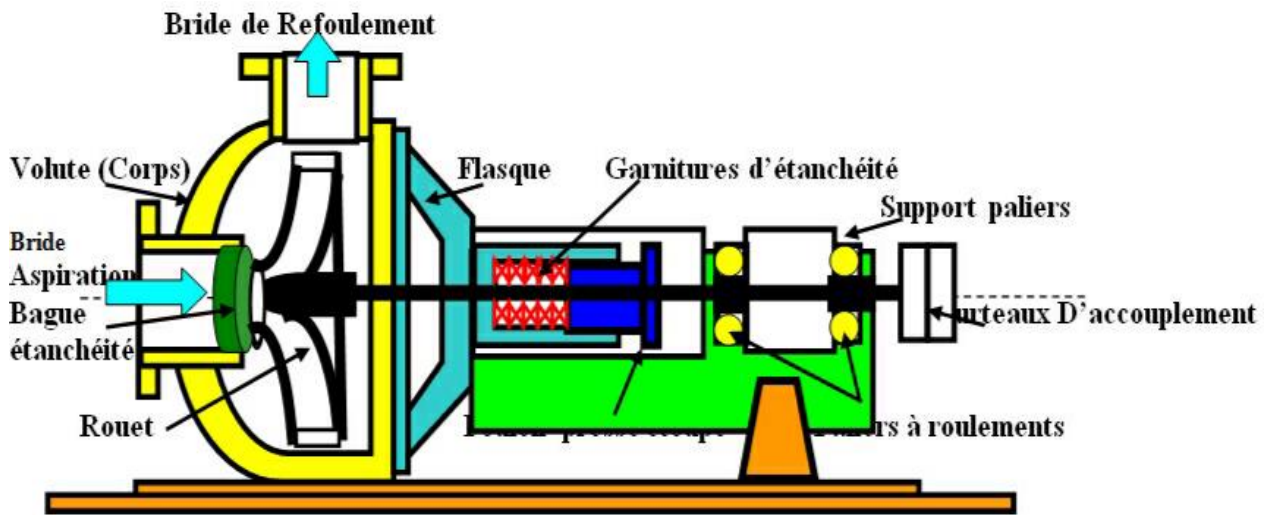


Figure II.1 : Schéma d'une pompe centrifuge

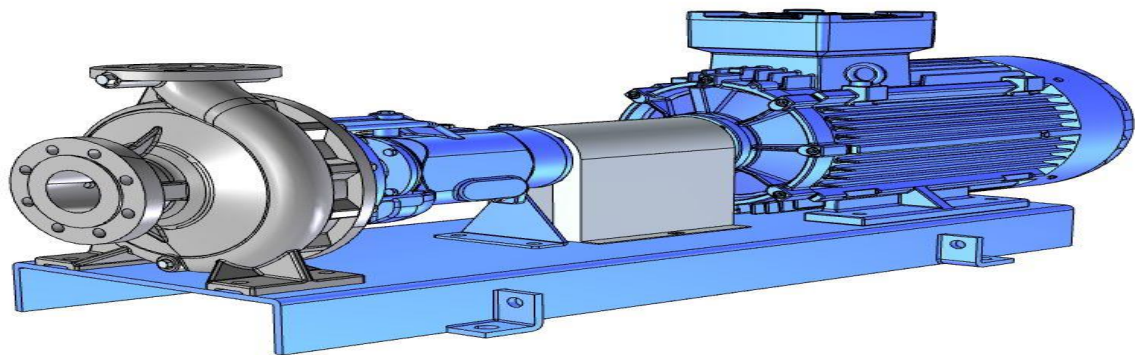


Figure II.2 : représentations d'une pompe centrifuge réelle

- Principe de fonctionnement :

En raison de leur conception et de leur fonctionnement, les pompes centrifuges sont productrices de courant hydraulique. Bien qu'il y en ait de nombreux types, une caractéristique commune à toutes les pompes centrifuges est que le fluide entre dans une roue axialement. Un moteur électrique entraîne l'axe de la pompe sur lequel est logée la roue. L'eau qui entre dans la roue axialement par la bride d'aspiration et le goulot d'aspiration est déviée par les aubes de la roue dans un mouvement radial. Les forces centrifuges qui affectent chaque particule du fluide provoquent une augmentation de la vitesse et de la pression lorsque l'eau s'écoule au travers de la zone des aubes. [13]

- La pompe volumétrique :

La pompe volumétrique peut atteindre des hauteurs plus élevées et fournir un débit suffisamment important pour répondre à la plupart des demandes.

Comme l'eau doit être transportée à travers le corps de la pompe, le résultat est un débit plus faible que celui des pompes centrifuges. Cependant, avec sa pression plus élevée, une pompe volumétrique peut fournir de l'eau contre des hauteurs de refoulement plus élevées.

[13]

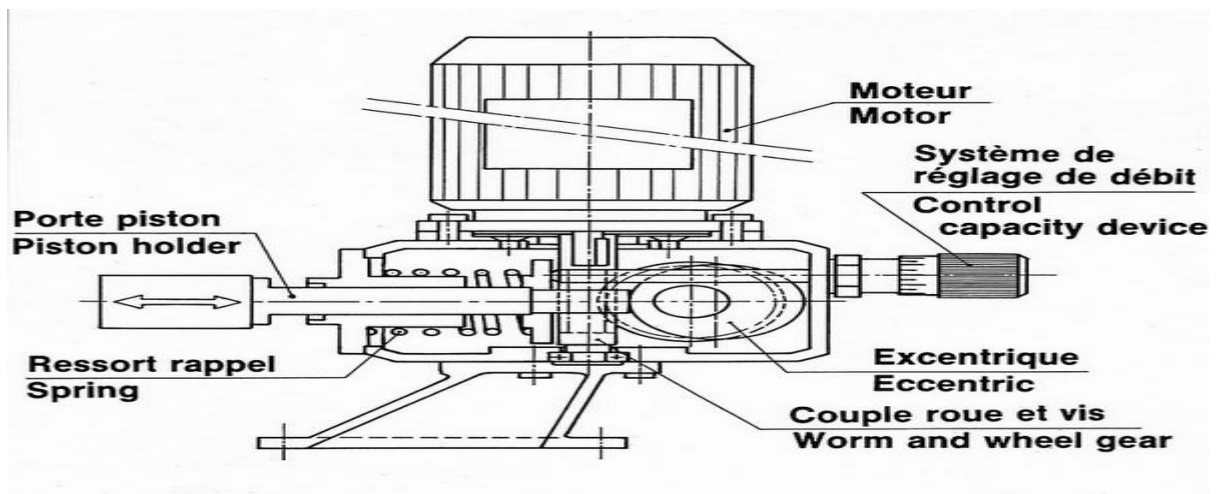


Figure II.3 : Schéma d'une pompe volumétrique.



Figure II.4 : représentations d'une pompe volumétrique réelle

- Principe de fonctionnement :

Sur les pompes volumétriques, la transmission de l'énergie vers le fluide se fait de manière hydrostatique. Lors de la transmission hydrostatique de l'énergie, un organe déplaceur réduit un espace de travail rempli de fluide et achemine le fluide en direction de la conduite. L'organe déplaceur exerce alors une pression sur le fluide. Lorsque l'espace de travail s'agrandit, l'organe est à nouveau rempli de fluide venant de la conduite. [13]

- La pompe immergée :

La pompe immergée fonctionne avec un moteur électrique, qui fournit tout simplement la puissance pour pomper un liquide. L'eau pompée est envoyée dans un tuyau, qui redirige le liquide à un réseau pour y être traitée. Il faut noter que la pompe va rester dans l'eau pour un certain moment. [13]

Liste de pièces

1. Anneau de levage
2. Presse-étoupe anti-traction
3. Chambre étanche
4. Plaque à bornes
5. Palier à billes auto-lubrifié
6. Arbre moteur chromé dur
7. Protection par 3 bilames
8. Rotor moteur équilibré
9. Stator moteur étanche classe isolement "f" (155°C)
10. Carter moteur avec nervures
11. Palier étanche à double rangée de billes
12. Garniture mécanique double
13. Sonde pour dispositif électronique de contrôle de l'étanchéité entre pompe et moteur
14. Chambre à huile pour lubrification de l'étanchéité
16. Coussinet de turbine
19. Plaque de base réglable
20. Bride de mise en position rapide
- A. Couronne dentée anti-blocage
- B. Turbine spéciale (1 ou 2 canaux) avec arête déflectrice
- C. Orifice d'admission à arête vive
- D. Disque à rainures spiralées et à arêtes vives

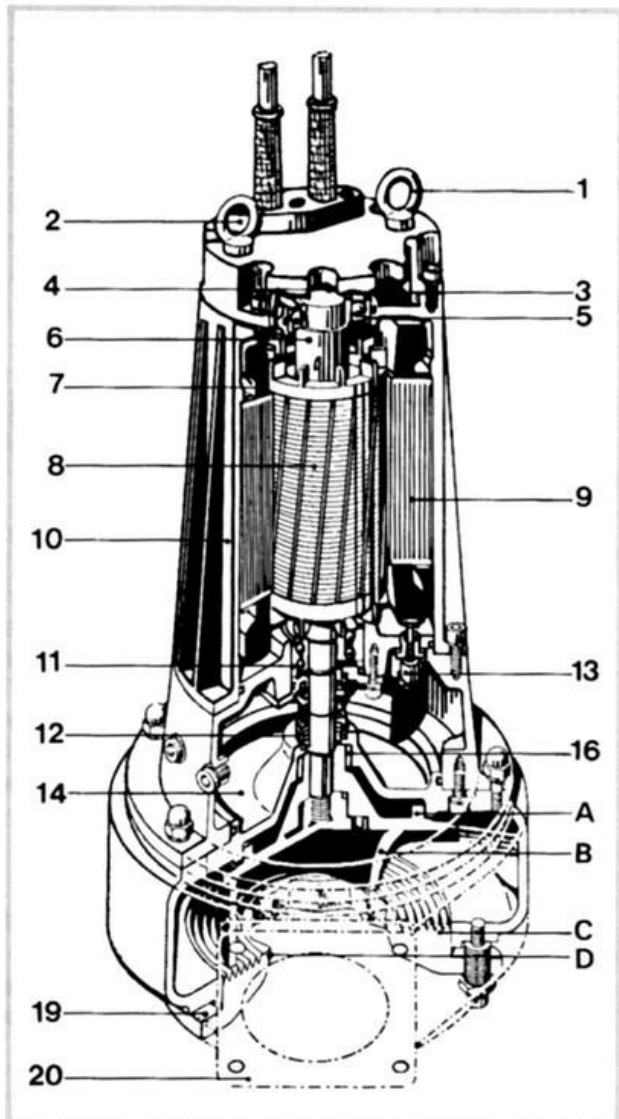


Figure II.5 : schéma d'une pompe immergée

II.2.2. Le moteur :

- Historique :

Un moteur est un appareil transformant une énergie quelconque en énergie mécanique. Les moteurs les plus anciens utilisent les forces naturelles, sans ajout de technologies ou presque : des moteurs utilisant une pression (voile, moulin à vent) ; des moteurs à élastique (arc, arbalète, catapulte à torsion, horloge à ressort) ; des moteurs utilisant la gravité (roue à aube sur cours d'eau ou sur réserve d'eau, clepsydre, catapulte à contrepoids, tournebroche à poids, horloge à poids).

Le premier moteur vraiment indépendant de la nature, adaptable en situation, est la machine à vapeur. Ce moteur repose sur une chaudière produisant de la vapeur d'eau grâce à une source de chaleur, généralement une combustion. La vapeur comprimée est utilisée, lors de sa détente, pour mouvoir un piston dans un cylindre. Ce mouvement de translation est alors transformé en rotation par un système bielle-manivelle. La rotation de l'arbre, stabilisée par un volant d'inertie, régulateur de la vitesse de rotation, entraîne enfin une machine ou des roues, via un mécanisme de transmission.

À la fin du XIX^e siècle, le moteur à combustion interne, qui produit directement l'énergie lors de la combustion rapide d'un mélange carburant/comburant, est développé et adapté aux premières automobiles. Ce moteur est, comme la machine à vapeur, équipé de bielles et pistons, avec comme exception le moteur Wankel qui lui n'a pas de bielles, mais des pistons rotatifs; toutefois la production d'énergie se fait à l'endroit même de la production de travail d'où l'appellation de moteur à combustion interne. Depuis, il poursuit ses progrès en matière de rendement et d'adaptation aux exigences des normes antipollution.

Au milieu du XX^e siècle, devant le besoin croissant de puissance pour propulser les avions militaires, les moteurs à réaction furent activement développés, en particulier, pendant la Seconde Guerre mondiale en parallèle avec les moteur-fusée pour les missiles. Comme ces deux familles de moteurs ont des rapports *poids / puissance* (ou puissance massique) sans équivalent, malgré des rendements plutôt faibles, au XXI^e siècle, ils sont toujours développés activement pour mouvoir avions et fusées. [13]

II.2.2.1. Les types des moteurs électrique :

- Moteur à courant alternatif :

La gamme des moteurs à courant alternatif utilise les technologies synchrones à aimant permanent et asynchrones monophasés ou triphasés. Les moteurs à technologie synchrone permettent de tourner à une vitesse de rotation fixe et précise, indépendante des variations de la charge et de la tension. Les moteurs asynchrones sont caractérisés par une vitesse de rotation dépendant de la charge appliquée sur l'axe. La vitesse à vide est liée à la fréquence du réseau d'alimentation monophasé ou triphasé (230/400V-50Hz). Les moteurs à courant alternatif sont souvent utilisés dans des entraînements à vitesse et à couple fixe, directement alimentés par la tension secteur. Ils offrent une très grande longévité, nécessaire à la plupart des applications. [13]

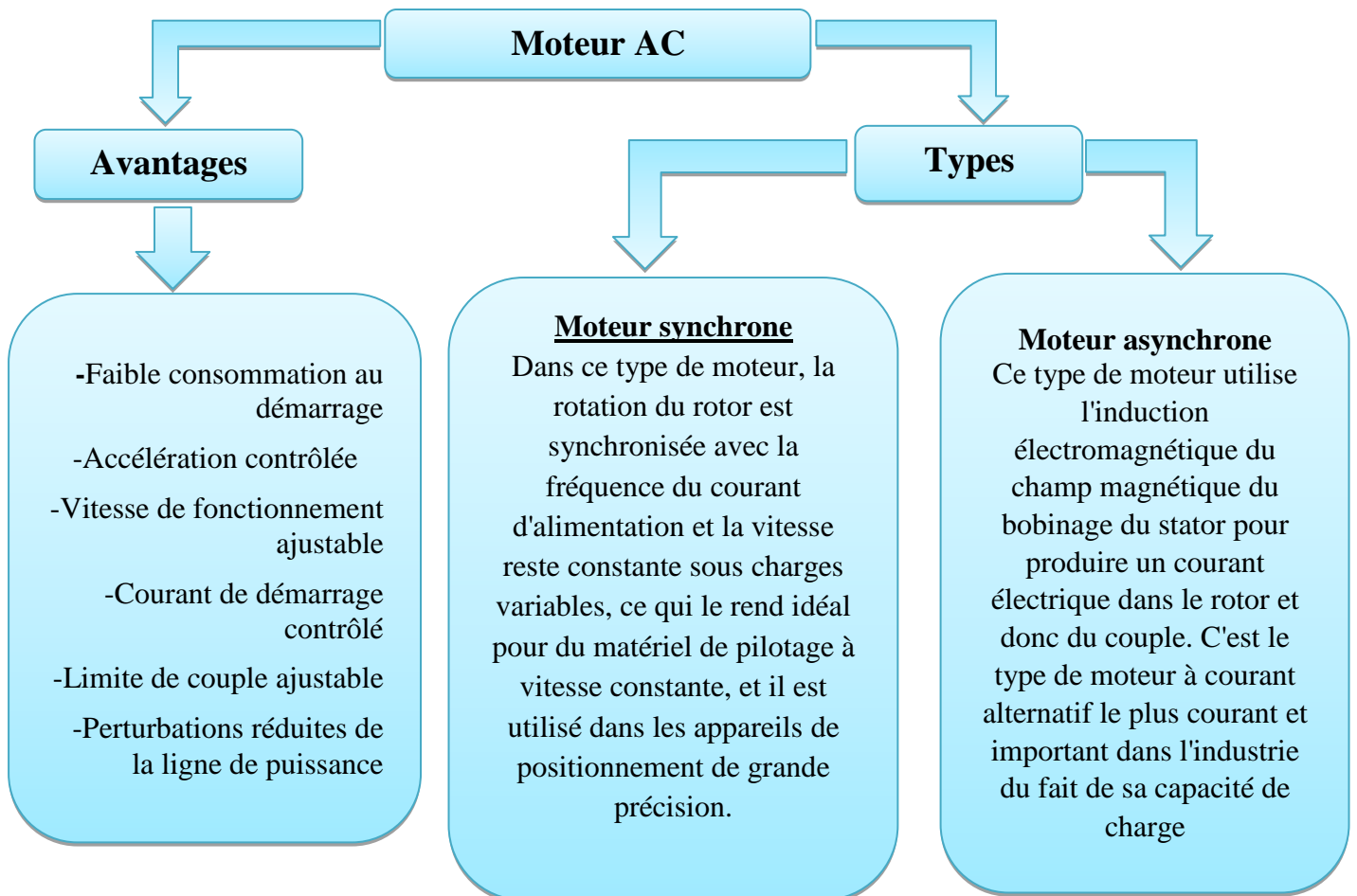


Figure II.6 : Les avantages et types d'un moteur AC

- Moteur à courant continue :

Les moteurs à courant continu représentent le premier type de moteur largement utilisé et les coûts initiaux des systèmes (moteur et variateur) ont tendance à être moins élevés que les systèmes c.a. pour des appareils de faible consommation, mais avec des appareils de plus grande consommation, les frais d'entretien généraux augmentent et devraient être pris en compte. La vitesse des moteurs c.c. peut être contrôlée en variant la tension d'alimentation et ces moteurs sont disponibles dans une large gamme de tensions. Cependant, les tensions les plus utilisées sont 12 et 24 V. [13]

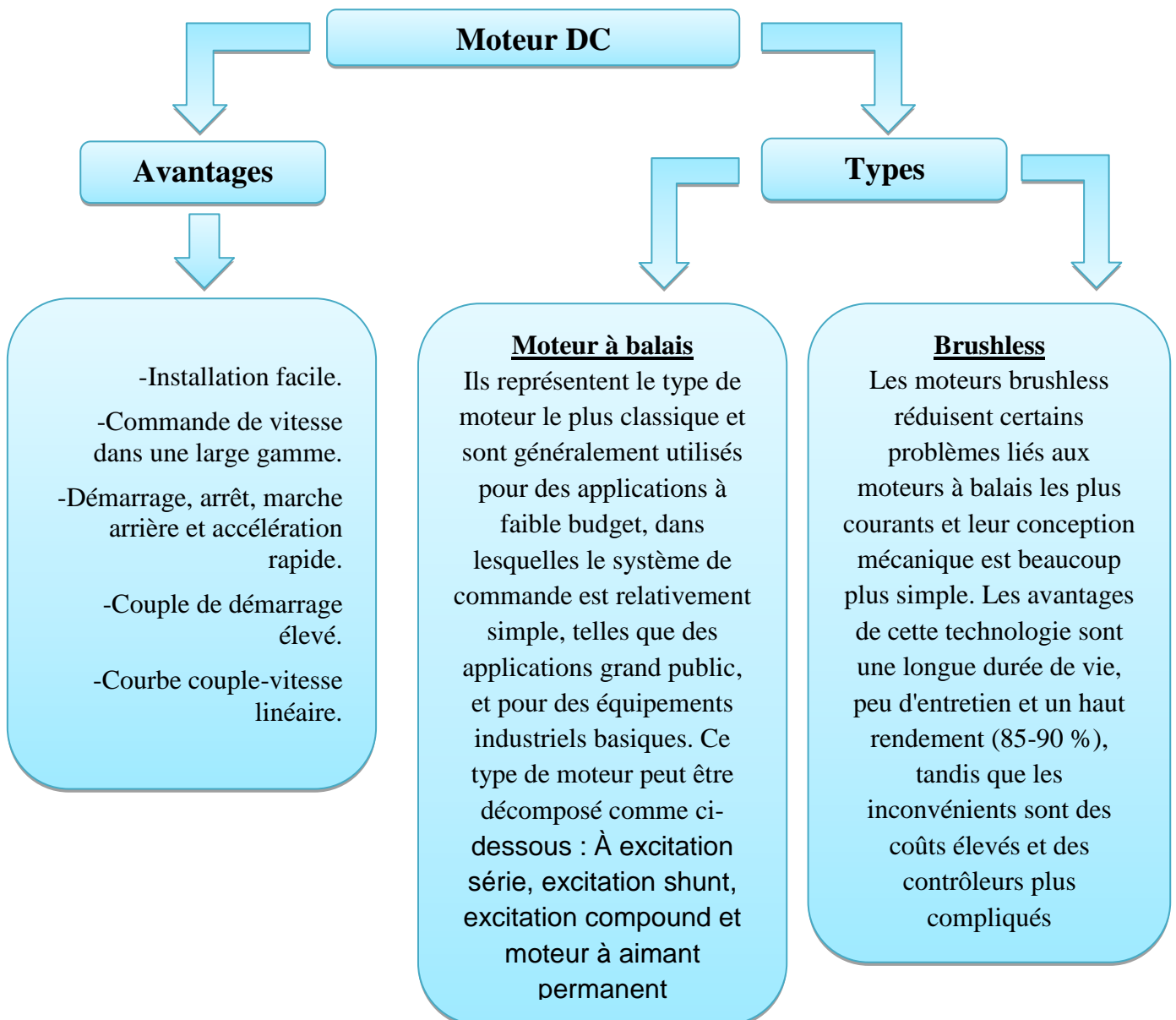


Figure II.7 : Les avantages et types d'un moteur DC.

II.3. Couplage générateur PV-groupe motopompe :

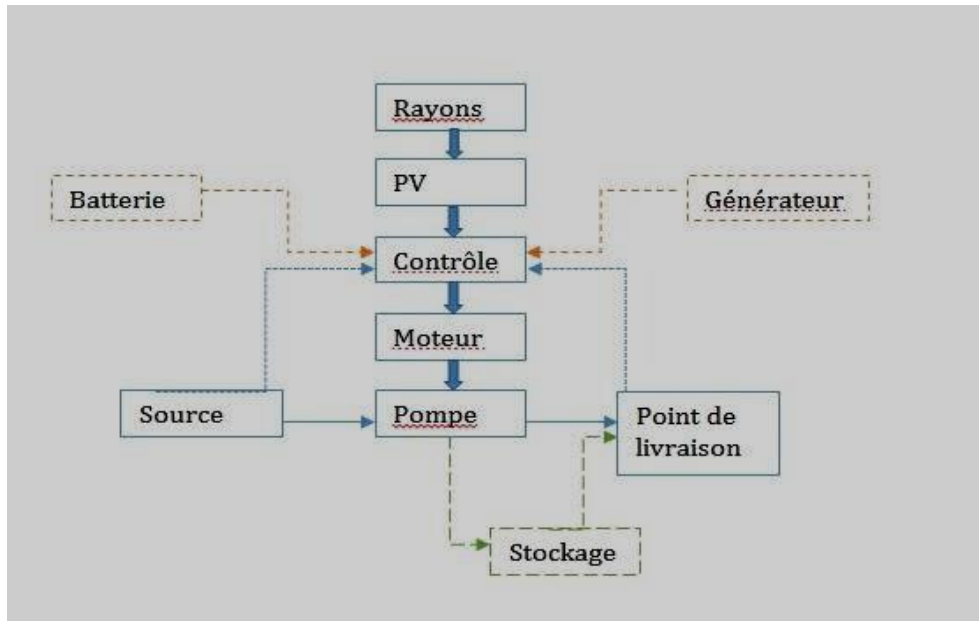


Figure II.8 : Schéma d'un Couplage générateur PV-groupe motopompe.

II.3.1. Principe de fonctionnement :

Le pompage photovoltaïque a lieu fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, le pompage sans batterie, plus communément appelée « pompage au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation. Le pompage avec batterie permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe. L'utilisation de batteries comporte davantage de composants qui influent sur la fiabilité et le coût global du système. Les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés.

Elles nécessitent en outre un entretien constant et un contrôle rigoureux de leurs charges et décharges. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20 à 30 % de la production d'énergie. Le pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple.

Plus fiable et moins coûteux qu'un système avec batterie. Le stockage se fait de manière hydraulique l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin. Le réservoir peut souvent

être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un a plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et facile à réparer localement. [13]

II.3.2. Le rendement :

Pour les groupes motopompe (pompe moteur), la courbe du rendement globale est donnée par :

$$\eta_{mp} = P_H / P_a \quad (\text{II.1})$$

Ou P_H : la puissance hydraulique avec :

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (\text{II.2})$$

ρ : masse volumique du liquide en (Kg / m^3)

Q : débit en (m/s)

g : accélération de l'apesanteur (9.81m/)

H : hauteur de charge (m)

Et :

$$P_a = P_u / \eta_m \quad (\text{II.3})$$

P_u : La puissance mécanique du moteur (utile) (W)

η_m : Le rendement du moteur

Le rendement de la pompe est en fonction et passe par un maximum pour son débit nominal autour duquel la pompe doit être utilisée. [13]

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordée quelque notion sur le système motopompe en commençons par ces composants et leurs principes de fonctionnement, en suite on a parlé sur son couplage et son principe de fonctionnement, à la fin on a abordée brièvement le principe de fonctionnement d'une pompe solaire et son rendement.

Chapitre III:

Dimensionnement du système de pompage
solaire pour l'irrigation

III.1. Introduction :

L'irrigation est nécessaire dans chaque ferme. Elle consiste en un apport artificiel d'eau sur des terres agricoles. Elle vise à pallier le manque ou l'insuffisance d'eau de pluie.

Dans notre cas on va utiliser le système de pompage pour l'irrigation, il y a plusieurs techniques d'irrigations mais on va choisir l'irrigation localisée et micro-irrigation par le système du goutte-à-goutte.

Dans ce chapitre on va dimensionner notre système de pompage solaire pour un bon rendement.

III.1.1. Définition du système de pompage solaire :

La différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage classique est l'utilisation de panneaux solaire, d'un convertisseur et d'une pompe correspondante. Les pompes utilisées peuvent être de surfaces ou immergées, centrifuges ou volumétriques selon nos besoins, le pompage photovoltaïque se présente de deux façons, avec ou sans batterie. La première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, la deuxième est sans batterie, plus couramment appelée « pompage au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation. [14]

III.1.2. Méthode de pompage :

III.1.2.1. Système de pompage avec batterie:

Ce système utilise les batteries qui stockent l'énergie produite par les cellules, on utilise cette méthode quand y'en a pas d'ensoleillement pour avoir d'énergie qui fait marcher le système.

- Le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement.
- La batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique.
- Le stockage d'énergie électrique rend les systèmes de pompage photovoltaïque fiables, la journée et la nuit, en beau et mauvais temps. [14]

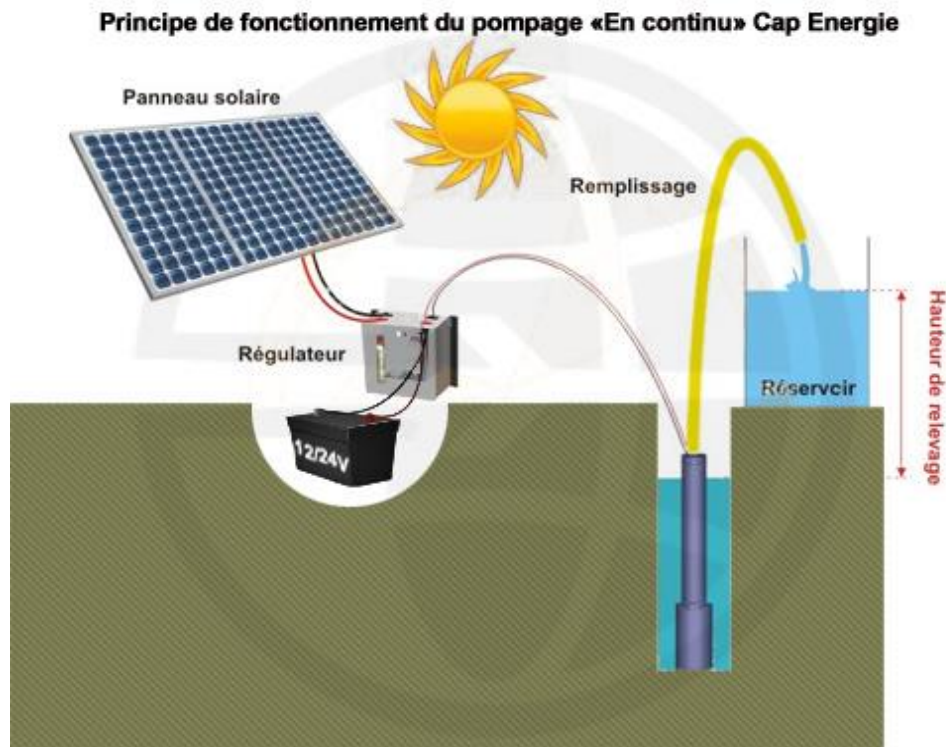


Figure III.1 Principe de fonctionnement du pompage avec stockage électrochimique.

III.1.2.2. Système de pompage au fil de soleil:

Le pompage au fil du soleil utilise un réservoir pour stocker de l'eau jusqu'au moment de son utilisation, il se compose d'un générateur photovoltaïque alimentant une pompe assistée par un régulateur contrôleur. Pour éviter un coût supplémentaire de l'installation, la plupart des systèmes de pompage photovoltaïque fonctionnent au 'fil du soleil' où le moteur d'entraînement est directement couplé au générateur sans stockage d'énergie.

- Le pompage au fil du soleil est suffisant, la pompe est mise en route.
- La nuit ou quand le rayonnement devient trop faible, la pompe s'arrête. [14]

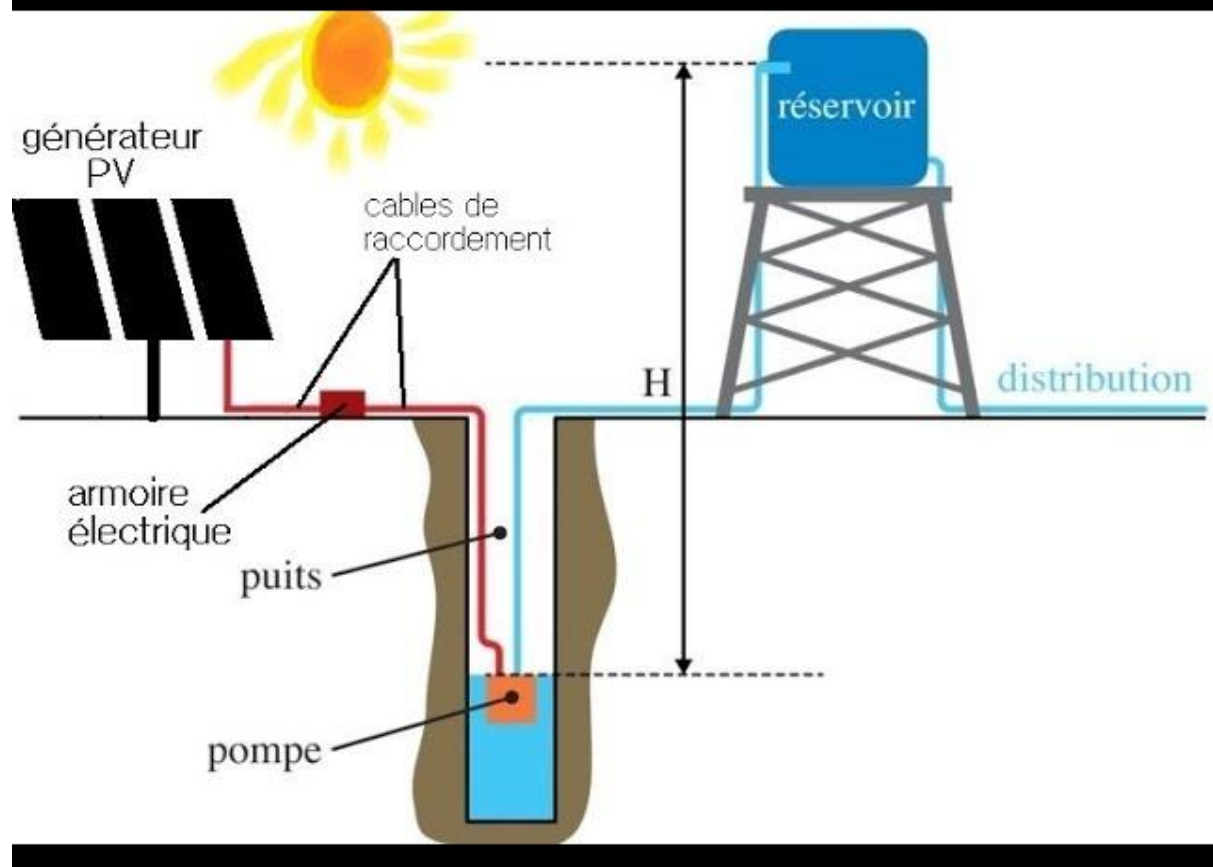


Figure III.2 Principe de fonctionnement du pompage au fil de soleil

III.1.2.3. Les avantages et inconvénients des pompages au fil du soleil et avec batteries :

Les avantages et inconvénients de ces deux techniques de pompage sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau III.1. Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque. [14]

Méthode de pompage	Avantages	Inconvénients
Pompage au fil de soleil	1. Economie du coût des batteries et par conséquent leur maintenance. 2. Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux. 3. Meilleur rendement énergétique.	1. Perte d'énergie au début et à la fin de la journée. 2. Le débit de la pompe n'est pas constant et le rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée.

Pompage avec batterie

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Débit de la pompe régulier et à pression fixe. 2. Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries. 2. Changement des batteries tous 5 à 7 ans. 3. Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie. 4. Coût élevé du système photovoltaïque. |
|---|--|

III.1.3. Irrigation goutte à goutte :

Développée depuis une trentaine d'années, cette technique consiste à apporter de l'eau sous faible pression de façon intermittente et uniquement aux endroits où elle est nécessaire. La consommation en eau est très réduite, mais la quantité et la durée des apports en eau doivent être précisément contrôlés, ce qui est difficile en pratique. De plus, l'eau doit être filtrée afin de ne pas obstruer les fins tuyaux qui la distribuent. [14]



Figure III.3 : L'irrigation par goutte à goutte

III.1.4. Equipements Utilisés :

Dans l'irrigation localisée on trouve de l'amont vers l'aval :

- Une station de pompage
- Un équipement en tête chargé de mesurer ou de régulariser le débit et/ou la pression et parfois la qualité physique et chimique de l'eau.

Des conduites principales, secondaires

Des rampes Les conduites qui sont utilisées en irrigation localisée sont fabriquées à partir de : -Chlorure de polyvinyle, pvc :

- Polyéthylène, PE.
- Polypropylènes PP

Le PE est utilisé pour les petits diamètres, et le PVC est utilisé pour les gros diamètres.[14]

III.1.5. Les différents types de goutteurs :

Il existe plusieurs types de goutteurs dans le marché ; de différentes tailles, formes, débit et pression de fonctionnement.

III.1.5.1. Goutteurs turbulents :

Un goutteur turbulent goutteur turbulent est un goutteur dont le débit diminue d'un goutteur à l'autre en raison des lois de perte de charge... Les apports sont donc moins précis.... [14]



Figure III.4 : Goutteurs turbulents.

III.1.5.2. Goutteurs autorégulant :

Un goutteur autorégulant est un goutteur dont le débit reste constant tout au long de la ligne. Le débit distribué est constant sur une large gamme de pression. Il faut une pression minimum pour que le goutteur commence à réguler. [14]



Figure III.5 : Goutteurs autorégulant

III.1.5.3. Goutteurs intégrés :

Le goutteur intégré est inséparable de la gaine qui le protège. Il est inséré dans la gaine en usine avec des espacements fixes 0,3 à + de 1m. Il est plus facile à dérouler au champ. Il nécessite moins de manipulation lors de l'installation. Les espacements sont déterminés en fonction du sol. Il offre une gamme de débit plus large. [15]



Figure III.6 : Goutteurs intégrés.

III.1.5.4. Goutteurs rapportés :

Le goutteur rapporté est fixé sur le tuyau, au cham fixé sur le tuyau, au champ Il est plus exposé aux « plus exposé aux « agressions » extérieures » extérieures Il offre une solution plus « une solution plus « flexible » pour les jardins, les pépinières, le hors sol... (il est mis Les débits sont plus élevés (2 à 8 L/H) débits sont plus élevés (2 à 8 L/H) en place en fonction de la position de la plante. [15]



Figure III.7 : Goutteurs rapporté

III.2. Présentation de la région :

Laghouat est une ville d'Algérie située dans le Nord du Sahara, au pied de l'Atlas saharien. Elle se trouve à 329 km au sud d'Alger et à 750 m d'altitude. Elle est une ville où la réunion des monts de l'atlas saharien, le désert les arêtes rocheuses et la palmeraie forment un paysage d'une beauté sublime, elle couvre une superficie de 35413 km, ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 33.8065.
- Longitude : 2.88219 33°.



Figure III.8 : Carte de la localisation géographique de Laghouat

III.2.1. Les conditions climatiques :

III.2.1.1. La température :

Laghouat est une ville du Sud du territoire national dont le climat est saharien, désertique et sec. Ainsi, la température est l'un des facteurs les plus importants à étudier. Les températures moyennes à travers la wilaya sont de 38° (max) en été et de 5° (min) en hiver. (Pv gis)

Tableau III.2. Température moyenne mensuelle à Laghouat

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
MAX C°	31.4	24.9	17.1	13.2	12.4	14.2	18.3	23.3	28.3	33.6	37.9	36.6
MIN C°	21.2	15.2	9	5.5	5	8	12.3	17.4	22.6	25.5	21.2	15.2

III.2.1.2. Rayonnement solaire :

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle sur le site de Laghouat : **(pv gis)**

Tableau III.3. Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle.

Période	L'hiver			Le printemps			L'été			Automne		
Mois	Déc.	Jan	Févr	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.
HTo	5687	5538	5779	5910	6897	7005	7228	7115	7382	7276	6492	6537
[wh/ m2.j]												

III.2.2. Présentation du site :

Le terrain se trouve à ' Bouchakeur ' ses coordonnées sont '33°45'30.0"N 2°52'08.4"E. Il fait 15000 m², avec un puits de 80 m, quant à la nature de semence il contient des arbres fruitiers et des palmiers, mais l'étude est pour une seule partie du terrain et elle fait 450 m².

III.3. Le Dimensionnement du système de pompage :

Pour faire le dimensionnement d'un système de pompage solaire faut passer par plusieurs étapes qui sont nécessaires :

- Évaluation des besoins en eau.
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.
- Détermination de l'énergie solaire disponible.
- Choix des composants.

III.3.1. Evaluation des besoins en eau :

Elle dépend du mode de vie de la population donnée et on estime dans les zones rurales 20 litres par personne et 30 personnes par tête de bétail, et pour l'irrigation elle dépend du type de culture, des facteurs météorologiques comme température humidité..., dans il faut baser sur l'expérience locale ainsi la pratique.

Pour la capacité du réservoir elle sera déterminée selon nos besoins en eau journalière, d'après nos recherches on a trouvé qu'il nous faut environ 60000L/Jour.

III.3.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire :

Après connaître les besoins nécessaires en volume et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation :

$$E_h = \frac{g \cdot \rho_a \cdot V_a \cdot h}{3600} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

E_h : énergie hydraulique (Wh/jour).

h : hauteur totale (m).

V_a : volume d'eau (m^3 /jour).

ρ_a : densité de l'eau (1000 kg/m^3).

g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$).

III.3.3. Détermination de l'énergie solaire disponible :

Nous avons fait appel au site 'PV Gis' pour voir les valeurs moyennes journalières et mensuelles de l'irradiation solaire disponible et il nous a donné que l'énergie solaire moyenne annuelle est de 197.03 KWh/m^2 . Et pour le mois de décembre est 5.63 KWh/m^2

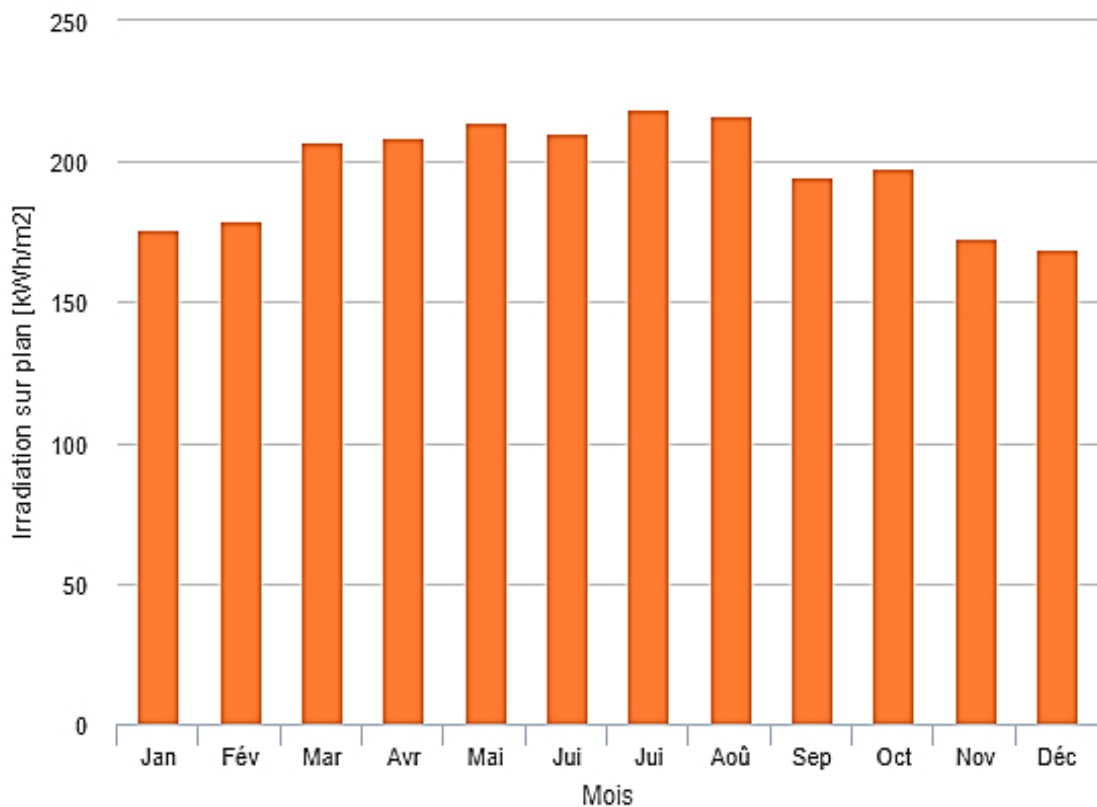


Figure III.9: Irradiation mensuelle sur plan fixe

III.3.4. Inclinaison du générateur photovoltaïque:

L'inclinaison optimale β des modules photovoltaïques (PV) égale 33.3085° .

III.3.5. Mois de dimensionnement :

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, on choisit le mois de décembre car l'ensoleillement est faible par rapport aux autres mois.

III.3.6. Dimensionnement de la station de pompage:

Le dimensionnement du système de pompage PV dépend de la puissance crête du Générateur photovoltaïque et le choix de la pompe et le choix de l'onduleur qui doivent satisfaire les conditions de références.

III.3.6.1. Dimensionnement du générateur PV :

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage solaire; une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. (Dans ce travail nous utilisons la méthode analytique).

Pour cela nous avons choisi le modèle photovoltaïque "IF-P280-60" de chez "MEK ENERGIE". Elle fournit une puissance photovoltaïque rentable destinée à un usage général par exploitation directe de charges courant continu, ou de charges courant alternatif en utilisant un onduleur. Le module est composé de 60 cellules solaires Monocristallin connectées en série pour produire une puissance maximale de 280 W. (voir annexe 2)

Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Caractéristiques électriques du module photovoltaïque "IF-P280-60"

Puissance maximale (Pmax)	280 W
Tension à Pmax (Vmp)	32.82 V
Courant à Pmax (Imp)	8.54 A
Courant de court-circuit (Isc)	8.99 A
Tension à circuit ouvert (Voc)	38.70 V
Coefficient de température de Isc	+0.005%/°C
Coefficient de température de Voc	-0.320%/°C
Coefficient de température de puissance	-0.410%/°C
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	45±2°C

Selon la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale que doit fournir le générateur PV est calculé par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma(T - T_{ref})] G_d(\beta)} * \frac{E_h}{\eta_{mp} * \eta_{Ond}} \quad (\text{III-2})$$

Avec :

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (\text{III-3})$$

G : L'éclairement dans les conditions STC.(unité)

Fm : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale, il traduit l'influence des pertes par les deux résistances Rs et Rsh.

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement. Pour notre cas on a pris la température moyenne la plus élevée : $T (mm) = 35^\circ\text{C}$

Tref : La température de référence, 298k (25°C).

Eh : Énergie hydraulique [KWh/j].

η_{mp} , η_{Ond} , sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, et de l'onduleur.
 $\eta_{mp} = 0,95$; $\eta_{Ond} = 0,97$

Fm : Le facteur de couplage

γ : Coefficient de température des cellules.

T : température moyenne journalière des cellules.

(β) : L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison [kWh/m²/j] pour notre cas : $G_d(\beta) = 5630 \text{Wh/m}^2/\text{j}$

III.3.6.1.1. Nombre de modules:

Le nombre total de modules constituant le générateur PV est calculé par la relation suivante : (III-4)

$$NM = \frac{P_c}{P_{\max}} \quad (\text{III-4})$$

Avec :

P_{\max} : La puissance du module PV (W)

P_c : La puissance crête du générateur (W)

NM = Nombre de modules.

III.3.6.1.2. Nombre de modules en série:

Pour trouver la tension adéquate à l'alimentation d'une charge donnée par la mise en série de plusieurs modules PV, le nombre de ces modules est calculé par la formule suivante :

$$Nms = \frac{Vch}{Vm} \quad (III-5)$$

Avec :

Vch : la tension nominale de la charge (l'onduleur).

VM : La tension nominale du module.

$Nms = 6.7$ Soit 7 modules en série.

III.3.6.1.3. Nombre de modules en Parallèle:

Les modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$Nmp = \frac{Im}{Is} \quad (III-6)$$

Avec :

Im : Le courant nominal de la charge (l'onduleur)

Is : Courant à puissance maximale (I_{max})

$$Im = \frac{P_{ond}}{V} \quad (III-7)$$

On a trouvé 12 modules mais on ajoute 2 modules pour compléter la chaine donc on dit que le générateur photovoltaïque à installer sera constitué de 14 modules de 280W dont deux branchements de 7 modules en série connecté en parallèles.

III.3.6.2. Choix de la pompe:

Pour notre cas, après les calculs on a su que le débit qui assurera les besoins et le stockage est $1.22 \text{ m}^3/\text{h}$ sur une hauteur manométrique total égal à 80 m. Donc on a choisi une pompe s'appelle "R95-DF-13" de puissance de 3Hp et 2.2Kw qu'elle peut atteindre jusqu'à 83m de profondeur et sa capacité est de $2 \text{ m}^3/\text{h}$. (voir annexe 3)

Le débit crête Q (m^3/h) est calculé par la relation suivante :

$$Q = \frac{3.6 * Ph}{g * h} \quad (III-8)$$

Où :

Ph : puissance hydraulique nécessaire (W)

g : accélération de la pesanteur ($9.81m/s^2$)

h : hauteur manométrique totale (m)

Avec :

$$Ph = Pc * \eta_{MB}$$

Où :

η_{MB} : rendement crête du sous-système moteur-pompe.

III.3.6.3. Choix de convertisseur DC/AC:

Les panneaux solaires donnent un courant continu, mais on a besoin d'un courant alternatif pour mettre la pompe en marche. Donc on a besoin d'un convertisseur DC/AC (onduleur) pour convertir le courant. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension), le convertisseur choisit est présenté dans le tableau suivant : (voir annexe 1)

Type D'onduleur	Puissance Max (Watts)	Tension D'entrée	Tension de sortie	Fréquence (Hertz)	Rendement %
Solar Pumping Inverter 'JNP4KL'	4000	280~600Vdc	220~240Vac ,three phase	0~50/60Hz	97

III.3.6.4. Diagramme D'un système de pompage PV:

Le système pompage solaire photovoltaïque est composé de plusieurs parties, représentées dans la figure suivante sous forme d'un diagramme.

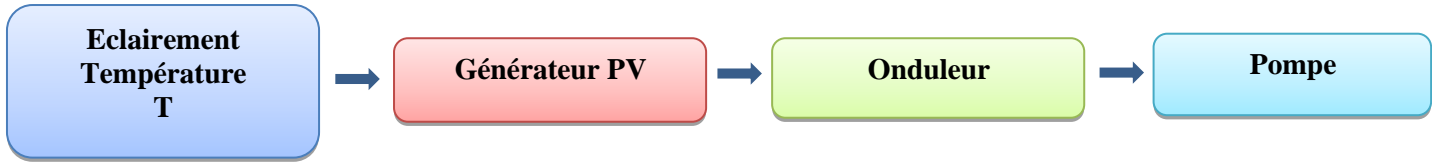


Figure III.10: Diagramme D'un système de pompage PV

III.3.6.5. Choix de stockage:

Dans notre cas, on a utilisé un bassin mais on peut aussi utiliser un réservoir d'eau ou même des batteries, mais comme c'est coûteux on évite ça .

III.3.6.6. Tableau de résultat:

Ce tableau résume nos calculs :

Energie hydraulique Eh	13080 Wh/j
Puissance Crête Pc	3278.871 W
Facteur de couplage Fm	0.8
Nombre de modules NM	14
Nombre de modules en série NMs	7
Nombre de modules en parallèle NMp	2
Débit crête de la pompe Q	2 m³/h
Puissance hydraulique Ph	266 W

III.3.7 Conclusion :

- Au cours de ce chapitre, nous avons dimensionné notre système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation, nous avons calculé le nombre de module nécessaire et choisir l'onduleur ainsi la pompe .

Dans le chapitre suivant nous aborderons la simulation de ce système sous Matlab, pour comparer nos calculs avec la simulation et voir si sont conforme ou non.

Chapitre IV: Simulation et résultats

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons voir les différentes étapes de simulation d'un pompage solaire sous Matlab simulink. Dans un premier temps on va procéder au calcul du nombre de modules nécessaire à notre étude et la comparer avec nos résultats théorique et enfin on verra l'intégration du mppt ainsi que le convertisseur DC-DC à notre système de pompage.

IV.2. Descriptif de l'environnement Matlab/Simulink:

Simulink est un outil de Matlab permettant de modéliser, simuler et analyser un système dynamique. Le logiciel permet d'étudier le comportement d'un grand nombre de systèmes dynamiques incluant les systèmes électriques, mécaniques et thermodynamiques. [16]

IV.3. Calcul du nombre de modules nécessaires :

Le schéma suivant a pour but de calculer le nombre de modules nécessaire a notre étude (modules en séries et en parallèles) .

quant aux paramètres, on a pris les données réels de notre étude :

- 60 m³/jour : le volume d'eau
- 80 m : la hauteur du puits
- 0.95 : le rendement de la pompe
- 280 w : la puissance du module
- 35 C :la température extérieure
- 5630 wh/m² : l'ensoleillement du mois choisi (décembre)
- 32.82 V : la tension du module (vmmp)

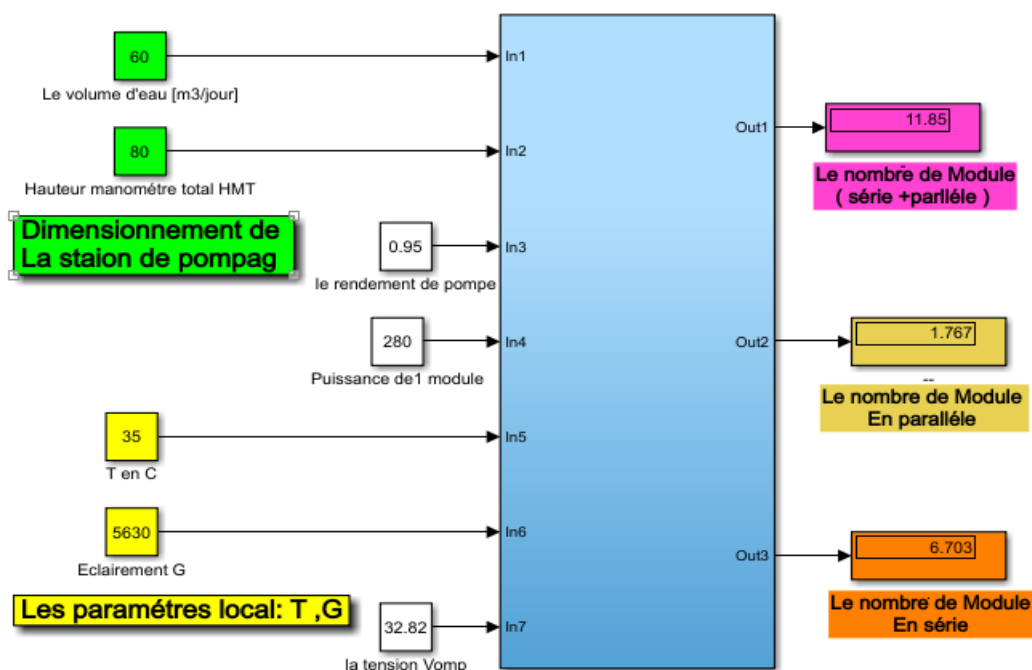


Figure IV-1: Schéma bloc sous simulink pour le calcul du nombre de module (série,parallèle)

Tableau IV.1: Les valeurs d'entrées:

Les inputs	Valeur
Volume D'eau	60 m ³ /Jour
Hauteur manomètre	80 m
Rendement de pompe	0.95
Puissance d'un module	280 w
La Température	35 C
Eclairement	5630
Tension Vmmp	32.82 V

Le schéma est composé de deux blocs :

- 1- La puissance Pc (qui représente la partie pompage du système)
- 2- Le générateur Pv (qui représente la partie photovoltaïque du système)

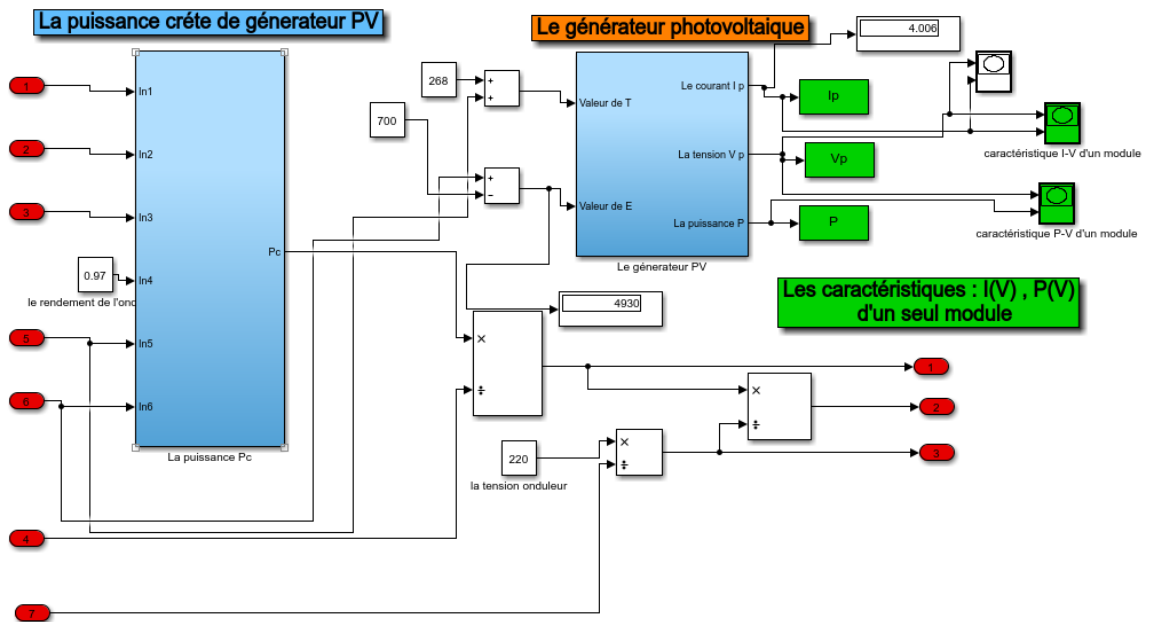


Figure IV-2. Schéma représentant les deux principaux blocs constituant notre système de pompage.

1-La puissance Pc :

-La Puissance Pc représente l'énergie électrique de la pompe son schéma bloc est comme suit :

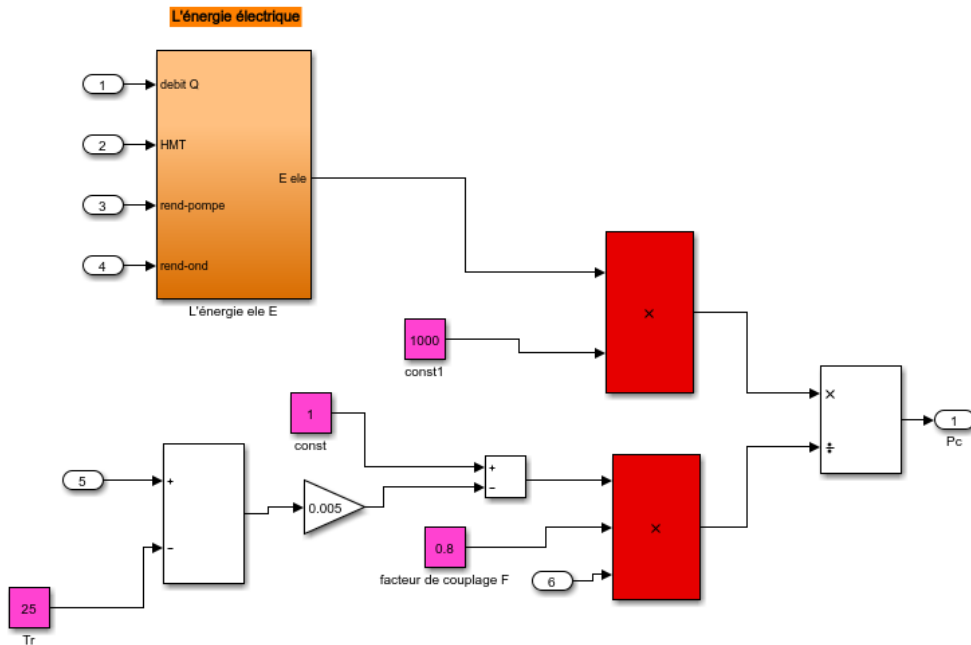


Figure IV-3. Bloc de la puissance Pc.

Ce bloc est la modélisation du bloc de la puissance Pc nécessaire, il est fait selon l'équation de la puissance Pc qui est mentionné dans le 3ème chapitre, il contient un bloc nommé l'énergie électrique E représente dans la Figure IV-4 :

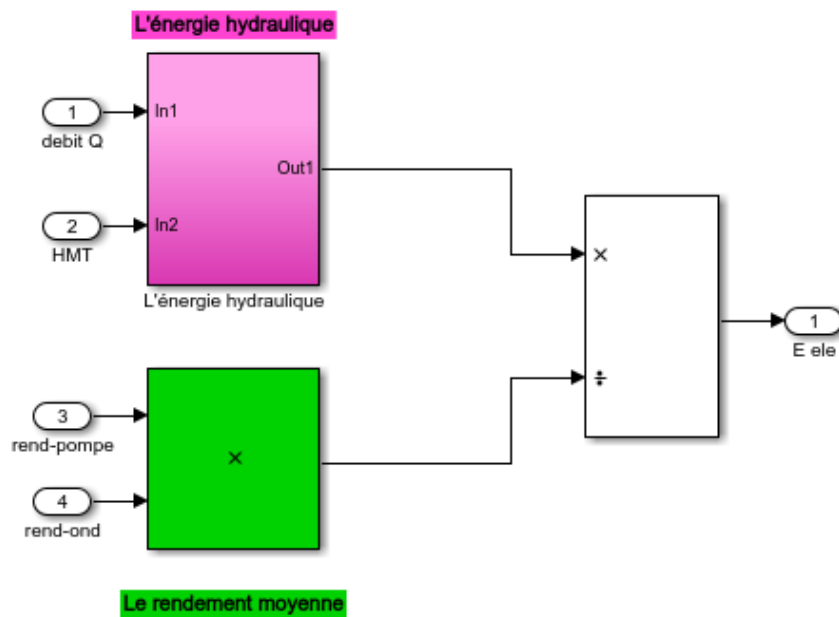


Figure IV-4. Bloc de l'énergie électrique

Ce bloc présent l'énergie électrique il est fait selon l'équation.

2-Le générateur PV :

L'équation reliant le courant délivré par un module PV constitué par la mise en série de Ns cellules et la tension à ses bornes est donnée par:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left\{ e^{\frac{V + I \cdot R_s}{V_t}} - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \right\} \quad (IV.1)$$

Ou :

$$I_{ph}, I_0 \text{ et } V_T = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}{q}$$

Désignent respectivement le photo-courant, le courant de saturation inverse de la diode et la tension thermique, avec:

n : le facteur d'idéalité de la diode.

q: la charge de l'électron.

k: la constante de Boltzman,

T: la température de la cellule qui varie en fonction de l'éclairement et de la température ambiante, cette relation est présentée sous Matlab dans la figure **Bloc du générateur**.

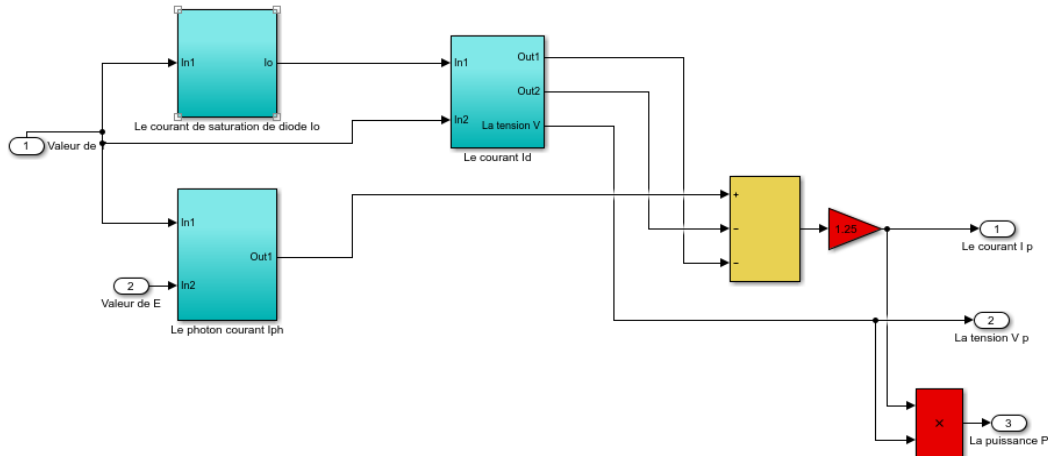


Figure IV-5 : Bloc du générateur PV

Ce bloc c'est la modélisation du générateur PV.

IV.4. Les résultats :

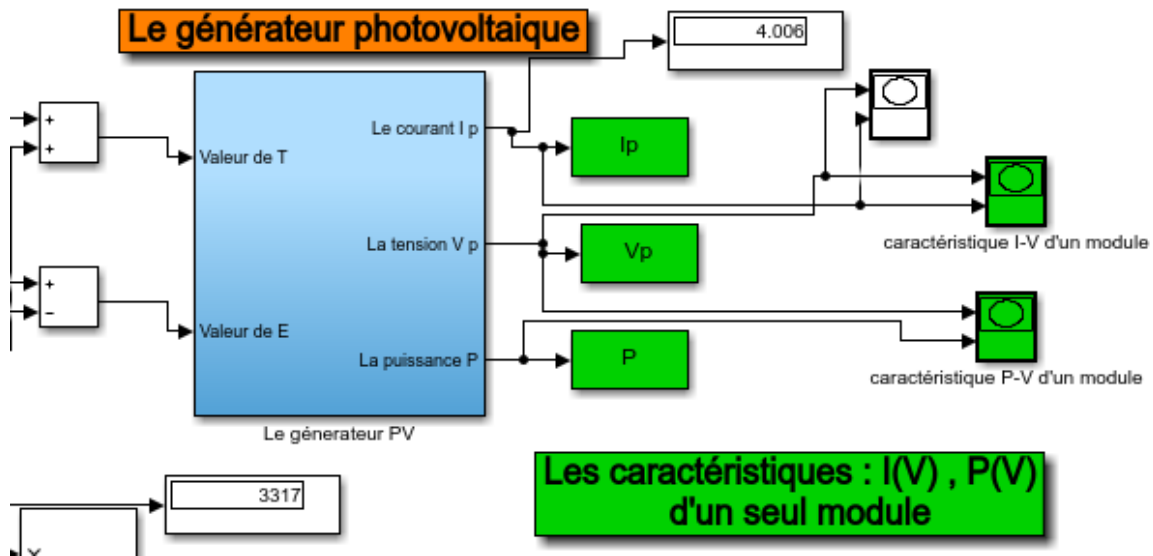


Figure IV-6 : Les résultats

D'après la Figure IV-1 et la Figure IV-6 les résultats de la simulation sont conforme à nos calculs.

le courant de référence c'est un courant qui restera ce qu'il est quel que soit les variations de charges, on a pris $I_{ref} = 4$

$P_c = 3317 \text{ w}$

IV.5. Le MPPT :

MPPT signifie Maximum Power Point Tracking. Le régulateur MPPT scanne la tension électrique produite par le panneau photovoltaïque plusieurs fois par jour. Son but est de trouver le point de sortie maximum du courant fourni par le panneau. Puis de faire en sorte de toujours utiliser cette pleine puissance. Pour notre étude on va choisir la méthode P & O selon l'organigramme suivant : [17]

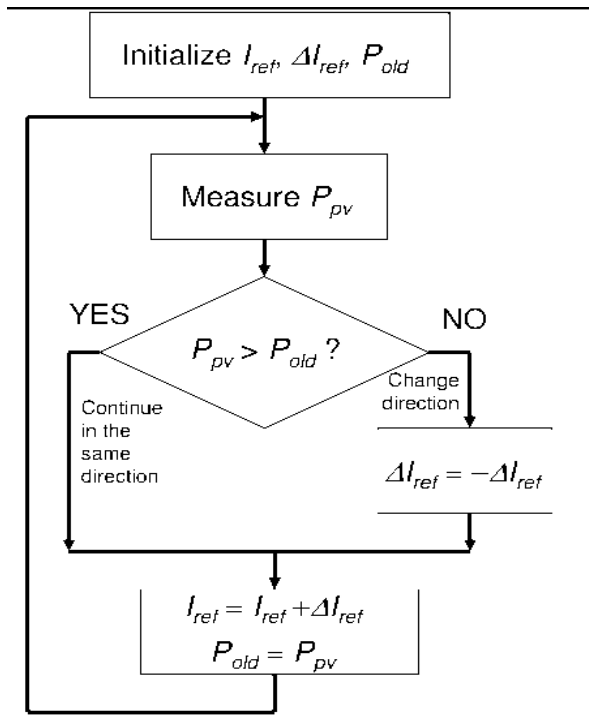


Figure IV-7 : Diagramme d'Algorithme de suivi MPP simple "perturber et observer"

IV.6. Modèle de la cellule PV :

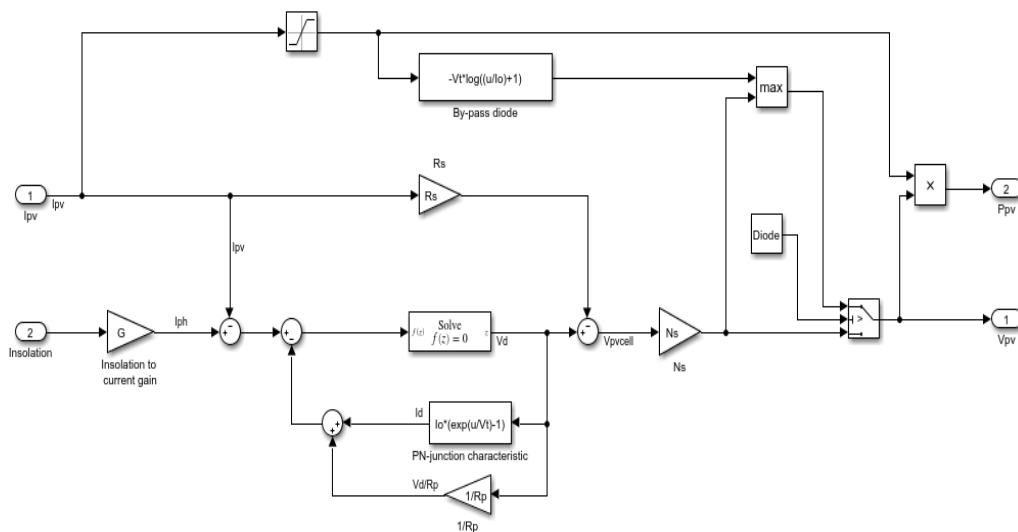


Figure IV-8. modèle de la cellule sous Matlab

Le schéma précédent sera utilisé pour la simulation de 7 modules en série relié en 2 chaines

Les caractéristiques de la simulation sont décrits dans le tableau suivant (ses caractéristiques correspondent au module choisi précédemment (voir annexe)

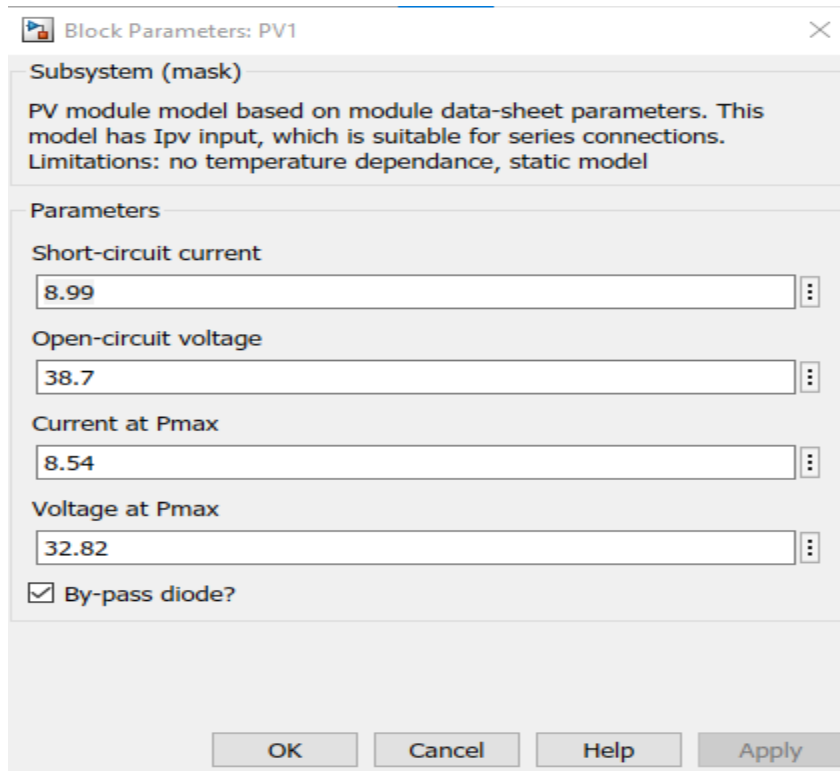


Figure IV-9 : Paramètres du module

IV.7. Le Boost DC-DC :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage, qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur, voici ce modèle qui est la modélisation du Boost DC-DC.

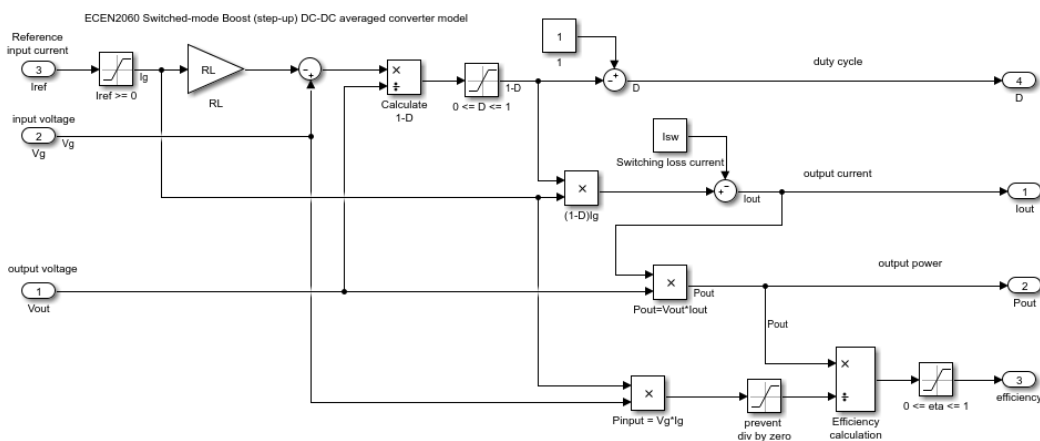


Figure IV-10. Le modèle électrique du Boost DC-DC sous Matlab

IV.8. Schéma du PV-Boost-MPPT :

Cette simulation était faite en 2 étapes :

On utilise un switcher pour changer l'ensoleillement, une fois avec 1000 et l'autre avec un variateur.

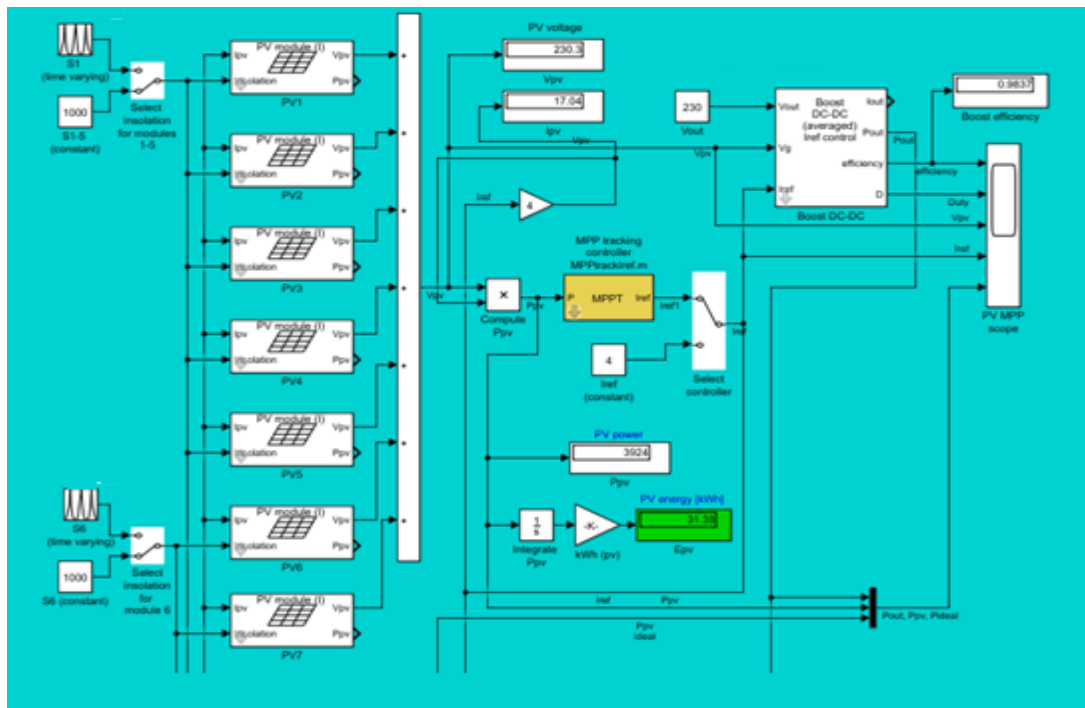


Figure IV-11 Schéma du PV-Boost DC-DC et MPPT sous Matlab

IV.8.1. Condition STC :

On a simulé dans les conditions STC pour voir le comportement du MPPT ainsi le Boost DC-DC en voyant les graphes du V_{pv} , I_{ref} , P_v , Efficiency, Duty

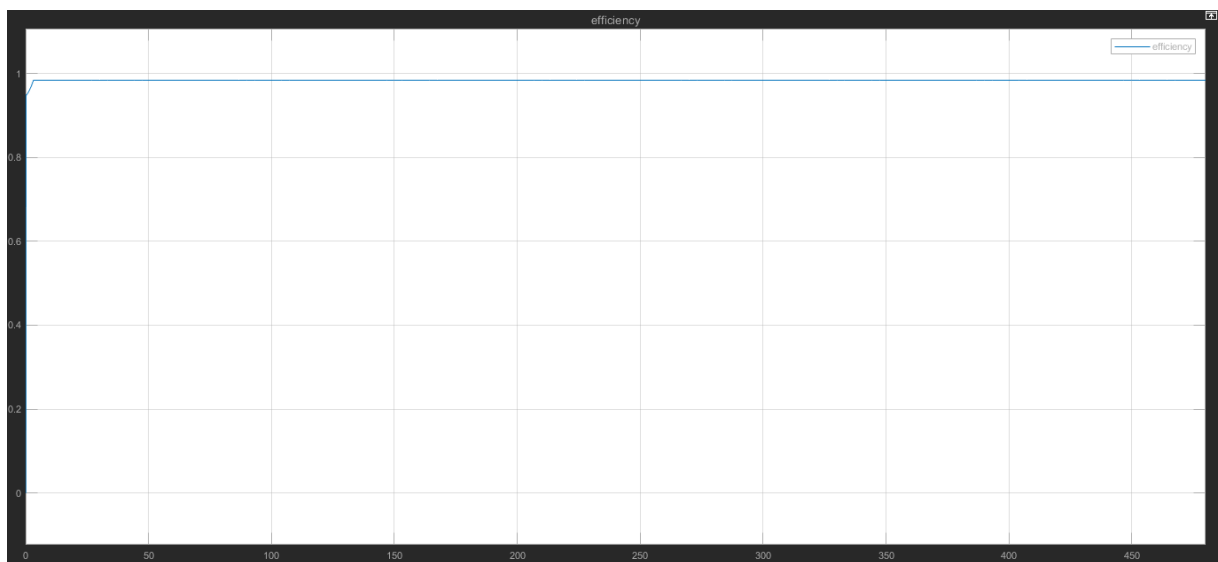


Figure IV-12 Graphe représente l'efficacité du convertisseur.

On remarque que l'efficacité du Boost DC-DC reste stable quand ya plus de variation d'ensoleillement donc on dit que cette valeur est idéale.

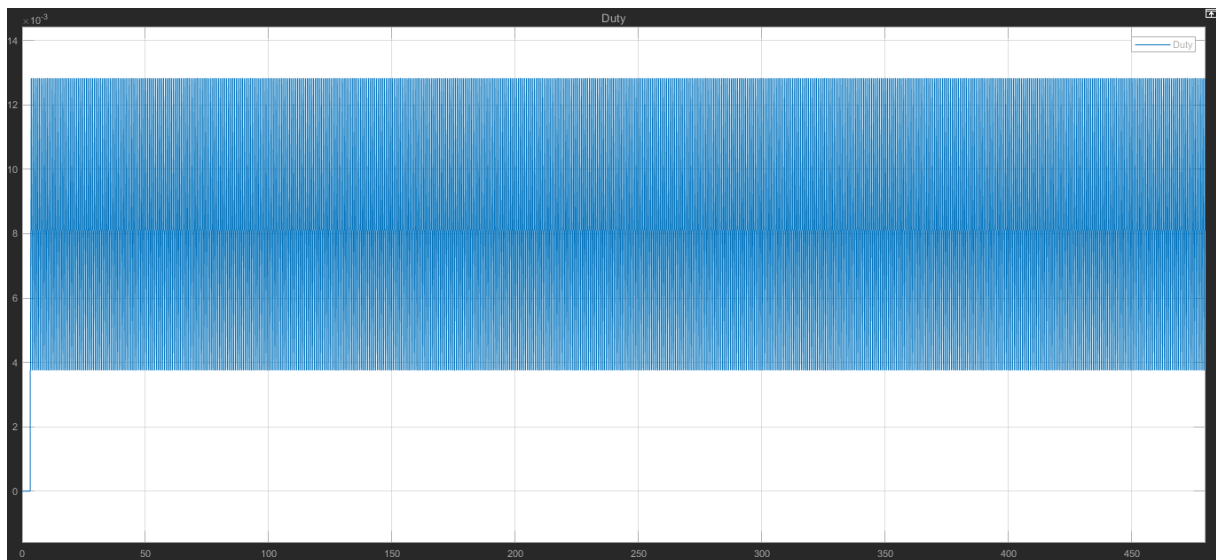


Figure IV-13 Graphe représente le rapport cyclique

On a simulé dans le mode idéal (Condition STC) pour voir le rapport cyclique, on remarque qu'il donne des cycle entre 0.003 et 0.012 donc on dit que dans le mode idéal ce rapport est stable.

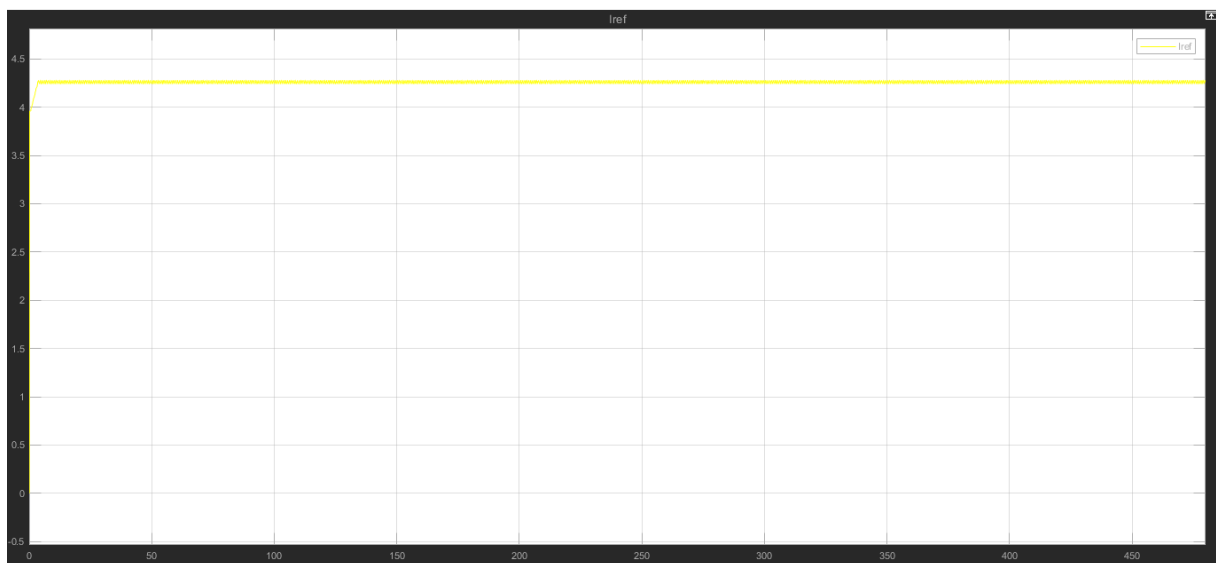


Figure IV-14 Graphe représente le courant Iref

On voit que le courant de référence est stable lors de la simulation, quand on est dans les conditions STC ce courant est égale à 4 .

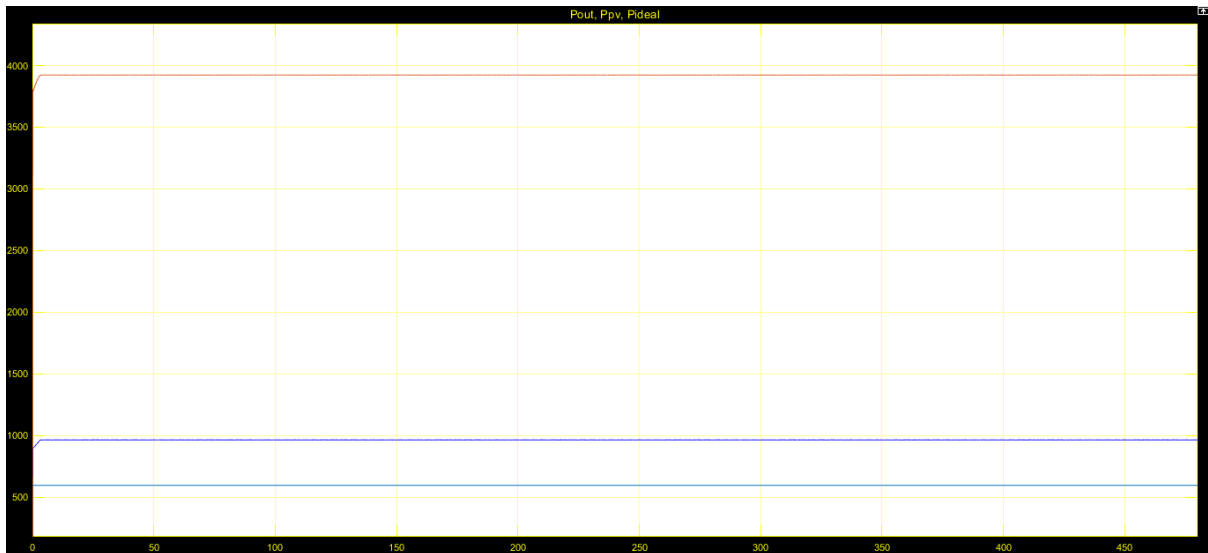


Figure IV-15 Graphe représente le Ppv,Pout,Pideal

On remarque que les 3 graphes sont constants pendant la simulation cela est dû à la simulation qui a été effectuée sous les conditions STC, la puissance reste constante puisqu'il n'y a pas de variation de l'ensoleillement, le graphe en rouge représente le Ppv (puissance PV) qui est égale à 3920W, le graphe en bleu c'est représenté la puissance du PV à la sortie du convertisseur boost DC-DC et qui est égale à 965W, le dernier graphe qui est en bleu ciel représente la puissance idéale « Pideal » qui est à 585 W.

IV.8.2. Variation de l'ensoleillement :

Dans cette simulation on a changé l'ensoleillement par un variateur qui varie entre 0 et 1000.

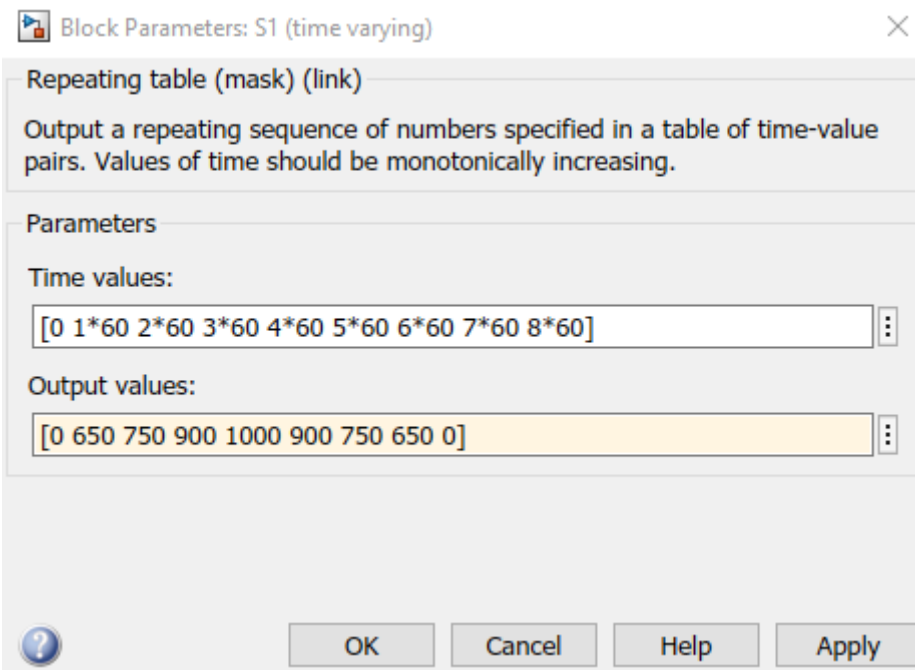


Figure IV-16 Les Valeur d'ensoleillement

La simulation va nous indiquer le fonctionnement du système avec le mppt en fonction de la variation de l'ensoleillement.

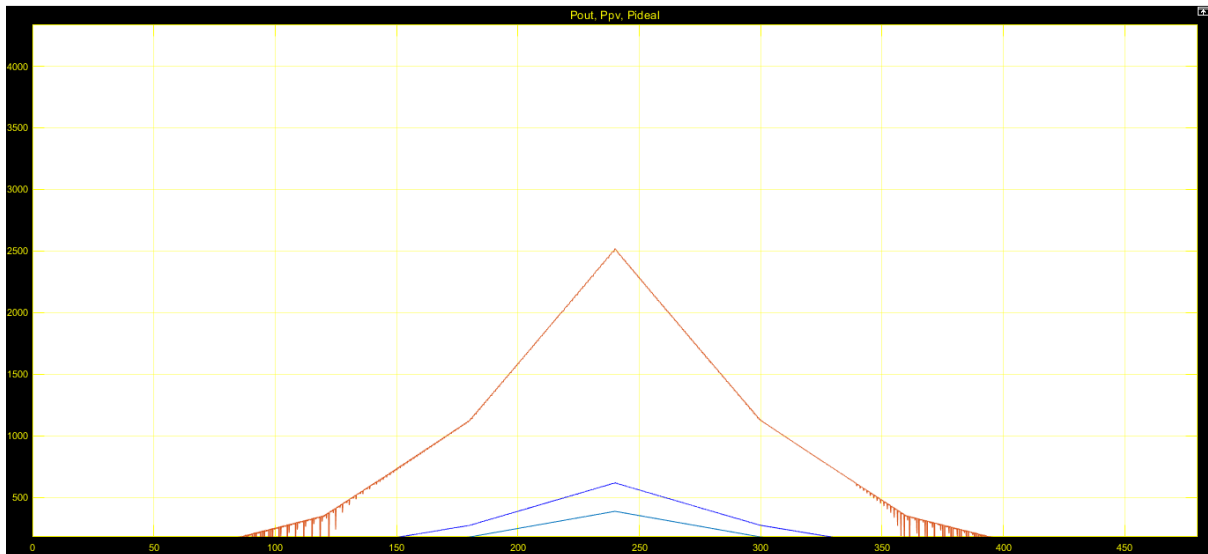


Figure IV-17 Graphe représente les puissances Pout,Ppv,Pideal

La simulation nous a donné 3 graphes Pout,Ppv,Pideal, d'après le variateur on a pris des valeurs entre [0-1000] pour voir la variation de puissance pendant la journée [avec le changement d'enseillement], pour le premier en rouge c'est le Ppv il s'augmente jusqu'à 3920W pour $1000\text{w}/\text{m}^2$ puis il revient au 0 pour 0 ensoleillement, le bleu c'est le Pout il s'augmente aussi jusqu'à 965W pour $1000\text{w}/\text{m}^2$ puis il revient au 0 aussi et c'est la même chose pour le dernier qui est en bleu ciel (Pideal) il s'augmente jusqu'à 585W puis revenir au 0, tout ça c'est l'influence du l'enseillement au système pv.

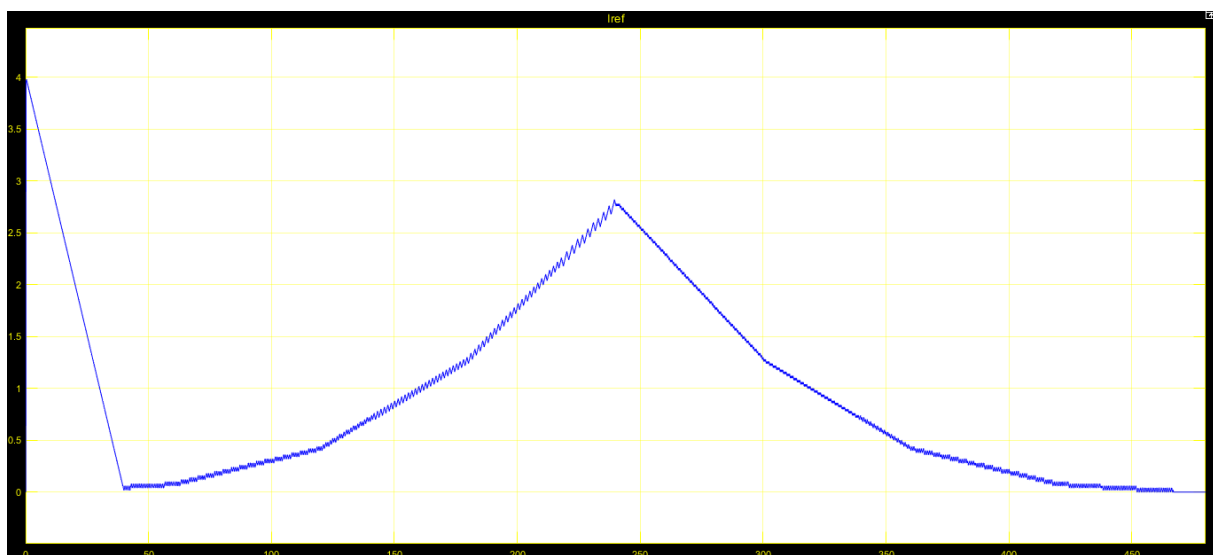


Figure IV-18 Graphe représente la variation du courant de référence Iref

On voit que le courant augmente jusqu'à 4 A puis diminue donc on dit que l'augmentation est faite avec l'augmentation d'enseillement et il diminue avec la diminution d'enseillement, ce phénomène est fait et dû a l'utilisation du MPPT .

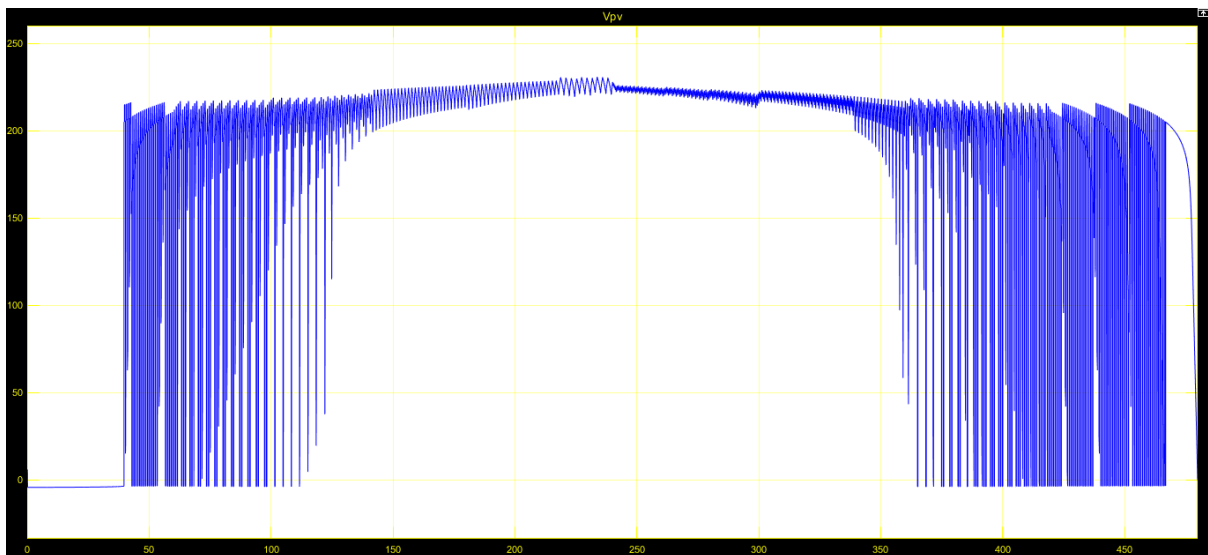


Figure IV-19 Graphe représente la variation du Vpv

On observe que la tension du pv fait des cycles avec l'augmentation de l'ensoleillement de 0 jusqu'à 1000w/m^2 la période de ce cycle diminue et quand l'ensoleillement diminue pour revenir au 0 (la nuit) la période du cycle devient grand.

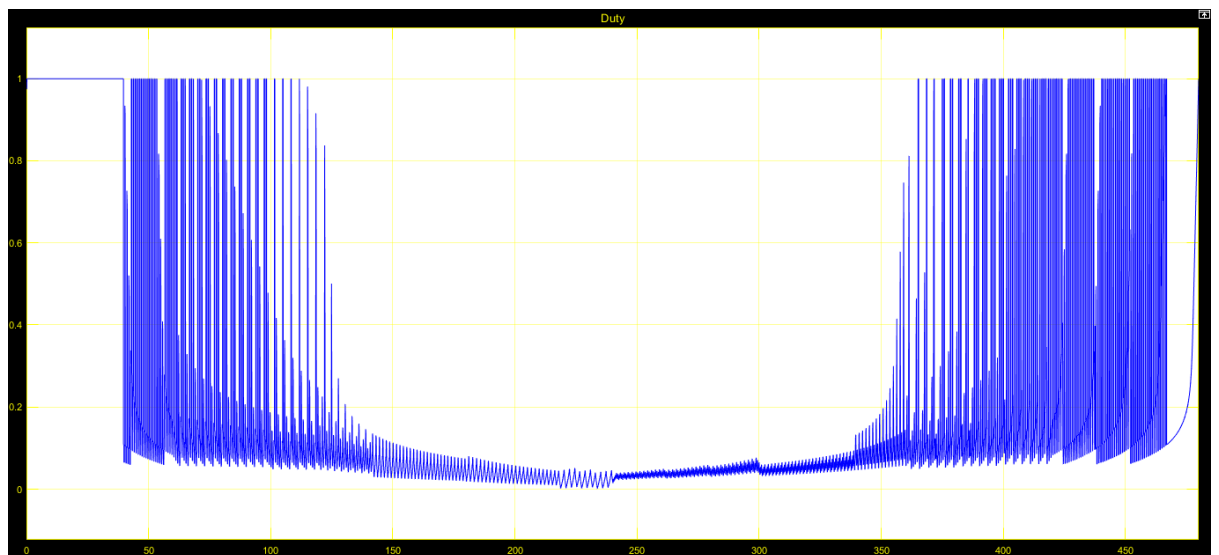


Figure IV-20 Graphe représente le rapport cyclique

On voit que duty cycle se comporte contrairement à Vpv quand l'ensoleillement augmente la période du cycle diminue.

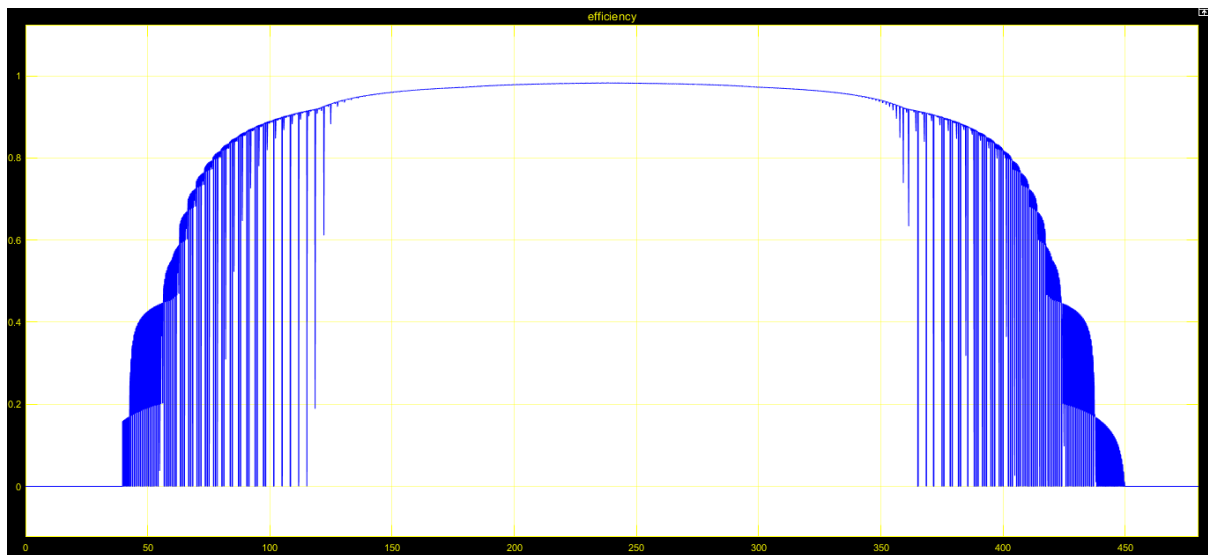


Figure IV-21 Graphe représente l'efficacité du Boost DC-DC

l'efficacité du boost augmente avec l'augmentation d'insolation de 0 w/m² à 1000w/m² puis elle devient stable dans 1000w/m² pour un meilleur rendement puis elle diminue avec la diminution d'insolation jusqu'à 0w/m² (La nuit).

IV.9Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque:

le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque obéit aux règles économiques classiques. Nous étudierons séparément les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation (entretien et maintenance).

Evaluation le cout globale actualisé du 1 m³ d'eau pompé : Pour évaluer le coût global actualisé du m³ d'eau pompé, il est nécessaire d'avoir certaines données, à savoir :

- La durée de vie de chaque composant.
- Le cout ou l'investissement initial
- Les coûts de maintenance annuels relatifs au système photovoltaïque,
- Les coûts de remplacements des différents sous-systèmes

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Equipement	Investissement (DA)	Durée de vie (ANS)	Amortissement (DA)	Cout entretien (DA)
Générateur	217000	20	20615	8246
Onduleur	120000	10	30000	15000
Accessoires	150000	20	44500	18000
Inves Total	487000		95115	41246

Le coût global annuel de système photovoltaïque égal à 623361DA, d'autre part les besoins moyens annuels en eau égal à 21900 m³/ans.

Pour calculer le cout de 1 m³ d'eau pompé nous avons utilisé l'équation suivante :

$$Cm = \frac{Cg}{BA} \quad (IV-2)$$

Avec :

Cm : cout de 1 m³ (DA)

Cg : cout globale de système photovoltaïque

BA : besoin moyens annuels en eau (m³/ans)

$$Cm = \frac{623361}{21900} = 28,46$$

L'énergie consommée par la pompe :

Pour véhiculer d'un point a un autre une certaine quantité d'eau, la pompe doit transmettre au liquide de l'énergie. Cette quantité d'énergie sera la même quelle que soit la technologie et est donnée par la puissance de la pompe. Afin de simplifier au maximum tous ces calculs, les praticiens utilisent deux paramètres qui caractérisent tout système de pompage dans un réseau : Débit (Q) et Hauteur Manométrique Totale (HMT).

La puissance absorbée sur l'arbre de pompe est alors donnée par la formule suivante :

$$Pkw = \frac{Q \cdot HMT}{367 \cdot \eta} \quad (IV-3)$$

Avec :

P kw : Puissance consommée par la pompe en kw.

Q : Débit en(m³/h.)

HMT : Hauteur manométrique totale (mCE)

η : Rendement donné par le constructeur au point de fonctionnement. (entre 0.8 et 0.9).

Avec :

$$367 = \frac{3600s}{g} \quad (IV-4)$$

g : l'accélération de la pesanteur a la surface de la terre

$$Pkw = \frac{1 * 80}{367 * 0.85}$$

$$Pkw=0.256 \text{ kw}$$

Les nouveaux tarifs de l'électricité et du gaz applicable depuis 1 er janvier 2016 Montre que le prix de 1 kWh consommé est 5.48 DA (Sonalgaz) et le prix de 1 m³ d'eau pompé est 6.25 DA.

Dans ce cas, nous concluons que le pompage solaire photovoltaïque est pas économique par rapport au pompage normal dans les petites surfaces, pour qu'il soit plus économique que l'autre on doit choisir ce système pour les grandes surfaces quand on a une grande consommation d'eau pendant la journée.

IV.9. Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu la simulation du système de pompage solaire sous MATLAB et comment le mppt améliore la puissance en traquant un courant élevé ainsi le convertisseur Boost DC-DC dans les conditions STC et avec la variation de l'insolation et même le fonctionnement du générateur PV avec le MPPT et le Boost DC-DC , finalement on a fait une étude comparative entre le pompage normale et le pompage solaire pour voir le cout.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats découlant de cette étude comportent deux points importants :

- Le premier est le type du système d'irrigation qui est le système goutte à goutte c'est le système le plus économique en plus ce dernier ne gaspille pas l'eau. Le second est la nature de la pompe, c'est une pompe immergée. Une pompe immergée s'utilise pour pomper l'eau du forage qui existe au milieu de l'exploitation. Cette pompe fonctionne avec l'énergie solaire (c'est le pompage solaire).

- D'autre part deux techniques de pompage PV ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous avons montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil ». Nous avons également pu conclure que les systèmes de pompage photovoltaïques les plus courants, selon l'état de l'art actuel, sont constitués d'une pompe centrifuge munie d'un moteur à induction triphasé. Le moteur est alimenté par un générateur photovoltaïque sans batteries, via un onduleur triphasé à fréquence variable conçu spécifiquement pour cette application.

L'objectif de ce projet est l'amélioration de la production et de la qualité de la récolte d'une part et d'autre l'économie d'énergie électrique et la réduction des gaz à effet de serre avec l'utilisation de pompage solaire qui à long terme reviendra beaucoup moins cher que le pompage électrique classique sur réseau Sonalgaz ou avec gasoil, et c'est ça ce qu'on a conclu après nos résultats, on a vu qu'on aura besoin de 14 modules et une pompe et un onduleur et ça coute pas chère par rapport au pompage classique donc on peut que le pompage solaire photovoltaïque est plus économique par rapport au pompage normal quand il s'agit de grande surfaces d'irrigation.

Références bibliographiques

Références:

- [1] Alain Ricaud, Oct 2011, Systèmes photovoltaïques, Polytech' Savoie 5eme année, P 11-55.
- [2] BONNEAUX Déodat, DAVID Lucien, DUMAS Adrien, GERMAIN Simon, 2004, Études des Cellules Photovoltaïques, Olympiades de la Physique Lycée Jean Monnet-ANNEMASSE, P 5.
- [3] BONNEAUX Déodat, DAVID Lucien, DUMAS Adrien, GERMAIN Simon, 2004, Études des Cellules Photovoltaïques, Olympiades de la Physique Lycée Jean Monnet-ANNEMASSE, P 6.
- [4] Zouhair El Jouad, 2017, Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques, Université d'Angers; Université IBN TOFAIL au Maroc.
- [5] BONNEAUX Déodat, DAVID Lucien, DUMAS Adrien, GERMAIN Simon, 2004, Études des Cellules Photovoltaïques, Olympiades de la Physique Lycée Jean Monnet-ANNEMASSE, P 7.
- [8] Adouane Mabrouk, Mourad Haddadi, Malek Ali, Hadjiat Mohammed Moundji, December 2009, Étude et conception d'un onduleur monophasé autonome géré par microcontrôleur, PIC 16F876A, Project: Solar System, P 544.
- [10] Abdelkader Mahmoudi, Abdelbaki Djouambi, Djamel Rahem, june 2017, Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque, P 26.
- [12] Deutsche Gesellschaft für, Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Développement du Marché Solaire en Tunisie (DMS) Centre d'Affaires le Montplaisir
- [13] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, 1998, LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE (Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens), Université d'Ottawa. P72.
- [14] HADJOU SMIR Hachmi CHOGUEUR Amine, 2018, Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude de cas, Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique, Université ABOU BEKR BELKAID.

[15] **Frédéric DOLLON**, FORMATION GOUTTE A GOUTTE – ETUDES – AMENAGEMENTS – APPLICATION, <http://arid-afrique.org/wp-content/uploads/2019/11/IRRIFASO-1-types-de-goutteurs-et-crit%C3%A8res-de-choix.pdf>

Web sites:

[6] <https://www.monkitsolaire.fr/blog/fonctionnement-panneau-solaire-n307> (regulateur de la batterie solaire). Site inaccessible

[7] <https://www.monkitsolaire.fr/blog/fonctionnement-panneau-solaire-n307> (Batterie solaire)

[9] <https://chargeursolaire.info/guide-comparatif-chargeur-solaire/fonctionnement-chargeur-solaire/>

[11] https://www.sines.fr/irrigation_solaire.html

[16] <http://w4.uqo.ca/dii/statHTML/labos/laboGenie/manuels/simulink/>

[17] <https://www.jade-technologie.com/role-regulateur-de-charge-solaire-mppt/ne%20puissance>

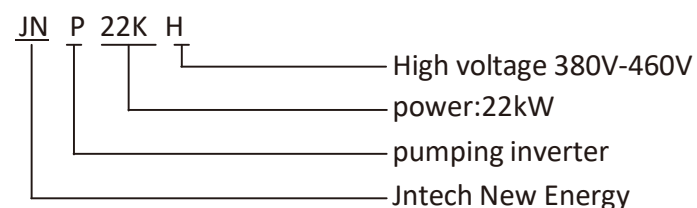
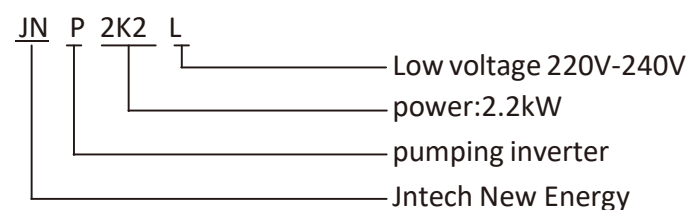
Annexes

Solar Pumping Inverter

Product Features

- ◆ Drive power-matched three-phase AC pump
- ◆ Adopt advanced IGBT power module
- ◆ High conversion efficiency, low temperature rise, low noise, long lifespan
- ◆ Advanced MPPT technology, efficiency >99%
- ◆ Fully automatic operation, it can store operation date for 10 years
- ◆ Perfect system protection, high reliability
- ◆ New design of anodized aluminum case
- ◆ LCD display
- ◆ Interface: RS485/GPRS
- ◆ Modular design, easy to install, operate, maintain

Definition of Model



Technical Parameters

Model	JNP1K1L	JNP1K5L	JNP2K2L	JNP3KL	JNP3K7L	JNP4KL	JNP2K2H	JNP3KH	JNP3K7H	JNP4KH	JNP5K5H	JNP7K5H
d.c. Input												
d.c. Max. Input Voltage	450Vdc					750Vdc	880Vdc					
Recommended MPPT Voltage	150~400Vdc					280~600Vdc	460~850Vdc					
d.c. Max. Input Current	8A	15A	24.6A	21A	14.6A	10A	5A	6.9A	9A	9A	12A	16.3A
Max. MPPT Efficiency	99%											
Number of String	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
a.c. Output												
7.5kW 5.5kW 4kW	3.7kW	3kW	2.2kW	4kW	3.7kW	3kW	2.2kW	1.5kW	1.1kW	Max. Motor Output Power		
Rated Output Voltage	220~240Vac, three phase						380~460Vac, three phase					
Output Frequency Range	0~50/60Hz											
18A 13A 10A	9A	7A	6A	20A	17A	14A	11A	7A	5.5A	Rated Output Current		



Technical Parameters

Model	JNP11KH	JNP15KH	JNP20KH
d.c. Input			
d.c. Max. Input Voltage	460~850Vdc		
d.c. Max. Input Current	41.1A	33.3A	27.8A
Max. MPPT Efficiency	99%		
Number of String	3	3	3
a.c. Output			
110kW 90kW 75kW	55kW	45kW	35kW
Rated Output Voltage	380~460Vac, three phase		
Output Frequency Range	0~50/60Hz		
209A 171A 142A	104A	86A	68A

IFRI-SOL

customized electricity

www.ifrisol.solar



High Performance Photovoltaic Modules

5BB POLY CRYSTALLINE MODULE
270W-275W-280W

Key Features:



10 Years Manufacturer's Warranty



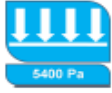
Positive Power Tolerance is Guaranteed (0 to 5 Wp)



Excellent Low Light Performance



Excellent Outstanding Weather-Resistance



Maximum 5400 Pa Snow Load



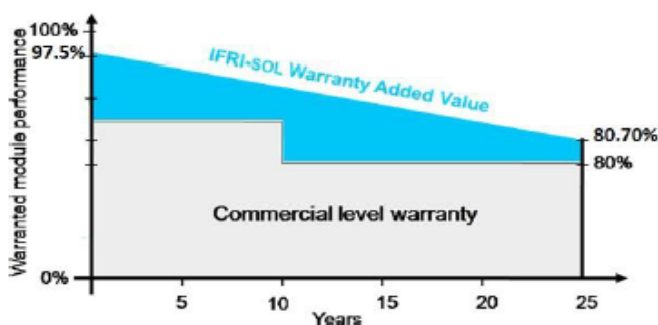
Maximum 2400 Pa Wind Load



Linear High Performance Guarantee

10 Years Product Warranty on 91.20% of the Nominal Performance¹

25 Years Linear Power Output Warranty on 80.7 % of the Nominal Performance¹



¹According to the IFRI-SOL Product and Performance Warranty.

Certifications

- IEC 61215, IEC 61730: ID 1111220240
- IEC 61701:2011, EN 61701:2012: ID 1111223964
- IEC 62716:2013, EN 62716:2013: ID 1111223965
- Management system TÜV-Certified ISO 9001:2015: ID 011001317684
- ISO 14001: 2015: ID 011041317684
- BS OHSAS 18001:2007: ID 011131317684
- IS 14286 / IEC 61215, IS/IEC 61730 - 1&2: R- 41151432



IF-P270-60
IF-P275-60
IF-P280-60

IFRI-SOL
 customized electricity
www.ifrisol.solar

Electrical Specification

Module Type	Nominal Power P _{mpp}	Nominal Voltage U _{mpp}	Nominal Current I _{mpp}	Open Circuit Voltage U _{oc}	Short Circuit Current I _{sc}	Module Conversion Efficiency
IF-P270-60	270Wp	32.70V	8.35A	38.34V	8.81A	16.38%
IF-P275-60	275Wp	32.71V	8.49A	38.58V	8.96A	16.68%
IF-P280-60	280Wp	32.82V	8.54A	38.70V	8.99A	16.99%

Electrical Data at STC (STANDARD TEST CONDITIONS): 1000W/m² Irradiance, 25°C Cell Temperature, AM1.5g Spectrum According to EN 60904-3.
 NMOT

Module Type	Nominal Power P _{mpp}	Nominal Voltage U _{mpp}	Nominal Current I _{mpp}	Open Circuit Voltage U _{oc}	Short Circuit Current I _{sc}
IF-P270-60	196.02Wp	29.88V	6.64A	35.08V	6.96A
IF-P275-60	199.65Wp	29.89V	6.75A	35.30V	7.08A
IF-P280-60	203.28Wp	29.99V	6.79A	35.41V	7.10A

Electrical data at NMOT: 800W/m² Irradiance, 20°C Ambient Temperature, 1m/s Wind Speed.

Design

Front Glass	3.2mm High Transmission, Anti-Reflection Coating, Tempered Glass.
Encapsulant	Ethylene Vinyl Acetate (E.V.A)
Cell	5BB Polycrystalline High Efficiency / 60 pcs (156.75mm*156.75mm)
Backside	Composite Film (White, Black, ...)
Frame	35mm Anodized Aluminum (Silver/Black)

Limit Values

Maximum System Voltage	1500VDC
Maximum Series Fuse Rating	16A
Limiting Reverse Current	16A
NMOT	45±2°C
Operating Temperature	From -40°C to 85°C
Maximum Load	2400N/m ²

Mechanical Specification

Dimensions (H×W×D)	1645mm × 1002mm × 35mm
Weight	19.5Kg

Temperature Coefficients

Voltage U _{oc}	-0.320%/°C
Current I _{sc}	+0.005%/°C
Output Power	-0.410%/°C

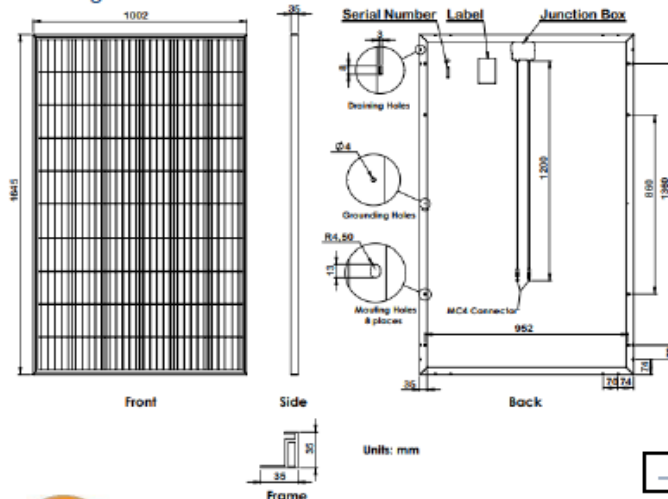
Power Connection

Junction Box	IP68 Junction Box with 3 Bypass Diodes
Solar Cable	Length (1000/1200) mm , 4mm ² Prefabricated with MC4-Combined Plug
PV Module Classification	Class II (According to IEC 61730)

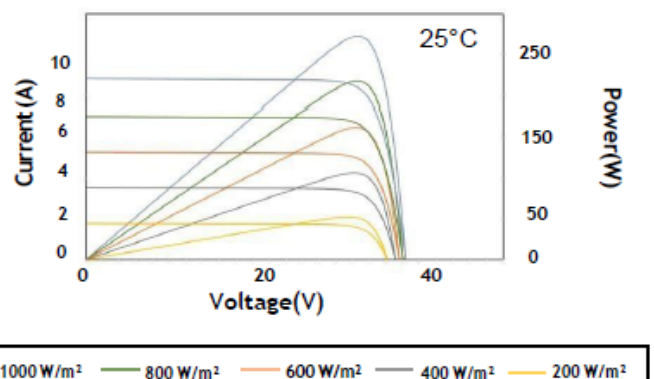
Packaging Specification

Dimensions (H×W×D)	1670mm × 1120mm × 1170mm
Modules Qty per Carton	31
Modules Qty per Container 20'	372
Modules Qty per Container 40' HC	938

Drawings



Current-Voltage/Power-Voltage Curves, IF-P270-60



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 © 2020 IFRI-SOL. All rights reserved.
 For more information on IFRI-SOL products please visit www.ifrisol.solar
 Contact us at contact@ifrisol.solar or call us at +216 73 381 853

SIZE CHARTS

Model	A	B	C	D	E	Φmax
R95-DF-04	828	386	442			
R95-DF-06	943	406	537			
R95-DF-08	1092	441	651			
R95-DF-13	1415	501	914			
R95-DF-17	1740	561	1179	G2"	95	100
R95-DF-20	1901	561	1340			
R95-DF-24	2148	601	1547			
R95-DF-30	2643	721	1922			
R95-DF-35	3026	841	2185			



SELECTION CHARTS

Model 50Hz	Motor Power		Three Phase		Single Phase			Capacity									
								Q		380V		220V		Total head in meters			
								US.gpm	m ³ /h	A	μF	VC	30	28	25	22	19
R95-DF-04	1	0.75	2.5	6.3	35	450	0	8.8	17.6	26.4	30.8	35.2	39.6	44			
R95-DF-06	1.5	1.1	3.4	8.6	45	450	0	2	4	6	7	8	9	10			
R95-DF-08	2	1.5	4.4	10	55	450	0	33	67	100	117	133	150	167			
R95-DF-13	3	2.2	6.2	14	70	450											
R95-DF-17	4	3	8.3	19.5	80	450											
R95-DF-20	4	3	8.3	27	120	450											
R95-DF-24	5.5	4	10.3	-	-	-											
R95-DF-30	7.5	5.5	14	-	-	-											
R95-DF-35	10	7.5	18.5	-	-	-											

Résumé

Le travail présenté dans cette recherche est une étude d'un système d'irrigation goutte à goutte avec un système de pompage solaire.

La zone d'étude est localisée près de « Bouchakeur » qui se situe à Laghouat au sud de l'Algérie.

Nous avons d'abord présenté le système photovoltaïque et les pompes, puis nous avons défini les paramètres nécessaires à notre étude qui sont :-le climat .les sources d'eau et l'ensoleillement. Le fort ensoleillement de la région nous a permis de choisir le pompage d'eau solaire adapté en utilisant l'énergie solaire transmise par le générateur solaire composé de panneaux photovoltaïques et d'un onduleur. L'intermittence de l'ensoleillement étant un peu gênant donc pour cela nous avons trouvé utile d'utiliser le stockage par l'eau dans un réservoir, la quantité d'eau stocké reste décente pour l'irrigation, dans l'ensemble, le projet est louable économiquement sur le long terme.

Mots clés: Irrigation, ferme, système de pompage solaire, système photovoltaïque, Matlab/simulink

المخلص

العمل المقدم في هذا البحث عبارة عن دراسة لنظام الري بالتقطير بنظام الضخ الشمسي.

تقع منطقة الدراسة بالقرب من "بوشاكر" التي تقع في الأغواط جنوب الجزائر.

قدمنا أولاً النظام الكهروضوئي والمضخات ، ثم حددنا المعايير اللازمة لدراستنا وهي : - المناخ ومصادر المياه وأشعة الشمس . سمحت لنا أشعة الشمس القوية للمنطقة باختيار ضخ المياه بالطاقة الشمسية المناسب باستخدام الطاقة الشمسية المنقولة عن طريق المولد الشمسي المكون من الألواح الكهروضوئية والعاكس . تكون أشعة الشمس المتقطعة مزعجة بعض الشيء ، لذلك وجدنا أنه من المفيد استخدام تخزين المياه في الخزان ، حيث تظل كمية المياه المخزنة مناسبة للري ، وبشكل عام فإن المشروع جدير بالثناء اقتصاديًا على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: الري ، المزرعة ، الضخ الشمسي ، الكهروضوئية.

Abstract

The work presented in this research is a study of a drip irrigation system with a solar pumping system.

The study area is located near "Bouchakeur" which is located in Laghouat in southern Algeria.

We first presented the photovoltaic system and the pumps, then we defined the parameters necessary for our study which are: - the climate, the water sources and the sunshine. The strong sunshine of the region allowed us to choose the appropriate solar water pumping using solar energy transmitted by the solar generator composed of photovoltaic panels and an inverter. Intermittent sunshine being a little annoying so for this we found it useful to use water storage in a reservoir, the amount of water stored remains decent for irrigation, overall the project is economically laudable in the long term.

Key words: Irrigation, farm, solar pumping system, photovoltaic system