

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energies Renouvelables

Réf:

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Dimensionnement d'un système de
pompage PV**

Présenté par :

Messaoudi Moussa

Soutenu le : 04 Juin 2015

Devant le jury composé de :

Mem. Tkouti Nassira

MCA

Président

Mem . Terki Amel

MCA

Encadreur

Mr. Ben meddour Mostafa

MAC

Examineur

Année universitaire : 2014 / 2015

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energies Renouvelables

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Dimensionnement d'un système de pompage PV

Présenté par : Messaoudi Moussa
l'encadreur : Terki Amel

Avis favorable de

Messaoudi Moussa

Dr :Terki Amel

signature

Avis favorable du Président du Jury

Tkouti Nassira

Signature

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energies Renouvelables

Thème :

Dimensionnement d'un système de pompage PV

Proposé par : Messaoudi Moussa

Dirigé par : Terki Amel

Résumé

Dans les pays en voie de développement, donc très ensoleillés, et qui ont beaucoup de localités où le réseau électrique est absent, l'énergie Photovoltaïque devrait être par conséquent sans concurrence. Cette réalité est encore plus accentuée dans le cas d'applications au pompage d'eau dans les pays sahéliens.

Cependant, il est à constater que le pompage d'eau se fait généralement dans le but de satisfaire les besoins des populations et du bétail en eau potable dans les régions où aucun réseau de distribution d'eau n'est prévu ou parvenu.

L'énergie solaire à un coût d'installation, des frais de surveillance, de maintenance et de renouvellement. Pour cela un pompage solaire à moindre coût s'impose, l'énergie solaire n'étant pas gratuite!

Cette étude analysera les différents éléments constitutifs d'une installation PV solaire pour le pompage d'eau. Il optimisera les critères de choix et de dimensionnement de ces éléments constitutifs suivi d'une simulation puis une réalisation au sein du laboratoire des énergies renouvelables. Université de Biskra.

Mots-clés:

Panneaux solaires - pompage - système autonome

ملخص

في البلدان النامية المشمسة جدا والتي لها العديد من الأماكن الغير متصلة بالشبكة الكهربائية و بالتالي تكون الطاقة الضوئية بديلا عن هذه الشبكة, هذا الواقع واضح جدا في حالة طلبات ضخ المياه في هذه البلدان.

و مع ذلك, تجدر الإشارة إلى أن ضخ المياه عادة القيام به من أجل تلبية احتياجات الناس, الماشية و مياه الشرب في المناطق التي لا توجد خطط لشبكة توزيع المياه أو إدارتها.

الطاقة الشمسية بتكلفة التثبيت, تكلفة الرصد و الصيانة و التجديد لهذا الضخ, هو مطلوب من حيث التكلفة....

الطاقة الشمسية ليست مجانية!

في هذه الدراسة تحليل للمكونات المختلفة لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية لإعادة ضخ المياه. و بتالي يتم تحسين معايير الاختيار و التحجيم من هذه المكونات تليها المحاكاة و الإدراك في مختبر الطاقات المتجددة. جامعة بسكرة.

كلمات مفتاحية:

الألواح الشمسية – الضخ – النظام الذاتي



Dédicaces





Je dédié ce modeste travail :

A mes parents

*A mes très chères sœurs et frères à ma grande
famille.*

A toute ma famille et

A tous mes amis

A tous ceux que j'aime, et tous ceux qui m'aiment.





Remerciements



Remerciements



J'adresse mon vifs remerciements à:

***Mon promoteur Mme TERKI Amel enseignante à
l'université de BISKRA***

***Tous les enseignants et tous ceux à qui nous
devons notre formation***

***Tous ceux qui, d'une quelconque façon, ont
contribué à l'élaboration de ce mémoire.***





Sommaire



Introduction Générale





Chapitre I

Généralité sur les systèmes d'application autonome



Chapitre II

Dimensionnement d'un système de pompage

Liste des Tableaux

Tab. II.1 paramètres d'un système pompage	20
Tab. II.2 avantage et inconvénients d'un Moteur à cc et Moteur asynchrone	21
Tab. II.3 : Le choix du moteur alternatif monophasé ou triphasé.....	21
Tab.III.1 caractéristiques du module PV.....	28
Tab. IV.1 Les paramètres du module PV.....	42
Tab. IV.2 Les paramètres de l'onduleur.....	44
Tab. IV.3 Les caractéristiques et le coût dans un tableau.....	45
Tab. IV.4 données techniques de la batterie INTACT-POWER 12V 110Ah	45
Tab. IV.5 Caractéristiques du moto- pompe.....	46
Tab. IV.6 tuyauterie et câble.....	47
Tab. IV.7 caractéristiques du puits.....	48
Tab. IV.8 Les coûts estimatifs globaux annuels du système de pompage photovoltaïque.....	49.50

Liste des Figures

Fig. I.1 Configuration générale d'un système de pompage photovoltaïque.....	3
Fig. I.2 Schéma synoptique d'un système de pompage photovoltaïque.....	4
Fig. I.3 Schéma représentatif du système de dessalement PV.....	6
Fig. I.4 Système de la protection cathodique alimenté par énergie solaire.....	8
Fig. I.5 La protection cathodique en site isolé.....	8
Fig. I.6 Systèmes références applications industrielles industrie pétrolière et gazière PV.....	9
Fig. I.7 System d'Electrification rurale.....	10
Fig. I.8 Systèmes solaire photovoltaïque pour les télécommunications.....	12
Fig. I.9 Configuration système télécommunication.....	13
Fig. II.1 Sélection de type de pompe.....	21
Fig. II.2 Comparaison du fonctionnement d'un moteur mono et triphasé.....	22
Fig. II.3 organigramme du système pompage.....	23
Fig. II.4 organigramme determination de la pompe et de système PV.....	24
Fig.III.1 schéma synoptique du système pompage PV.....	27
Fig.III.2 schéma électrique equivalent de la cellule PV.....	29
Fig.III.3 schéma en simulink d'un panneau photovoltaïque.....	29
Fig.III.4 cracteristiques I-V et P-V.....	29
Fig.III.5 Effet de l'ensoleillement sur les caractéristiques I-V et P-V avec $T=25^{\circ}$	30
Fig.III.6 Effet de la température sur les caractéristiques I-V et P-V avec $E=1000W/m^2$	30
Fig.III.7 Schéma équivalent d'un onduleur.....	31
Fig.III.8 Schéma en simulink de l'onduleur.....	31
Fig.III.9 Schéma en simulink de la source sinusoïdale en tension.....	32
Fig.III.10 Schéma en simulink de la commande MLI.....	32

Fig.III.11 Schéma en simulink de d'onduleur de tension triphasé.....	32
Fig.III.12 courbe de tension de sortie pour chaque phase de l'onduleur.....	33
Fig.III.13 Schéma en simulink du moteur asynchrone.....	34
Fig.III.14 courbes caractéristique de moteur asynchrone.....	35
Fig.III.15 schéma en simulink de la pompe centrifuge.....	36
Fig.III.16 courbes caractéristiques de la pompe centrifuge.....	37
Fig.III.17 Modèle global du symestè.....	38
Fig.III.18 Modèle global du système de pompage photovoltaïque.....	38
Fig.III.19 caractéristiques des système de pompage PV.....	39
Fig. IV.1 Schéma globale de système.....	41
Fig. IV.2 module photovoltaïque PV.....	42
Fig. IV.3 Disjoncteur différentiel et les bornes.....	42
Fig. IV.4 Portes fusibles.....	42
Fig. IV.5 Armoire électrique de commande.....	43
Fig. .IV.6 onduleur DC/AC 1500W.....	43
Fig. IV.7 le régulateur de charge.....	44
Fig. IV.8 Batterie solaire Intact-Power 110 TV.....	45
Fig. IV.9 le groupe moto-pompe.....	46
Fig. IV.10 Tuyau.....	47
Fig. IV.11 Câble.....	47
Fig. IV.12 Le puits.....	48

Liste des abréviations

Liste des l'abréviations

PV : Photovoltaïque.

GPV : générateur photovoltaïque.

RO : d'osmose inverse

MSF : multi-stage flash

SHS : Solari home Systems

MLI : modulation de largeur d'impulsion.

AC : Courant alternatif

CC : Courant contenu

MCC : Moteur a courant contenu

DC : directe courante

HP : haute pression

MAS : machine asynchrone

STC : stand art test condition

HMT : hauteur manométrique totale

ASI : alimentation sans interruption

CPCU : unité de régulateur de protection cathodique

P_h : La puissance hydraulique

P_e : puissance électrique

E_H : énergie hydraulique



Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
<u>Chapitre I : Généralités sur les applications de autonomes</u>	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Système de Pompage PV.....	3
I.2.1 Générateur photovoltaïque.....	4
I.2.2 Moteur d'entraînement.....	4
I.2.3 Pompe de refoulement.....	5
I.2.4 Circuit hydraulique.....	5
I.3 Système de dessalement PV.....	5
I.3.1 Configuration du système de dessalement PV.....	5
I. 3.2 Constitution d'un système de dessalement PV.....	6
I.3.3.1 L'électrodialyse.....	6
I.3.3.2 L'osmose inverse.....	6
I.3.3.3 Les procédés de distillation.....	7
I.4. Système de protection cathodique PV.....	7
I. 4.1 La protection cathodique en site isolé.....	8
a. Modules solaires photovoltaïques et champ solaire.....	9
b. Régulateur solaire.....	9
b. Unité de régulation de protection cathodique (CPCU).....	9
c. La structure support.....	9
d. Batteries.....	9
I. 5. System d'Electrification rurale PV.....	10
a. Electrification rurale en petits réseaux 24V.....	11
b. Avantages de la tension continue 24V.....	11
I.5.1 Technologies d'Electrification rurale.....	12
I. 6. Système télécommunication PV.....	12
I.6.1 Composants du système.....	13
I. 6.2 Avantages.....	13
I.7.Conclusion.....	14

Sommaire

Chapitre II : dimensionnement d'un système de pompage

II.1 Introduction	15
II.2 Présentations de la méthode de dimensionnement	15
II.3 Evaluation des besoins en eau	15
II.4 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire	16
II.5 Détermination de l'énergie solaire disponible	17
II.5.1 Inclinaison du générateur photovoltaïque.....	17
II.5.2 Mois de dimensionnement.....	18
II.5.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	18
II.6 Choix et Dimensionnement de la moto-pompe	19
II.6.1 Choix de la moto-pompe.....	19
II.7 Dimensionnement de la moto-pompe	22
II.8 Dimensionnement des tuyauteries	25
II.9 Conclusion	26

Chapitre III : Simulation du système de pompage PV

III.1 Introduction	27
III.2 Générateur PV	27
III.3 Onduleur de charge	30
III.4 Groupe motopompe	34
III.4.1 Moteur asynchrone.....	34

Sommaire

III.4.2 La pompe centrifuge.....	36
III.5 Modèle global du système.....	38
III.6 Conclusion.....	39
<u>Chapitre IV : Application au labo des E.R</u>	
IV.1 Introduction.....	41
IV.2Générateur PV.....	41
IV.3Onduleur et régulateur de charge.....	42
IV.3.1 Onduleur (20A/220V) DC/AC.....	43
IV.3.2 Régulateur de la charge.....	44
IV.4 Batteries.....	45
IV.5 Motopompe et tuyauteries.....	46
IV.5.1 Moto-pompe.....	46
IV.5.2Tuyauteries et cables.....	47
IV.6 Le circuit Hydraulique (Puits).....	48
IV.7 Estimations du cout	48
IV.8 Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51
Bibliographie.....	52



Introduction Générale

Introduction générale

Plusieurs populations dans le monde affrontent de grands problèmes pour couvrir l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation dans les zones rurales et désertiques, spécialement dans les pays en voies de développement, notre pays a fourni de grands efforts pour développer ces régions désertiques et isolées dont la préservation des écosystèmes dans ces régions ne peut être obtenue qu'avec la fixation de la population dans leurs régions par les moyens de l'amélioration et le développement de leur niveau de vie. Ce développement socio-économique de ces régions est très lié à deux facteurs principaux qui sont la présence de l'eau et la disponibilité de l'énergie [8].

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement.

Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Il se révèle particulièrement adapté pour des applications comme une pompe dans le jardin, l'éclairage en zone isolée, protection cathodique, telecommunication, etc...

Aujourd'hui, l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage de l'eau est une technologie naissante caractérisée par des coûts graduellement en baisse. Depuis les premières installations à la fin des années 70, les systèmes de pompage solaire ont eu une grande part dans les projets d'application de l'énergie solaire et ils appartiennent de nos jours aux applications les plus significatives de l'énergie photovoltaïque. Ceci peut être principalement attribué au fait qu'il n'est pas économiquement faisable de relier de tels sites éloignés au réseau électrique.

Le présent travail traite le dimensionnement, la simulation et la réalisation d'un système de pompage photovoltaïque. Pour atteindre cet objectif, nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres.

Le premier chapitre décrit des généralités sur les applications autonomes d'un système photovoltaïque en citons quelques exemples.

Le dimensionnement du système de pompage PV fera le contexte du deuxième chapitre, où on a présenter la méthode de dimensionnement en expliquant chaque phase de ce dernier.

Le troisième chapitre expose la simulation de chaque partie du système et simulation du système globale avec leurs modèle en simulink.

En fin dans le quatrième chapitre une réalisation d'un système de pompage PV au laboratoire des énergies renouvelable- U Biskra avec une estimation du coût du système.

Le travail est clôturé par une conclusion générale.



Chapitre I

Généralité sur les systèmes d'application autonome

I.1 Introduction

Une installation photovoltaïque (PV) est dite autonome ou isolée quand elle n'est pas reliée à un réseau de distribution. Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Il se révèle particulièrement adapté pour des applications comme une pompe dans le jardin, l'éclairage en zone isolée, électrification rural, dessalement de l'eau, télécommunication, protection cathodique, l'alimentation de bornes téléphoniques le long de l'autoroute, etc...

Pour ces application il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau de dishebetions classique , soit à cause des contraintes techniques, soit pour des raisons économiques. Le système autonome doit être capable de fournir du courant aux consommateurs pendant la période de l'année de moindre irradiation lumineuse. Si on a besoin du courant toute l'année, la période de moindre irradiation est l'hiver (pour l'Est). Pendant cette période, il faudra plus de panneaux pour couvrir les meme besoins qu'en Été. Les batteries donnent une autonomie au système pour des applications nocturns ou quand les panneaux ne fournissent pas assez de courant.

I.2 Système de pompage PV

Les systèmes PV de pompage sont en général des systèmes au fil du soleil. Ces systèmes peuvent être en courant continu pour les faibles puissances et en courant alternatif pour les fortes puissances. Les éléments principaux (fig. I.2) sont le générateur PV, le moteur, la pompe, l'onduleur pour les applications en courant alternatif la source de léau et le réservoir. Ces systèmes fonctionnent au fil du soleil ; leur fonctionnement est lié à la présence de l'ensoleillement. Le stockage de léau est réalisé à l'aide des réservoirs qu'on utilise durant les périodes non ensoleillées [1].

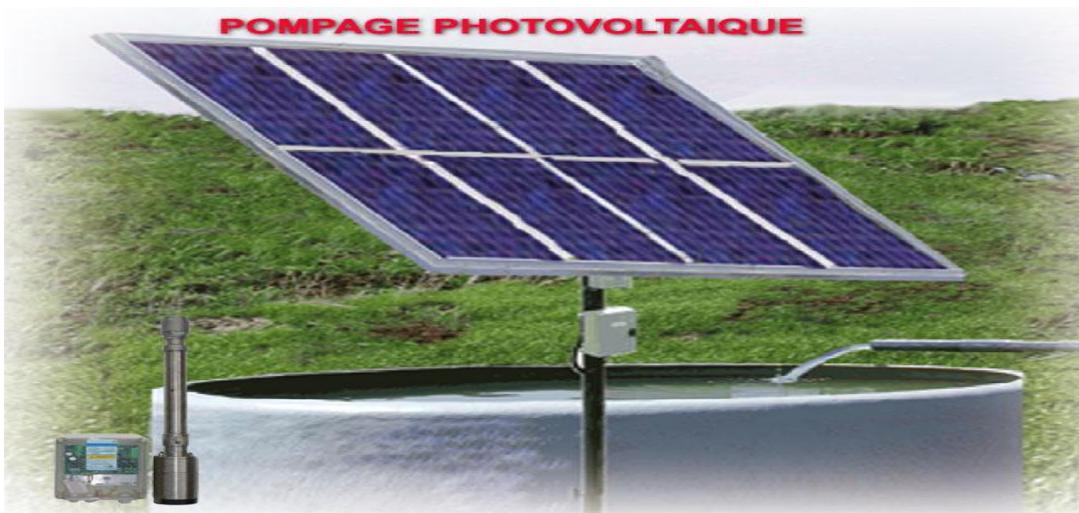


Fig. I.1 Configuration générale d'un système de pompage photovoltaïque.

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable; ses performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température ambiante, obstacles géographiques), du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements (onduleur, moteur, pompe,...). Le schéma synoptique d'un système de pompage photovoltaïque étudié dans ce mémoire est le suivant. [1]

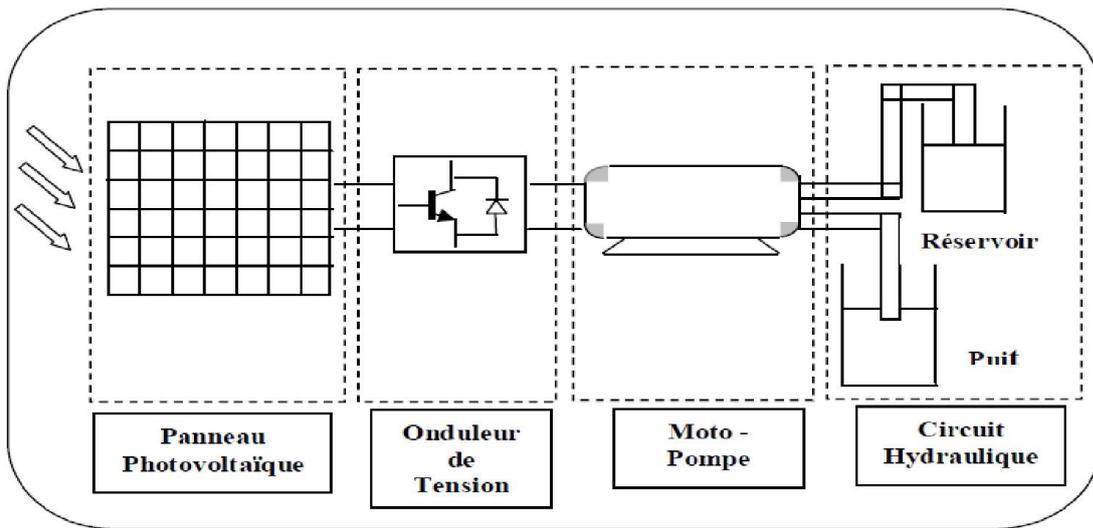


Fig. I.2 Schéma synoptique d'un système de pompage photovoltaïque [1]

I.2.1 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque représente la source de l'énergie électrique actionnant le groupe moto-pompe. Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux, les modules utilisés sont de type poly cristallin, dont les caractéristiques sont données dans l'annexe. La structure et topologique du générateur est composée d'un nombre de modules séries N_s et d'un nombre de modules parallèles N_p . En fonction de la puissance désirée, les panneaux eux-mêmes peuvent être assemblés pour constituer le champ (générateur) photovoltaïque.

I.2.2 Moteur d'entraînement

Le choix du type du moteur dépend de plusieurs facteurs tels que fiabilité, support technique, prix.

- Un moteur à courant continu est généralement plus efficace est plus facile à utiliser avec un système photovoltaïque (pas besoin d'onduleurs), par contre il est plus cher et plus difficile à trouver sur le marché.
- Un moteur à courant alternatif est moins cher et plus facile à trouver sur le marché, mais il exige l'utilisation d'un onduleur pour fonctionner avec une alimentation photovoltaïque.

La machine asynchrone comporte une partie fixe, dite stator, constituée par un empilage de tôles à faible taux de pertes, supportant des bobinages symétriques triphasés, alimentés en alternatif triphasé.

La partie mobile, dite rotor, n'est pas alimentée, elle est en court circuit et peut être de deux types :

- Bobinée (à bagues) : muni d'un enroulement, généralement triphasé, connecté à des bagues isolées sur lesquelles frottent des ballais en charbon ;
- À cage d'écureuil : formée d'un ensemble de barres conductrices reliées entre elles à cha

I.2.3 Pompe de refoulement

Le moteur asynchrone est couplé avec une pompe centrifuge car ce type de pompe offre une adaptation convenable aux systèmes PV. Et qui sont Actuellement les plus utilisées pour les problèmes d'élévation d'eau.

I.2.4 Circuit hydraulique

Dans un système de pompage le niveau d'eau à l'intérieur du puits ne reste pas constant, il change selon la quantité d'eau pompée .La différence entre le niveau d'eau statique est le niveau d'eau instantané affecté par le pompage (niveau dynamique) s'appelle la hauteur dynamique.[1]

Le système hydraulique est constitué d'un puits, de canalisations et d'un réservoir.

I.3 Système de dessalement PV

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.

I. 3.1 Configuration du système de dessalement PV

Le système présenté dans la figure (I.3), a été proposé pour une unité de dessalement à petite échelle. Il est techniquement possible d'introduire une source d'énergie éolienne pour entraîner une unité d'osmose inverse (RO). Le système est autonome et sans stockage dans des batteries [2] .

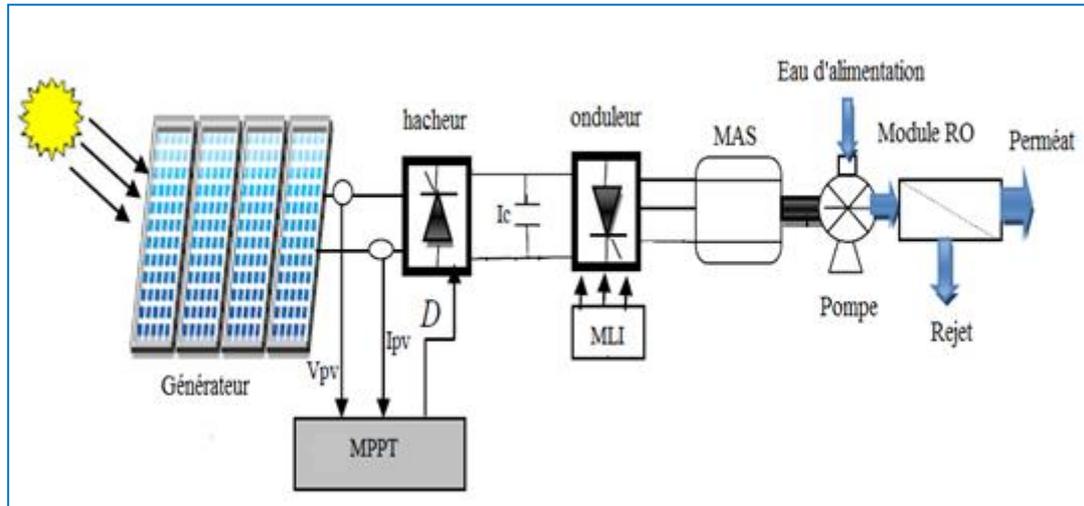


Fig. I.3 Schéma représentatif du système de dessalement PV

I.3.2 Constitution d'un système de dessalement PV

Système de dessalement renouvelable PV se présente comme suit [14] :

- a- Générateur photovoltaïque
- b- Un convertisseur MLI (onduleur) formé de six interrupteurs.
- c- Un moteur asynchrone (MAS) alimenté par l'onduleur et qui sert à entraîner une Pompe haute pression(HP).
- d- Une pompe haute pression entraîné par la MAS qui alimentera le module d'osmose inverse en eau saumâtre.
- e- Un module d'osmose inverse(RO) formé d'une membrane en spirale.

I.3.3 Constitution d'un système de dessalement PV

Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine du dessalement sont : l'électrodialyse et l'osmose inverse [16].

I.3.3.1 L'électrodialyse

Ce procédé nécessite, pour son fonctionnement, l'application d'un champ électrique entre une cathode et une anode pour permettre la migration des ions (positifs et négatifs) à travers les membranes. C'est un grand consommateur d'énergie, ce qui rend son application solaire possible, seulement pour les eaux saumâtres de très faible salinité [3].

I.3.3.2 L'osmose inverse

Le principe de ce procédé consiste à faire passer, sous l'effet d'une pression, de l'eau pure à travers une membrane semi-perméable qui a la caractéristique de retenir les sels dissous dans l'eau. Donc on

a besoin de l'énergie nécessaire pour alimenter une pompe haute pression, ce qui peut être fournie de façon économique (pour les petites installations) par un générateur photovoltaïque ou un aérogénérateur. Un certain nombre d'installations sont en fonctionnement à travers le monde, et les résultats obtenus à travers les différentes études et expérimentations rendent son application très en vogue.

I.3.3.3 Les procédés de distillation

- La distillation solaire directe à effet de serre.
- La distillation à détente successive ou multi-stage flash (MSF).
- La distillation par compression de vapeur.
- La distillation par multiple effets.

I.4 Système de protection cathodique PV

L'énergie photovoltaïque convient à l'alimentation des systèmes établis dans des régions éloignées, comme cela est souvent le cas pour les systèmes de protection cathodique considérés.

Le système proposé est illustré par la figure (I.4). Il est conçu par les principaux éléments suivants [4]:

- Un champ de modules photovoltaïques. Son dimensionnement est effectué afin de subvenir aux besoins énergétiques pour le fonctionnement de tout le système.
- Un parc de batterie de stockage pour stocker l'énergie électrique générée par les modules photovoltaïques. La capacité de ce groupe de batteries est assez grande pour alimenter le système par l'énergie demandée pour une autonomie de quatre (04) jours non ensoleillés.
- Le contrôleur de charge conçu au tour du microcontrôleur et du circuit Buck intercalé entre les modules photovoltaïques et le groupe de batteries. Il permet l'alimentation des batteries par un courant approprié accordant à leur état de charge, l'adaptation de la tension batterie au point de puissance maximum et leur protection contre les surcharges durant les périodes où l'énergie fournie par les modules est maximale.
- Le circuit buck-boost géré par le microcontrôleur alimenté à partir des batteries d'accumulateurs. Il agit autant qu'un régulateur de charge. Ce qui permet de fournir une structure protégée de tension requise suivant les variations des conditions climatiques.
- Les constituants auxiliaires comme l'électrode de référence Cuivre / Sulfate de Cuivre pour l'indication de l'état de corrosion du pipeline, les déversoirs appropriés permettant de fournir le courant de protection.

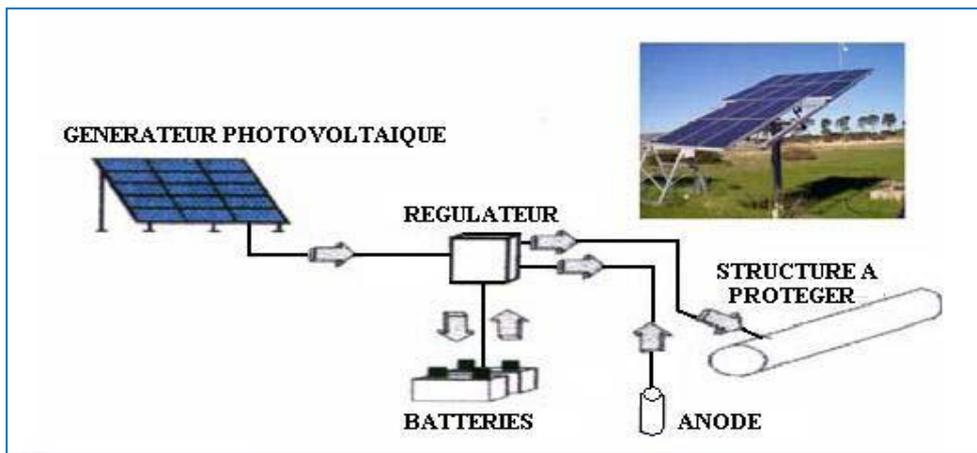


Fig. I .4 Système de la protection cathodique alimenté par énergie solaire

I.4.1 La protection cathodique en site isolé :

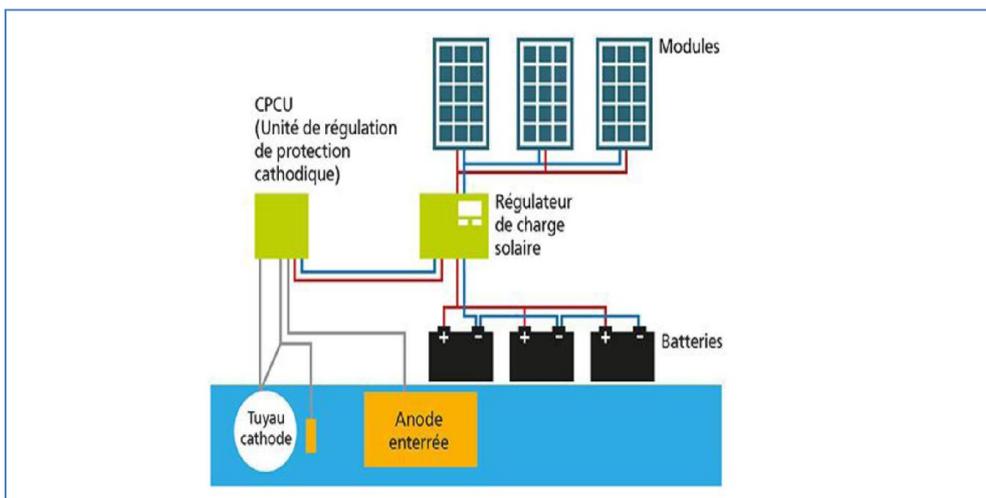


Fig. I .5 La protection cathodique en site isolé

Afin de protéger les équipements exposés à la corrosion, le système de protection cathodique consiste à fournir un courant continu sur le pipeline en métal. Dans les zones les plus reculées, le système solaire photovoltaïque est la meilleure solution pour fournir de l'électricité afin d'éviter la corrosion sur les structures métalliques, sur les pipelines, les réservoirs de stockage, ponts et autres équipements exposés [3.4.5].

Un système comprend généralement :

- Modules photovoltaïques
- Une armoire de régulation

- Des batteries à décharge profonde
- La structure support du champ solaire
- Un coffret de régulation de protection Cathodique
- Une boîte de jonction DC

a. Modules solaires photovoltaïques et champ solaire :

Un champ solaire est composé de modules photovoltaïques. Nous fournissons une gamme Performante de modules de différentes formes et tailles. Nos modules sont fabriqués en utilisant des matériaux industriels de qualité et des techniques de lamination.

b. Régulateur solaire :

La fonction du régulateur solaire est d'optimiser l'utilisation de la capacité des batteries et d'augmenter leur durée de vie. Nos régulateurs sont intégrés dans des armoires résistantes aux conditions météorologiques les plus extrêmes.

b. Unité de régulation de protection cathodique (CPCU) :

Offre une gamme de CPCU ou de Convertisseurs DC, DC pour délivrer du courant DC sur le système de protection cathodique avec la possibilité d'une télégestion du système de protection.

c. La structure support :

Nous pouvons fournir une large gamme D'équipements allant d'une structure fixée au sol à une structure montée sur des mats pour installer le champ solaire. En fonction de la tension du système, toutes les configurations sont possibles pour la structure support. Chaque branche de modules est reliée à une boîte de jonction afin de minimiser les chutes de tension de câble

d. Batteries :

Les batteries incluses dans le système solaire photovoltaïque permettent de stocker l'énergie électrique produite par le champ solaire pendant le jour et de fournir l'électricité pendant la nuit ou durant des périodes de faible ensoleillement. La capacité de la batterie est calculée afin d'obtenir assez d'énergie au jour le jour et pour une utilisation normale dans les périodes de faible



Fig. I .6 Systèmes références applications industrielles industrie pétrolière et gazière PV.

I.5 System d'Electrification rurale PV

Elle désigne le processus de mise à disposition de l'énergie électrique aux populations des régions rurales et /ou éloignées [5].



Fig1.7 System d'Electrification rurale

a. Electrification rurale en petits réseaux 24V

L'intérêt principal d'installer des systèmes utilisés par une communauté est que la base de l'énergie va être utilisée pour des activités artisanales ou agricoles et ainsi devenir indispensable à la vie du village. Lorsqu'un système photovoltaïque devient essentiel à l'activité de tous les jours, on apprend à l'utiliser, à le maintenir en bon état et avec l'expérience à mieux gérer l'énergie à disposition. C'est donc ce type de système qui a le plus de chance de durer et de permettre une amélioration réelle des conditions de vie dans les sites trop éloignés d'un réseau et sans espoir d'être à jamais raccordés.

Petits systèmes individuels et collectifs, Solar home Systems :

Beaucoup de programmes d'électrification rurale proposent d'installer de grandes quantités de petits Systèmes domestiques individuels appelés SHS (Solar home Systems) compensant en général un panneau de 50W, une batterie de 50 à 70Ah, un petit régulateur et quelques points lumineux. Ces régulateurs offrent parfois des sorties à tensions de 9 ou 6V pour alimenter de petits récepteurs. Les défauts principaux de ces systèmes sont que la batterie en pays chaud dure seulement une à deux années, que les régulateurs sont parfois mal dimensionnés et tombent en panne rapidement et qu'enfin l'utilisateur n'a souvent pas des revenus suffisants pour entretenir et renouveler les composants d'usure de son système. [16]

b. Avantages de la tension continue 24V**Récepteurs nombreux puissants :**

A cette tension, on trouve déjà des accessoires de puissance de l'ordre du kW, ce qui permet de faire fonctionner avec un meilleur rendement des appareillages non disponibles en 12 V. D'autre part, une multitude d'accessoires existe fonctionnant à cette tension, répandue pour les camions et les petits transporteurs électriques.

Batterie «basse tension»

Une batterie 24 V est formée de 12 éléments 2V en série, ce qui est une quantité encore raisonnable pour éviter des dérives entre les éléments et la nécessité d'utiliser un régulateur complexe qui contrôle individuellement chaque cellule de 2 V.

Compatibilité avec le 230 VAC

En 24 VDC, les interrupteurs et commutateurs usuels développés pour le 230 VAC fonctionnent sans problème, ce qui n'est plus le cas dès 36 V.

Petits réseaux

La distribution de courant entre habitations proches est possible pour l'alimentation de petits récepteurs comme des lampes, de la ventilation, la TV et la radio.

Cependant, l'intérêt du 24 V est de pouvoir faire fonctionner des machines qui auront un rendement bien meilleur avec des moteurs à courant continu qu'avec de l'alternatif ou de l'entraînement par moteur à essence ou diesel.

Appareils agricoles ou artisanaux en 24 V

Les exemples et réflexions ci-dessous sont tirés en grande partie de l'expérience acquise par Yvan Cyphelly de la société CMR qui travaille depuis de nombreuses années dans la région du Sahel africain.

I.5.1 Technologies d'Electrification rurale :**• Le solaire photovoltaïque :**

Contrairement au générateur diesel, le principal désavantage des panneaux photovoltaïques est leur coût initial très élevé (plusieurs milliers de dollars par kWh installé). En revanche, leur utilisation est gratuite, le soleil étant généralement disponible dans les régions rurales.

- **Le réseau électrique :**

L'extension du réseau électrique constitue la solution la plus évidente pour la connexion de nouvelles habitations. Par définition, l'électricité est produite de façon centralisée à l'aide de centrales (thermique, hydrauliques, nucléaires, etc.). Et est distribuée à l'aide de lignes haute, moyenne et basse tension. La mise en place d'une nouvelle ligne électrique ne se justifie que si la densité de consommation (en kWh/km²) de la zone desservie est suffisante. Cette condition est problématique dans les zones rurales des pays en développement, où la consommation individuelle et la densité de population sont très faibles, ce qui rend l'extension du réseau peu intéressante économiquement.

- **Les générateurs diesel :**

Le générateur diesel (ou groupe électrogène) est la solution la plus rencontrée dans les zones non reliées au réseau électrique. Cela s'explique notamment par son coût d'investissement très faible (quelque centaines de dollars pour un système de 5 kWh). En revanche, son coût d'utilisation est relativement élevé, notamment à cause du coût du diesel dans les régions rurales. Son rendement est généralement très faible (entre 7 et 25 % en moyenne pour les unités de petite taille), ce qui augmente la consommation de diesel. Malgré le coût initial faible, le coût du kWh électrique est relativement élevé, avec des valeurs tournant autour de 0.5 USD/kWh.

I.6 Système PV pour télécommunication

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques.



Fig. I.8 Systèmes solaire photovoltaïque pour les télécommunications.

Dès lors que vous recherchez une solution durable afin de fournir en énergie un système de télécommunication en site isolé, la solution est le solaire. L'électricité est générée à partir des

rayons du soleil. Les sites inaccessibles, ou il est très coûteux et/ou impossible de se connecter au réseau peuvent être ainsi alimentés en énergie. Ils sont généralement utilisés pour :

- Systèmes télécoms en site isolé
- Système de gestion à distance
- Réduction considérable des coûts de fonctionnement et de maintenance

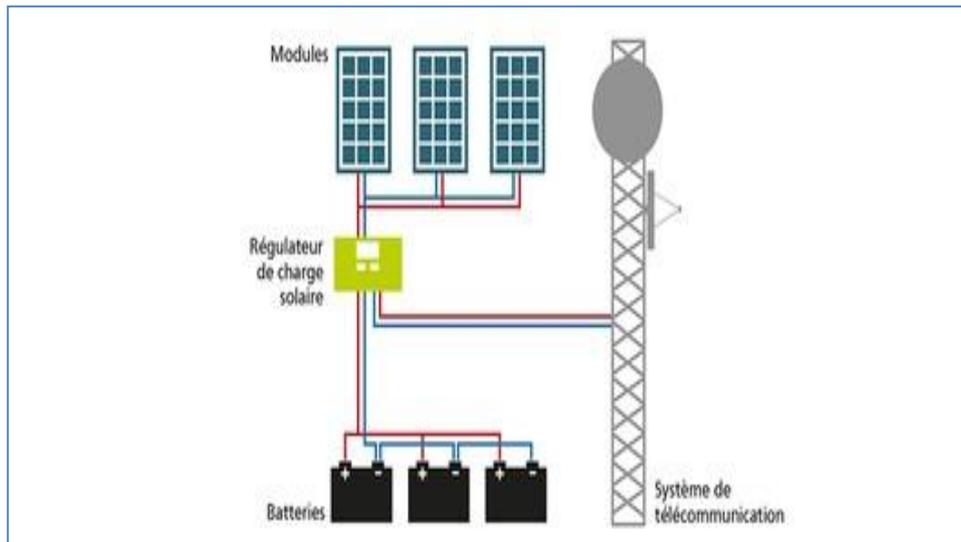


Fig. I.9 Configuration système télécommunication

I.6.1 Composants du système:

- Panneaux solaires.
- Régulateur de charge.
- Batteries.
- Relais télécoms type DC.
- Autre source d'énergie (dépend du système choisi).

I.6.2 Avantages

- Ne plus être dépendant des fluctuations de prix et de la disponibilité du pétrole (la production du champ solaire est garantie sur 25 ans)
- Eviter l'approvisionnement régulier en carburant dans les zones les plus éloignées
- Disponibilité d'une énergie à la demande indépendante du démarrage et de l'arrêt d'un groupe électrogène
- Peut être installé avec un générateur éolien ou diesel pour obtenir un système hybride
- Système modulable et évolutif adapté aux caractéristiques de vos charges
- Des avantages environnementaux (un système propre et silencieux)

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé de quelques applications des systèmes autonomes photovoltaïques tels que le système de pompage, système de dessalement, système de protection cathodique, le système de télécommunication et le dernier c'est le système d'électrification.

Nous avons présenté pour chaque application, une définition, le principe de fonctionnement, les éléments constitutifs le chapitre est clôturé par une conclusion.



Chapitre II

Dimensionnement d'un système de pompage

II.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthode de dimensionnement du système de pompage photovoltaïque, qui permet de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. Elle est basée essentiellement sur l'évaluation des besoins d'eau, le calcul de l'énergie hydraulique nécessaire, la détermination de l'énergie solaire disponible et le choix des composants.

II.2 Présentations de la méthode de dimensionnement

Plusieurs travaux sur le dimensionnement de système de pompage photovoltaïque ont été publiés. Ces travaux se basent sur la simulation du fonctionnement de chaque composante. Cependant ces programmes nécessitent des données expérimentales qui ne sont pas faciles à obtenir. [9]

Les différentes phases de dimensionnement d'un système de pompage sont :

1^e Phase : évaluation des besoins en eau

2^e Phase : calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

3^e Phase : Dimensionnement et choix du type du groupe motopompe :

Cela est fonction de la profondeur du forage, de la hauteur de stockage, du débit de pompage recherché, de son alimentation électrique en continu ou alternatif mono ou triphasé, etc.

4^e Phase : Dimensionnement et montage du système PV : Ce dimensionnement tient compte (particulièrement) de la puissance nominale de la pompe majorée des différentes pertes (conversion de tension, régulation, etc.) et de l'ensoleillement du site. Son montage (Orientation) dépend de sa position géographique (longitude)

II.3 Evaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.

Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail [9].

Les besoins en eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système.

II.4 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [9] :

$$E_H = g\rho_a V_a h / 3600 \quad (\text{II.1})$$

E_H : énergie hydraulique (Wh/jour)

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

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

h : hauteur totale (m)

ρ_a : densité de l'eau (1000 kg/m^3)

Durant le processus de pompage, le niveau d'eau à l'intérieur du puits tend à baisser, jusqu'à ce que la vitesse avec laquelle la régénération du puits arrive à équilibrer la quantité pour que l'on puisse pomper l'eau de nouveau. L'abaissement du niveau d'eau dans le puits dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le type et la perméabilité du sol et l'épaisseur de l'aquifère.

La hauteur totale de pompage est la somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique :

$$h = h_s + h_d \quad (\text{II.2})$$

Dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient :

$$h = h_s + h_d + \left(\frac{h_d - h_s}{Q_p}\right) Q_A \quad (\text{II.3})$$

Ou :

h_s : niveau statique (m)

h_d : niveau dynamique (m)

Q_p : débit d'essai (m^3/h)

Q_A : débit apparent (m^3/h)

La hauteur statique h_s est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

La hauteur dynamique h_d représente les pertes d'eau dans la tuyauterie.

La formule de Darcy-Weisbach permet le calcul de la hauteur dynamique [9] :

$$h_d = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (\text{II.4})$$

Où :

f : coefficient de friction des parois de la tuyauterie

L : longueur de la tuyauterie (m)

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

V : vitesse moyenne du fluide (m/s)

D : diamètre de la tuyauterie (m)

Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, té, jonctions, ...), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément additionnel comme :

$$h_d = K_{ac} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{II.5})$$

Où

K_{ac} : est un coefficient dépendant du type d'accessoire. Dans le tableau 1, on donne une série de valeurs de K_{ac} pour différents accessoires.

Une autre méthode pour tenir compte des accessoires du circuit est d'ajouter à la longueur réelle de la tuyauterie (seulement pour effet de calcul) des longueurs de tubes de même diamètres que le conducteur en étude, capables de causer les mêmes pertes de charge occasionnés par les pièces qu'elles substituent. De cette façon, n'importe quel accessoire peut être substitué par une longueur fictive. En général, on recommande que la hauteur dynamique ne dépasse pas 10 % de la hauteur totale de pompage [9].

II.5 Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible et de l'énergie hydraulique nécessaire.

II.5.1 Inclinaison de modules photovoltaïque

L'inclinaison des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

II.5.2 Mois de dimensionnement

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum.

Comme idée de principe, à chaque inclinaison β , correspond un mois le plus défavorable. Le mois de dimensionnement à l'inclinaison optimale sera précisément celui qui présente le plus petit rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique.

L'irradiation solaire $G_{dm}(\beta)$ et l'énergie hydraulique nécessaire E_H correspondantes à ce mois serviront pour le choix des composantes du système.

II.5.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque [9]

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM, (éclairage $G_{ce} = 1000 \text{ W/m}^2$ et température de cellule $T_c \text{ réf} = 25 \text{ °C}$) est :

$$P_p = \eta_g A G_{ce} \quad (\text{II.6})$$

P_p : puissance de sortie sous CSM (W)

η_g : rendement du générateur à la température de référence (25 °C)

A : surface active du générateur (m^2)

G_{ce} : éclairage dans les CSM (1000 W/m^2)

L'énergie électrique journalière, E_e , est donnée par :

$$E_e = \eta_{PV} A G_{dm}(\beta) \quad (\text{II.7})$$

η_{PV} : rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation.

$G_{dm}(\beta)$: irradiation moyenne journalière incidente sur le plan de modules module l'inclinaison B ($\text{kWh/m}^2/\text{jour}$).

Le rendement η_{PV} peut être calculé à l'aide de l'expression :

$$\eta_{PV} = F_m [1 - \gamma(T_c - T_{c,\text{ref}})] \eta_g \quad (\text{II.8})$$

Où :

F_m : 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 maximum.

γ : coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0.005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

$T_c \text{ réf}$: température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

L'énergie électrique nécessaire est liée avec l'énergie hydraulique par l'expression :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \tag{II.9}$$

Ou :

E_h : énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh)

MP : rendement du sous-système moteur-pompe.

En substituant les équations (7), (8) et (9) dans (6), nous obtenons pour la puissance crête du générateur :

$$P_p = \frac{G_{ce}}{[1-\gamma(T_c-T_{c,ref})]G_{dm}(\beta)} \frac{E_h}{\eta_{MB}} \tag{II.10}$$

II.6 Choix et Dimensionnement de la pompe [10]

II.6.1 Choix moto-pompe

Le dimensionnement d'un système de pompage doit être fait avec une grande attention. Il faut tenir compte de différents paramètres énumérés sur le tableau.II.1.

- La classification des pompes peut se faire selon différents critères

*Conception : $\left\{ \begin{array}{l} \text{-Contrifuge} \\ \text{-Déplacement positif} \end{array} \right.$

*Position dans le system : $\left\{ \begin{array}{l} \text{-De surface} \\ \text{- Immersée} \end{array} \right.$

*Type de moteur utilise {
 -courant continu
 - Courante alternatif

Tableau.II.1 : paramètres d'un système de pompage [8].

1	Est-ce qui s'agit d'un forage, d'un puit , d'un cours d'eau,.....
2	S'il s'agit d'un puit ou d'un forage, quel est son diamètre
3	Profondeur du forage ou du puit en mètre
4	Niveau statique du forage en mètre
5	Rabattement en mètre
6	Débit horaire du puit ou forage a rabattement en m ³ /h
7	Variation saisonnière du niveau statique en mètre
8	Hauteur verticale du refoulement en mètre
9	Longueur horizontale
10	Diamètre intérieur de la canalisation horizontale en mètre (si existante)
11	Débit minimum désire en m ³ par jour pendant la période la Pius ensoleillée
12	Débit minimum désire en m ³ par jour pendant la période la moins ensoleillée
13	Période utilisation

En résumé nous pouvons dire que les pompes centrifuges sont généralement utilisées pour les puits profonds et les débits importants.

Les pompes à déplacement positif sont par contre utilisées pour les débits faibles.

Quand au moteur, le CC est généralement plus efficace et plus facile à utiliser avec un système PV, mais malheureusement moins accessible financièrement que le CA. Ce dernier nécessite cependant l'utilisation d'un onduleur pour fonctionner avec les systèmes PV.

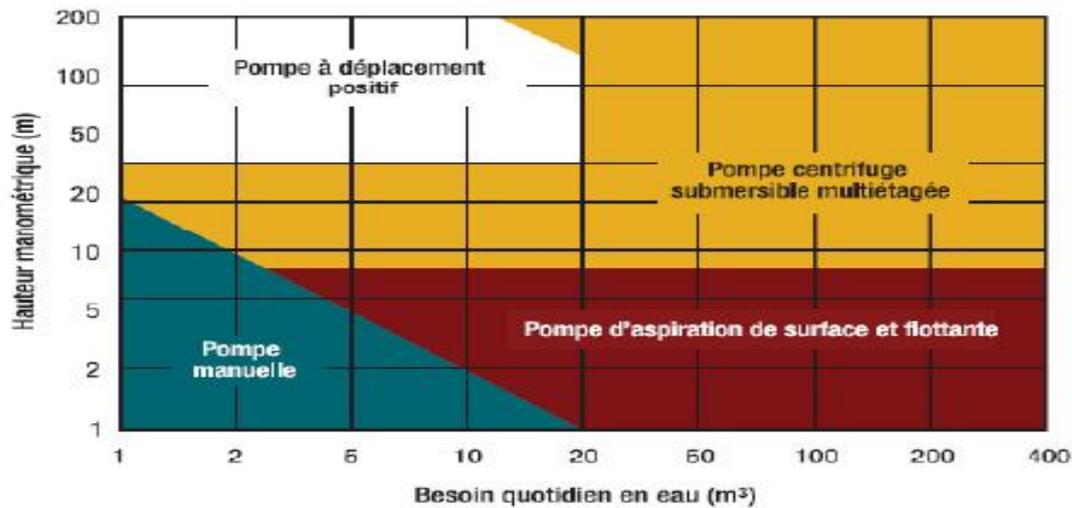


Fig. II .1 Sélection de type de pompe[10]

Quand au moteur, le CC est généralement plus efficace et plus facile à utiliser avec un système PV, mais malheureusement moins accessible financièrement que le CA.

Ce dernier nécessite cependant l'utilisation d'un onduleur pour fonctionner avec les systèmes PV.

Tableau. II.2 : Avantages et inconvénients d'un Moteur à cc et Moteur asynchrone [11].

	Moteur à courant continu	Moteur asynchrone
Avantages	-facilité de régulation (variation de la vitesse, couple,...) -rendement de 90 %	-fiabilité : nécessite peu d'entretien -rendement de 90%
Inconvénients	-cout d'entretien : le système balai collecteur est à changer	-difficulté et cout de régulation (nécessite la réalisation de commandes vectorielles)

Le choix du moteur monophasé ou triphasé peut être expliqué par le tableau II.3: L'inconvénient majeur du mono est le couple nul au démarrage, mais il y a possibilité de démarrer en diphasé.

Tableau. II.3 : Le choix du moteur alternatif monophasé ou triphasé

	Moteur monophasé	Moteur triphasé
Couple de démarrage	0 Nm	10,33Nm
Courant magnétisant	1 ,398A	0,931A
Courant de démarrage	9,87A	17,95A

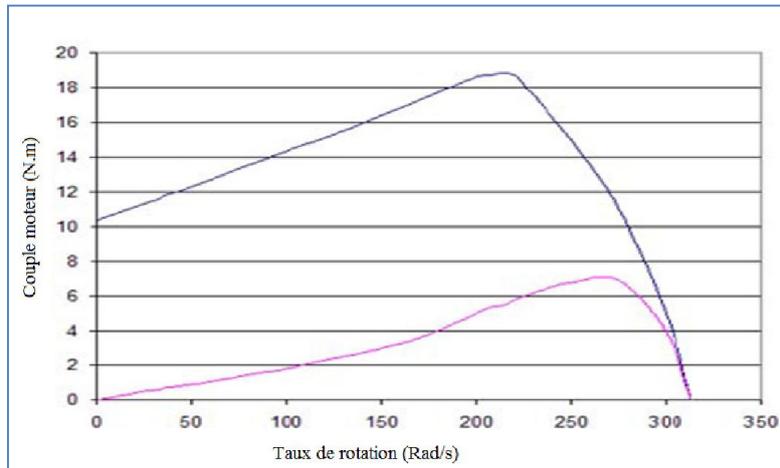


Fig. II.2 Comparaison du fonctionnement d'un moteur mono et triphasé

II.7 Dimensionnement du pompe [10]

Le modèle pour les systèmes de pompage de l'eau est basé sur les équations de Royer et coll. comme le montre l'organigramme fig. II.2.

La demande énergétique hydraulique quotidienne E_{hydr} en j, correspond à l'énergie nécessaire pour élever à une hauteur h (en m), un volume quotidien Q (en m^3/j), avec η un facteur qui tient compte des pertes de charges :

$$E_{hydr} = 86400 \times \rho \times g \times Q \times h \times (1 + \eta) \tag{II.11}$$

$h \times (1 + \eta)$ peut être remplacé par $(h + \eta_m)$ dans l'équation (10) avec η_m les pertes de charges en mètre.

L'énergie hydraulique se traduit en une demande d'énergie électrique $E_{moto-pompe}$ par :

$$E_{moto-pompe} = \frac{E_{hydr}}{\eta_{moto-pompe}} \tag{II.12}$$

Où $\eta_{moto-pompe}$ est le rendement de la pompe. Si la pompe fonctionne en CA, il faut tenir compte du rendement de l'onduleur use η_{ond} :

$$\eta_{moy} = \eta_{moto-pompe} \times \eta_{ond} \tag{II.13}$$

$$E_{moto-pompe} = \frac{E_{hydr}}{\eta_{moy}} \tag{II.14}$$

Le calcul du puissance à partir du débit journalier que l'on souhaite obtenir, en addition aux caractéristiques de la pompe pouvant satisfaire un certain débit à une certaine hauteur, conduit au choix de la tension.

Pour obtenir la même caractéristique U/I du cote du système PV qui satisfasse à cette demande, comme cela est schématisé par l'organigramme ci-contre (figII.3).

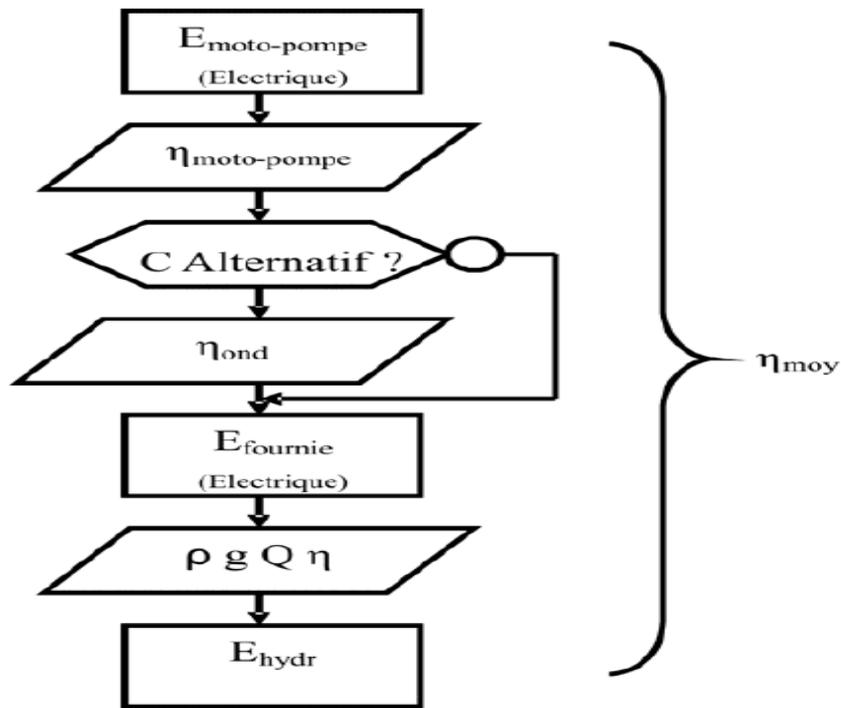


Fig. II.3 organigramme du système de pompage.

Cela peut conduire à des écarts considérables entre les valeurs de l'agencement PV et celles de la plaque signalétique de la pompe. Mais toute question de corrompis et d'ajustement. à condition que la tension du système PV soit dans une fourchette acceptable.[10]

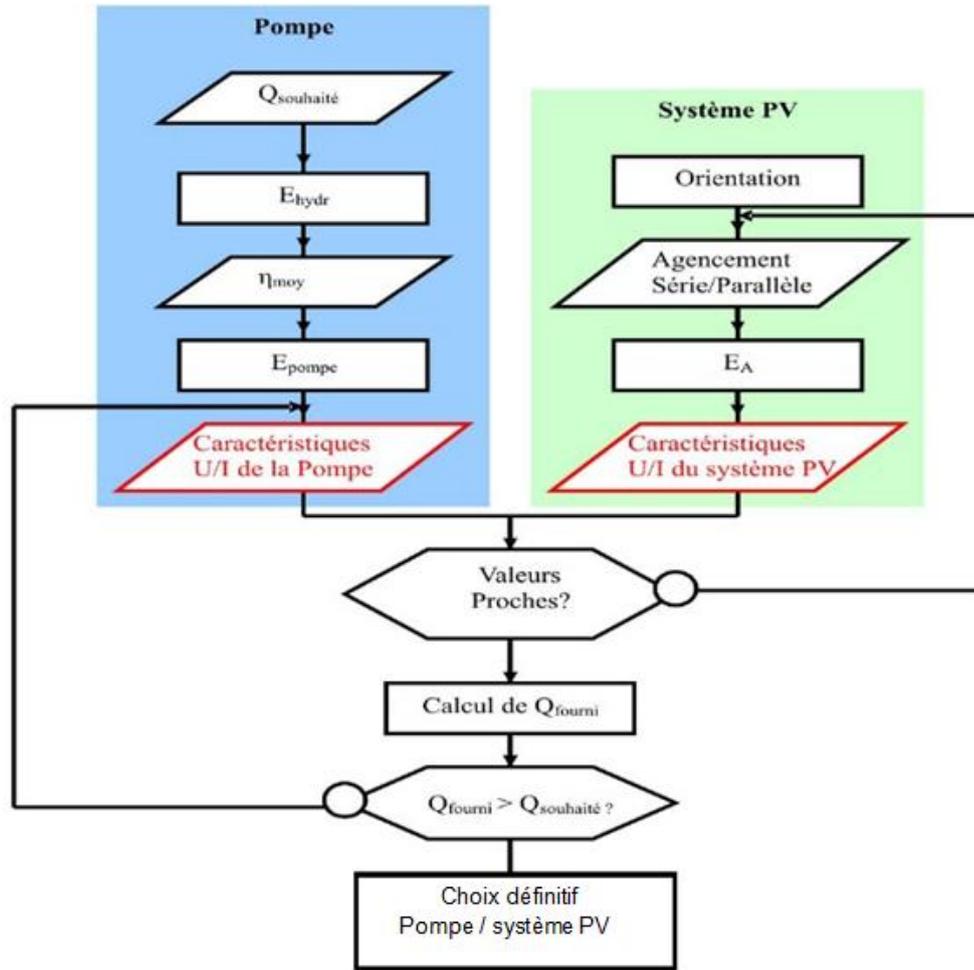


Fig.II.4 organigramme determination de la pompe et de système PV.[10]

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

$$Q = \frac{3.6P_h}{g h} \tag{II.15}$$

Où : P_h : puissance hydraulique nécessaire (W)

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

h : hauteur manométrique totale (m)

La puissance hydraulique crête (P_h) nécessaire en fonction de la puissance électrique crête fournie par le générateur photovoltaïque (P_e) est donnée par :

$$P_h = P_e \eta_{MB} \tag{II.16}$$

Où :

MB : rendement crête du sous-système moteur-pompe.

II.8 Dimensionnement des tuyauteries

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottements en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie.

En pratique, il se présente le problème de fixer la hauteur dynamique h_d pour des considérations économiques.

En effet, si nous augmentons le diamètre D de la tuyauterie, h_d diminue. Economiquement parlant, une augmentation de D suppose une augmentation des dépenses d'installation, mais en même temps une diminution des pertes d'énergie.

Le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottements. Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approchent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse [9] :

$$D = K\sqrt{Q} \quad (\text{II.17})$$

Ou :

D : diamètre de la tuyauterie (m)

K : coefficient qui varie de 0,75 à 1,40

Q : débit crête de la pompe (m^3/s)

L'équation de continuité est :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad (\text{II.18})$$

Choisir la valeur K équivaut à fixer la vitesse moyenne du fluide(v). Enfin en substituant dans l'équation de continuité la valeur de Q prise de la formule de Bresse, nous avons :

$$v = \frac{4}{\pi k^2} \quad (\text{II.19})$$

Quelque soit la formule employée, les diamètres obtenus diffèrent fréquemment des diamètres commerciaux. Il suffit de prendre la valeur du diamètre commercial le plus proche et

d'ajouter les calculs en conséquence.

II.9 Conclusion

Cette étude a permis de dégager des critères optimums pour le choix et le dimensionnement de ces éléments. Cette étude a montré que le choix et dimensionnement des éléments d'un système photovoltaïque pour pompage procède d'une estimation des besoins en eau.

Cette estimation peut être préalablement calculée, mais en définitive, elle sera approchée du fait que l'on souhaite obtenir une autonomie en cas de mauvais temps.

Cette approche conduit ainsi au dimensionnement approximatif de la capacité de stockage de l'eau.

Les éléments conditionnant le choix d'une moto - pompe dépendent de plusieurs facteurs importants :

Le type de pompe voulu, le type et la caractéristique U/I du moteur, la puissance nécessaire pour le pompage, la hauteur manométrique totale de l'installation, etc.

Ce choix nécessite la connaissance de la profondeur de la source d'eau.

Une optimisation du choix et de dimensionnement suppose un inventaire étendu de toutes les caractéristiques des moto-pompes commercialisées sur le marché.

L'analyse est à peu près identique pour le choix et le dimensionnement des panneaux solaires : leurs caractéristiques constructrices de tension et puissance étant variables d'un modèle à un autre, un inventaire des panneaux commercialisés s'impose. De cette manière, les caractéristiques U/I des panneaux et celles des moto-pompes peuvent être comparées aisément pour une optimisation du choix et de l'agencement des panneaux. Nous avons présenté une méthode de dimensionnement de pompage photovoltaïque.

Les résultats obtenus sont présentés dans ce chapitre. On montre que la puissance hydraulique extraite du système de pompage photovoltaïque fonctionnant à la source d'énergie solaire dépend du :

- Système générateur photovoltaïque.
- Groupe motopompe
- Tuyauteries d'aspiration et de refoulement.
- La quantité journalière d'eau pompé dépend de :
 - ✓ L'éclairement maximal sur le site.
 - ✓ La hauteur manométrique totale.



Chapitre III

Simulation du système de pompage PV

III.1 Introduction

Ce chapitre expose la simulation de chaque partie du système de pompage photovoltaïque, commençant par le générateur photovoltaïque passant au régulateur de charge où les batterie sont connectées puis l'onduleur qui alimente le moteur asynchrone entraînant une pompe centrifuge (groupe moto-pompe), cette dernière est liée à la canalisation de refoulement qui est un circuit fermé(circuit hydraulique).

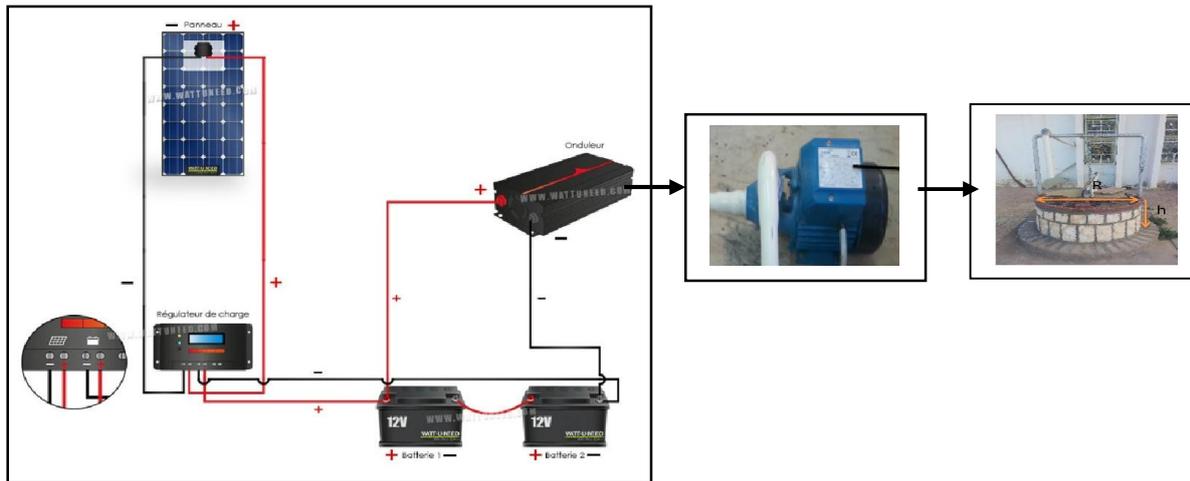


Fig. III.1. schéma synoptique du système pompage PV

III.2 Générateur PV

Le générateur PV est une source continue qui alimente le système de pompage, elle est généralement formé, d'un ou plusieurs panneaux montés en série et /ou parallèle.

Le schéma équivalent de base (cellule) est montré sur la fig.III.2. Le schéma équivalent d'une cellule solaire peut être représenté sous diverses variantes. La configuration suivante peut être considérée comme la plus usuelle. Elle comporte une source de courant variable et de tension fixe, monté en parallèle avec une diode D caractérisant la jonction et une résistance R_{sh} (résistance shunt) simulant arrière de l'élément, et en série avec une autre résistance R_s (résistance série) représentant les pertes par effets joule.

Le schéma de simulation du module PV qui est une association des cellules en série est illustré sur la fig.III.3.

Le tableau 3.1 donne les valeurs caractérisant le module PV, toutes les données techniques sont prises sous STC (stand art test condition) $AM=1.5$ $E=1000W/m^2$ $T_c =25^\circ C$.

Les caractéristiques courant- tension et celle puissance-tension sont donnés par la fig.III.4

Le 'influences des différents paramètres climatiques sont donnés sur les fig.III.5 où on voit l'augmentation de l'intensité de l'ensoleillement entraîne une augmentation du courant par contre l'augmentation de la température entraîne une chute de tension (diminution de la tension) voir fig.III.6.

Tableau.III.1 caractéristiques du module PV

None	Symbole	Valeur
Model number		STP190S-24/Ad+
Rated maximum Power	P max	190W
Output Tolerance		0/+5%
Courante at. P max	I mp	5.20 A
Voltage at. P max	V. P max	6.36 V
Short- Circuit Curent	I sc	5.62 A
Open-Circuit Voltage	V oc	45.2 V
Nominal Operating Cell T emp	T_{NOCT}	45° C ±2° C
Weight	/	15.5Kg
Dimensions	/	1580mm× 808mm × 35mm
Maximum System Voltage	/	1000 V
Maximum Séries Fuse Rating	/	15 A
Cell Technology	/	Mono-si

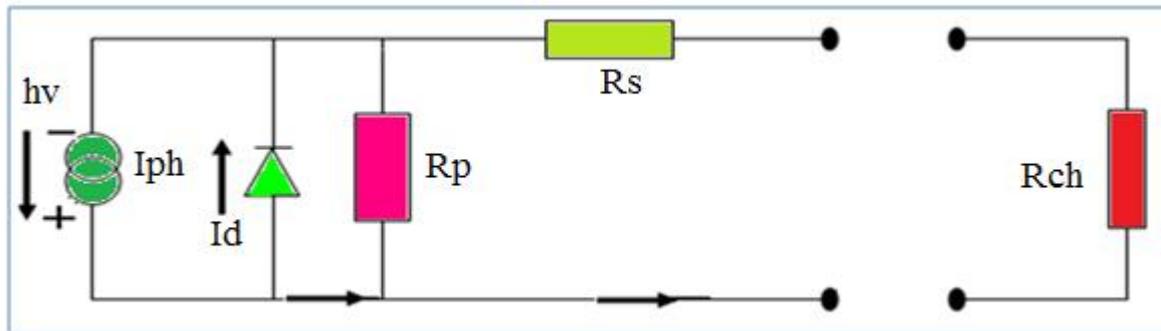


Fig.III.2 schéma électrique équivalent de la cellule PV

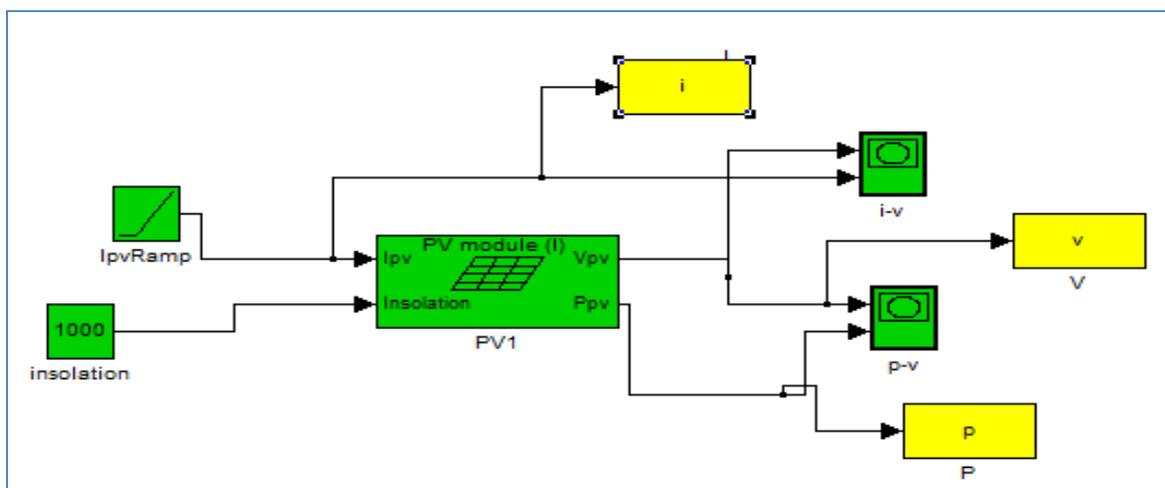


fig.III.3 schéma en simulink d'un panneau photovoltaïque

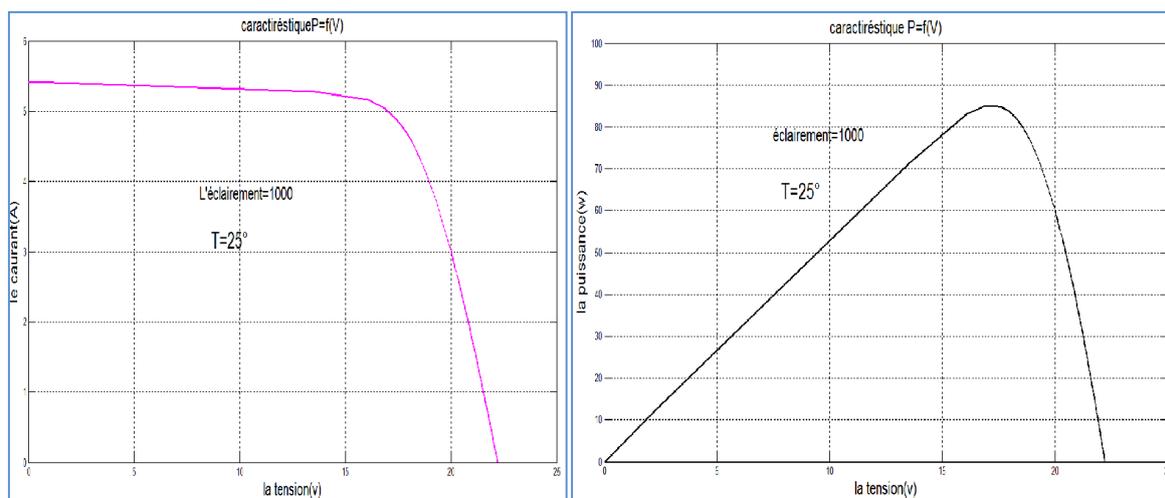


Fig.III.4 cracteristiques I-V et P-V

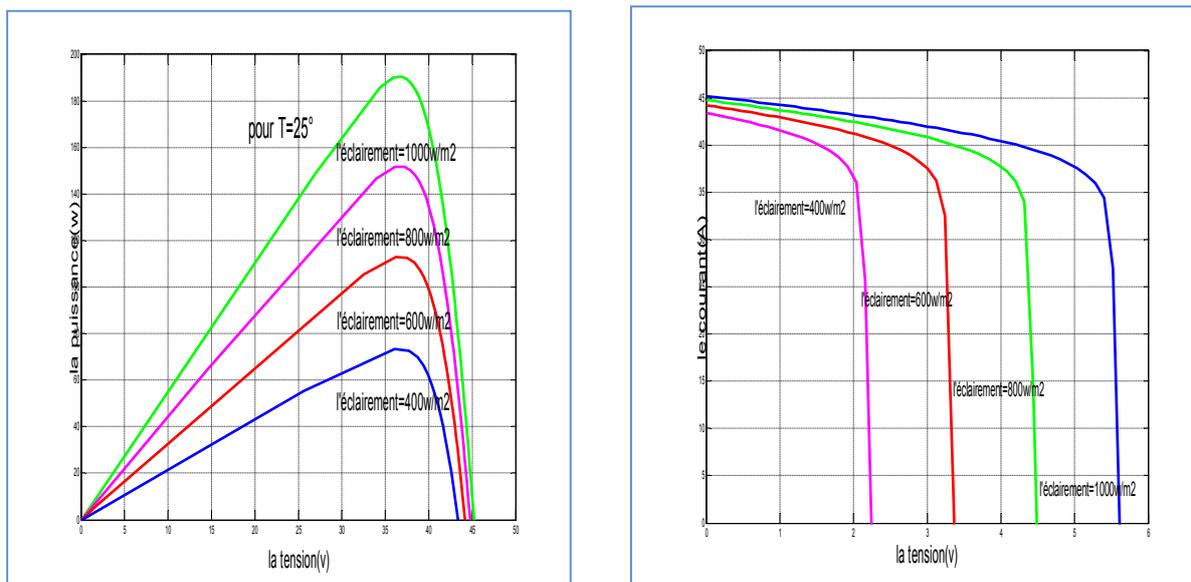


Fig.III.5 Effet de l’ensoleillement sur les caractéristiques I-V et P-V avec $T=25^{\circ}$

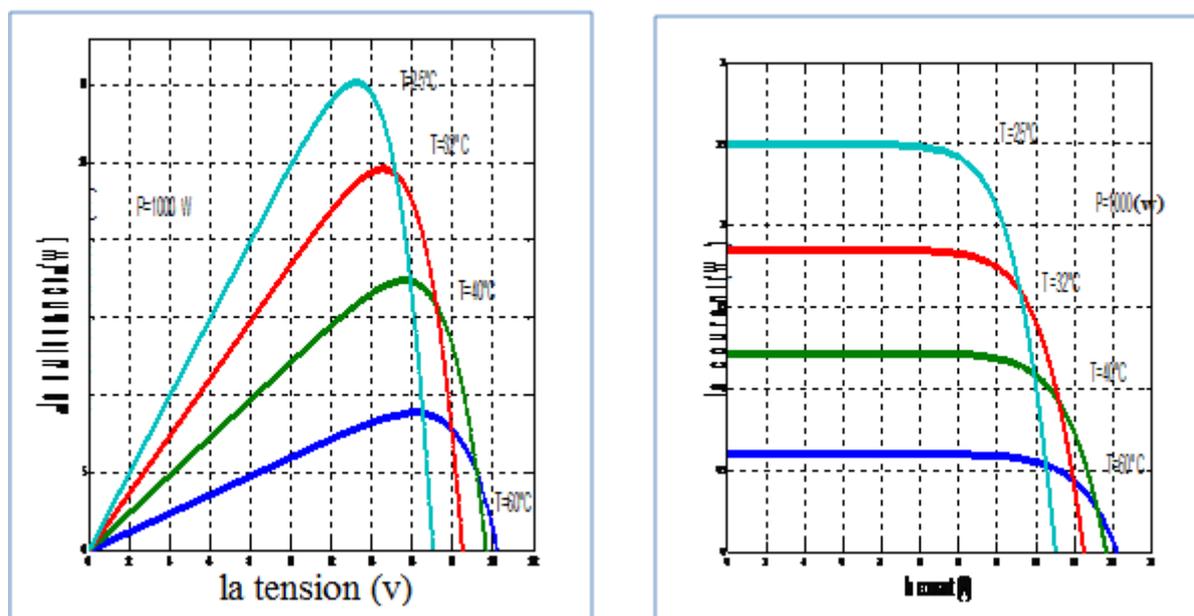


Fig.III.6 Effet de la température sur les caractéristiques I-V et P-V avec $E=1000\text{W/m}^2$

III.3 Onduleur de charge [1]

Un onduleur dépend essentiellement de la nature du générateur et du récepteur entre Les quels il est monté. Cela conduit à distinguer en respectant la règle de connexion des sources:

- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.
- Les onduleurs de tension alimentés par une source de tension continue et alimentant un récepteur de courant alternatif (exemple machine asynchrone), cas de notre étude.

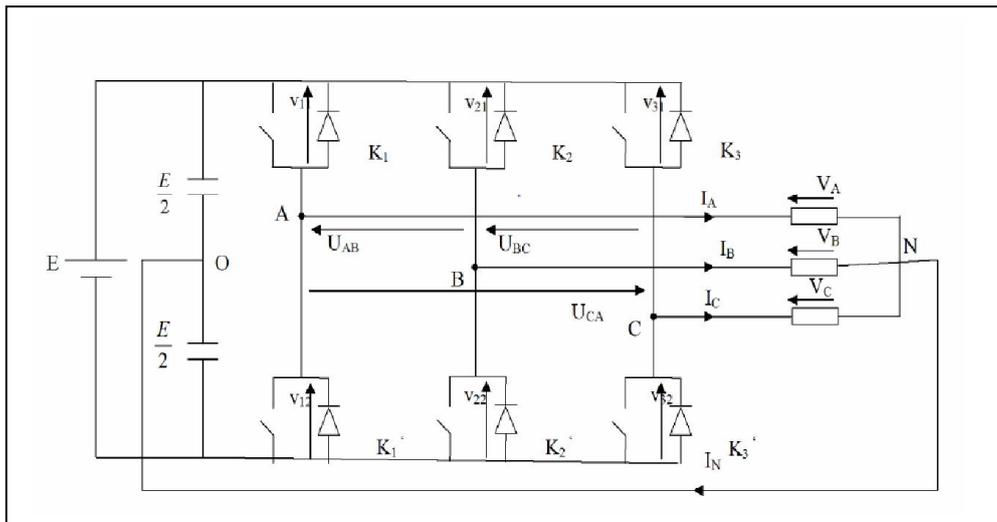


fig.III.7 Schéma équivalent d'un onduleur

La modulation de largeur d'impulsion sinus triangle est réalisée par comparaison d'une onde modulante basse fréquence (tension de référence) à une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la porteuse et la modulante, la fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse. En triphasé, trois références sinusoïdale déphasées de $2\pi/3$ à la même fréquence f_s . Comme la sortie de l'onduleur de tension n'est pas purement sinusoïdale, l'intensité de Courant ne l'est pas aussi, donc elle comporte des harmoniques, seuls responsables des parasites (pulsation de couple électromagnétique) ce qui engendre des pertes supplémentaires [13].

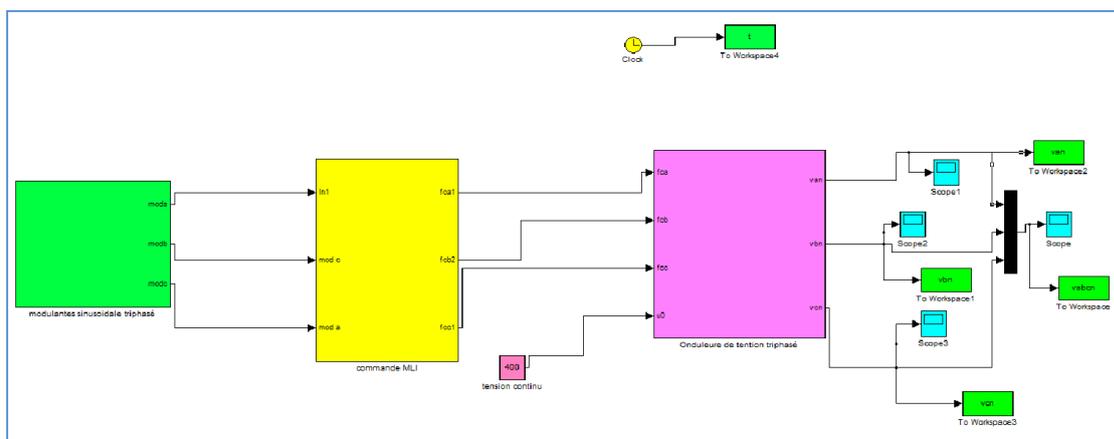


Fig.III.8 Schéma en simulink de l'onduleur

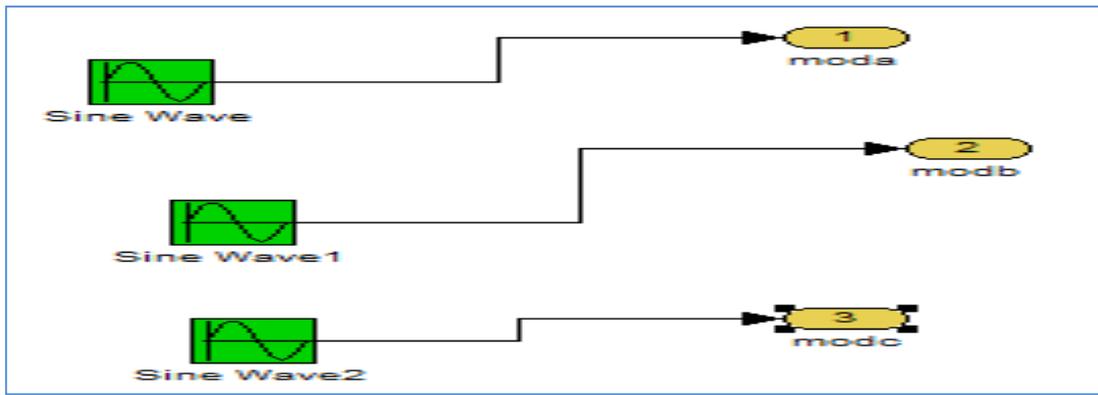


Fig.III.9 Schéma en simulink de la source sinusoïdale en tension

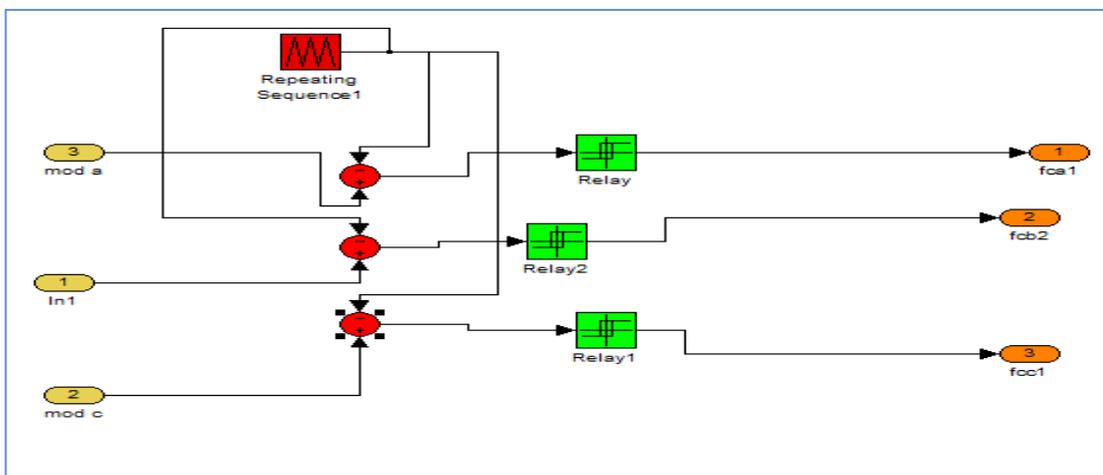


Fig.III.10 Schéma en simulink de la commande MLI

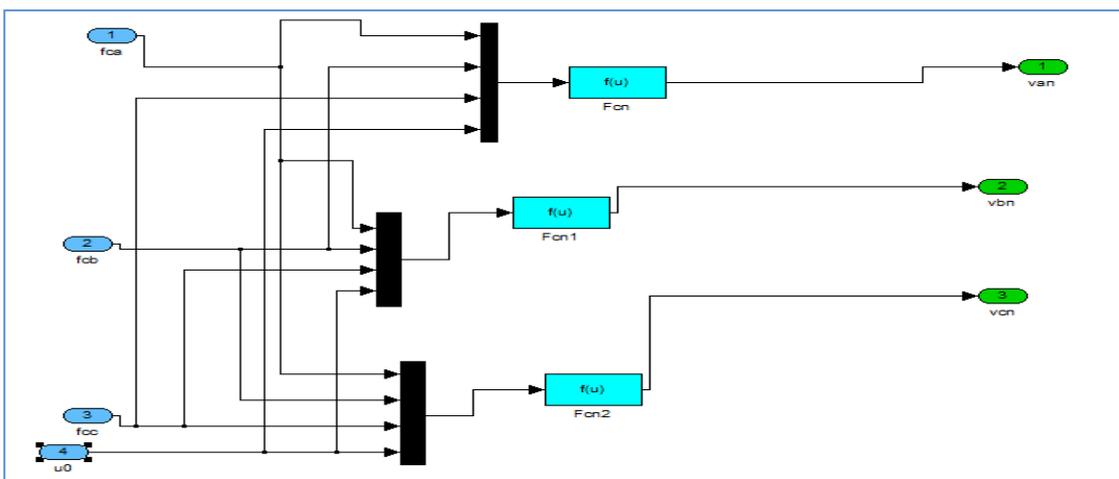


Fig. III.11 Schéma en simulink de d'onduleur de tension triphasé

- La caractéristique de l'onduleur : La tension : 24v/220v, La puissance : 1700W

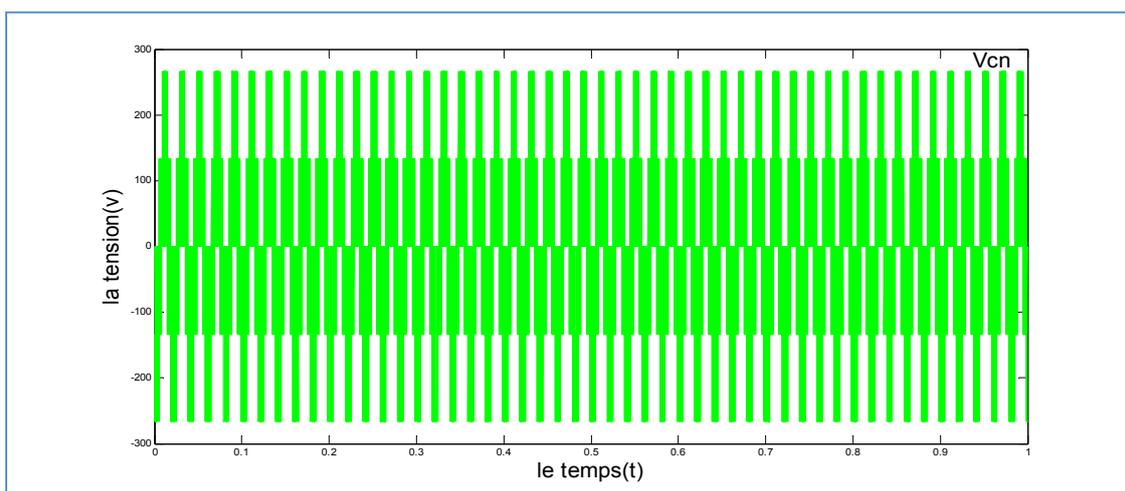
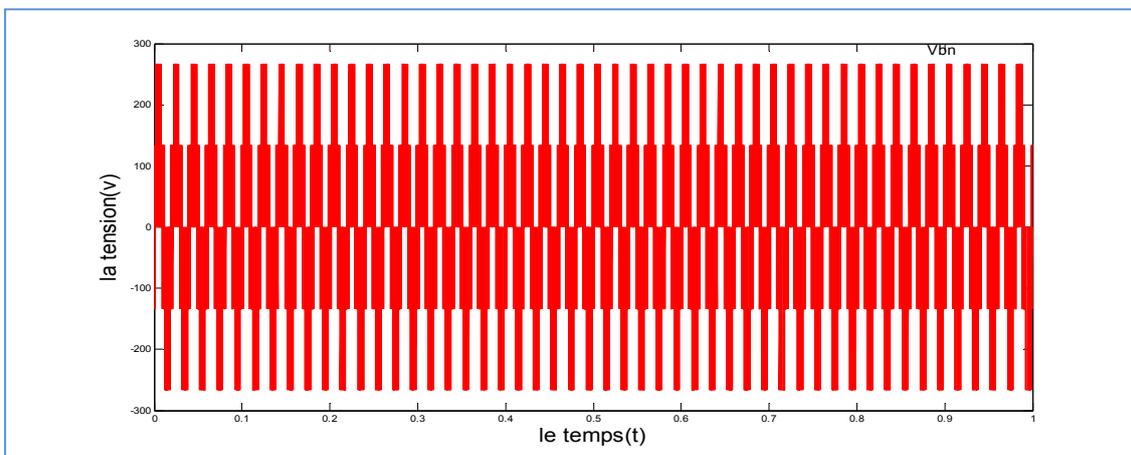
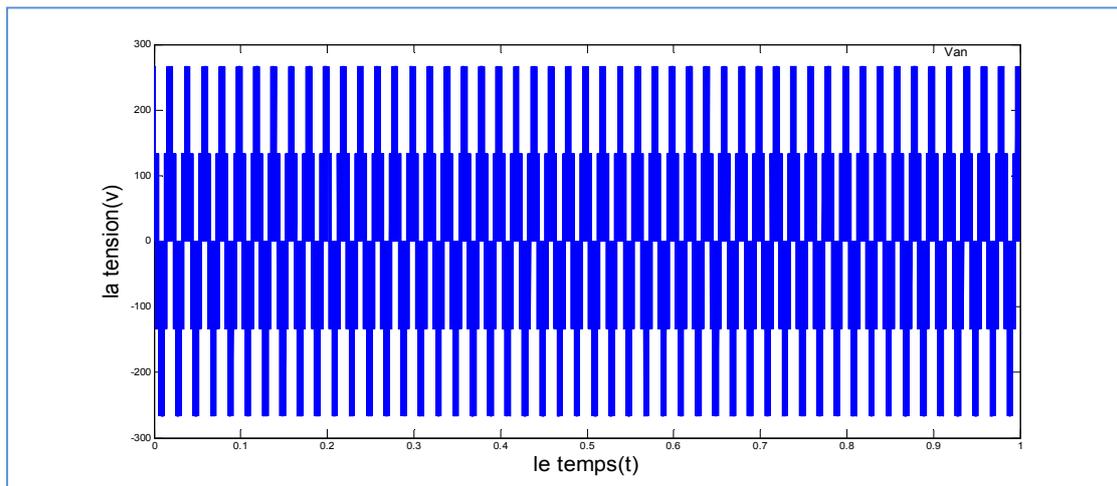


Fig.III.12 courbe de tension de sortie pour chaque phase de l'onduleur

- avec MLI la forme des courbes à la sortie de l'onduleur est périodique et canonique se compose à la fondamentale et les harmonique.
- on utilise MLI pour évités les harmonique à haute fréquence.

III.4 Groupe motopompe

III.4.1 Moteur asynchrone

Tableau III.2 Caractéristique d'un moteur asynchrone

X Km 60-1		n. X 140105992	
Q max 40 l/min		H max 40m	
Suct.H max 8 m		Size 1" x 1"	
1 ~Mot	V 220-240-	Hz 50	2900 min -1
kW 0.37	HP 0.5	In 2.5 A	IP x4
C 8 μF	VL 450 V	ICL F	
Continuos Dubty		Thermally protected	

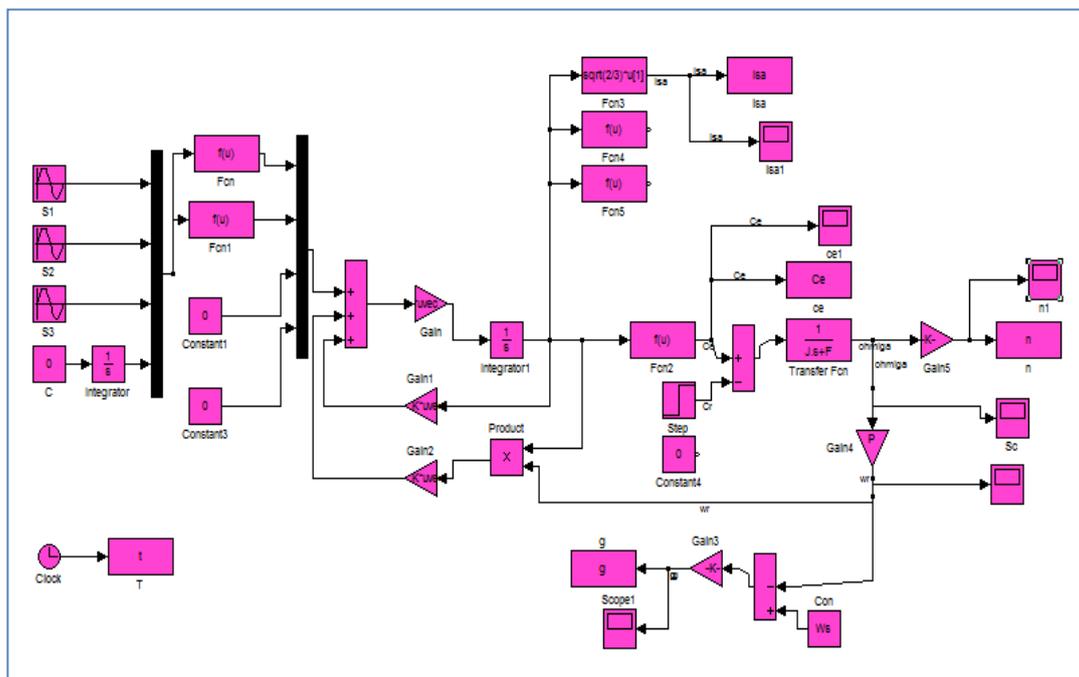


fig.III.13 Schéma en simulink du moteur asynchrone

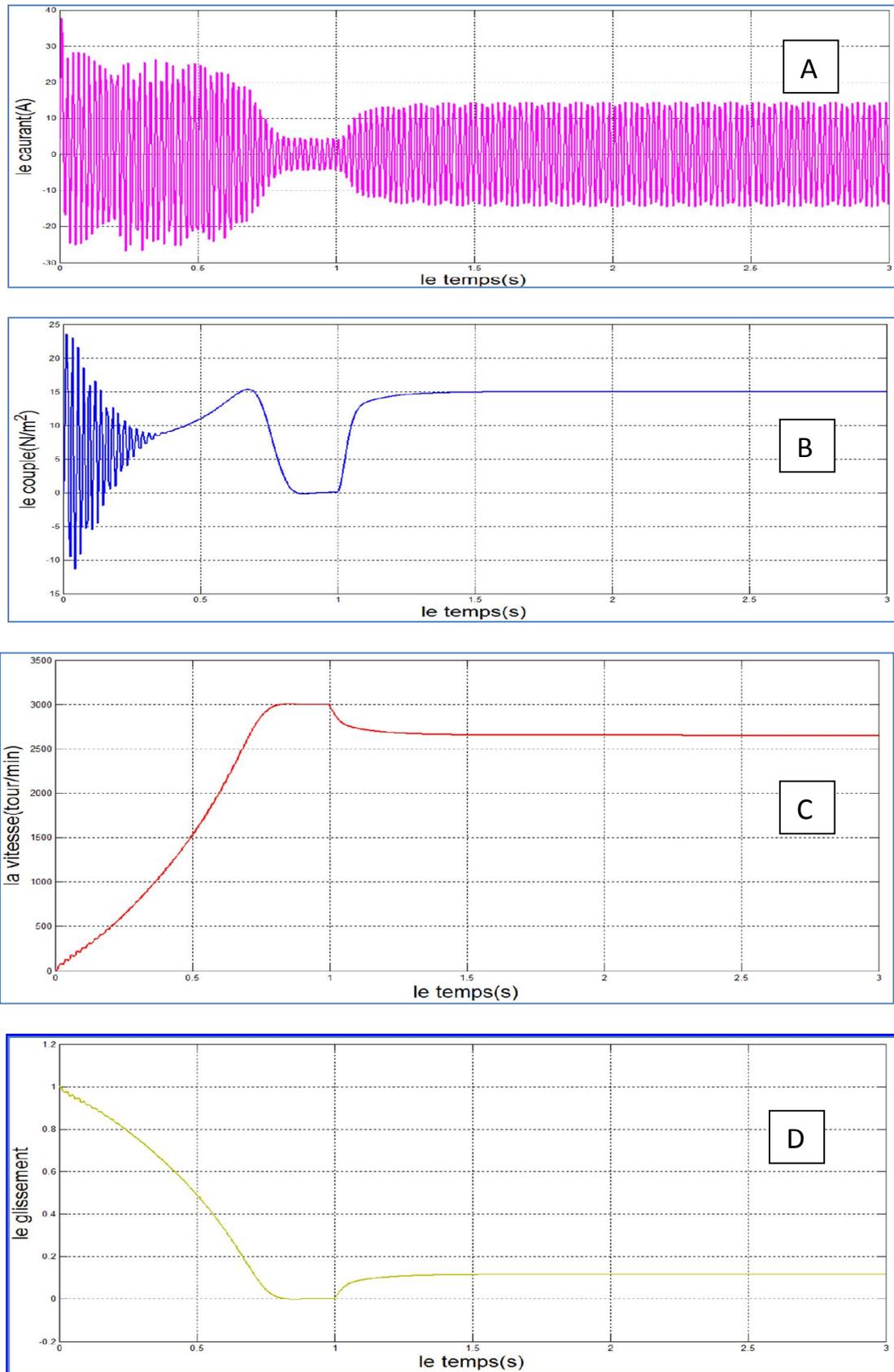


Fig.III.14 courbes caractéristique de moteur asynchrone

A : la courante (A) **B** : la couple (N/m) **C** : la vitesse (m/s) **D** : la glissement (rd/s)

Lors d'un démarrage à vide on constate l'importance des courants statoriques qui peuvent être à l'origine de la destruction de la machine par sur échauffement en cas de répétitions excessives. Pendant le régime transitoire, le couple électromagnétique est fortement pulsatoire ce qui explique le bruit engendré par la partie mécanique de la machine.

*Après le régime transitoire qui dure la machine atteint pratiquement la vitesse de synchronisme de 314 rd/s puisque la charge est nul (glissement négligeable).

*Le couple électromagnétique se stabilise à la valeur 15N/m qui compense les pertes par frottement le flux rétorque atteint et le courant statorique est sinusoïdal, sa valeur de crête est de 1.5A.

III.4.2 La pompe centrifuge

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique totale (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 $Q \cdot HMT$, 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), [1].

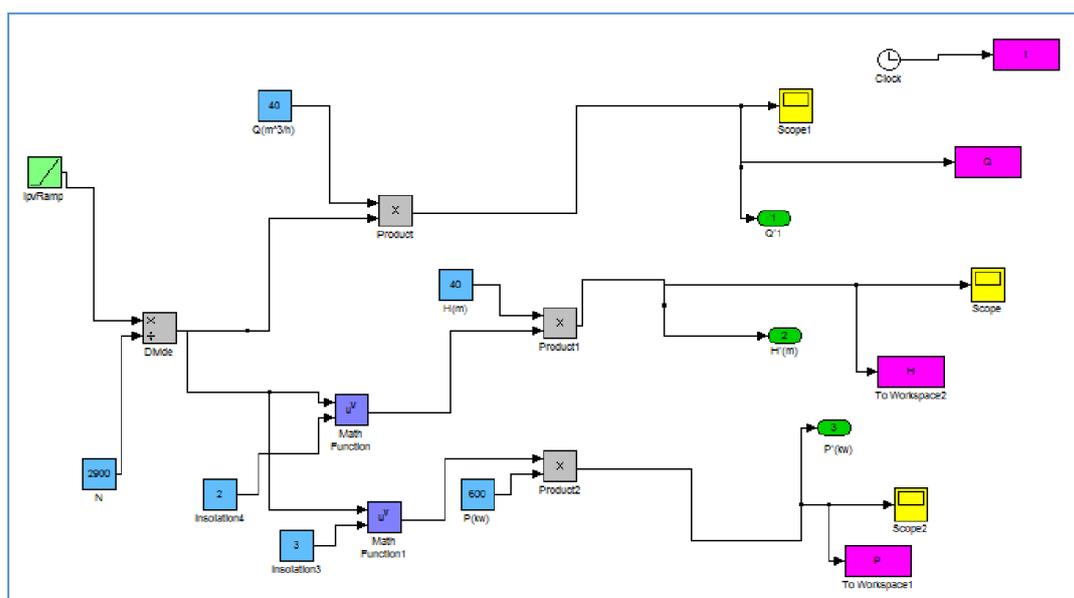


fig.III.15 schéma en simulink de la pompe centrifuge

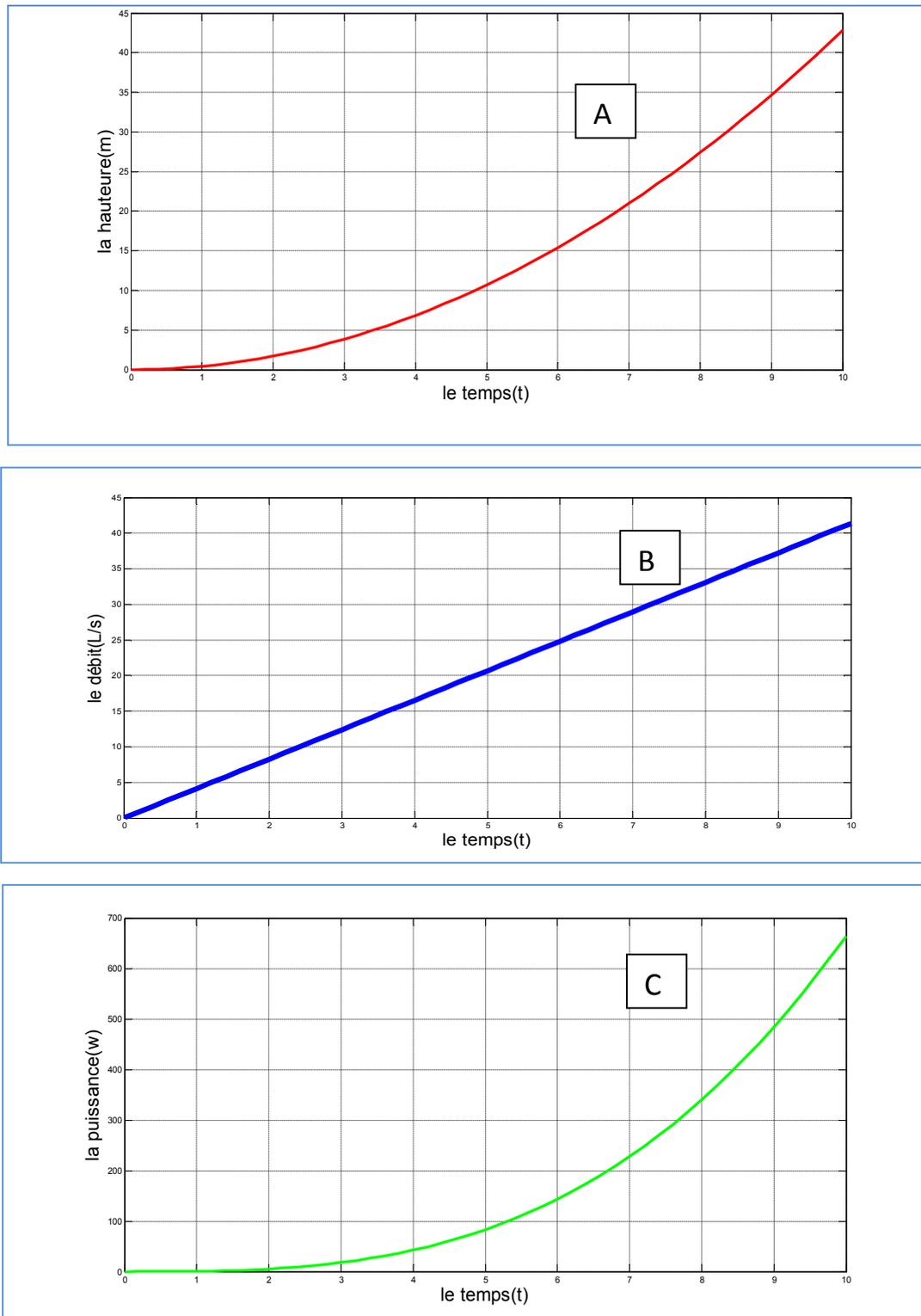


fig.III.16 courbes caractéristiques de la pompe centrifuge
A : le débit (L/s) **B** : la hauteur (m) **C** : la puissance(w)

La théorie des fonctionnement des pompes centrifuges montre qu'entre l'entrée et la sortie de la roue, l'énergie mécanique totale de la veine fluide est augmenté, cette

augmentation provient d'une part d'un accroissement de l'énergie de pression et aussi d'un accroissement de l'énergie cinétique, cette dernière est transformée en énergie de pression par ralentissement progressif qui est obtenue dans une pièce placés à l'intérieur de la roue appelées limaçon, celle-ci se termine par un cône divergent.

III.5 Modèle global du système [15]

La Figure.III.17 représente le schéma synoptique du système de pompage photovoltaïque global avec les différentes commandes utilisées.

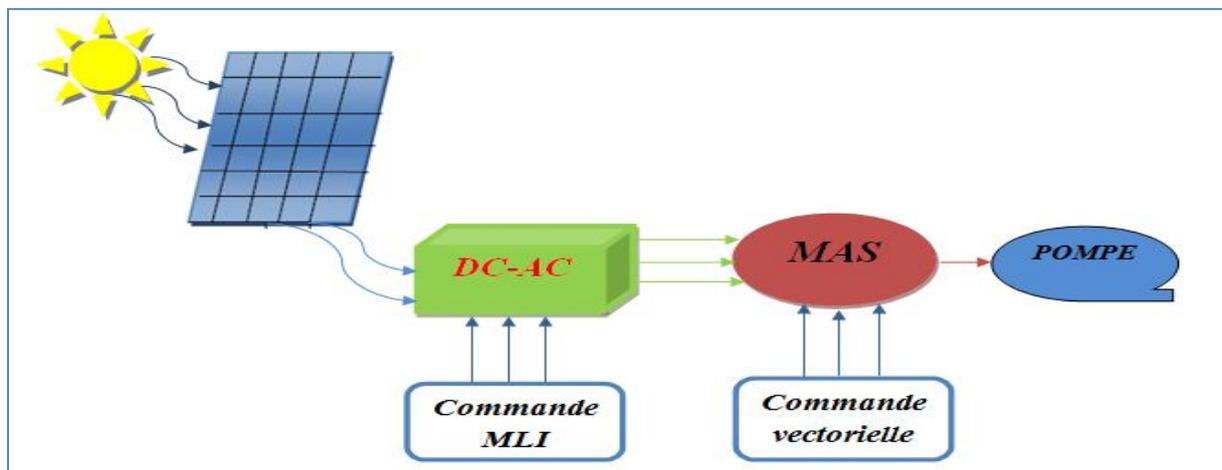


Fig.III.17 Modèle global du système

Le modèle SIMULINK présenté dans la Figure .III.18 représente le groupement du modèle SIMULINK du générateur photovoltaïque, l'onduleur MLI, le moteur à induction avec sa commande vectorielle par flux orienté et la pompe centrifuge.

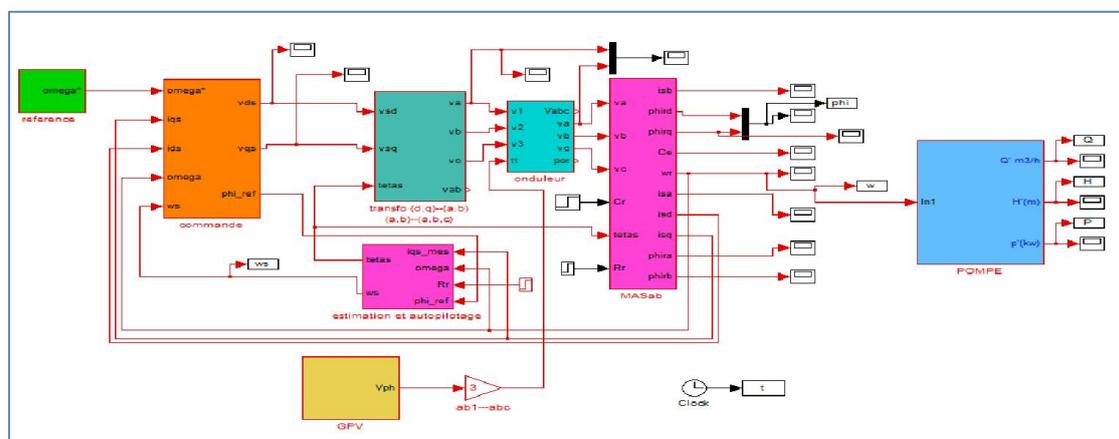


Fig.III.18 Modèle global du système de pompage photovoltaïque

- Résultats de simulation

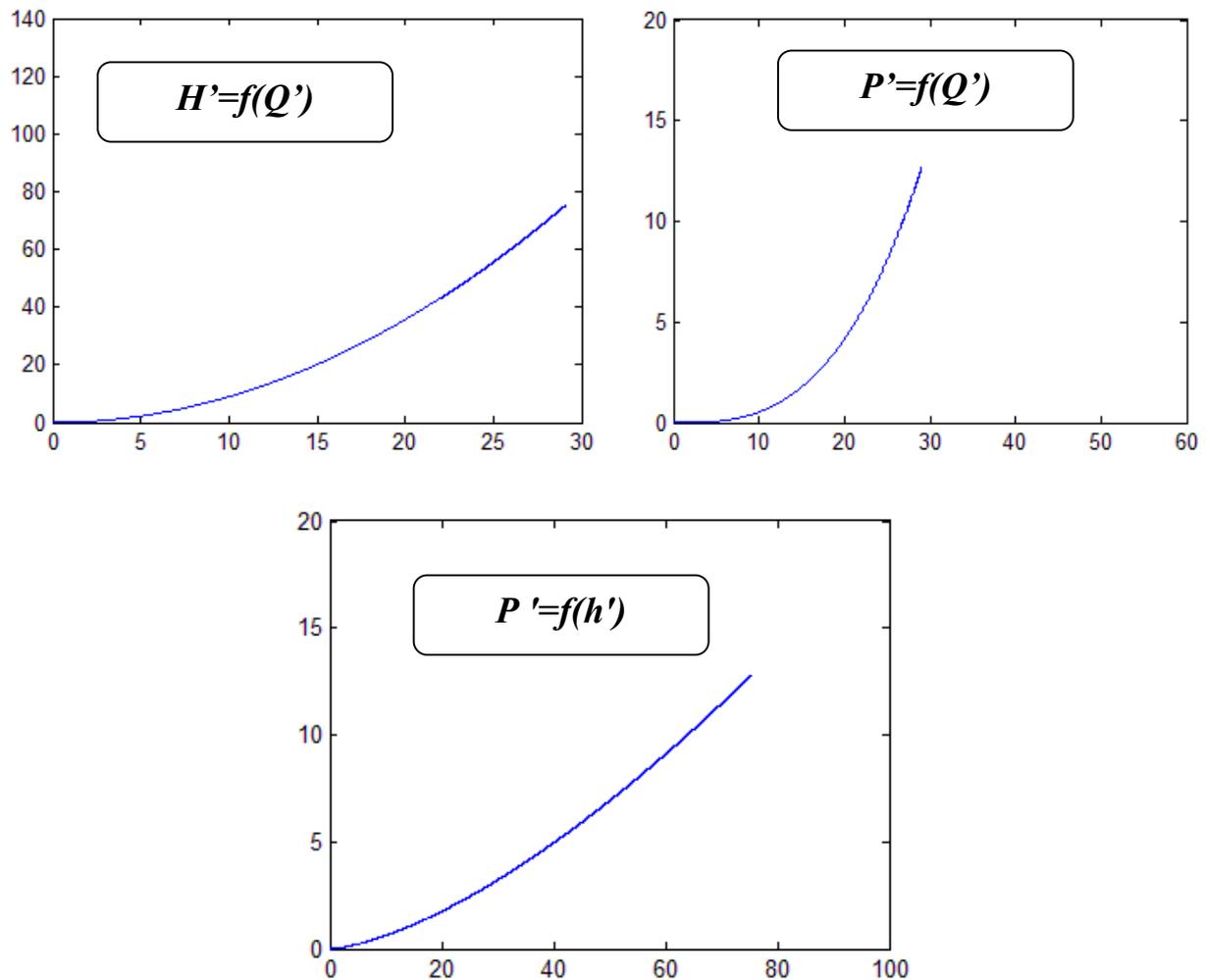


Fig.III.19 caractéristiques du système de pompage PV.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons donné le schéma en simulink de chaque partie de notre système de pompage PV ainsi que les courbes caractérisant chaque élément.

- les caractéristiques de courant -tension et puissance-tension pour le modules PV.
- le courant des panneaux est un courant continu.
- La puissance maximale débitée par la cellule donnée par le produit entre la tension V_{op} et le courant comme représentée la formule $P_{\max} = I_{op} \cdot V_{op}$.

- L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de $1000\text{w}/\text{m}^2$ et une température de $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- La variation du courant est proportionnelle à l'éclairement pour une température fixe tandis que la variation de la tension est inversement proportionnelle à la température pour un éclairement fixe .
- le -MLI- sert à remédier ces problèmes et elle à comme avantages :
 1. Variation de la fréquence de la tension de sortie.
 2. Elle repousse les harmoniques vers des fréquences plus élevées.
Et les Conséquences sont :
 3. Minimisation de la distorsion du courant.
 4. Faible coût du filtre de sortie.
- La plupart des applications des onduleurs triphasés de tension à MLI se résument aux : commande des moteurs alternatifs, filtre actif, systèmes d'alimentations sans interruption (ASI) utilisés.
- Les onduleurs de tension à fréquence variable servent à réaliser des entraînements à vitesse variable avec moteur à courant alternatif.
- Les onduleurs de courant sont utilisés dans les entraînements à vitesse variable des moteurs à courant alternatif.
- Enfin le schéma global en SIMULINK est présenté.

Le chapitre est finalisé par une conclusion. Notre but est de réaliser un système de pompage PV en exploitant le matériel existant au sein du laboratoire des énergies renouvelables, ceci est le sujet du prochain chapitre.



Chapitre IV

*Exploitation au labo des
Energies. Renouvelables*
U. Biskra

IV.1 Introduction

Au sein du laboratoire des énergies renouvelables on a exploité un système de pompage photovoltaïque qui est une application autonome.

L'idée était de voir ce qu'on a comme matériel au laboratoire des énergies renouvelables puis voir ce qu'on peut faire pour y arriver à notre objectif qui est la réalisation d'un système de pompage PV.

L'étude pratique est précédée par le dimensionnement du système de pompage PV, voir chapitre3.

La figure. IV.1 présente le système globale réalisé et on va détailler chaque partie avec les données techniques, puis calculer le coût total et enfin le chapitre sera clôturé par une conclusion.



Fig. IV.1 Schéma globale du système

IV.2 Générateur PV

Le module PV utilisé dans notre projet donne en continue une tension environ de 45V, un courant de 5A et une puissance de 190W.

La figure IV .2 montre vue de face, vue arrière et la plaque signalétique du module PV.



Fig. IV.2 module photovoltaïque PV

Le module qui alimente le moteur d'entraînement, est de type silicium monocristallin (13% du marché avec une efficacité de conversion de l'ordre de 5 à 12%) délivrent des tensions normalisées (12, 24, 48V), et des puissances comprises entre 10 à 100Watt –crête.

Les paramètres et le coût sont illustrés sur le tableau .IV.1

Tableau. IV .1 Les paramètres du module PV.

La marque		SUNTECH
La longueur	X	1.2 m
La largeur	Y	0.75 m
La surfasse	S	0.9 m ²
Le coût	/	18 000 DA

IV.3 Onduleur et régulateur de charge

L’armoire électrique montrée sur la figure. IV .5 contient un onduleur un régulateur de charge qui sont câblés comme le montre la figure.III .1.

La protection du coté continu est assurée par des portes fusibles (figure .IV .4) et le disjoncteur différentiel assure la protection du coté alternatif à la sortie de l’onduleur voir (figure IV .3).



Fig. IV.3 Disjoncteur différentiel et les bornes



Fig. IV.4 Portes fusibles



Fig. IV .5 Armoire électrique de commande

IV.3.1 Onduleur (20A/220V) DC/AC :

L'onduleur transforme l'énergie disponible DC en énergie alternative 230V. voir figure.IV.6
 Les consommateurs DC et AC. En fonction des applications, applications DC(12/24V) ou AC (230V) peuvent être reliés au système autonome.



Fig. IV.6 onduleur DC/AC 1500W

L'onduleur utilisé est disponible dans le laboratoire des énergies renouvelables. Pour le choix de l'onduleur il faut connaître la puissance absorbée maximal, et la tension imposée par le régulateur de charge (tension d'entrée), la tension du consommateur (tension de sortie) et le rendement du convertisseur. L'onduleur utilisé a les caractéristiques suivantes :

Tableau. IV.2 : Les paramètres de l'onduleur

Nom	Symbole	Numéros
Marque	CNBOU	2010
Tension d'entrée	Vent	12V, 24V/DC.
Tension de sortie	V sort	220V/AC.
Puissance	P	1500 W
Fréquence	F	50 Hz
Coût	/	20 000 DA

IV.3.2 Régulateur de charge

Le régulateur stabilise l'énergie délivrée par le module solaire de manière à ce celle puisse être stockée dans des batteries et soit utilisable pour des application en courant continu (DC = Direct Courant). Les caractéristiques du regulateur avec son cout sont resumé dans le tableau IV.3



Fig. IV.7 le régulateur de charge

Tableau. IV.3 : Les caractéristiques et le coût dans un tableau

Nom	Symbole	Numéro
Marque	SOLAR	2010 /24
Tension	V	24 V
Coût	/	6000 DA

IV.4 Batteries

Les accumulateurs usagés sont très appropriés dans ce projet et surtout avec Onduleur Les batteries constituent le moyen de stockage pour entreposer l'énergie produite par les modules.



Fig. IV.8 Batterie solaire **Intact-Power** 110 TV

Tableau. IV.4 : données techniques de la batterie **INTACT-POWER** 12V 110Ah

Nom	Donné
Batterie Type	Léda Acide
Heures ampères	110 Ah
DC System Voltage	12VDC
Capacité de la batterie @ C100	110 Ah
Dimension	353 x 175 x 190 mm
Poids	15.90 kg
Le Coût	20 000 DA

La technique mise en page spéciale de la batterie solaire lap acide Intact les rend idéales pour les systèmes photovoltaïques. Une grande fiabilité, boîtier robuste et une autoconsommation minimale sont des caractéristiques spéciales de cette batterie. La plage de température des cycles varie de

-20 ° C à + 45 ° C TV = sec pré chargé; GUG = remplie et chargée : Le retour des piles usagées est obligatoire alors que leur élimination dans les déchets municipaux est interdite par la loi. Les piles contiennent des métaux lourds qui causent des dommages à la santé humaine et l'environnement.

IV.5 Moto-pompe et tuyauteries

IV.5.1 Moto-pompe

En se basant sur le matériel disponible dans le laboratoire des énergies renouvelables (panneaux solaires, des batteries, l'onduleur et régulateur de charge)

Nous avons choisi les caractéristiques du groupe moto-pompe (voir tableau. IV.5) disponible sur le marché.

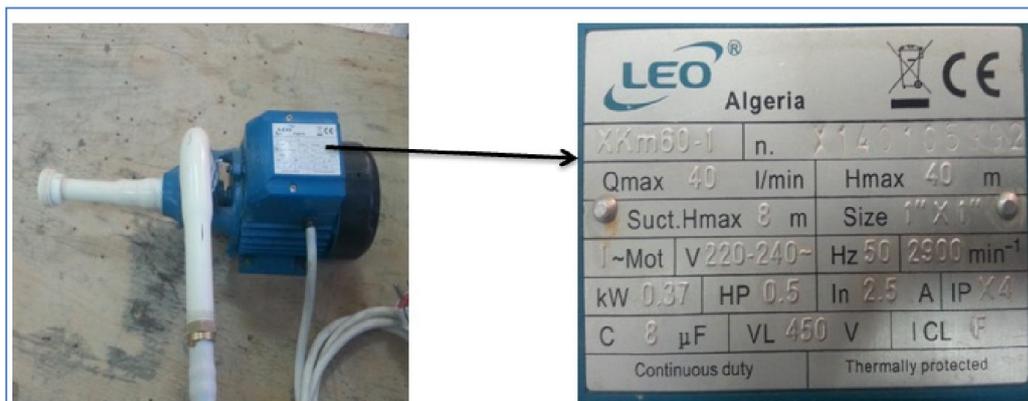


Fig. IV.9 le groupe moto-pompe

Tableau. IV.5 : Caractéristiques du pompe

Nom	Symbole	Numéro
Marque		140106992
Tension	V	(220-240)~
Courant	I	2.5 A
Vitesse	<i>V</i>	2900 min ⁻¹
Fréquence	F	50 Hz
Coût		3500 DA

IV.5.2 Tuyauteries et câbles

En se basant sur la profondeur du puits, le choix du tuyau coté aspiration.

Le tuyau utilisé ainsi ces données sont illustrés respectivement sur les figure (IV.10 ; IV.11) et le tableau. IV.6

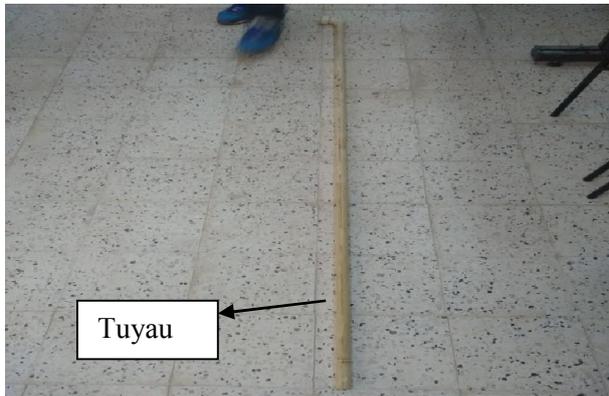


Fig. IV.10 Tuyau

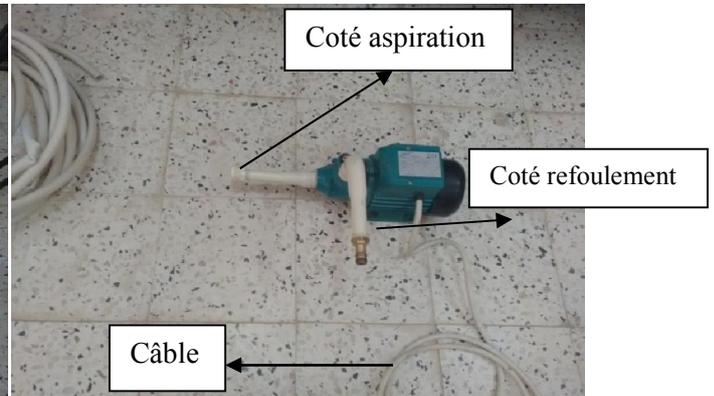


Fig. IV.11 Câble

Tableau. IV.6 : tuyauterie et câble

	Nom	Numéro
Tuyau	Section	(15.21 ; 30.25) mm
	Longueur	6 m
	Coût	1200 DA
Câble	Section	2.5 mm²
	Longueur	4 m
	Coût	90DA

IV.6 Le circuit hydraulique (puits)

Le circuit hydraulique est un puits à circuit fermé voir figure. IV.12, les données du puits sur le tableau .IV.7.



Fig. IV.12 Le puits

Tableau. IV.7 : caractéristiques du puits

Nom	Symbole	Numéro
Profondeur	H	2 m
Rayon	R	0.9 m
volume	V	5.0868 L
Coût	/	20 000 DA

IV.7 Estimation du coût du système installé

Cette méthode de calcul est valable uniquement pour comparer les coûts entre les systèmes de pompage photovoltaïque, car le coût de l'eau calculé ne tient pas en compte certains paramètres économiques tels que : le taux d'intérêt des banques.

Tableau. IV.8 : Les coûts estimatifs globaux annuels du système de pompage photovoltaïque

Equipements	Appareille	Durée de vie (mois)	Prix (DA)
1- Equipements solaires	Générateur	240	1 8 000
2- l'armoire électrique	Motopompe	12	3500
	Onduleur	84	20 000
	Régulateur de charge	12	6000
	Les câbles	/	500
	Appareil de commande ...	12	1000
	Batterie	24	2 0 000
3- Génie civil	Puits	/	20 000
	Génie civil	/	20 000
	Tuyauteries et câbles	/	1 000
Total d'investissement			110 000

Coût Entretien /An	Remplacement de composants (5% / An)	1	200
	Remplacement de modules (10% / 05 ans)	1	1800
	Remplacement de la motopompe (100% / 07 ans)	1	3500
	Réparation de l'onduleur (50% / 05 ans)	1	10 000
	Entretien génie civil (1% / 05 ans)	1	200
	Total Entretien		15 700
	Total par An		125 700

IV.8 Conclusion

Les résultats de la réalisation sont décrits dans ce chapitre. Les différentes parties sont présentées avec leurs données puis le système global.

Enfin on a présenté une analyse économique du système de pompage photovoltaïque en tenant compte du coût relatif des composants du système.



Conclusion Générale



CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, nous avons analysé les éléments constitutifs d'un système de pompage PV.

Il est montré que le choix le dimensionnement des éléments d'un système photovoltaïque pour une procède d'une estimation des besoins en eau. Cette estimation peut être préalablement calculée, mais en définitive, elle sera approchée du fait que l'on souhaite obtenir une autonomie en cas de mauvais temps. Cette approche conduit ainsi au dimensionnement approximatif de la capacité de stockage de l'eau.

Les éléments conditionnant le choix d'une moto - pompe dépendent de plusieurs facteurs importants : le type de pompe voulu, le type et la caractéristique U/I du moteur, la puissance nécessaire pour le pompage, la hauteur manométrique totale de l'installation, etc. Ce choix nécessite la connaissance de la profondeur de la source d'eau.

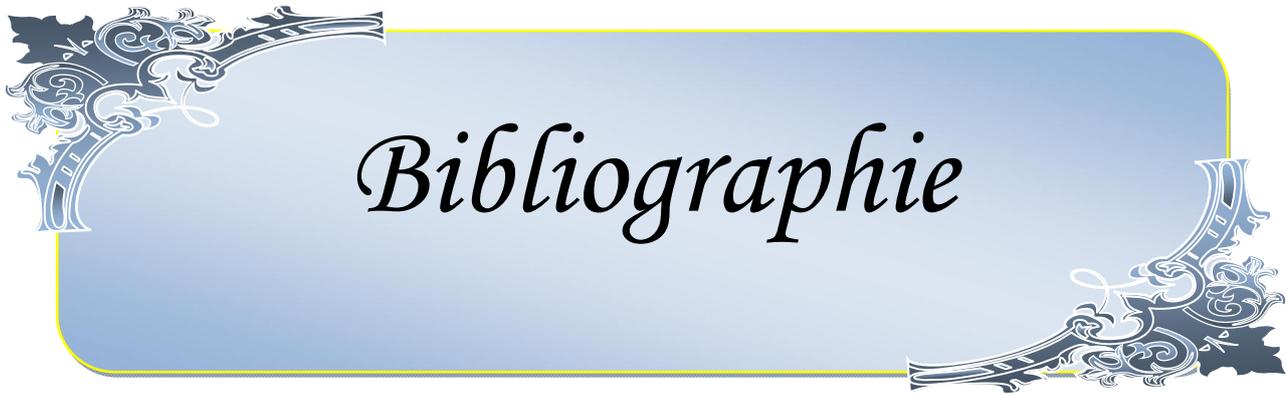
Cette étude a montré la nécessité de disposer d'informations météorologiques précises historiques et actuelles, tant pour le calcul des besoins en eau pour le calcul et le dimensionnement des panneaux.

La simulation de chaque élément du système était notamment faite afin de voir les performances électriques et aussi mécaniques de chaque sous système où est présenté le modèle en simulink ainsi que les résultats sont présenté et enfin c'est le système global de pompage PV présenté en simulink.

Cette étude est également suivi par la réalisation d'un système de pompage PV en se basant sur les données des équipements existant et en complétant le reste du matériel du marché. L'estimation du coût était le dernier point à traiter.

Dans le cadre d'un projet de pompage PV, des logiciels de dimensionnement sont déjà proposés par les fabricants de pompes solaires et de panneaux PV, mais les écarts de résultats trahissent le manque d'optimisation.

Les perspectives doivent évidemment conduire à l'élaboration d'un logiciel de dimensionnement plus optimisé, car s'appuyant sur une base de données des moto-pompes et des panneaux solaires, ainsi que sur des données météorologiques ou des relevés sur site fiables.



Bibliographie

La référence

- [1]. **BOUKHERS Djamel**, optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage, MEMOIRE, Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER EN ÉLECTROTECHNIQUE, Soutenu publiquement le 28 / 11 / 2007.
- [2]. **M. Adouane , M. Haddadi , A. Malek et M. Hadjiat** Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°4 (2009) 543 – 550 543 ; Etude et conception d'un onduleur monophasé autonome Géré par microcontrôleur PIC 16F876A,
- [3]. **H. Belmili , M. Ayad , E.M. Berkouk et M. Haddadi** Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 27 – 39 27, Optimisation de dimensionnement des Installations, photovoltaïques autonomes - Exemples d'applications, éclairage et pompage au Fil du soleil.
- [4]. www.phaesun.com Phaesun GmbH Luitpoldstraße 28 87700 Memmingen Germany Phone +49 (8331) 990 42-0 Fax +49 (8331) 990 42-12 info@phaesun.com.
- [5]. **S. Kharzi , M. Haddadi et A. Malek** Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen (2007) 199 – 206 199 ; Conception d'un dispositif de protection cathodique alimenté par énergie solaire photovoltaïque.
- [6]. **Mansour Assani Dahouénon** Auteur: **Zaida** Composante Electrification Ruralen Contreras, Juillet 2005 - Janvier 2006.
- [7]. **Rural Electrification with PV Hybrid Systems** Overview and Recommendations for Further Deployment , IEA PVPS Task 9, Subtask 4, Report IEA-PVPS T9-13:2013 ; CLUB-ER, Thematic Paper ; July 2013.
- [8]. **REGOUTA MOHAMMED SEGHIR** ; Dimensionnement des Systèmes de Pompage PV ; de la zone Oued-so . Mémoire Master :2012/ 2013
- [9]. **A. Hadj Arab , M. Benghanem et A. Gharbi** Rev. Energie. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26 19 ; Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque.
- [10]. **Mr.KY Thierry S.Maurice** ; Thème : Système photovoltaïque : dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-goutte. Présenté et soutenu publiquement le 17février 2007.
- [11]. **Belhadj Mohammed**, Mémoire de Magister Option : Microélectronique Photovoltaïque ; Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome ; Année Universitaire2007-2008.

- [12]. **CHERGUI Ahmed**. Memoires de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du Diplôme: master ; dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque Soutenu le : 02 Juin 2014
- [13]. System Off Grid – Bureau d'études Energies Renouvelables www.systemoffgrid.com;
(www.commentcamarche.net)
- [14].**A. Sadi** ; Centre de Développement des Energies Renouvelables ; B.P 62, Route de L'Observatoire, Bouzaréah, Alger Rev. Energie. René. : Chemss 2000 91-97
- [15]. Etude des différentes techniques de recherche de point puissance maximale (MPPT)
- [16]. **Michel Viloz**. Anne labouret . Énergie solaire photovoltaïque .3^e édition. Dunda, paris, 2006