

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : ELECTROTECHNIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Spécialité : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIEL

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Etude D'une Chaine De Pompage Photovoltaïque

Présenté par : Boumendjel Adel
Miroud Abdenour

Encadrant : Kelaiaia Samia MCB Université Badji-Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

Merabet Leila	MCA	Université Badji-Mokhtar Annaba	Président
Kelaiaia Samia	MCB	Université Badji-Mokhtar Annaba	Encadrant
Bensiali Nadia	PROF	Université Badji-Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

J'exprime mes profonds remerciements au Mme. Kelaiaia Samia, pour l'aide compétente qu'elle m'a apporté, pour sa patience et son encouragement. Son œil critique m'a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections.

Je saisis cette occasion pour vous exprimer ma profonde gratitude tout en vous témoignant mon respect. Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Sans oublier d'exprimer mes remerciements à mes parents et a tous mes amis Chacun avec son nom et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Dédicace

A Mes parent

Et à toute ma famille

Et à tous mes amis

Et Tous mes collègues De la promotion 2023 ELT

Pompasse BV

Résumé

Le pompage photovoltaïque est l'une des applications prometteuse de l'industrie grandissante de fabrication des cellules solaires soutenue par les tendances actuelles de développement durable et à la réduction des émissions des gaz à effet de serre.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la modélisation, et la simulation d'un système de pompage solaire à savoir : les panneaux photovoltaïques, Le hacheur, le moteur asynchrone et la pompe.

Dans le présent travail nous proposons l'étude, la modélisation et la commande de l'ensemble des sous-systèmes faisant partie d'un système de pompage photovoltaïque par l'utilisation d'un moteur asynchrone.

Pour assurer un fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque, un étage de conversion DC/DC de type élévateur, piloté par un algorithme P&O assurant la poursuite du point de puissance maximale, est proposé afin d'augmenter la rentabilité su systèmes global.

Les résultats de simulation menés dans l'environnement Matlab/Simulink ont montrés l'efficacité de l'algorithme quant à l'amélioration des performances de l'ensemble du système de pompage photovoltaïque et le débit d'eau pompé dans des conditions de rayonnement solaire variable.

Mot clés : Pompage photovoltaïque, Modélisation, Simulation, Pompe, MPPT, Moteur asynchrone, Pompe centrifuge.

Abstract

Photovoltaic pumping system is considered as a promising application of PV cells Industry sustained by the increased interest on sustainable development and the reduction of Greenhouse effect due to dioxide Carbone emission.

The work presented in this thesis concerns the modeling and simulation of a solar pumping system, namely: photovoltaic panels, the chopper, the asynchronous motor and the pump. In the present work we propose the study, the modeling and the control of the whole subsystems that are part of a photovoltaic pumping system by using an asynchronous motor.

To ensure optimal operation of the photovoltaic generator, a step-up type DC/DC conversion stage, controlled by a P&O algorithm ensuring the pursuit of the maximum power point, is proposed in order to increase the profitability of the overall systems.

The simulation results carried out in the Matlab/Simulink environment have shown the effectiveness of the algorithm in terms of improving the performance of the entire photovoltaic pumping system and the flow of water pumped under conditions of variable solar radiation.

Keywords: Photovoltaic pumping, Modeling, Simulation, Pump, MPPT, Asynchronous motor, Centrifugal pump.

ملخص

يعد الضخ الكهروضوئي أحد التطبيقات الواعدة في الصناعة تزايد تصنيع الخلايا الشمسية مدعومًا بالاتجاهات الحالية في التنمية المستدامة والحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بنمذجة ومحاكاة نظام الضخ الشمسي ، وهي: الألواح الكهروضوئية ، والمروحية ، و المحرك غير المتزامن والمضخة.

في العمل الحالي نقترح الدراسة والنمذجة والتحكم في الكل الأنظمة الفرعية التي تشكل جزءًا من نظام الضخ الكهروضوئي باستخدام محرك غير متزامن.

لضمان التشغيل الأمثل للمولد الكهروضوئي ، يتم اقتراح مرحلة تحويل DC / DC من النوع التصاعدي ، يتم التحكم فيها بواسطة خوارزمية O&P لضمان السعي لتحقيق أقصى نقطة للطاقة ، من أجل زيادة ربحية الأنظمة الإجمالية.

أظهرت نتائج المحاكاة التي أجريت في بيئة Matlab / Simulink الفعالية الخوارزمية من حيث تحسين أداء نظام الضخ الكهروضوئي بأكمله وتدفق المياه التي يتم ضخها في ظل ظروف الإشعاع الشمسي المتغير.

لكلمات المفتاحية: الضخ الكهروضوئي ، النمذجة ، المحاكاة ، المضخة ، MPPT ، المحرك غير المتزامن ، مضخة الطرد المركزي.

Pompage BV

LISTE DES FIGURES

- FIGURES I.1 : LES DIFFERENTS TYPES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES.
- FIGURES I.2 : SCHEMA D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE.
- FIGURES I.3 : STRUCTURE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE
- FIGURE I.4 COMPOSANT D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE .
- FIGURE I.5 SCHEMA EQUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE, MODELE D'UNE DIODE .
- FIGURE (I.6) : LES CARACTERISTIQUES I-V ET P-V POUR DIFFERENTS ECLAIREMENT ET UNE TEMPERATURE $T=25^{\circ}\text{C}$.
- FIGURES I.7 : LES CARACTERISTIQUES I-V ET P-V, POUR DIFFERENTES TEMPERATURES ET UN ECLAIREMENT $G=1000\text{W}/\text{m}^2$.
- FIGURES I.8 : MACHINE ASYNCHRONE TRIPHASE
- FIGURES I.9 : LE STATOR D'UNE MACHINE ASYNCHRONE TRIPHASEE
- FIGURES I.10 : ROTOR EN CAGE D'ECUREUIL
- FIGURES I.11 : LE CHEMIN DE CHAMP TOURNANT.
- FIGURES I.12 EXEMPLE D'INSTALLATION AVEC UNE POMPE CENTRIFUGE
- FIGURES II.1 SCHEMA D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE .
- FIGURES II.2 SCHEMA ELECTRIQUE IDEAL D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE
- FIGURE II.3 SCHEMA ELECTRIQUE REEL D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE
- FIGURES II.4 CIRCUIT ELECTRIQUE DE L'HACHEUR(BOOSTE)
- FIGURES II.5 SIMULATION DE PUISSANCE A LA SORTIE DU HACHEUR.
- FIGURES II.6 SIMULATION DE COURANT A LA SORTIE DU HACHEUR.
- FIGURES II.7 SIMULATION DE TENSION A LA SORTIE DU HACHEUR.
- FIGURES II.8 PRINCIPE DE LA COMMANDE PERTURBATION & D'OBSERVATION
- FIGURES II.9 SIMULATION DE TENSION D'UNE COMMANDE PERTURBATION & D'OBSERVATION
- FIGURES II.10 SIMULATION DE COURANT D'UNE COMMANDE PERTURBATION & D'OBSERVATION
- FIGURES II.11 SIMULATION DE PUISSANCE D'UNE COMMANDE PERTURBATION & D'OBSERVATION
- FIGURES II.12 PRINCIPE DE LA COMMANDE MLI DE L'ONDULEUR
- FIGURES II.13 TENSION SIMPLE A LA SORTIE D'ONDULEUR V_a
- FIGURES II.14 TENSION SIMPLE A LA SORTIE D'ONDULEUR V_b
- FIGURES II.10 TENSION SIMPLE A LA SORTIE D'ONDULEUR V_c
- FIGURES II.11 REPERAGE ANGULAIRE DES AXES MAGNETIQUES D'UNE MAS TRIPHASEE.
- FIGURE II.12 ROTOR SPEED
- FIGURE II.13 COUPLE ELECTROMAGNETIQUE
- FIGURE II.14 COURANT DE STATOR
- FIGURE II.15 COURANT DE ROTOR
- FIGURE III.1 SCHEMA BLOC DE LA CHAINE
- FIGURE III.2 LES CARACTERISTIQUES I-V ET P-V, POUR DIFFERENTES TEMPERATURES ET UN ECLAIREMENT $G=1000\text{W}/\text{m}^2$.
- FIGURE III.3 LES CARACTERISTIQUES I-V ET P-V POUR DIFFERENTS ECLAIREMENT ET UNE TEMPERATURE $T=25^{\circ}\text{C}$
- FIGURE III.4 VITESSE DE ROTOR $\Omega(T)$.

FIGURE III.5 DEBIT DE LA POMPE $Q(T)$

FIGURE III.6 : HAUTEUR MANOMETRIQUE DE LA POMPE $H(T)$.

FIGURE III.7 : VARIATION DE L'ECLAIREMENT.

FIGURE III.8 : LA PUISSANCE D'ENTREE P ET DE SORTIE P POMPE

FIGURE III.9 : VITESSE DU ROTOR $\Omega (T)$.

FIGURE III.10: DEBIT DE LA POMPE $Q(T)$

FIGURE III.11 : HAUTEUR MANOMETRIQUE DE LA POMPE $H(T)$

FIGURE III.12 : VARIATION DE L'ECLAIREMENT.

FIGURE III.13 : VARIATION DE LA PUISSANCE D'ENTREE P ET DE P POMPE

FIGURE III.14 : VITESSE DU ROTOR $\Omega (T)$.

FIGURE III.15 : DEBIT DE LA POMPE $Q(T)$

FIGURE III.16 : HAUTEUR MANOMETRIQUE DE LA POMPE $H(T)$

Pompage BV

SYMBOLES

G: Ensoleillement (w/m^2)
 R_s : Résistance série (Ω)
 R_{sh} : Résistance shunt (Ω)
 I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale, appelé aussi courant optimum (A)
 I_{cc} : Courant de court-circuit (A)
K : Constante de Boltzmann ($k=1.38*10^{-23}$ J/K)
 T_j : Température de jonction ($^{\circ}C$)
 V_{co} : Tension en circuit ouvert (V)
 V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale (V)
P_c : Puissance crête (WC)
P_{max} : Puissance au point maximum (W)
I_s : Courant de saturation de la diode (A)
I_{rsh} : Courant de la résistance shunt (A)
I_{sc} : Coefficient d'idéalité
T_c : Température de la jonction ($^{\circ}C$)
T_{ref} : Température de référence ($^{\circ}C$)
T_a : Température ambiante ($^{\circ}C$)
FF : Facteur de forme (W/m²)
G_{ref} : Ensoleillement de référence [w/m²]
 ρ : Masse volumique de l'eau ($\rho=1000$ Kg/m³)
E_h : Energie hydraulique (Wh)
Q : Débit de l'eau pompé (m³ /s) ou (m³ /j)
I_{sd}, I_{sq} : Courant statorique directe et quadratique
I_{rd}, I_{rq} : Courant rotorique directe et quadratique
I_{sabc}, I_{rabc} Respectivement les vecteurs des courants statorique et rotorique
I_{cc}, S_{tc} : Représente le courant photovoltaïque dans les conditions STC
L_s, L_r : Inductances cyclique statorique et rotorique Nomenclature
I_s, I_r : Inductances de fuite statorique et rotorique
P_n : Puissance nominale du moteur asynchrone (W)
R_s, R_r : Respectivement les matrices des résistances statorique et rotorique.
V_{sd}, V_{sq} : Tension statorique directe et quadratique
V_{sabc}, V_{rabc} : Respectivement les vecteurs des tensions statorique et rotorique
 Ω : Vitesse mécanique
DC/DC : Convertisseur continu –continu
DC/AC : Convertisseur continu-alternatif
HMT: Hauteur manométrique totale (m)
PPM: Point de puissance maximum
PV: Panneau photovoltaïque
MAS: Moteur asynchrone
GPV: Générateur photovoltaïque

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I GENERALITES SUR LE SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	3
I.1 INTRODUCTION :.....	4
I.2 PRESENTATION D ENERGIES RENOUVELABLE SOLAIRE :.....	4
I.2.1 EFFET PHOTOVOLTAÏQUE :.....	4
I.2.2 LES DIFFERENTS TYPES DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES:.....	4
I.3 CONSTITUTION D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE :.....	5
I.4 LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE :.....	6
I.5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :.....	7
I.5. DIFFERENTES MODELES D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	8
I.5.1 MODELES D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE:.....	8
I.6.1 CONSTITUTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :.....	12
I.6.2 CONSTITUTION :.....	12
I.7 LE STATOR :	12
I.8 LE ROTOR	13
I.8.1 ROTOR A BAGUE (BOBINE).....	13
I.8.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	14
I.9 LA POMPE	14
I.9.1 TYPES DE POMPES.....	14
I.10 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	15
I.11 CONSTITUTION	16
I.12 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	16
CHAPITRE II MODELISATION SUR LE SYSETEME POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	17
II.1 INTRODUCTION.....	18
II.2 MODELISATION DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE.....	18
II.3 MODELE REEL D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	19
II.4 MODALISATION CONVERTISSEUR DC/DC.....	20
II.5 CONVERTISSEUR BOOST (HACHEUR PARALLELE).....	21
II.6. MODELISATION DU HACHEUR BOOST	21
II.7 LA COMMANDE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE (MAXIMUM POWER POINT TRACKING MPPT).....	23
II.8 MODELISATION DU MOTEUR ASYNCHRONE.....	30
II.9 LES HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES.....	30
II.10 MODELE MATHEMATIQUE TRIPHASE	31
II.11 MODELE MOTOPOMPE	38
II.12 CONCLUSION	40
CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION DU SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	41
INTRODUCTION.....	42
III.1 METHODE DE DIMENSIONNEMENT	42
III.1.1 EVALUATION DES BESOINS EN EAU	42
III.1.2 CALCUL DE L'ENERGIE HYDRAULIQUE NECESSAIRE	42
III.2 DIMENSIONNEMENT DE LA POMPE CENTRIFUGE	43
III.3 DIMENSIONNEMENT DU MOTEUR	43
III.4 DIMENSIONNEMENT DU CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE	44
CONCLUSION GENERALE	53
BIBLIOGRAPHIE	56

Introduction générale



Introduction générale

L'énergie est le centre de l'économie de tous les pays et la base de toutes les activités humaines. Ses sources se sont diversifiées au fil du temps pour répondre à la demande, et ainsi les pays développés sont passés du bois au charbon, au charbon les hydrocarbures les plus avancés vers l'hydroélectricité, puis enfin vers le nucléaire. Cependant, les réserves de combustibles fossiles et nucléaires sont limitées. De plus, l'utilisation des combustibles fossiles sont responsables des pluies acides et du réchauffement climatique, et l'exploitation de l'énergie nucléaire comporte des risques d'accidents graves, sans compter ceux résultant de la gestion des déchets qui en résultent et dont le danger radioactif peut persister plusieurs milliers d'années [1].

L'énergie solaire photovoltaïque est de plus en plus utilisée pour diverses opérations applications terrestres telles que l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération et pompage. [2].

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie Aux groupes moteur-pompes. En effet, la réalisation des systèmes de pompage autonomes Constitue une solution pratique et économique aux problèmes de manque d'eau dans les Régions désertiques.

Parmi les avantages importants de la conversion photovoltaïque, nous pouvons citer, la décentralisation de la production d'énergie pour de petites communautés très dispersées comme le prouve déjà, les pompes solaires dont le fonctionnement s'est révélé très acceptable et l'autonomie du système photovoltaïque, autonomie de lieu mais tout aussi importante est l'autonomie de fonctionnement.

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée. Car, il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles. Ajouter à cela, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs.

L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du kilowatt-crête/heure. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces Générateurs à leur puissance optimale. L'approche du problème consiste à intercaler entre le Générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur) pour effectuer le transfert optimal de puissance et améliorer les performances du système de pompage photovoltaïque [3].

Ce présent mémoire a porté sur la commande d'un système de pompage photovoltaïque, il est réparti en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré pour des généralités sur les sous-systèmes interconnectés

constituant le système de pompage photovoltaïque, ils sont : le générateur photovoltaïque, l'hacheur adaptateur d'impédance (MPPT), l'onduleur de tension, le moteur asynchrone et la pompe centrifuge associée à une canalisation de refoulement.

La modélisation et la simulation des différents éléments constituant le système de pompage photovoltaïque a fait l'objet du deuxième chapitre.

Le dernier chapitre concerne le dimensionnement du système. Et il constitue la finalité de travail : la simulation du système complet.

Une conclusion générale clôture notre travail.

Pompage PV

CHAPITRE I

Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

I.1 Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène

Physique appelé effet photovoltaïque. Ce chapitre présente les concepts dont la connaissance est nécessaire à la compréhension du fonctionnement des cellules photovoltaïques constituées de semi-conducteur en silicium.

Nous commençons ce chapitre par la définition de cette énergie renouvelable en montrant le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, en suite nous présentons la cellule photovoltaïque en décrivant les différents modes de regroupement, puis nous décrivons les modèles mathématiques des cellules et du panneau, nous montrons aussi l'influence de la température et de l'éclairement sur le rendement.

I.2 Présentation de l'énergie solaire :

I.2.1 Effet photovoltaïque :

Les photopiles ou cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui Transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux Semi-conducteurs.

Le matériau de base est dans la plupart des cas le silicium. Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, poly-cristallin, ou monocristalline. D'autres matériaux sont utilisables : Arséniure de Gallium, Tellure de cadmium

I.2.2 Les différents types des cellules photovoltaïques:

Les cellules monocristallines

La première génération de photopiles ;un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire) une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur

Les cellules poly-cristallines coût de production moins élevé procédé nécessitant moins d'énergie Rendement 11-13% (18% en Labo)

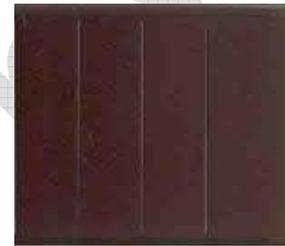
Les cellules amorphes (cellules de calculatrices par exemple) coût de production bien plus bas ;

rendement plus bas : 8-10% (13% en labo) ; durée de vie plus faible.

C'est le silicium amorphe que l'on trouve le plus souvent dans les produits de consommation comme les calculatrices, les montres etc. ...

Toutefois, ils réagissent mieux à des températures élevées ou à une lumière diffuse.

De plus, les cellules mono et poly-cristallines sont les types de cellules les plus répandues sur le marché du photovoltaïque (environ 60% de la production) [4].



Cellule de silicium monocristallin

Cellule de silicium poly cristallin

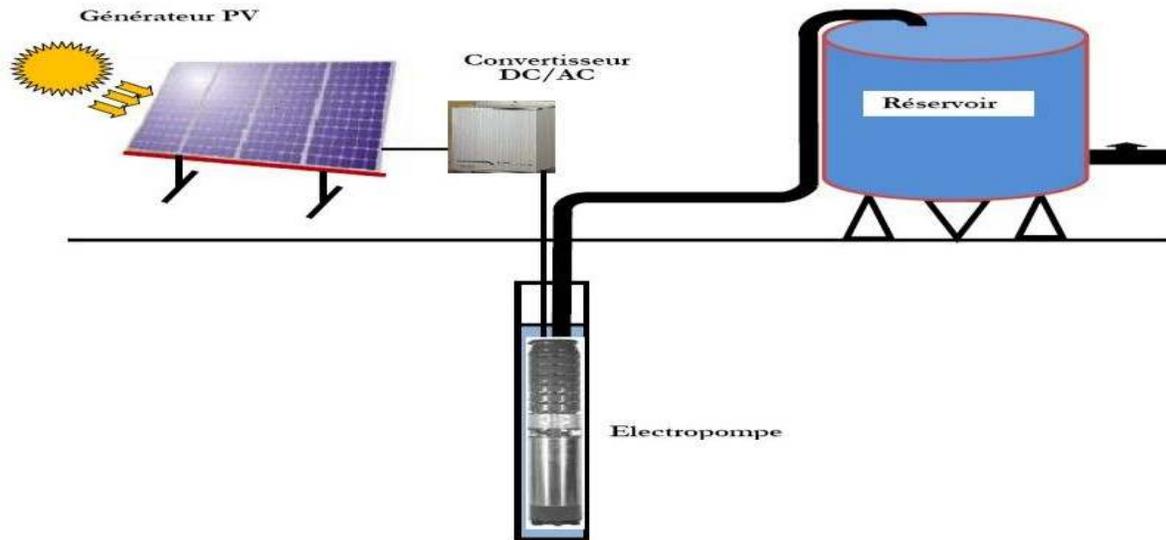
Cellule silicium amorphe

Figures I.1 : Les différents types cellules photovoltaïques.

I.3 Constitution d'un système de pompage photovoltaïque :

Généralement, un système de pompage photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur DC/AC, un sous-système de pompage (moteur et pompe), la tuyauterie et accessoires et enfin un réservoir d'eau dans les systèmes de pompage photovoltaïque qui fonctionnent au fil du soleil, le stockage de l'eau dans les réservoirs est la solution la plus adoptée, par rapport au stockage électrochimique dans les batteries.

Le pompage de l'eau à l'aide de l'énergie photovoltaïque est utilisé pour l'alimentation en eau potable et pour la petite irrigation. [5].



Figures I.2 : Schéma d'un système de pompage photovoltaïque.

I.4 Le générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules assemblés en série et en parallèle selon la puissance demandée. Chaque module est lui-même constitué de cellules photovoltaïques généralement montées en série.

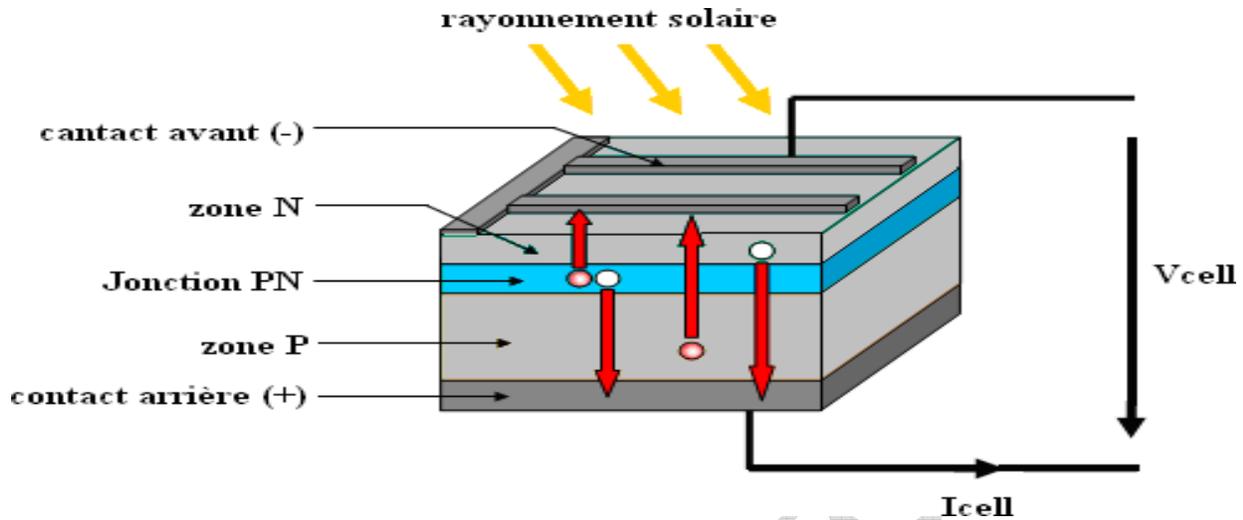
Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module.

L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux principaux rôles:

Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, corrosion, poussière...etc.).

Contrôle de température des cellules qui vont permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique

I.4.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :



Figures I.3 : Structure d'une cellule photovoltaïque [7]

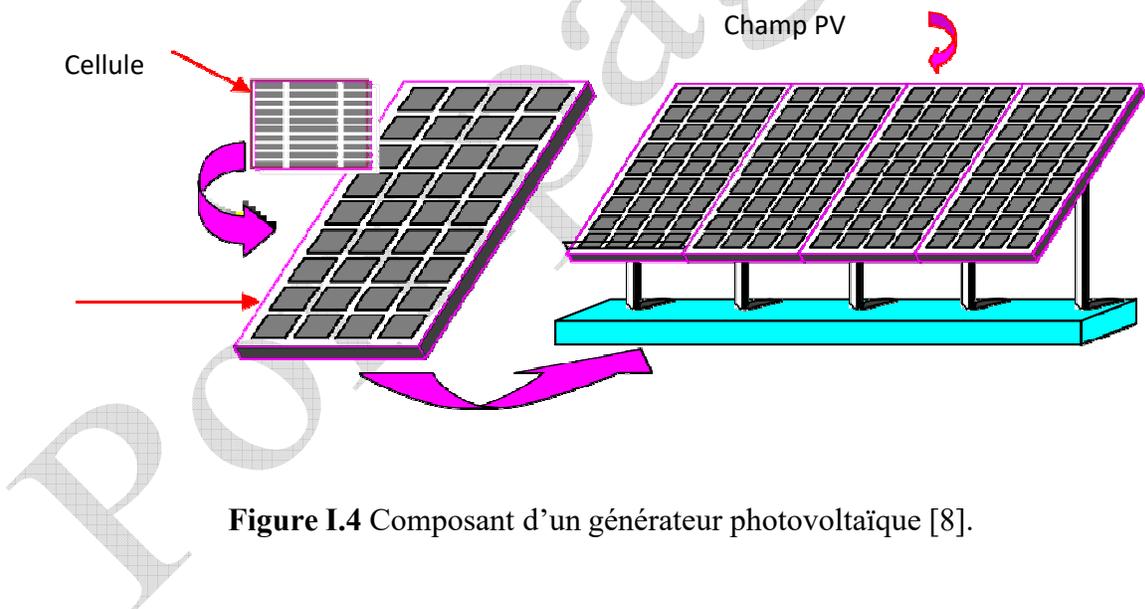


Figure I.4 Composant d'un générateur photovoltaïque [8].

La tension délivrée par une cellule PV étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec les charges à alimenter, il faudra associer plusieurs cellules en série ou en parallèle. En outre, le générateur photovoltaïque est obtenu par l'interconnexion de modules en série et/ou en parallèle pour obtenir une puissance encore plus grande.

➤ *Caractéristiques d'un module*

La puissance de crête P_c : puissance électrique maximale que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000W/m²).

La caractéristique I/V : courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Tension à vide V_{CO} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement « plein soleil ».

Point de fonctionnement optimum (V_m, I_m) : Lorsque la puissance de (crête est maximum en plein soleil $P_m = U_m \cdot I_m$.

Rendement : Rapport entre la puissance électrique optimale et la puissance de radiation incidente.

Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir les cellules.

I.4.2 Différentes modèles d'une cellule photovoltaïque

I.4.2.1 Modèles d'une cellule photovoltaïque:

Modèle à une diode :

Une cellule photovoltaïque est souvent présente comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode.

La figure ci-dessous, représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

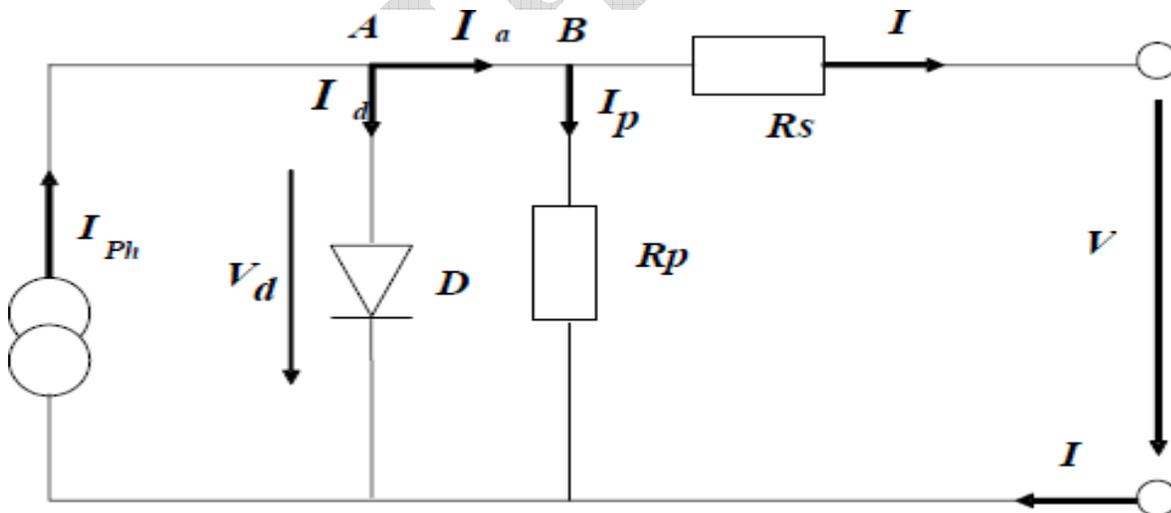


Figure I.5 Schéma équivalent d'une cellule solaire, modèle d'une diode [9].

L'équation non linéaire

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V+I \cdot R_s}{mV_T}} - 1 \right) - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (I-1)$$

Avec :

I_{ph} : photo courant.

I_d : courant de diode.

I_s : courant inverse de saturation de la diode.

m : facteur d'idéalité de la diode, $m = 1 \dots 5$.

V_T : Tension thermique [V].

K : constante de Boltzmann.

T : température absolue, $[T] = K$ (kelvin).

e : charge d'un électron.

R_p : résistance parallèle simulant les pertes en courant de la cellule solaire.

R_s : Résistance série qui tient compte des pertes en tension dues aux contacts Externes.

I.5 Les résultats :

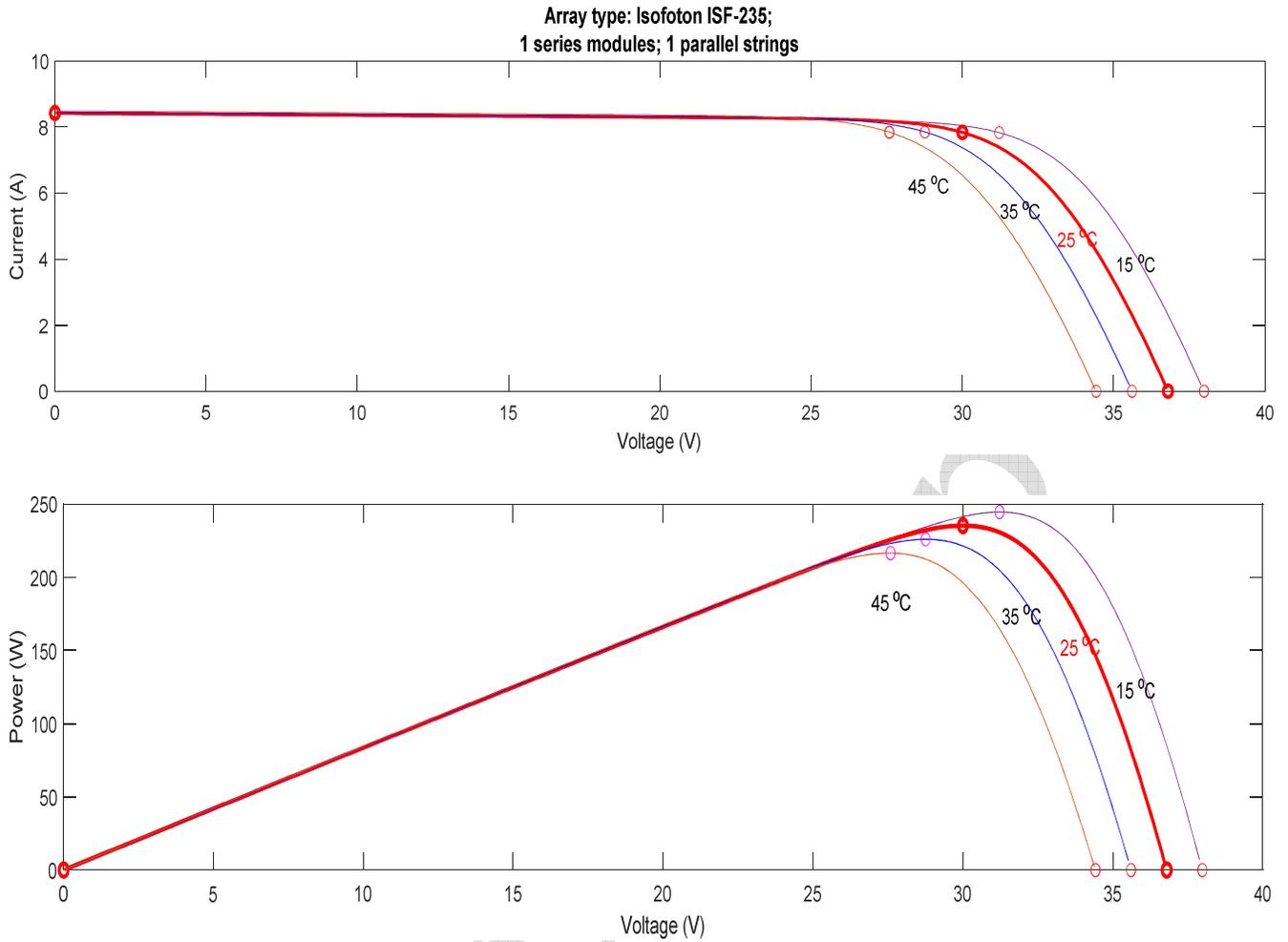
I.5.1 Caractéristique I(V) et P(V) :

a. Influence de l'éclairement : (Pour $N_s = 1$ et $N_p = 1$) :

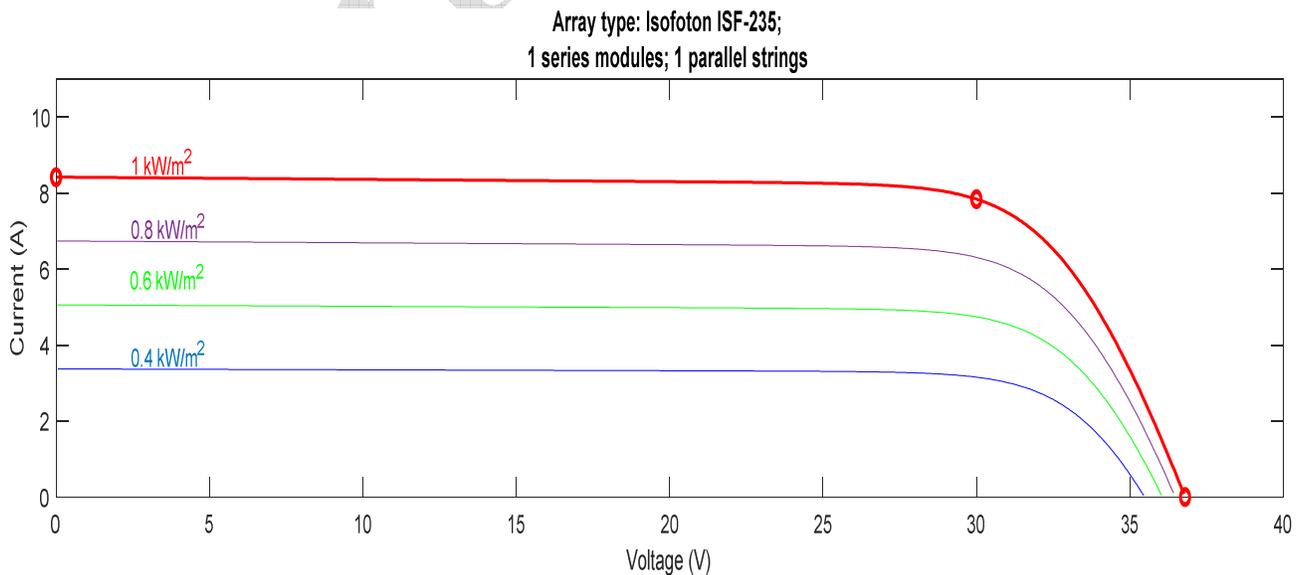
La Figure (I.7) montre l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V.

A une température constante ($T=25^\circ\text{C}$) en fonction de la variation de l'éclairement

($G=1000, 800, 600, 400 \text{ W/m}^2$).



Figures I.6 : Les caractéristiques I-V et P-V, pour différentes températures et un éclairement $G=1000W/m^2$.



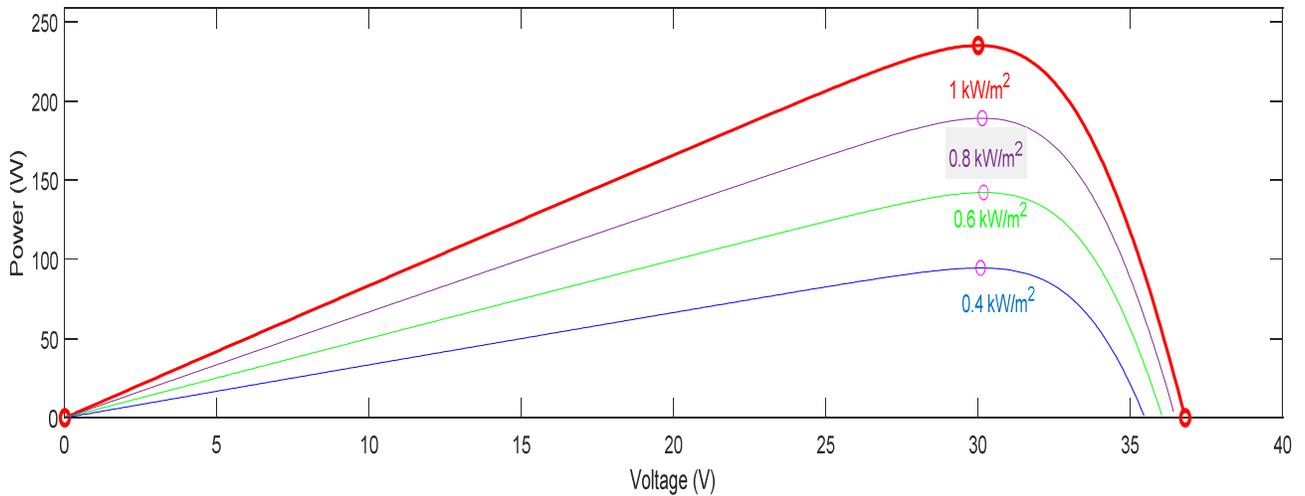
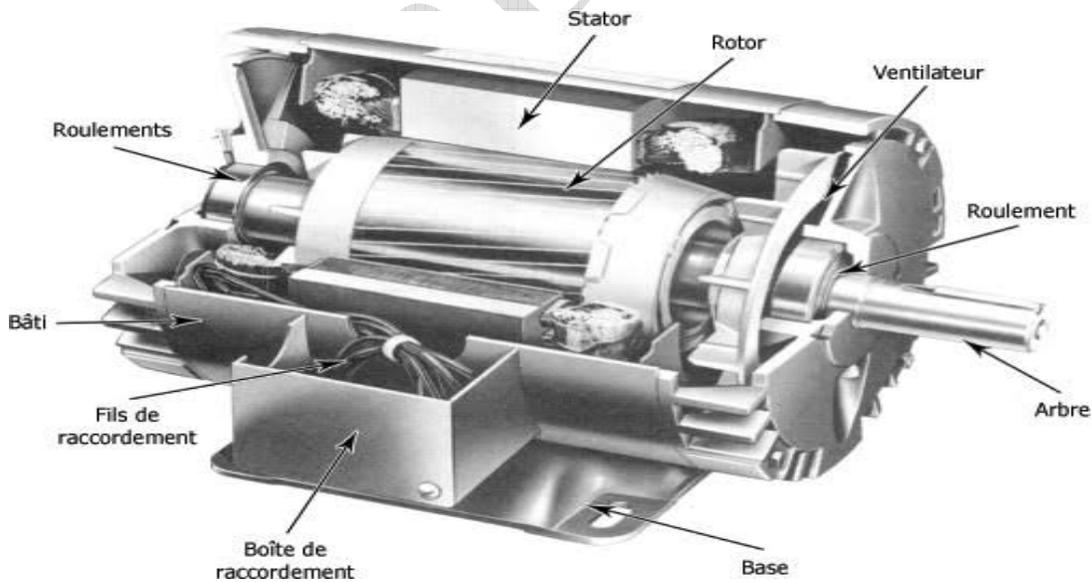


Figure (I.7) : Les caractéristiques I-V et P-V Pour différents éclairciment et une température T=25°C.

I.6 Machine asynchrone :

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. La machine asynchrone est utilisée aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans l'industrie, dans le transport...etc.[10]



Figures I.8 : Machine asynchrone triphasé

I.6.1 Constitution et principe de fonctionnement :

La machine asynchrone est l'actionneur le plus utilisé en industrie. Son usage très répandu, est dû à sa robustesse et sa fiabilité.

I.6.1.2 Constitution :

Elle est constituée d'une partie fixe (stator), et d'une partie mobile (rotor).

Le stator :

Il est constitué d'un cylindre ferromagnétique entaillé d'encoches permettant d'y loger les bobinages. Ce cylindre est constitué d'un empilement de plaques de tôles afin de limiter les courants de Foucault et par-là les pertes dues à ces derniers [11].



Figures I.9 : Le stator d'une machine asynchrone triphasée

Le rotor

Il n'est lié à aucune source d'énergie électrique, le courant dans ses enroulements est uniquement induit par le champ tournant créé dans le stator. Il existe deux types de rotor ce qui fait l'existence de deux types de moteur.

a. Rotor à bague (bobiné)

C'est un cylindre feuilleté, avec des encoches qui renferment un enroulement comportant obligatoirement le même nombre de pôles que celui du stator

Rotor à cage d'écureuil

Il est constitué de barres conductrices très souvent en aluminium. Les extrémités de ces barres sont réunies par deux couronnes également conductrices. On dit que le rotor est en court-circuit.



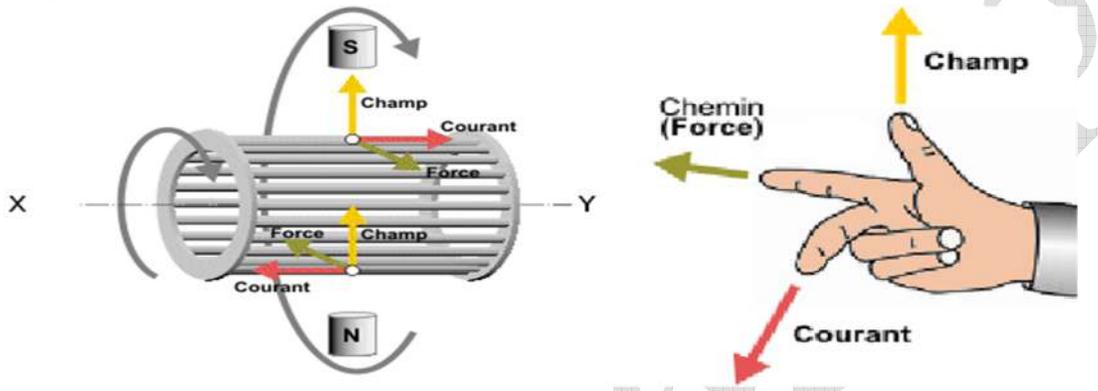
Figures I.10 : Rotor en cage d'écureuil

I.6.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone repose :

D'une part sur la création d'un courant électrique induit dans un conducteur placé dans un champ magnétique tournant. Le conducteur en question est un des barreaux de la cage d'écureuil constituant le rotor du moteur. L'induction du courant ne peut se faire que si le conducteur est en court-circuit (c'est le cas puisque les deux bagues latérales relient tous les barreaux).

D'autre part, sur la création d'une force motrice sur le conducteur considéré (parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique tournant ou variable) dont le sens est donné par la règle des trois doigts.



Figures I.11 : Le chemin de champ tournant.

I.7 La pompe

Une pompe est un appareil transformant une énergie mécanique (couple et vitesse de rotation de l'arbre), en énergie hydraulique (débit et pression). Elle est utilisée dans des forages et choisie selon la hauteur manométrique que devra fournir la pompe pour garantir le fonctionnement.

I.7.1 Types de pompes

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge. Outre ces deux classifications, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée: la pompe à aspiration et la pompe à refoulement .

Les pompes volumétriques

I.7.1.1 La pompe volumétrique

Transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

I.7.1.2 Les pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont les plus rencontrées dans le domaine du pompage d'eau. Elles sont couplées avec les moteurs asynchrones constituant un groupe électropompe.

I.8 Principe de fonctionnement

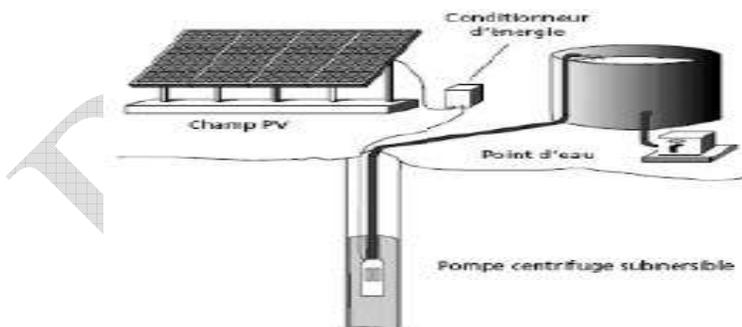
La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes.

L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique (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 [].

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

Ci-dessous est donnée l'illustration d'une pompe centrifuge



Figures I.12 Exemple d'installation avec une pompe centrifuge

I.9 Constitution

- ❖ Une pompe centrifuge est constituée par :
- ❖ Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- ❖ Un distributeur dans l'axe de la roue.
- ❖ Un collecteur de section croissante, en forme de spirale.

I.10 Les avantages et les inconvénients [13] :

I.10.1 Avantages :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages :

- Une haute fiabilité : elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits. non polluante, silencieuse et n'entraîne aucune perturbation du milieu.

I.10.2 Inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois les inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesels que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Tributaire des conditions météorologiques

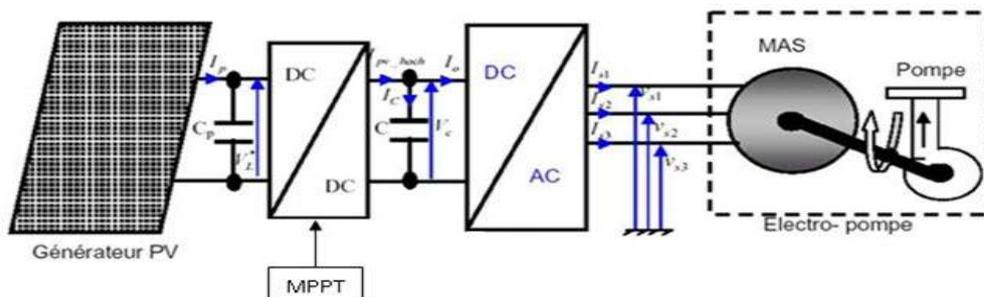
11. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présentés l'énergie renouvelable solaire et les différents éléments principaux de système de pompage photovoltaïque

Chapitre II
MODELISATION
DU SYSTEME
DE POMPAGE
PHOTOVOLTAIQUE

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'équation caractérisant le fonctionnement et le modèle mathématique qui seront utilisés pour modéliser les différentes parties du système de pompage photovoltaïque.



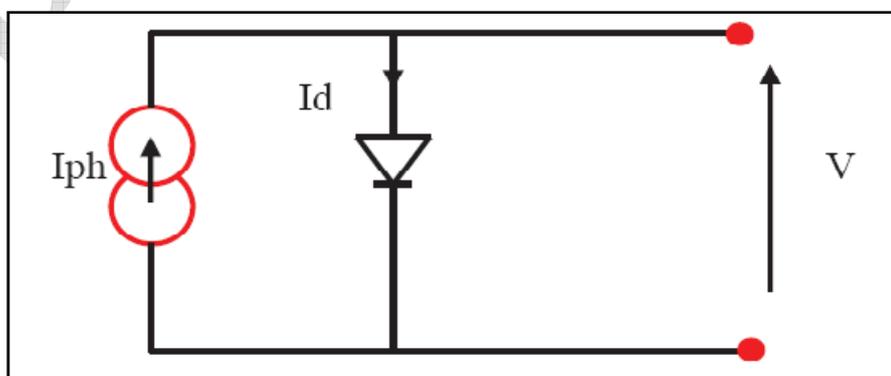
Figures II.1 Schéma d'un système de pompage photovoltaïque [13].

II.2 Modélisation du générateur photovoltaïque

Pour développer un modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque, il est nécessaire de faire un choix judicieux des circuits électriques qui la constituent et de comprendre la configuration physique et les caractéristiques électriques des éléments de la cellule. Pour cela, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter le comportement non linéaire des jonctions des semi-conducteurs. Dans la suite nous présentons deux modèles d'une cellule photovoltaïque, à savoir le modèle idéal et le modèle réel. [14]

Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque peut être étudiée à partir du circuit équivalent donné par la figure (II-1) composé d'un générateur de courant et d'une diode en parallèle.



Figures II.2 Schéma électrique idéal d'une cellule photovoltaïque

Chapitre II Modélisation du Système De Pompage Photovoltaïque

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles

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

I_{ph} : photo- courant.

I_d : courant traversant la diode.

$$I_d = I_s [\exp (V/U_t) - 1]$$

q : charge de l'électron
($1.9 \cdot 10^{-19}$ coul).

k : la constante de boltzman.

I_s :courant de saturation.

V : tension à la borne de la diode.

T : température absolue (en kelvin).

V : tension à la borne de la diode.

II.3 Modèle réel d'une cellule photovoltaïque

Le model 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_s et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_p [10].

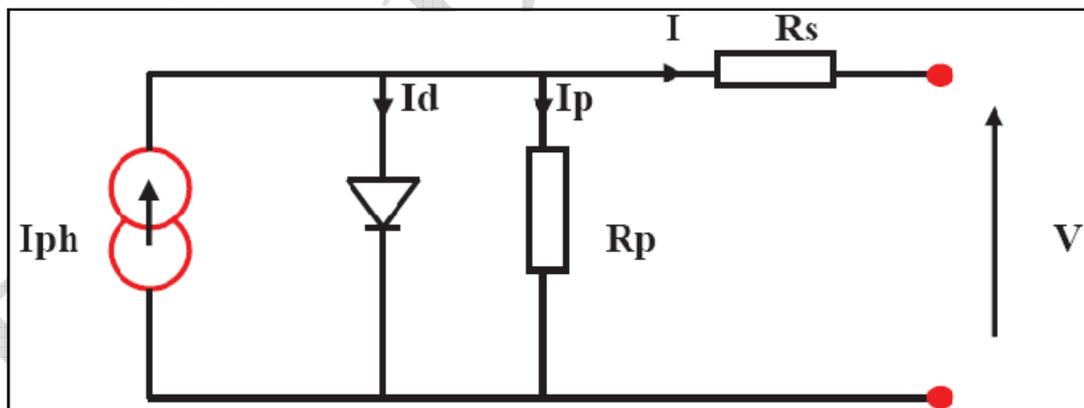


Figure II.3 Schéma électrique réel d'une cellule photovoltaïque

I_{ph} Photo courant, ou courant généré par l'éclairement (A)

La résistance shunt « R_p » en parallèle avec la diode.

(en Ω)La résistance série « R_s ».

(En Ω) Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (II - 2)$$

Le courant direct I_d d'obscurité de la jonction.

Le courant I généré par la cellule et fourni à la charge.

Le courant I_p correspond au courant des connexions parallèles.

$$I_p = \left[\frac{V + I_{RS}}{R_p} \right] \quad (II - 3)$$

$$I = I_{hp} - I_d - \left(\frac{V + I_{RS}}{R_p} \right) \quad (II - 4)$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V + I_{RS}}{A U_t}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V + I_{RS}}{R_p} \right) \quad (II - 5)$$

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (II - 6)$$

Le courant direct I_d d'obscurité de la jonction.

Le courant I généré par la cellule et fourni à la charge.

Le courant I_p correspond au courant des connexions parallèles.

II.4 Modalisation Convertisseur DC/DC :

II.4.1 Modalisation du Hacheur

Le hacheur est un convertisseur continu-continu mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé. [15]

Il existe trois types d'hacheurs

II.4.1.1 Hacheur dévolteur (Buck ou série) : la tension moyenne délivrée en sortie est inférieure à celle appliquée en entrée.

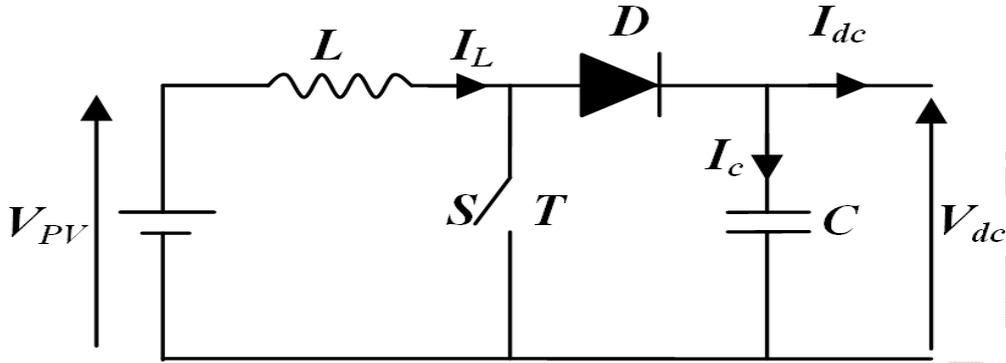
II.4.1.2 Hacheur survolteur (Booste ou parallèle) : la tension moyenne délivrée en sortie est

Supérieure à celle appliquée en entrée

II.4.1.3 Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost ou série-parallèle) :

ce sont des hacheurs capables de fonctionner de deux manières (Buck –Boost) ou la tension moyenne de sortie est Inférieure ou supérieure à celle de l'entrée.

Dans notre étude, le convertisseur Boost est utilisé comme adaptateur de la charge, permettant la poursuite du point de puissance maximale



Figures II.4 circuit électrique de l'hacheur(BOOSTE)

II.5 Convertisseur Boost (hacheur parallèle) :

Un convertisseur élévateur dit Boost permet de convertir une tension d'entrée continue en une autre tension continue aussi en sortie mais de valeur supérieure à celle de l'entrée. C'est pour cela Qu'il est dit élévateur de tension

L'inductance permet de lisser le courant appelé sur la source. La capacité C permet de limiter l'Ondulation de tension en sortie. Son fonctionnement est comme suit:

Au premier temps (αT), l'interrupteur (S) est fermé, le courant dans l'inductance croit progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période. L'interrupteur (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'oppose à la diminution de courant (I_L), génère une tension qui s'ajoutera à la tension de source. Elle sera appliquée sur la charge à travers la diode (D).

II.6. Modélisation du hacheur Boost :

La modélisation de ce convertisseur se base sur l'analyse des différentes séquences de fonctionnement que nous supposons de durées fixées par la commande comme résultats on a deux séquences de fonctionnement selon l'état de l'interrupteur T, que nous pouvons représenter chacune par une équation différentielle.

Lorsque (T) est fermé

$$V_{pv} = L \frac{di_L}{dt} \quad (II - 7)$$

Chapitre II Modélisation du Système De Pompage Photovoltaïque

$$0 = C \frac{dv_{dc}}{dt} + Id_c \quad (\text{II} - 8)$$

➤ Lorsque (T) est ouvert

$$V_{pv} = L \frac{di_l}{dt} + V_{dc} \quad (\text{II} - 9)$$

$$I_L = C \frac{dv_{dc}}{dt} + Id_c \quad (\text{II} - 10)$$

• En posant :

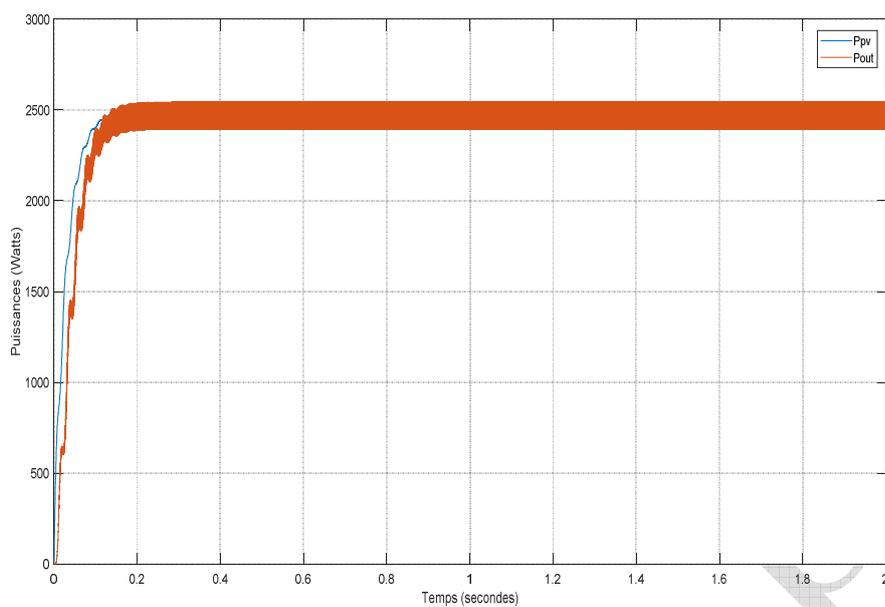
(S=1) pour T est fermé

(S=0) pour T est ouvert.

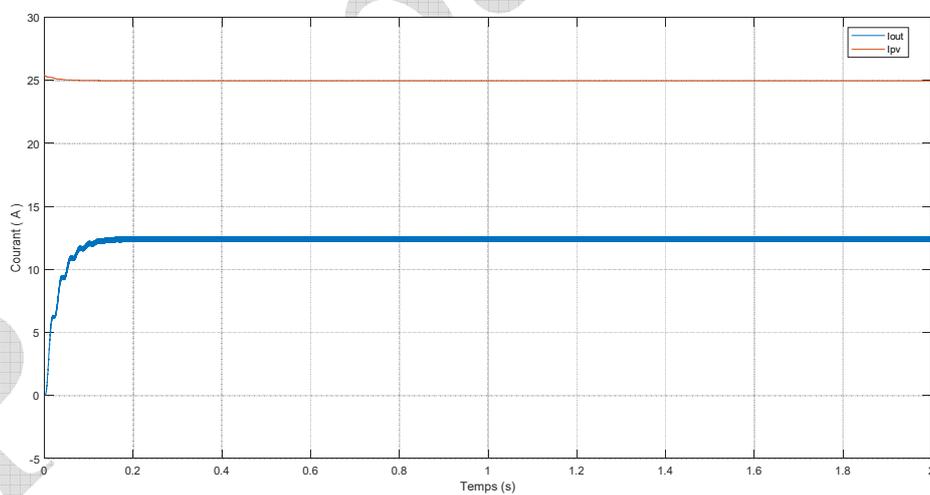
Nous pouvons représenter le convertisseur par un système d'équations unique, que nous qualifions de modèle instantané. Nous considérons ici les interrupteurs parfaits.

$$V_{pv} = L \frac{di_l}{dt} + V_{dc}(1-S) \quad (\text{II} - 11)$$

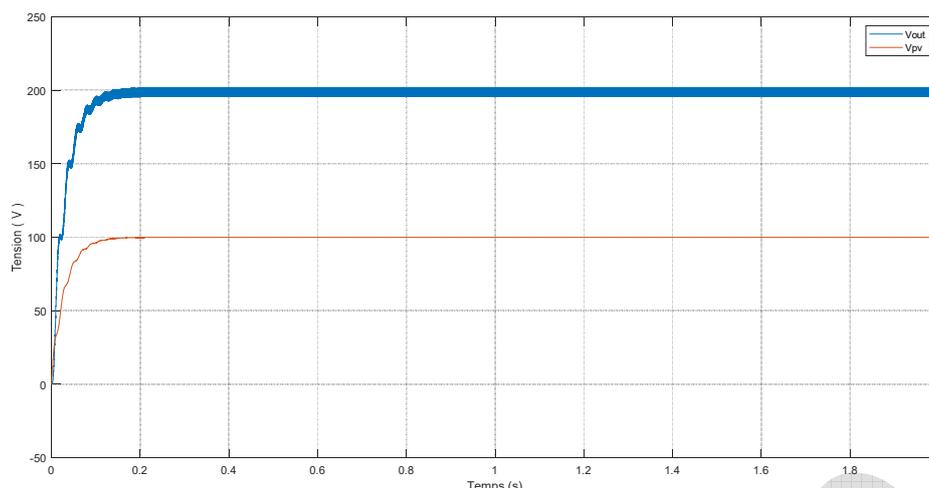
$$(1 - S) I_L = C \frac{dv_{dc}}{dt} + Id_c \quad (\text{II} - 12)$$



Figures II.5 simulation de Puissance à la sortie du hacheur.



Figures II.6 simulation de courant à la sortie du hacheur.



Figures II.7 simulation de Tension à la sortie du hacheur.

II.7 La commande du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking MPPT)

Par définition, une commande MPPT, associé à un étage intermédiaire DC/DC d'adaptation permet de faire fonctionner un générateur photovoltaïque de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance, quel que soit les conditions météorologiques (irradiation, température), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{opt} , I_{opt}).

Afin d'optimiser la puissance produite par le champ photovoltaïque, plusieurs méthodes peuvent être utilisées:

- La méthode d'ajustement de courbe
- La méthode « look-up table »
- La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur

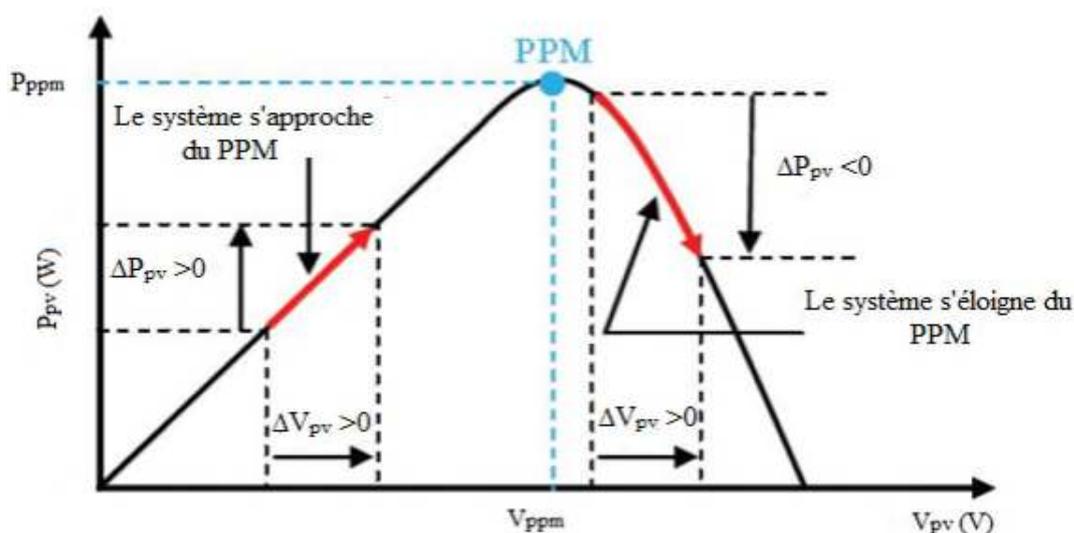
- La méthode de court-circuit
- La méthode Perturbation et Observation (P&O)
- La méthode d'incrément de conductance
- Les méthodes avancées (logique floue, réseaux de neurones) Le système de poursuite du point de puissance maximale que nous avons choisi est la méthode perturbation & observation (P&O). Vu sa facilité d'implémentation, elle permet d'obtenir un bon rendement.

II.7.1 La méthode Perturbation & Observation (P&O) :

La méthode perturbation & observation (P&O) est l'une des méthodes les plus utilisées. C'est une méthode itérative permettant d'obtenir le PPM ; on mesure les caractéristiques du panneau PV puis on induit une petite perturbation sur la tension (ou le courant) afin

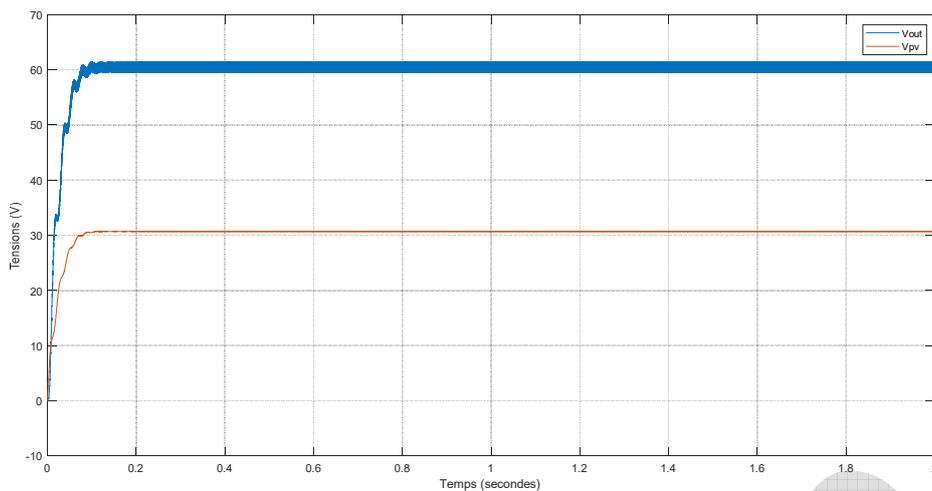
d'analyser la variation de puissance qui en résulte. Comme indiqué précédemment, le principe de commande MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte. On peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a déjà dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM

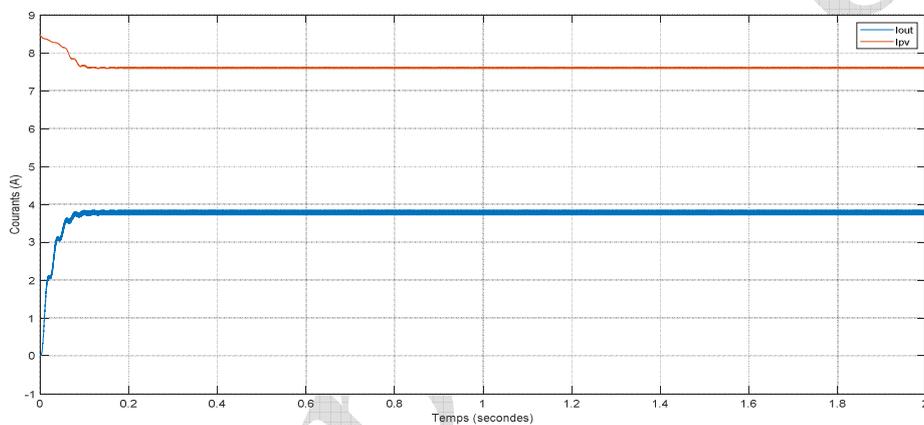


Figures II.8 principe de la commande perturbation & d'observation [16]

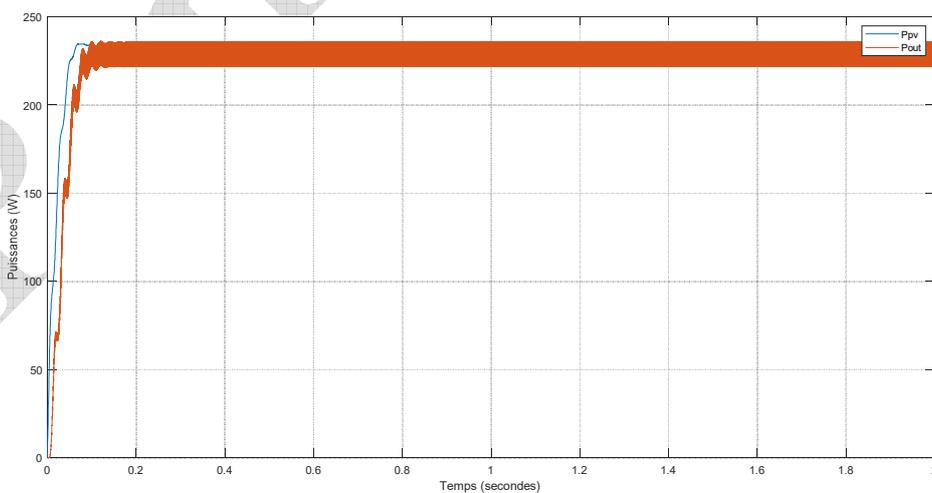
II.8 Résultats de simulation pour MPPT ($N_s=1$, $N_p=1$) :



Figures II.9 simulation de Tension d'une commande perturbation & d'observation



Figures II.10 simulation de Courant d'une commande perturbation & d'observation



Figures II.11 simulation de puissance d'une commande perturbation & d'observation

II.9 Modélisation de l'onduleur DC/AC :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant produit par générateur photovoltaïque, en courant alternatif monophasé ou triphasé.

Dans cette étude on considère le cas idéal d'un onduleur triphasé à deux niveau de tension qui est représenté par des interrupteurs parfaits à commutation instantanée. L'onduleur considéré comme une source de tension parfaite présente une impédance interne négligeable. [17]

Les tensions composées V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} sont obtenues à partir de ces relations

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{ao} + V_{ob} = V_{ao} - V_{bo} \\ V_{bc} = V_{bo} + V_{oc} = V_{bo} - V_{co} \\ V_{ca} = V_{co} + V_{oa} = V_{co} - V_{ao} \end{cases} \quad (\text{II} - 13)$$

Avec : V_{ao}, V_{bo}, V_{co} sont les tensions à l'entrée de l'onduleur (continues). On a pris le point «O» comme référence pour ces dernières tensions. Les trois tensions à l'entrée continues sont données par la relation de CHARLE comme suit :

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{an} - V_{no} \\ V_{bo} = V_b - V_{no} \\ V_{co} = V_{cn} + V_{no} \end{cases} \quad (\text{II} - 14)$$

Avec : V_{an}, V_{bn}, V_{cn} , sont les tensions de phase de la charge, ou de sortie de l'onduleur et V_{no} est la tension du neutre de la charge par rapport au point «O»

On suppose que la charge est équilibrée c.à.d.

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \quad (\text{II} - 15)$$

En remplaçant (II.) dans (II.) on aura :

$$V_{no} = \frac{1}{3}(V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (\text{II} - 16)$$

En remplaçant (II.) dans (II.) on aura :

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{1}{3} * (2V_{ao} - V_{bo} - V_{co}) \\ V_{bn} = \frac{1}{3} * (2V_{bo} - V_{ao} - V_{co}) \\ V_{cn} = \frac{1}{3} * (2V_{co} - V_{ao} - V_{co}) \end{cases} \quad (\text{II} - 17)$$

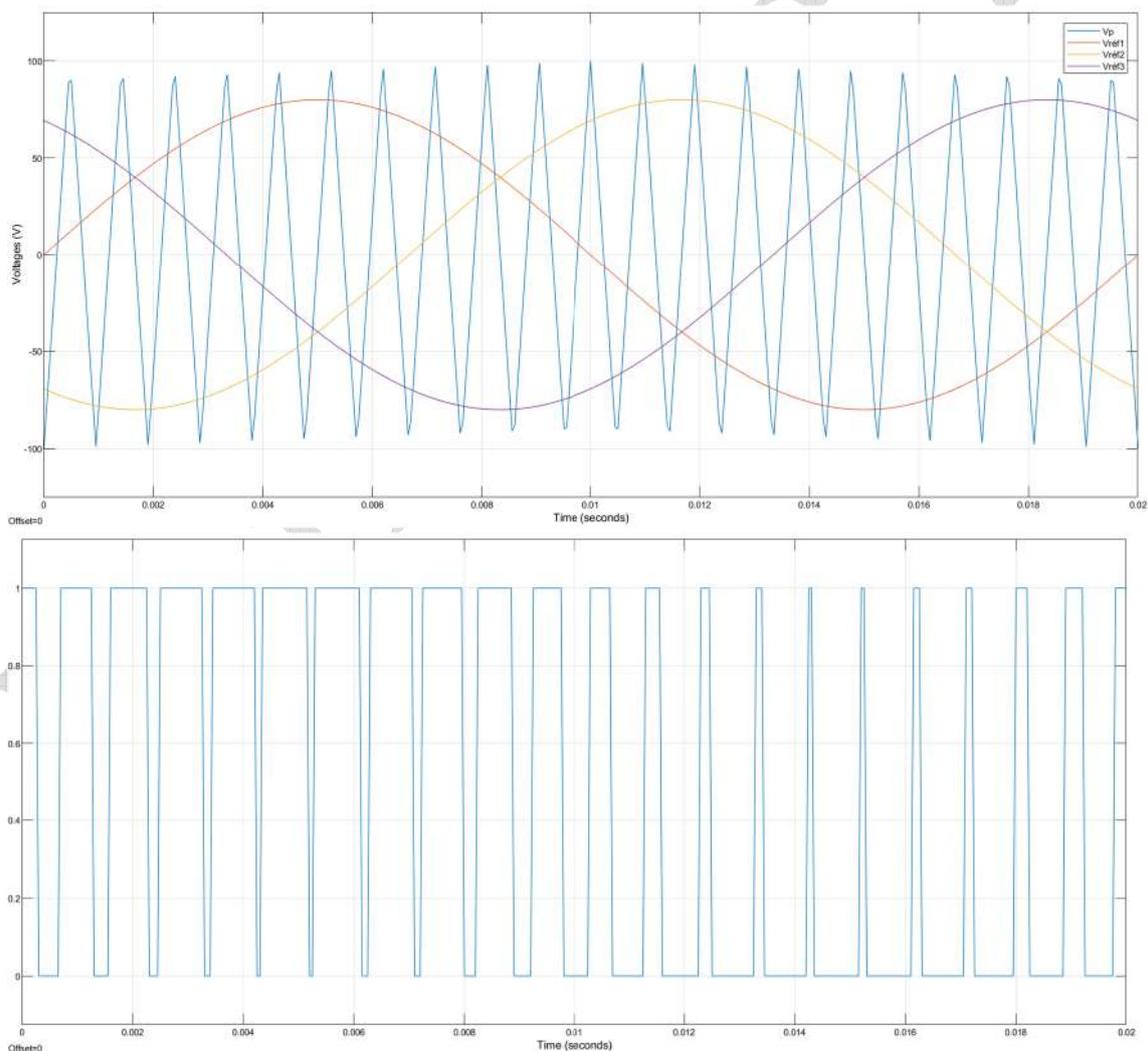
Si on suppose que :

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{dc} * S1 \\ V_{bo} = V_{dc} * S2 \\ V_{co} = V_{dc} * S3 \end{cases} \quad (II - 18)$$

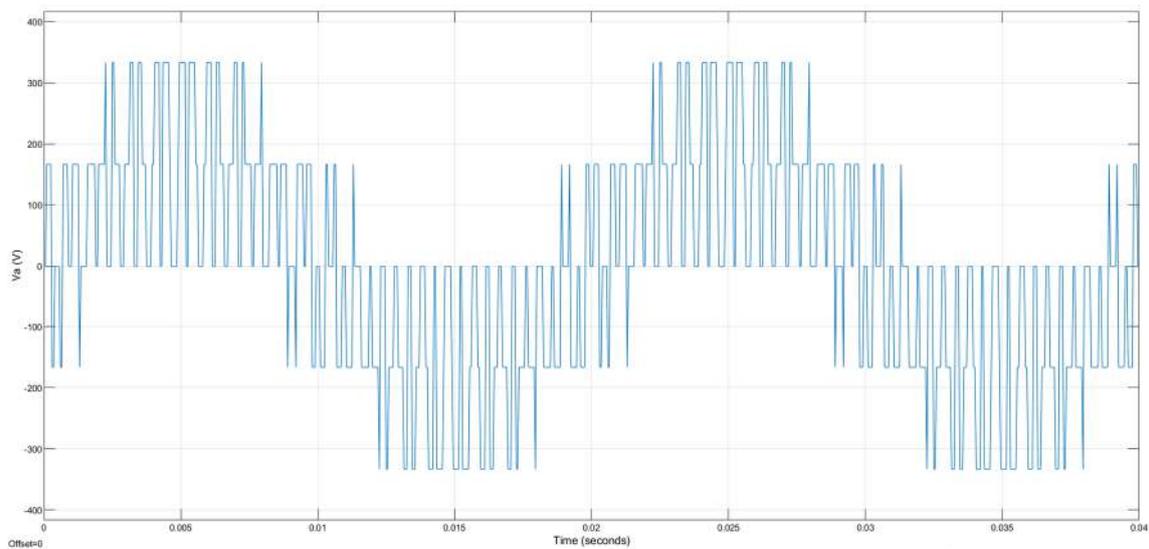
Si est l'état de l'interrupteur K_i tel que : $\begin{cases} s_i = 1 \text{ Si } k_i \text{ ferme} \\ s_i = 0 \text{ Si } k_i \text{ ouvert} \end{cases}$

Donc

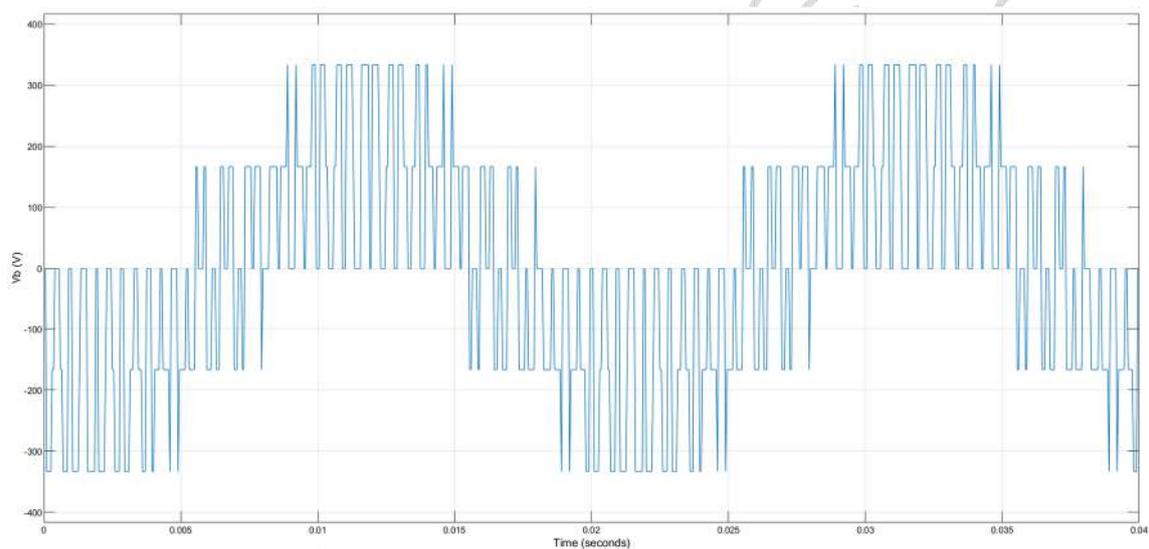
$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \frac{U_0}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \\ S3 \end{bmatrix} \quad (II - 19)$$



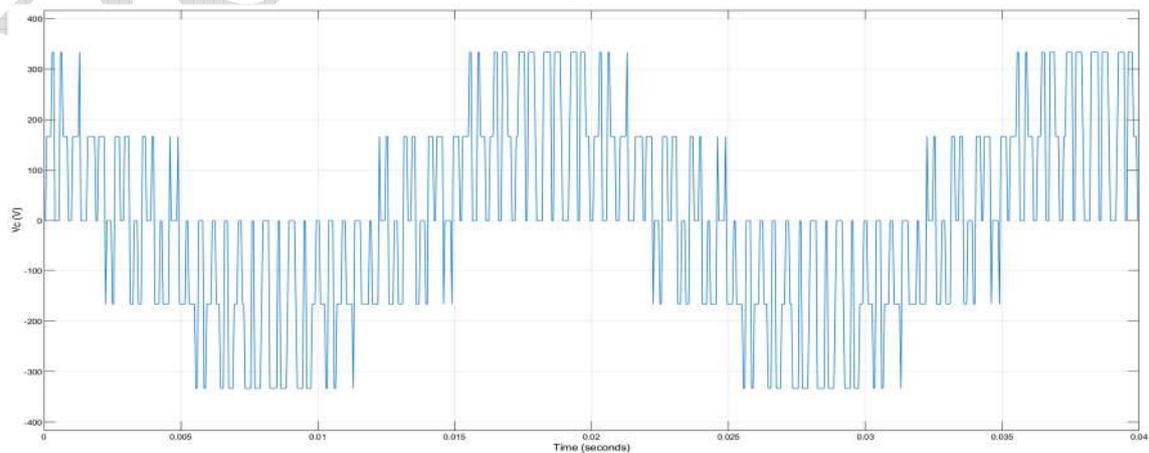
Figures II.12 Principe de la commande MLI de l'onduleur



Figures II.13 Tension simple à la sortie d'onduleur V_a



Figures II.14 Tension simple à la sortie d'onduleur V_b



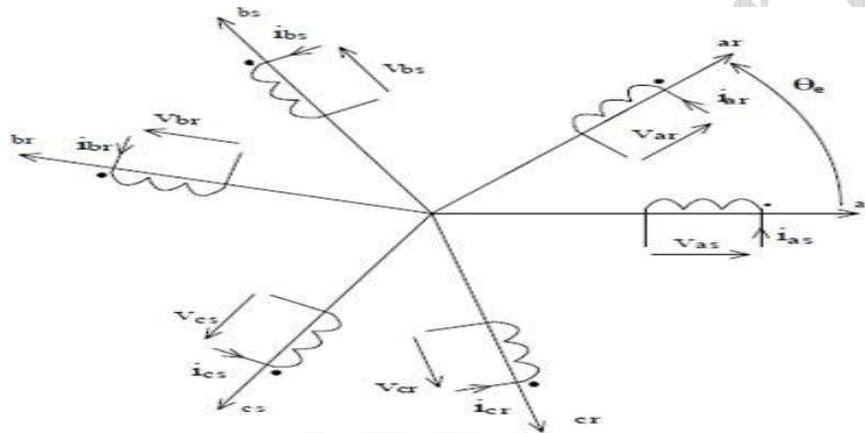
Figures II.10 Tension simple à la sortie d'onduleur V_c

II.8 Modélisation du Moteur Asynchrone

Le moteur convertit l'énergie électrique en énergie mécanique pour fournir la puissance nécessaire au pompage. Les moteurs alternatifs asynchrones sont les plus employés pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts parce qu'il présente l'avantage d'être robuste, faible coût, de construction simple et facilité d'entretien. Mais elle est de mauvais rendement au faible débit [18]

II.8 .1Modèle de la machine asynchrone

La représentation schématique de la machine asynchrone dans l'espace électrique est donnée par la figure (II-11).



Figures II.11 Repérage angulaire des axes magnétiques d'une MAS triphasée.

II.9 Les hypothèses simplificatrices

Le comportement du moteur asynchrone est décrit par un système dynamique non linéaire. Pour établir un modèle mathématique en tenant compte les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Répartition sinusoïdale du flux dans l'entrefer.
- Le circuit magnétique n'est pas saturé et a une perméabilité constante.
- On néglige les pertes fer par hystérésis et courants de FOUCAULT, l'effet de peau.
- Les effets des encoches sont négligés. Dans le but de simplifier la modélisation de la machine asynchrone, l'étude théorique est menée sur une machine bipolaire. Les résultats sont transposables pour une machine multipolaire à condition de multiplier le couple et de diviser la vitesse par p.

II.10 Modèle mathématique triphasé

Les phases rotoriques sont court-circuitées et décalé de l'angle électrique θ par rapport à les phases statoriques.

II.10.1 Équations électriques

Par l'application de la loi des mailles à chaque enroulement les expressions électriques de la machine sont définies comme suit

Au stator :

$$\begin{cases} V_{sa} = R_s \cdot i_{sa} + \frac{d\varphi_{sa}}{dt} \\ V_{sb} = R_s \cdot i_{sb} + \frac{d\varphi_{sb}}{dt} \\ V_{sc} = R_s \cdot i_{sc} + \frac{d\varphi_{sc}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II} - 20)$$

Au rotor

$$\begin{cases} V_{ra} = R_r \cdot i_{ra} + \frac{d\varphi_{ra}}{dt} \\ V_{rb} = R_r \cdot i_{rb} + \frac{d\varphi_{rb}}{dt} \\ V_{rc} = R_r \cdot i_{rc} + \frac{d\varphi_{rc}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II} - 21)$$

Pour l'écriture matricielle, on met :

$$[V_{sabc}] = R_s [i_{SABC}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{sabc}] \quad (\text{II} - 22)$$

$$[V_{rabc}] = R_r [i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{rabc}] = 0 \quad (\text{II} - 23)$$

Avec : R_r est les résistances du stator du rotor respectivement.

$[V_{sabc}]$ Et $[V_{rabc}]$ les tensions simples d'alimentation du stator et du rotor respectivement

$[[i_{sabc}]]$ Et $[i_{rabc}]$ les courants du stator et du rotor respectivement.

II.10.2 Équations magnétiques

Les expressions des flux statoriques et rotoriques dans le repère a, b, c s'écrit :

Au stator :

$$\begin{cases} \varphi_{sa} = I_s i_{sa} + M_s i_{sb} + M_s i_{sc} + M_{rasa} i_{ra} + M_{rbsa} i_{rb} + M_{rcsa} i_{rc} \\ \varphi_{sb} = I_s i_{sb} + M_s i_{sa} + M_s i_{sc} + M_{rasb} i_{ra} + M_{rbsb} i_{rb} + M_{rcsb} i_{rc} \\ \varphi_{sc} = I_s i_{sc} + M_s i_{sa} + M_s i_{sb} + M_{rasc} i_{ra} + M_{rbsc} i_{rb} + M_{rcsc} i_{rc} \end{cases} \quad (\text{II} - 24)$$

Au rotor :

$$\begin{cases} \varphi_{ra} = I_r i_{ra} + M_r i_{rb} + M_r i_{rc} + M_{rasa} i_{sa} + M_{rasb} i_{sb} + M_{rasc} i_{sc} \\ \varphi_{rb} = I_r i_{rb} + M_r i_{ra} + M_r i_{rc} + M_{rbsa} i_{sa} + M_{rbsb} i_{sb} + M_{rbsc} i_{sc} \\ \varphi_{rc} = I_r i_{rc} + M_r i_{ra} + M_r i_{rb} + M_{rcsa} i_{sa} + M_{rcsb} i_{sb} + M_{rcsc} i_{sc} \end{cases} \quad (\text{II} - 25)$$

La matrice des flux réels s écrit :

$$[\varphi_{sabc}] = [L_s] [i_{sabc}] + [M_{sr}] [i_{rabc}] \quad (\text{II} - 26)$$

$$[\varphi_{rabc}] = [L_r] [i_{rabc}] + [M_{rs}] [i_{sabc}] \quad (\text{II} - 27)$$

Avec :

La matrice des inductances statoriques : L_s

$$[L_s] = \begin{bmatrix} I_s & M_s & M_s \\ M_s & I_s & M_s \\ M_s & M_s & I_s \end{bmatrix} \quad (\text{II} - 28)$$

La matrice des inductances rotoriques L_r :

$$[L_r] = \begin{bmatrix} I_r & M_r & M_r \\ M_r & I_r & M_r \\ M_r & M_r & I_r \end{bmatrix} \quad (\text{II} - 29)$$

Avec :

L_s ; L_r : Les inductances propres du stator et du rotor respectivement.

M_s , M_r : les inductances mutuelles entre deux phases du stator et du rotor respectivement.

Chapitre II Modélisation du Système De Pompage Photovoltaïque

La matrice des inductances mutuelles entre le stator et le rotor s écrit :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{II} - 30)$$

Le système est équilibré donc la somme des courants statoriques et rotoriques est nulle :

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0 \quad (\text{II} - 31)$$

$$i_{ra} + i_{rb} + i_{rc} = 0 \quad (\text{II} - 32)$$

Donc les équations du flux s écrit :

Au stator :

$$\begin{cases} \varphi_{sa} = L_s i_{sa} + M_{rasa} i_{ra} + M_{rbsa} i_{rb} + M_{rcsa} i_{rc} \\ \varphi_{sb} = L_s i_{sb} + M_{rasb} i_{ra} + M_{rbsb} i_{rb} + M_{rcsb} i_{rc} \\ \varphi_{sc} = L_s i_{sc} + M_{rasc} i_{ra} + M_{rbsc} i_{rb} + M_{rcsc} i_{rc} \end{cases} \quad (\text{II} - 34)$$

Au rotor :

$$\begin{cases} \varphi_{ra} = L_r i_{ra} + M_{rasa} i_{sa} + M_{rasb} i_{sb} + M_{rasc} i_{sc} \\ \varphi_{rb} = L_r i_{rb} + M_{rbsa} i_{sa} + M_{rbsb} i_{sb} + M_{rbsc} i_{sc} \\ \varphi_{rc} = L_r i_{rc} + M_{rcsa} i_{sa} + M_{rcsb} i_{sb} + M_{rcsc} i_{sc} \end{cases} \quad (\text{II} - 35)$$

Avec :

$L_s = I_s - M_s$: Inductance cyclique statorique.

$L_r = I_r - M_r$: Inductance cyclique rotorique.

Pour l'écriture matricielle, on met :

$$[\varphi_{sabc}] = [L_s] [i_{sabc}] + [M_{sr}] [i_{rabc}] \quad (\text{II} - 36)$$

$$[\varphi_{rabc}] = [L_r] [i_{rabc}] + [M_{rs}] [i_{sabc}] \quad (\text{II} - 37)$$

a/Transformation triphasé/diphasé

Le changement de repères triphasé/biphasé est réalisé par la transformation de Park. Elle consiste à transformer le repère triphasé fixe (a, b, c) au stator et au rotor dans un repère biphasé (d, q) pour réduire considérablement la complexité du modèle en vue de commande.

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = P(\mu) \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\mu) & \cos(\mu - 2\pi/3) & \cos(\mu - 4\pi/3) \\ -\sin(\mu) & -\sin(\mu - 2\pi/3) & -\sin(\mu - 4\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (\text{II} - 38)$$

Avec l'angle de transformation du repère statorique $\mu = \theta_s$ ou rotorique $\mu = \theta_r$.
La transformation inverse est donnée par :

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = P(\mu) T \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\mu) & -\sin(\mu) \\ \cos(\mu - 2\pi/3) & -\sin(\mu - 2\pi/3) \\ \cos(\mu - 4\pi/3) & -\sin(\mu - 4\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} \quad (\text{II} - 39)$$

En appliquant alors la transformation de Park aux équations statoriques et rotoriques de la machine asynchrone, nous obtenons

$$\begin{aligned} [v_{sabc}] &= P(\theta_s) T [v_{sdq}] = R_S P(\theta_s) T [i_{sdq}] + \frac{d}{dt} [P(\theta_s) T [\varphi_{sdq}]] \\ [v_{rabc}] &= P(\theta_r) T [v_{rdq}] = R_S P(\theta_r) T [i_{rdq}] + \frac{d}{dt} [P(\theta_r) T [\varphi_{rdq}]] \end{aligned} \quad (\text{II} - 40)$$

On multiplie par $P(\theta_s)$:

$$[v_{sdq}] = R_S [i_{sdq}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{sdq}] + P(\theta_s) \frac{d}{dt} [P(\theta_s) T] [\varphi_{sdq}] \quad (\text{II} - 41)$$

$$[v_{rdq}] = R_r [i_{rdq}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{rdq}] + P(\theta_s) \frac{d}{dt} [P(\theta_s) T] [\varphi_{rdq}] \quad (\text{II} - 42)$$

Où:

$$P(\theta_s) \frac{d}{dt} [P(\theta_s) T] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{d\theta_s}{dt} \\ \frac{d\theta_s}{dt} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II - 43})$$

On aboutit aux expressions suivantes dans le repère (d, q):

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \varphi_{sq} \\ v_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} - \omega_s \varphi_{sd} \end{cases} \quad (\text{II - 44})$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \varphi_{sq} \\ 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} - (\omega_s - \omega) \varphi_{rd} \end{cases} \quad (\text{II - 45})$$

Les flux statoriques et rotoriques s'expriment dans le repère de PARK par la relation suivante :

$$[\varphi_{sdq}] = P(\theta_s) [\varphi_{sabc}] = P(\theta_s) [L_s [i_{sabc}] + [M_{sr}] [i_{rabc}]] \quad (\text{II - 46})$$

$$[\varphi_{rdq}] = P(\theta_r) [\varphi_{sabc}] = P(\theta_r) [[L_r [i_{rabc}]] + [M_{rs}] [i_{sabc}]] \quad (\text{II - 47})$$

$$[\varphi_{sdq}] = P(\theta_s) L_s P(\theta_s) T [i] i_{sdq} + P(\theta_s) [M_{sr}] P(\theta_s) T [i_{rdq}] \quad (\text{II- 48})$$

$$[\varphi_{rdq}] = P(\theta_r) L_r P(\theta_r) T [i_{rdq}] + P(\theta_r) [M_{rs}] P(\theta_r) T [i_{sdq}] \quad (\text{II-49})$$

Donc les équations du flux s'écrivent :

$$\begin{aligned} \varphi_{sd} &= L_s i_{sd} + M i_{rd} \\ \varphi_{sq} &= L_s i_{sq} + M i_{rq} \\ \varphi_{rd} &= L_r i_{rd} + M i_{sd} \\ \varphi_{rq} &= L_r i_{rq} + M i_{sq} \end{aligned} \quad (\text{II - 50})$$

Avec : M : Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.

II.10.3 Équations mécanique

La puissance électrique instantanée fournie par le moteur asynchrone s'exprime dans le repère (d, q) par:

$$p_e = v_{sd} i_{sd} + v_{sq} i_{sq}$$

Chapitre II Modélisation du Système De Pompage Photovoltaïque

$$p_e = R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2) + \omega_s (\varphi_{sd} i_{sq} - \varphi_{sq} i_{sd}) + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} i_{sd} \quad (\text{II-50})$$

Le terme $\{ \omega_s (\varphi_{sd} i_{sq} - \varphi_{sq} i_{sd}) \}$ correspond à la puissance mécanique :

$$P_m = \omega_s (\varphi_{sd} i_{sq} - \varphi_{sq} i_{sd}) = C_e \frac{\omega_s}{p} \quad (\text{II-51})$$

Avec p désigne le nombre de paires de pôles de la machine. Donc le couple mécanique s'exprime par :

$$C_e = p (\varphi_{sd} i_{sq} - \varphi_{sq} i_{sd}) \quad (\text{II-52})$$

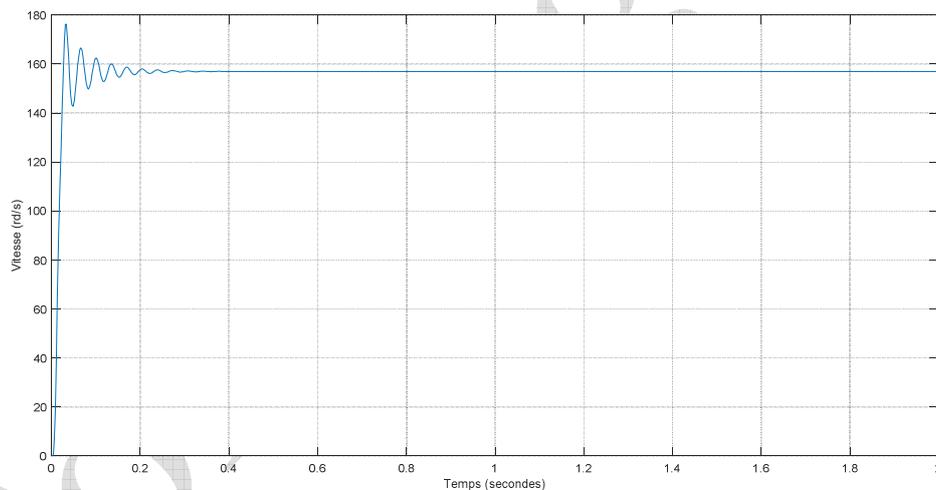


Figure II.12 Vitesse du rotor

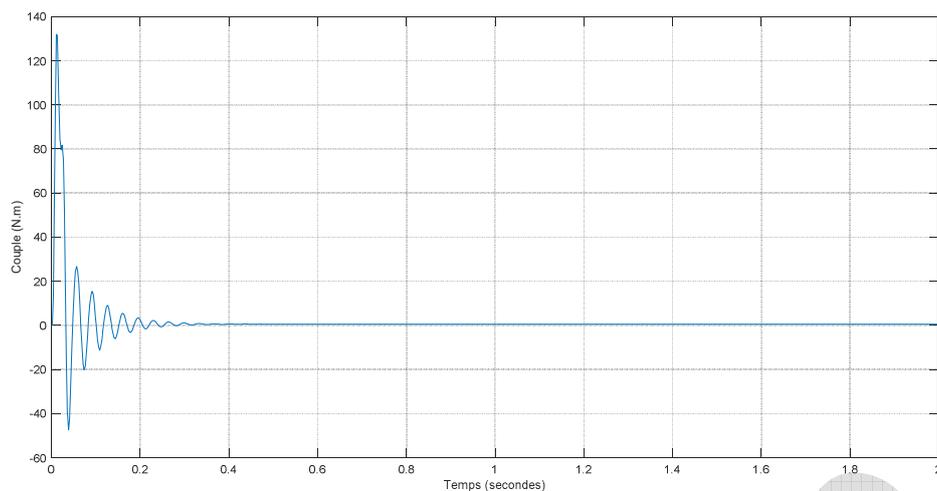


Figure II.13 couple électromagnétique

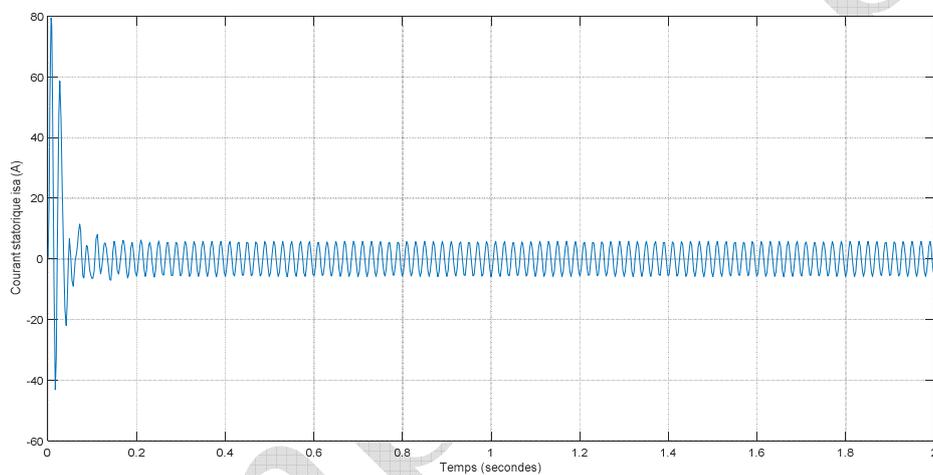


Figure II.14 courant de stator

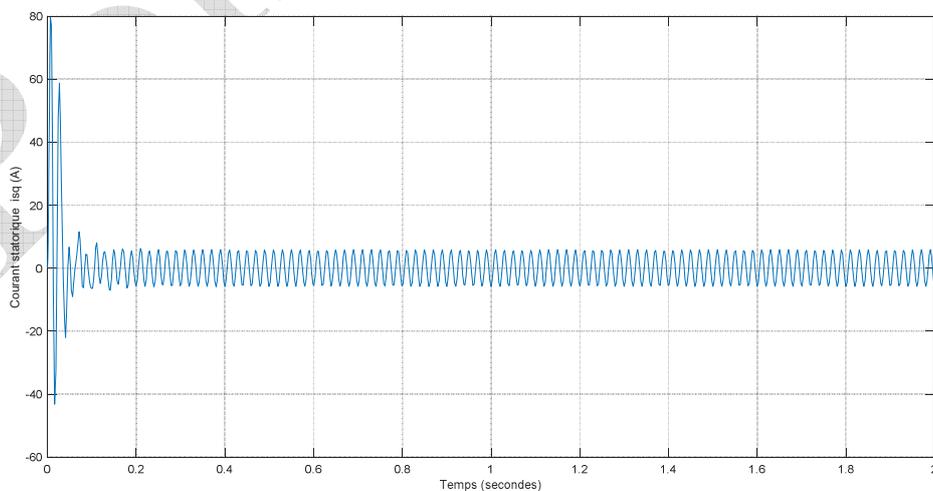


Figure II.15 courant de stator

II.11 Modèle motopompe

Le moteur utilisé dans ce système de pompage doit être déterminé en fonction de la puissance de la pompe. Pour mieux définir le type de moteur il faut tenir compte de certains facteurs :

- Source d'alimentation (générateur photovoltaïque)
- Type de pompe
- Mode d'accouplement (directe, par courroie...etc.).

Le moteur est alimenté par une tension et un courant qui sont fournis par le générateur PV selon l'équation fonctionnement :

$$U = R_s \cdot I + E \quad (\text{II} - 53)$$

$$E = K_E \omega \quad (\text{II} - 54)$$

Avec R_s est la résistance de phase du moteur, E la force électromotrice d'une phase et K_E constante de la FEM. Le chargement d'éclairage peut cause des changements dans ces valeurs. Le couple électromagnétique est exprimé par :

$$T_{em} = K_T I \quad (\text{II} - 56)$$

Ou, K_T est la constante du couple et I le courant de phase.

A partir des relations précédentes, on peut déduire la relation couple-vitesse du moteur dans l'état stable qui est :

$$\omega = \frac{U - \left(\frac{T_{em}}{K_T}\right)}{K_E} \quad (\text{II} - 57)$$

L'équation dynamique du moteur est

$$T_{em} - T_L = J \frac{d\omega}{dt} + T_P T_L \quad (\text{II} - 58)$$

Le couple de charge T_L est coefficient de frottement et T_P est le couple des pertes le couple de charge est donné par la relation

$$T_L = a + b\omega^2 \quad (\text{II} - 59)$$

Les constantes a et b dépend de la charge qui la pompe la pompe sert à puiser l'eau,

Chapitre II Modélisation du Système De Pompage Photovoltaïque

l'élever et la mettre sous pression. Plusieurs types de pompes sont utilisés dans le système solaire comme par exemple, les pompes centrifuge et celles volumétriques.

Les pompes centrifuges entrainées par un moteur synchrone a aimant permanents sont souhaitables pour le pompe d'eau dans puits peu profonds. Pour des puits très profonds, on préfère utiliser les pompes volumétriques, mais leur rendement avec un moteur a courant continu est faible par rapport au celui de la pompe centrifuge.

La puissance absorbée P_p d'une pompe est la puissance absorbée au niveau de l'accouplement ou de l'arbre de la pompe.

Avec :- Q est le débit en m^3 /s ;

- H est la hauteur d'élévation totale en m ;

- ρ est la densité de l'eau en Kg/m^3 ; - η_p est le rendement de la pompe.

- g est la pesanteur en m/s^2

Donc, on peut écrire l'équation du couple de charge comme suit [20]

$$T_L = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\omega} \quad (II - 60)$$

L'installation d'une pompe dans un système de pompage exige la connaissance de ces paramètres qui nous permettent de déterminer son point de fonctionnement (débit nominal Q_n et la hauteur d'élévation totale H assurés pour une vitesse de rotation nominale W). Le comportement de la pompe pour des condition différentes peut être défini par des courbes caractéristiques permettant de déduire le point de fonctionnement de la pompe et qui sont :

Courbe hauteur-débit ($H=f(Q)$), courbe de puissance – débit ($P=f(Q)$)

$$H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \quad (II - 61)$$

$$P = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2 \quad (II - 62)$$

$$H = C_0 + C_1 Q^2 \quad (II - 63)$$

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, C_0$ Et C_1 sont des constantes en fonction des dimensions de la pompe. La dernière relation présente la hauteur nécessaire pour la canalisation de la pompe en fonction du débit.

La relation liant le débit et la hauteur est donnée par :

$$n_q = \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \cdot N_r \quad (\text{II} - 64)$$

Avec : - N_r est la vitesse (tr/mn) ;

- n_q est la vitesse spécifique de la pompe (pour des aubes a simple courbure, elle est inférieure a 30tr/mn).

Pour une pompe centrifuge, le rendement global peut atteindre 0.9 dans le cas de pompes importantes, mais il peut descendre jusqu'à 0.4 s'il s'agit de très petites [15]

Le rendement de la pompe est exprimé par la pompe est :

$$\eta = \frac{M \cdot g \cdot H}{T_L \cdot \omega} \quad (\text{II} - 65)$$

M est la masse du débit.

Le rendement du générateur PV est donné par en fonction de la tension et du courant délivrées :

$$\eta_g = \frac{V \cdot I}{A_g E} \quad (\text{II} - 66)$$

Le rendement du système moteur-pompe est donné par :

$$\eta_g = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{V \cdot I} \quad (\text{II} - 67)$$

Et par conséquent le rendement global du system est :

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_{mp} \quad (\text{II} - 68)$$

II.12 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons étudié la modélisation des différents éléments de la chaîne de pompage tel que : le GPV, les convertisseurs, la machine asynchrone et la pompe à eau.

Chapitre III

Dimensionnement et simulation du système de pompage photovoltaïque

Pompage PV

III.1 INTRODUCTION

Pour réaliser une simulation d'une chaîne de pompage photovoltaïque proche de la réalité, il faut dimensionner tous les éléments constituant de la chaîne, en tenant compte des besoins énergétiques, énergie solaire disponible, et d'autres paramètres importants. Dans la première partie de ce dernier chapitre, on va présenter une méthode de dimensionnement, alors que dans la deuxième, une simulation de l'association des éléments de la chaîne

III.2 Méthode de dimensionnement :

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

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

III.2.1 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.

Les besoins d'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 journaliers et l'autonomie requise du système.

Dans ce travail, on choisit un débit de remplissage nominal $Q_n = 7$ l/s et une hauteur manométrique totale $HMT = 21$ m. Ces calculs permettent de dimensionner le générateur photovoltaïque, le Hacheur et le moteur envisageables à cette application.

III.2.2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Une fois définis 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:

$$Ph = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (III.1)$$

Où :

P_h : Énergie hydraulique (W)

H : Hauteur totale (m)

Q : Débit d'eau (m³ /s)

ρ : Densité de l'eau (1000 kg/m³)

g : Accélération de la pesanteur (9,81m/s²)

AN :

$$P_h = 10^3 * 9.81 * 21 * 7 * 10^{-3} = 1442 \text{ W}$$

III.3 Dimensionnement de la pompe centrifuge

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

$$n_p = \frac{P_h}{P_{mec}} \Rightarrow P_{mec} = \frac{P_h}{n_p} \quad (\text{III.2})$$

Où :

P_h : La puissance hydraulique (W).

P_{mec} : La puissance mécanique (W).

n_p : Le rendement de la pompe centrifuge.

Généralement le rendement de la pompe est compris entre 40 % et 60%, un rendement moyen sera relevé de 49% dans cette étude.

AN :

$$P_{mec} = \frac{P_h}{n_p} = \frac{1442}{0,50} = 2884 \text{ W}$$

III.4 Dimensionnement du moteur

Le moteur doit être capable de supporter la puissance crête du générateur photovoltaïque. Pour que le moteur électrique fournit une puissance mécanique demandée, il absorbe une puissance électrique à ses bornes. Le moteur a un rendement de 80 %.

$$n_m = \frac{P_{mec}}{p_e} \Rightarrow p_e = \frac{P_{mec}}{n_m} \quad (\text{III.3})$$

Où :

p_e : La puissance hydraulique (W)

P_{mec} : La puissance mécanique (W)

n_m : Le rendement de MAS

AN:

$$p_e = \frac{P_{mec}}{n_m} = \frac{2884}{0,80} = 3605 \text{ W}$$

III.5 Dimensionnement du champ photovoltaïque

Le moteur absorbe une puissance de 4 KW, choisissant un champ photovoltaïque désiré de 4050 W à cause des pertes. La puissance maximale fournie par le panneau isofoton_235 est de l'ordre de 213,6 W.

III.5.1 Estimation du nombre de modules

$$N = \frac{P_d}{P_{mp}} \quad (\text{III.4})$$

$$N = \frac{P_d}{P_{mp}} = \frac{4200}{213,6} = 18 \text{ Panneaux}$$

Avec :

N : Le nombre de panneaux souhaités

P_d : La puissance désirée (W)

P_{mp} : La puissance crête aux bornes du panneau isofoton_235

III.5.2 Estimation du nombre de modules en série

La tension du champ photovoltaïque voulu $V_{champ} = 180 \text{ V}$

Le nombre de modules en série est : $N_s = \frac{V_{ch}}{V_{mp}} \quad (\text{III.5})$

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{mp}} = \frac{180}{30} = 6 \text{ panneaux}$$

Où :

V_{ch} : Tension du système

V_{mp} : Tension du panneau

N_s : Nombre des panneaux en série

III.5.3 Estimation du nombre de branches en parallèle

Le nombre de branches en parallèle est :

$$N_p = \frac{N}{N_s} \quad (\text{III.6})$$

$$N_p = \frac{N}{N_s} = \frac{6}{2} = 3 \text{ panneaux}$$

D'où :

N : Le nombre de panneaux souhaités

N_s : Nombre des panneaux en série

N_p : Nombre des panneaux en parallèle

III.6 Simulation de la chaine :

La simulation est basée sur l'élaboration des modèles mathématiques, qui nous permet d'avoir une approche globale des performances du système. Nous avons utilisé logiciel (MATLAB/SIMULINK).

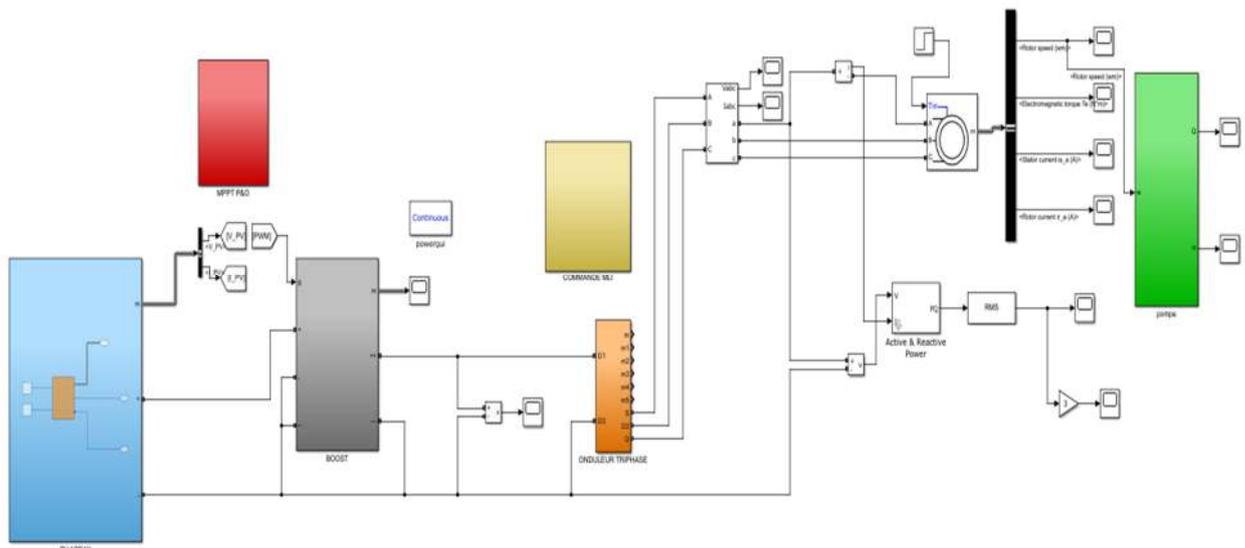


Figure III.1 Schéma bloc de la chaîne

III.7 Les résultats :

III.7.1 Caractéristique I(V) et P(V) :

a. Influence de l'éclairement : (Pour N_s = 6 et N_p = 3) :

La Figure (III.2) montre l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V.

A une température constante (T=25°C) en fonction de la variation de l'éclairement (G=1000W /m²).

Chapitre III Dimensionnement Et Simulation Du Système De Pompage Photovoltaïque

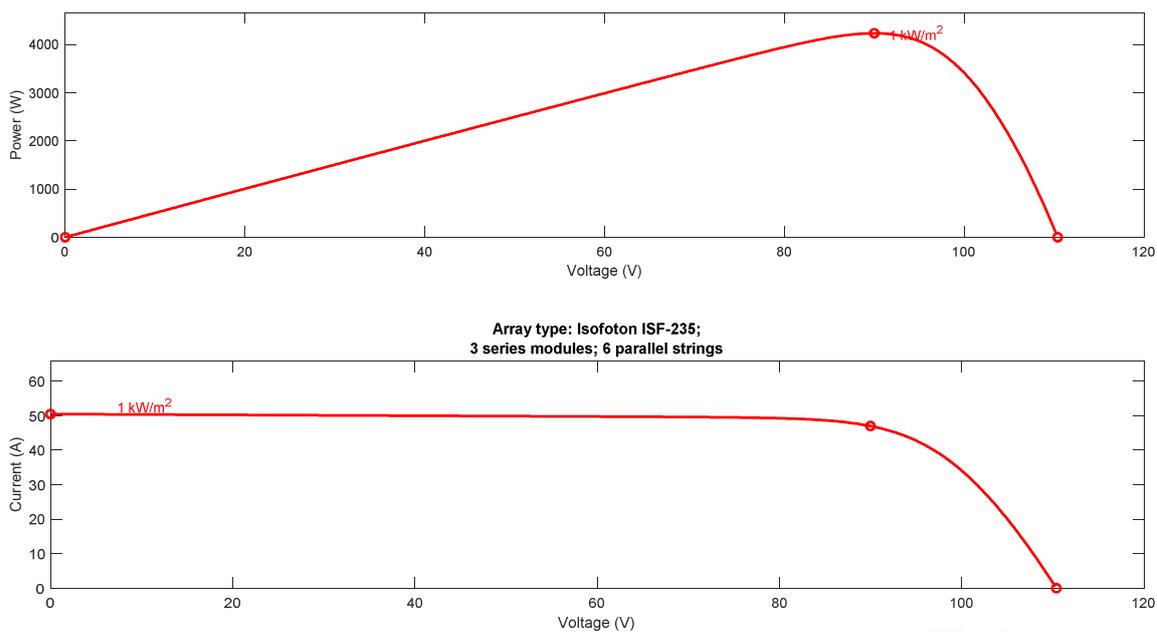


Figure III.2 Les caractéristiques I-V et P-V, pour différentes températures et un éclairement $G=1000W/m^2$.

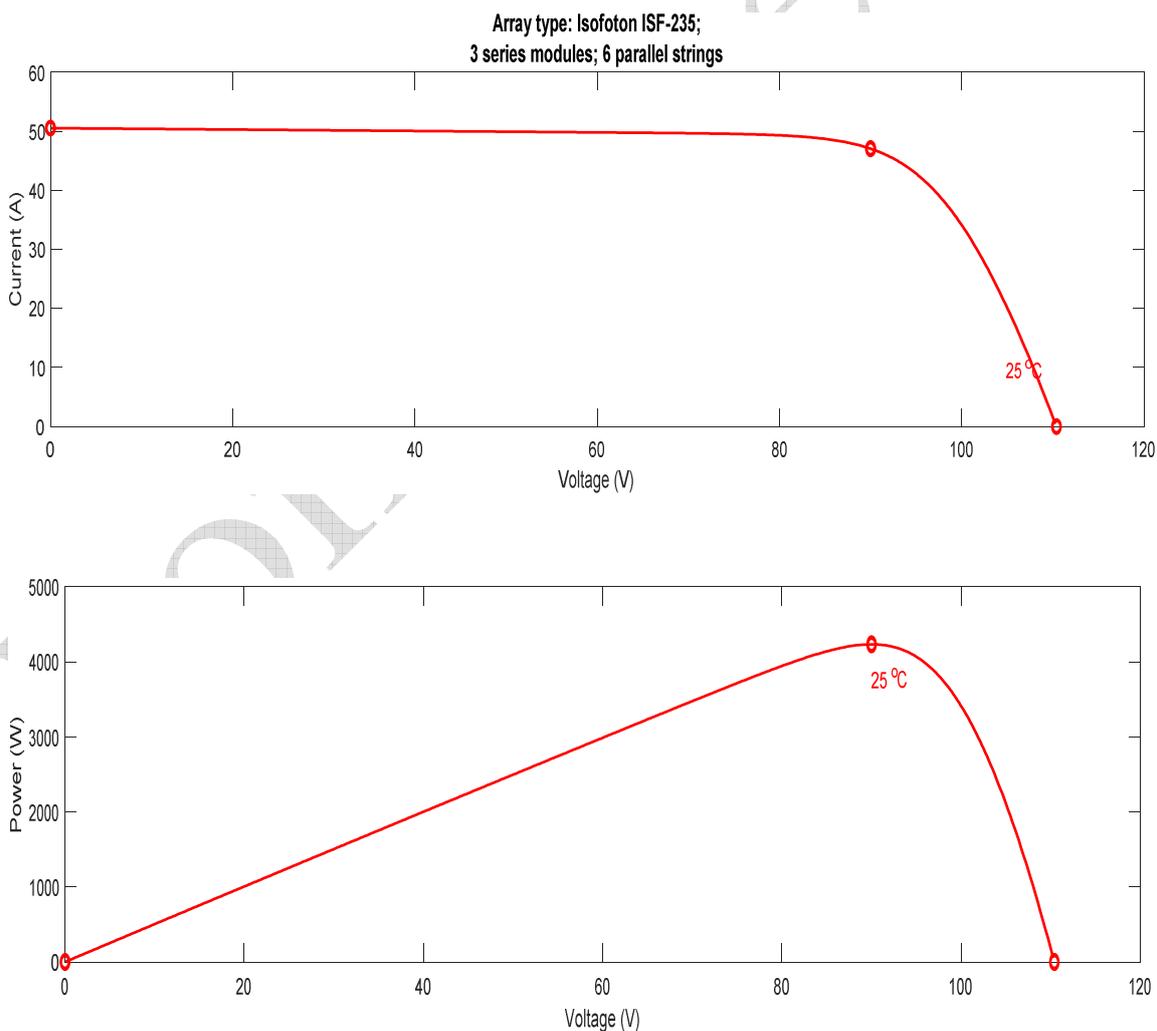


Figure III.3 Les caractéristiques I-V et P-V Pour différents éclairement et une Température $T=25^{\circ}C$

III.8 Eclairage fixe

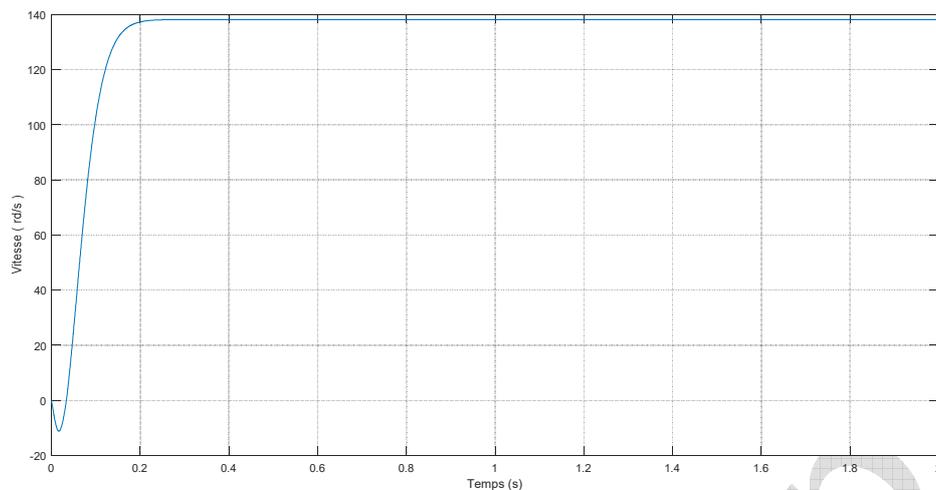


Figure III.4 Vitesse de rotor $\omega(t)$.

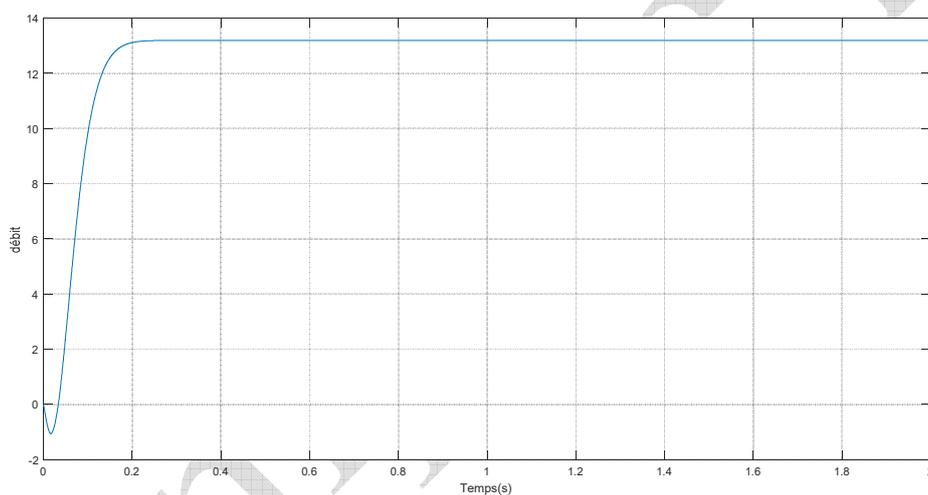


Figure III.5 Débit de la pompe $Q(t)$

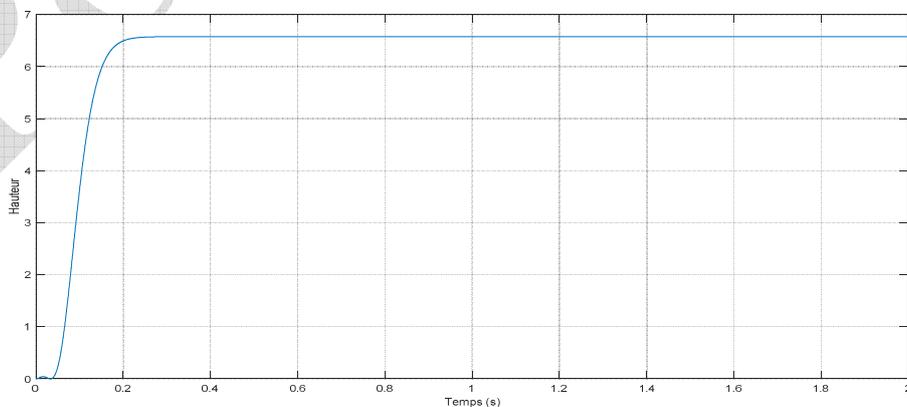


Figure III.6 : Hauteur manométrique de la pompe $H(t)$.

➤ Interprétation :

Le système est testé pour un éclairement de référence de 1000W/ et une température Ambiante de 25 C°. Les courbes obtenues montrent l'évolution de la vitesse, du débit et de la Hauteur. Il est très clair que les valeurs abouties ne sont pas maximales car la vitesse du moteur entraînant la pompe est limitée à 140 rd/s.

III.8.1 Eclairement variable selon un profil :

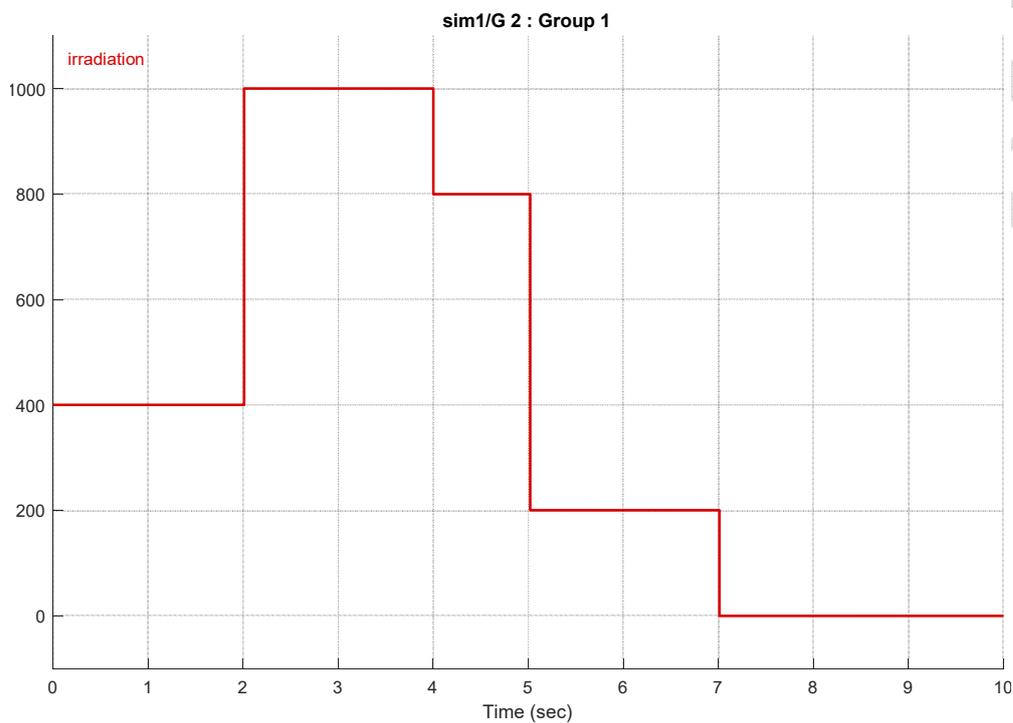


Figure III.7 : Variation de l'éclairement.

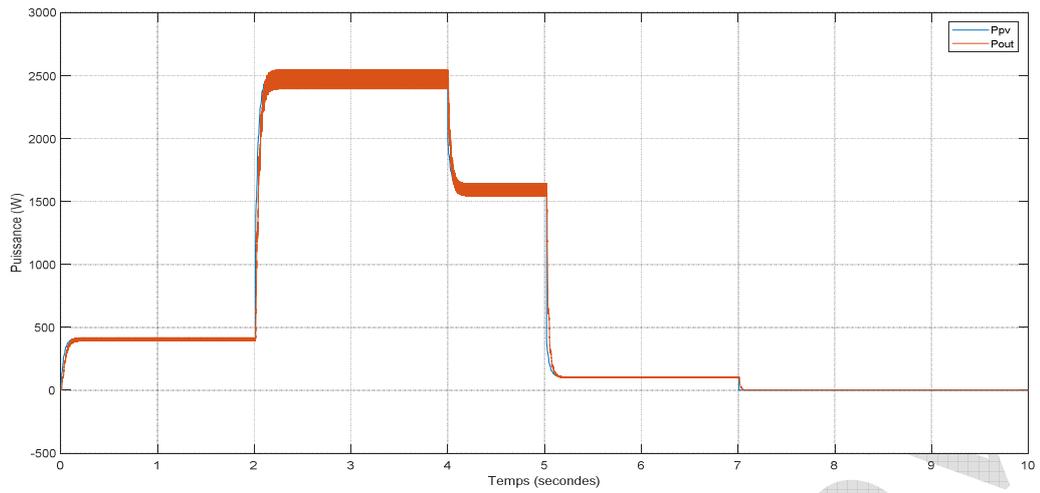


Figure III.8 : La puissance d'entrée P et de sortie P pompe

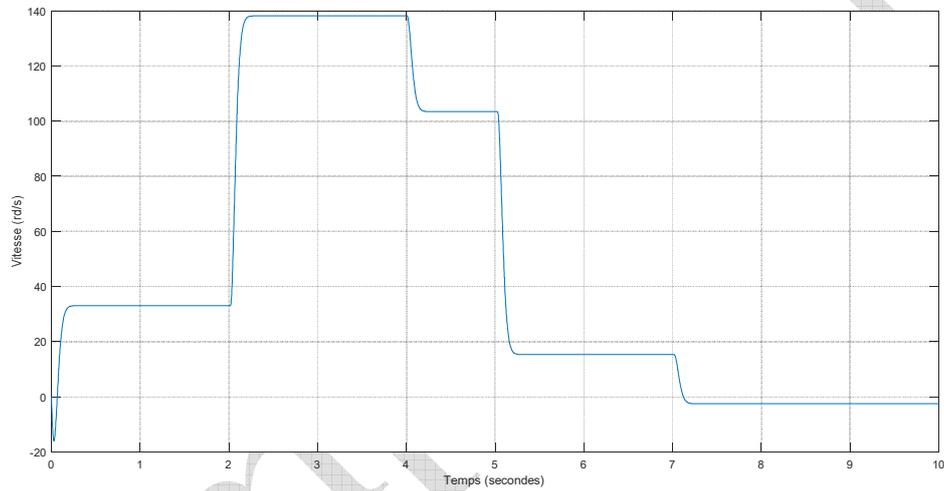


Figure III.9 : Vitesse du rotor ω (t).

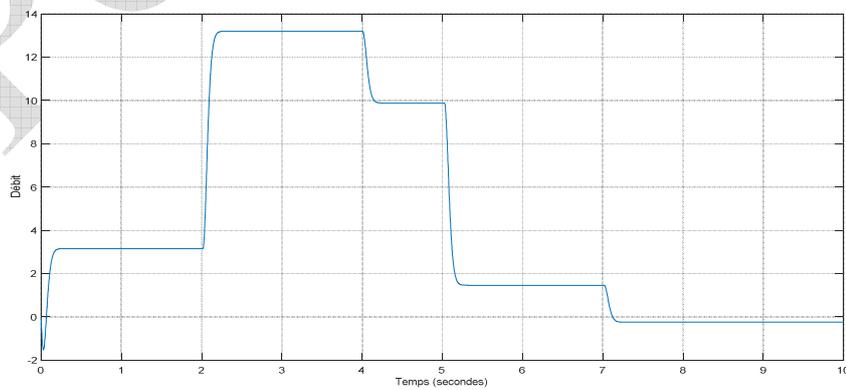


Figure III.10: Débit de la pompe Q(t)

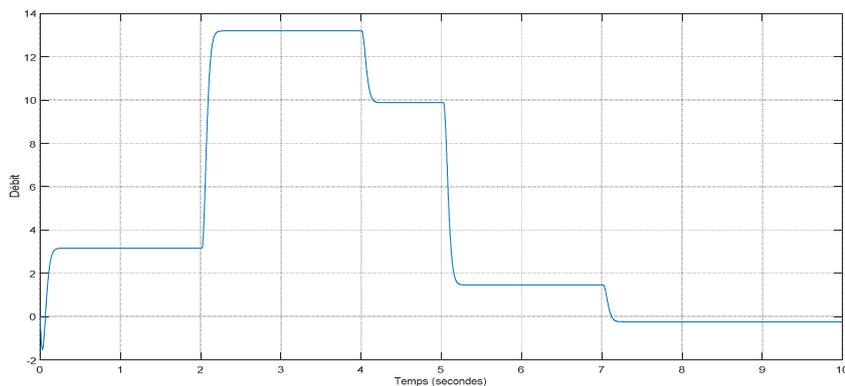


Figure III.11 : Hauteur manométrique de la pompe H(t)

III.8.2 Eclairage variable selon un deuxième profil :

Nous appliquons quatre niveaux d'éclairage ($E = 500 \text{ W/m}^2$, $E = 200 \text{ W/m}^2$, $E = 1000 \text{ W/m}^2$, $E = 800 \text{ W/m}^2$) successivement chaque 1s, tout en gardant une température constante égale 25°C .

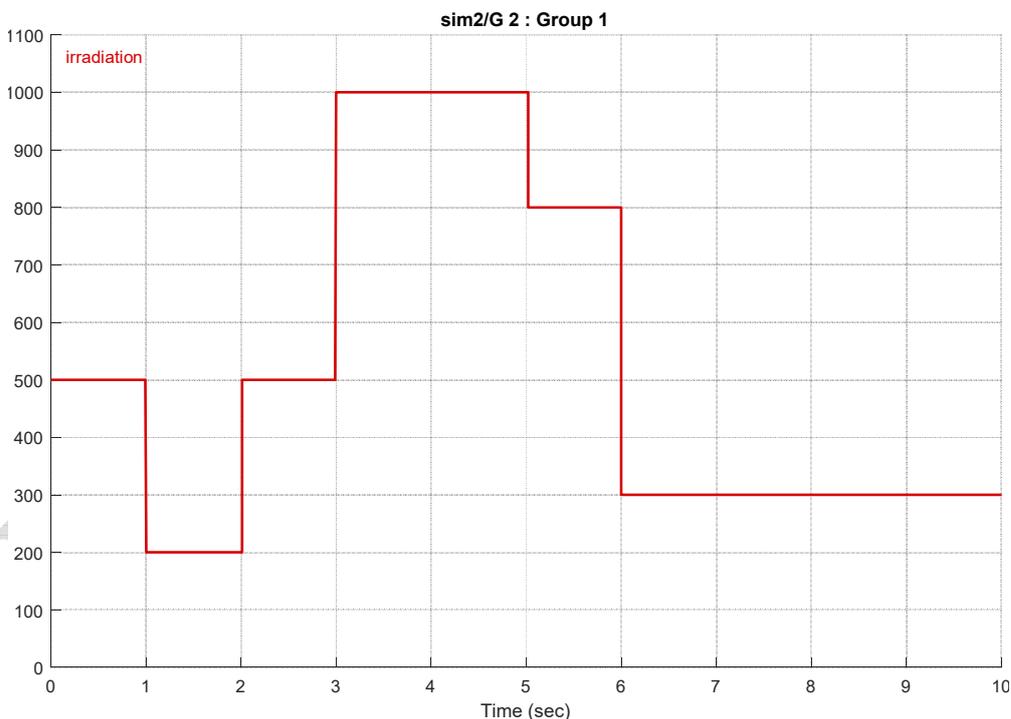


Figure III.12 : Variation de l'éclairage.

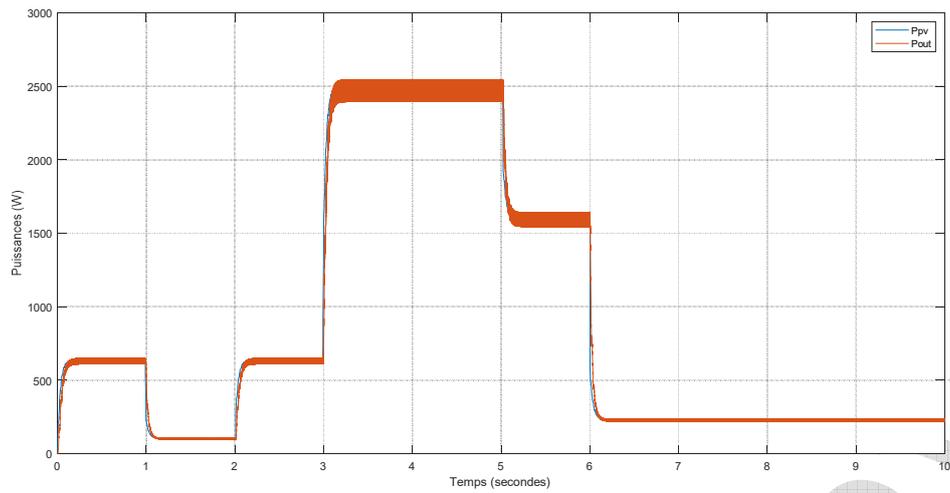


Figure III.13 : Variation de la puissance d'entrée P et de P pompe

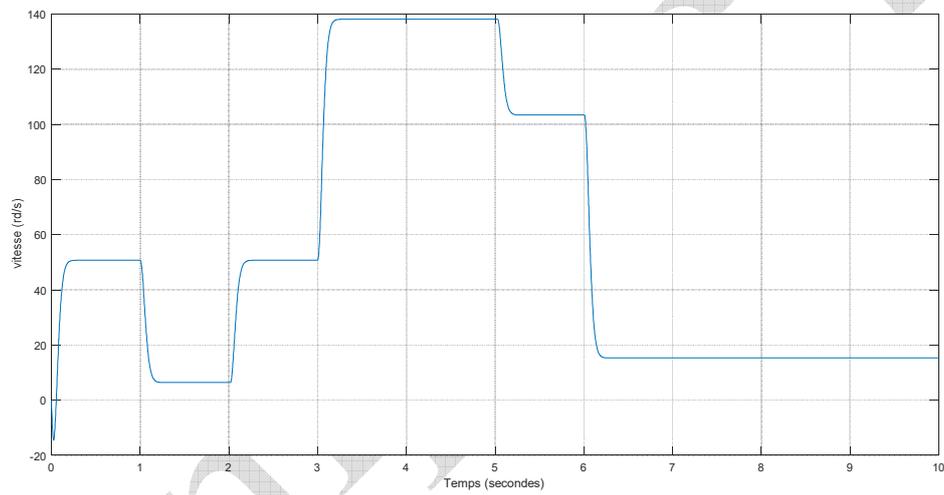


Figure III.14 : Vitesse du rotor ω (t).

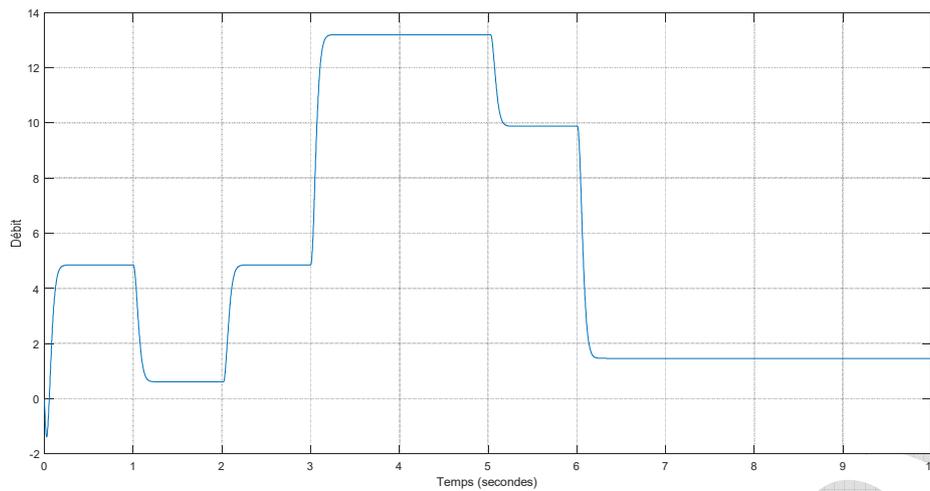


Figure III.15 : Débit de la pompe $Q(t)$

III .9 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté les résultats d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage et validé par la simulation de la chaîne de pompage complète.

La variation de l'éclairement en fonction du temps influe sur la vitesse du moteur qui dépend à son tour de la tension optimale et par la suite sur les performances de la pompe (hauteur et débit).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie propre, silencieuse, utilisable et gratuite dont l'utilisation connaît une croissance importante dans le monde. D'autre part, la demande d'électricité, qui est principalement utilisée dans les zones rurales et éloignées, augmente, en particulier pour les systèmes de pompage.

Ce travail est consacré à l'étude d'un système de pompage (au fil du soleil) couplé à un générateur photovoltaïque à travers des simulations.

Le travail qu'on a présenté sur l'étude d'une modalisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque. Adapté par une commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV.

Dans un premier temps, on a donné des généralités sur les systèmes photovoltaïques, principe de l'effet PV, cellules PV, ainsi que le générateur photovoltaïque. On a étudié, dans le deuxième temps, quelques types de convertisseurs (hacheur, onduleur).

On a étudié l'adaptation par le convertisseur DC-DC survolteur puis, on a représenté la structure de la commande MPPT numérique « perturbation, et observation ». Cette commande MPPT numérique utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale.

De plus, la modélisation et la simulation de différents sous-ensembles du système composé de : le hacheur, le moteur asynchrone et la pompe branchés sur un générateur photovoltaïque, dans l'environnement de programmation de MATLAB /SIMULINK, ont été développées.

Nous avons validé par simulation le système photovoltaïque-hacheur avec la commande MPPT et nous avons validé aussi le groupe Motopompe. Ce qui nous a permis de comprendre que :

- La commande à l'aide de l'adaptateur MPPT optimise la puissance fournie par le générateur PV en fonction de l'ensoleillement.
- La tension de sortie du hacheur BOOST est la seule grandeur qui peut contrôler la vitesse du moteur asynchrone.
- Comme la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur, le moteur devra avoir une grande vitesse pour assurer un bon débit.

Nous avons présenté aussi les résultats d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage et validé par simulation la chaîne de pompage complète.

Les résultats de simulation ont montré que les grandeurs principales d'une pompe (débit et hauteur) sont en fonction des conditions météorologiques.

Les résultats de simulation révèlent que notre système de pompage suit avec succès la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque dans toutes les conditions environnementales variables et assure l'approvisionnement en eau à tout moment.

Enfin, nous proposons, pour la suite de notre modeste travail, les perspectives suivantes:

- Le dimensionnement, dans la chaîne de pompage, des batteries de stockage pour pouvoir pomper l'eau même la nuit ;
- L'utilisation d'autres techniques intelligentes comme la logique floue, les réseaux de neurones artificiels pour l'optimisation du système de pompage photovoltaïque.

Pompage PV

BIBLIOGRAPHIE

Pompa2007

[1] : **SALAH MOHAMED AIT-CHEIKH** : « Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques ». Thèse de Doctorat d'Etat, Ecole Nationale Polytechnique Décembre 2007.

[2] : **Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy**: « Le Pompage Photovoltaïque ». Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens. Sous la direction d'Eric Schiller.

[3] : **M. T. Boukadoum, A. Hamidat et N. Ourabia** : « Le Pompage Photovoltaïque ». Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P.62, Route de l'Observatoire Bouzaréah 16340, Alger. Rev. Energ. Ren. : Zones Arides (2002) 69-73

[4]:WWW.WEAKEPDIRACOM.

[5]:**T.FROUMHERZ, F.PADINGER, D.GEBEYEHUR, C.BARBAREC, J.C.Himmelen**: «sanicifei comparison of photovoltaic devirces containg varions blends of polymer and fullereme derivaties».

[6] : **O. Gergaud**, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat, de l'école normale supérieure de CACHAN, décembre 2002.

[7] : **A.C. Pastor**: « Conception Et Réalisation De Modules Photovoltaïques Electroniques », Ecole Doctorale : GEET, Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes (LAASCNRS), Toulouse, 29 septembre 2006.

[8] : **A. Hadj Arab**: « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque de faible puissance », HCR, Thèse de Magister, 1989.

[9] :**Dj. Bellalia**: «contribution à l'optimisation des systèmes de conversion d'énergie. Application au système photovoltaïque» : Mémoire de magistère université de Batna 2007.

[10] :**J.Bonal** :« Entraînement électrique à vitesse variable : les variateurs électroniques de vitesse». Paris 1977.

[11] :**T.Wildi, G.Symbile** : Electrotechnique 3eme édition, Edition de Boeck, 2000.

[12] : **B. Alimarina, Z. Aoua** : « Etude et conception d'une armoire de commande à démarreur électronique progressif –application à un groupe électropompe d'une station de pompage d'eau potable », Mémoire DEUA en Electrotechnique, UMMTO 2006.

[13] **Chelbi anis et lblhoulen Aziz**, Etude d un system hybride autonome de master.

[14] **A. T.SINGO** Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride

[15] **K. EL-Melouani** «dimensionnement d'un hacheur survolteur». Application note de polytech Clermont-Ferrand, FRANCE,2010

[16] **Abbes, H., Abid, H., Loukil, K., Toumi, A., & Abid, M** «Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque » ; Revue des Energies Renouvelables, 2014, vol. 17, n 03, p. 435 – 445.

[17] **A.LOUADAH** «Modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque » Mémoire d'ingénieur en électromécanique; université de BEJAÏA, 2009.

[18]: **Ph. Barret:** « Régimes transitoires des machines électriques », Edition EYROLLES, 1987.

[19]: **J.A. Roger** « Theory of the Direct Coupling between DC Motors and Photovoltaic Solar Arrays », Solar Energy, 23, p. 193, 1979.

[20]: - **W. Anis and H.M.B. Metwally** « Dynamic Performance of a Directly Coupled PV Pumping System », Solar Energy,

Pompage bv