

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
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : sciences et technologies
Filière : électrotechniques
Spécialité : réseaux électriques

Thème

Etude d'un système de pompage photovoltaïque

Présenté Par :

- 1) Abdelmouméne Mokhtar
- 2) Melloul Hadjera

Devant les jurys composés de :

Mr Flitti Mohamed	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr Ayach Zouaoui	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mme Touhami .A	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

je dédie ce travail à ...

*Ma mère et mon père qui m'ont donné naissance et l'amour ;
ce qui je ne pourrais jamais exprimer leurs sacrifices, leur soutien
moral et physique le long de mes années d'études.*

Mes très chères sœurs.

Mes très chers frères.

Toute ma famille.

Tous mes amis.

Tous ceux que me sont chers

...

Remerciements

Tout d'abord on remercie Dieu qui nous a aidé et donner la force et la santé pour réaliser ce travail.

Ensuite, on tient à remercier vivement notre encadreur Mr Z. Ayache pour nous guidés tout le long de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont à toutes les personnes du département Génie Electrique de l'Université Ain témouchent qui ont contribué chacune à leur manière à la réalisation de ce travail. Je les adresse tout particulièrement .

Nous adressons aussi nos remerciements les plus sincères à Mr : Fliti Med pour l'honneur qui il nous a fait de présider ce jury.

On remercie également Md : Touhami d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail tout particulièrement à Mr Aissou.

On remercie chaleureusement nos familles et nos amis.

Tables des Matières

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Generateurs photovoltaïques	
1.1 Introduction.....	3
1.2 L'énergie solaire.....	3
1.2 Différents types de système PV.....	4
1.4 L'effet photovoltaïque.....	5
1.5 Le panneau solaire.....	5
1.6 Les différentes technologies photovoltaïques.....	6
1.6.1 Semi-conducteur.....	6
1.6.1.1 Formation de la jonction « PN».....	6
1.6.1.2 Dopage du silicium.....	7
1.6.2 Principe de Fonctionnement de la Cellule Photovoltaïque.....	8
1.7 Représentations électriques d'une cellule PV.....	8
1.7.1 Modèle de base [A].....	9
1.7.2 Modèle idéal [B].....	9
1.7.3 Modèle avec pertes ohmiques (modèle)[C].....	10
1.7.4 Modèle à deux diodes " modèle 1-D" [D].....	11
1.7.5 Modèle à deux diodes " modèle 2-D" [E].....	12
1.7.6 Autres modèles.....	13
1.8 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	14
1.8.1 Tension de circuit ouvert.....	15
1.8.2 Rendement énergétique.....	16
1.8.3 Facteur de forme.....	16
1.9 Générateur photovoltaïque et ses performances.....	16
1.9.1 Caractéristique Courant-Tension.....	17
1.10 Avantages et inconvénients du PV.....	18
1.10.1 Avantages du photovoltaïque.....	18
1.10.2 Inconvénients du photovoltaïque.....	19
1.11. Conclusion.....	20

Chapitre II : Pompage solaire

1.1 Introduction	21
2.2 Type de pompage solaire	21
2.2.1 Pompage sans stockage d'énergie (au fil du soleil)	21
2.2.2 Pompage avec stockage d'énergie	22
2.3 Configurations d'un système de pompage photovoltaïque	22
2.4 Le convertisseur DC/DC	24
2.4.1 Hacheur dévolteur	26
2.4.2 Hacheur survolteur	28
2.4.3 Hacheur dévolteur-survolteur	30
2.5 Commandes MPPT des convertisseurs DC-DC	31
2.5.1 Méthode de perturbation et d'observation (P&O)	32
2.5.2 Algorithme d'incrémentatation de l'inductance	34
2.6 Le groupe de moteur pompe	35
2.6.1 Classification selon la conception de la pompe	36
2.6.2 Classification selon le moteur utilisé	37
2.7 Conclusion	38

Chapitre III Simulation d'un Système de Pompage d'eau PV

3.1 Introduction	39
3.2 Système proposé	40
3.2 Simulation de module	41
3.3 Simulation de convertisseur Cúk	43
3.3.2 Sélection d'inductance	44

3.3.3 Sélection de condensateur	45
3.4 Simulation du moteur PMDC	46
3.5 Simulation du l'algorithme MPPT-P&O	46
3.3 Résultats de simulation du système	47
3.8 CONCLUSION	48
Conclusion générale	49

Introduction Générale

Introduction Générale

La consommation mondiale d'énergie observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie. Cette consommation ne cesse de croître alors que les ressources non renouvelables comme le charbon, les hydrocarbures et l'uranium, aisément exploitables mais épuisables, ne cessent de diminuer car leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. D'autre part, cette consommation rapide des combustibles fossiles engendre des effets secondaires (augmentation de la pollution, dérèglement climatique ...) pouvant hypothéquer l'avenir de l'humanité. Ce constat associé au souci croissant de protection de notre environnement entraîne une montée en puissance des énergies renouvelables, en particulier solaires et éoliennes, justement pour la production d'électricité renouvelables. En revanche, cette production se caractérise par un coût important, un rendement relativement faible et une intermittence de la ressource ayant un comportement aléatoire.

L'énergie photovoltaïque, basée sur la conversion du rayonnement électromagnétique solaire en électricité, représente l'une des ressources énergétiques renouvelables à part entière. Ainsi, nous pouvons considérer cette source d'énergie comme une des énergies renouvelables capable de produire de l'électricité en grande quantité sur le long terme sans trop émettre de gaz à effet de serre. Un système de pompage photovoltaïque est un système écologique ayant une longue durée de fonctionnement. La configuration la plus simple de ce type de système est composée d'un panneau photovoltaïque et d'une pompe représentant le couplage direct entre une source et une charge. Malheureusement, cette configuration ne permet pas toujours d'extraire la puissance maximale dont un panneau peut fournir vu que les paramètres météorologiques (ensoleillement et température) varient avec le temps. Cette perte de puissance peut être réduite en utilisant un module de poursuite du point de puissance maximale. Ce module peut être un convertisseur statique de type hacheur pour une pompe composée d'un moteur à courant continu ou d'un onduleur dans le cas d'une pompe à courant alternatif.

Dans ce contexte général, notre étude s'intéresse aux systèmes photovoltaïques (PV) utilisées dans le pompage d'eau, qui semble une des plus prometteuses filiales avec un taux de croissance mondial très élevé.

La partie commande du système de poursuite utilise un microcontrôleur bon marché dont la programmation se base sur un langage proche du langage C. L'algorithme de base effectue l'acquisition des grandeurs suivantes : la tension et le courant du générateur photovoltaïque, la vitesse de rotation de la partie moteur-pompe, la pression au niveau du conduit de refoulement de la pompe et le débit d'eau pompée. Ces grandeurs analogiques issues de capteurs sont converties en données numériques pour être traitées par le microcontrôleur.

Exécute le programme associé à une technique de poursuite qui exploite seulement un seul capteur. Cette poursuite du point de puissance maximale s'effectue en générant un signal MLI qui est appliqué au commutateur du convertisseur statique afin de contrôler le transfert d'énergie de la source vers la charge.

Le contenu de cette thèse est reparti sur trois chapitres dont le premier chapitre est consacré à la présentation générale des systèmes photovoltaïques. Une revue des différentes ressources renouvelables disponibles sur le territoire national ainsi que les caractéristiques principales des cellules et des panneaux solaires est exposée.

Le second chapitre présente les différentes caractéristiques des pompes et moteurs électriques employés dans un système de pompage solaire, l'alimentation doit être assurée au point maximal de la puissance (MPPT) quelles que soient les conditions météorologiques (température et éclairement), Les convertisseurs statiques cc/cc sont également décrits dans ce chapitre.

Le dernier chapitre décrit la modélisation et la simulation du système de pompage photovoltaïque avec et sans poursuite du point de puissance maximale. La fin de ce chapitre se consacre aux résultats de simulation qui permettent d'évaluer les performances de la technique

Chapitre 01 :

Générateurs

photovoltaïques

Chapitre I : Générateurs photovoltaïques

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 qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de la cellule PV en donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale [1].

Dans ce chapitre, nous commencerons par l'effet photovoltaïque puis la construction des cellules photovoltaïques et leur principe de fonctionnement. Puis nous présentons les principales caractéristiques d'un module photovoltaïque. Enfin le générateur solaire photovoltaïque et leurs performances.

I.2 L'énergie solaire

Des milliers d'appareils sont dessinés pour fonctionner grâce à l'énergie électrique, soit sous forme de courant continu de faible tension, soit à partir d'un courant alternatif de tension plus élevée. Il est très intéressant de produire de l'électricité avec une source d'énergie sûre et pas polluante, comme l'énergie solaire son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage.

Il existe deux méthodes pour pouvoir convertir l'énergie solaire en électricité figure I-1, On distingue :

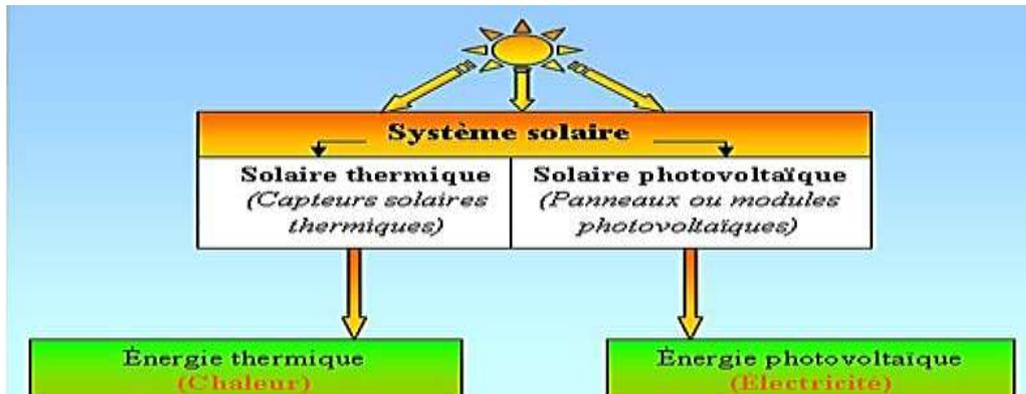


Figure I-1 : Type d'énergie solaire

1. Les systèmes de conversion thermodynamique.
2. Les systèmes directs, fondés sur les interactions physiques entre les photons de la radiation incidente et les électrons du matériau, l'effet photovoltaïque.

Le principe de l'énergie solaire photovoltaïque consiste à transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

I.3 Différents types de système PV

Ils sont classifiés selon le schéma suivant :

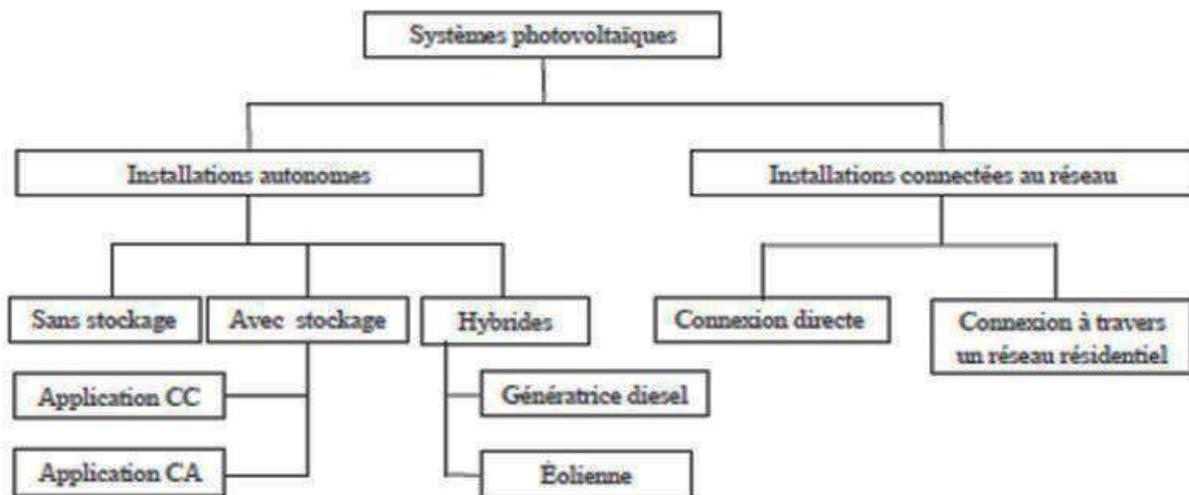


Figure I-2 : Classification des systèmes photovoltaïques [16]

I.4 L'effet photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » vient du Grec et qui signifie Lumière, il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et « Volta » du nom de famille du physicien italien Alessandro Volta (1745-1827), qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés" par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être "arrachés" :

Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque [3].

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

I.5 Le panneau solaire

Un panneau solaire est aussi désigné sous le nom capteur solaire. Un panneau solaire est un dispositif technologique qui sert à récupérer une partie du rayonnement solaire, en vue de convertir ce rayonnement en énergie solaire qui sera ensuite utilisable par les humains. En général, on distingue deux types de panneaux solaires, le panneau solaire thermique, qui convertit la lumière en chaleur, et le panneau solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité.

I.6 . Les différentes technologies photovoltaïques

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou polycristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium).

I.6.1 Semi-conducteur

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques parce qu'il est :

Le moins coûteux des semi-conducteurs, résistant aux températures assez élevées et très abondant dans la nature (28% de l'écorce terrestre sous forme de composés « silicates, silice », ce qui en fait une source quasi inépuisable), déjà utilisé dans tous les domaines de l'électronique.

Le silicium cristallin (mono ou multi) représente la majorité de la production mondiale d'énergie solaire (respectivement 29 % et 51% de la production mondiale) [5].

I.6.1.1 Formation de la jonction « PN »

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres.

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo- générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium.

Une jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode *figure (I.3)* [4].

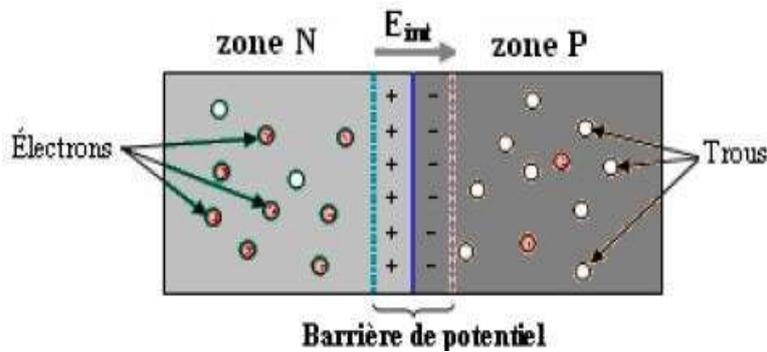


Figure I-3 : Jonction PN

I.6.1.2 Dopage du silicium

Les atomes de Si ont quatre électrons de valence, chacun étant lié à un atome Si voisin par une liaison covalente.

- **Dopage de type N** : Si un atome ayant cinq électrons de valence (le phosphore (P), l'arsenic (As) ou l'antimoine (Sb)) est incorporé dans le réseau cristallin, alors cet atome présentera quatre liaisons covalentes et un électron libre. Cet électron faiblement lié à l'atome peut être facilement excité vers la bande de conduction. Dans ce genre de matériau, le nombre d'électrons dépasse le nombre de trous.
- **Dopage de type P** : Si un atome trivalent (bore (Br.)) est substitué à un atome de silicium dans le réseau cristallin, alors il manquera un électron pour l'une des quatre liaisons covalentes des atomes de silicium adjacents et l'atome trivalent peut accepter un électron pour compléter cette quatrième liaison, formant ainsi un trou. Quand le dopage est suffisant, le nombre de trous dépasse le nombre d'électrons. [5].

I.6.2 Principe de Fonctionnement de la Cellule Photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [5]. La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la *figure (I.3)* ci-dessous

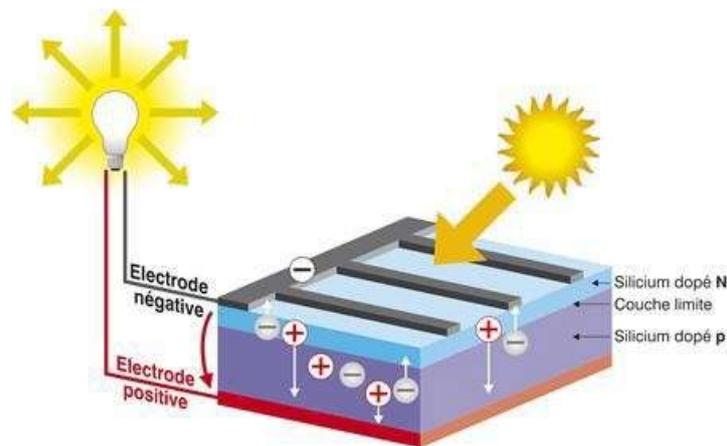


Figure I-4 : Structure d'une cellule photovoltaïque

I.7 Représentations électriques d'une cellule PV

De nombreux modèles mathématiques, ont été développés pour représenter le comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de la réalisation des cellules PV. On rencontre dans la littérature plusieurs modèles représentatifs pour la cellule PV qui diffèrent entre eux par la procédure et le nombre de paramètres intervenants dans le calcul de la tension et du courant final du générateur photovoltaïque

I.7.1 Modèle de base [A]

Le principe de l'effet photovoltaïque n'est autre que celui d'une diode, ainsi lorsque l'on éclaire la jonction PN, la cellule étant chargée par une résistance, on observe l'apparition d'un courant I traversant une charge, et une tension V à la borne de cette charge [A] figure (I-5).

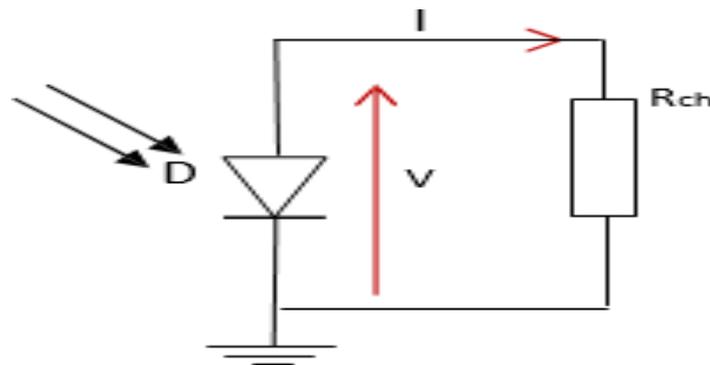


Figure I-5 : Schéma d'application de l'effet photovoltaïque

I.7.2 Modèle idéal [B]

La réflexion précédente nous permet d'aboutir au modèle électrique équivalent de la cellule photovoltaïque représentée dans *la figure (I.6)*, appelé le modèle idéal. C'est le modèle le plus simple pour représenter la cellule solaire, car il ne tient compte que du phénomène de diffusion. Le circuit équivalent simplifié d'une cellule solaire se compose d'une diode et d'une source de courant montés en parallèle [B]. La source du courant produit le photon courant qui est directement proportionnel à l'éclairement solaire G .

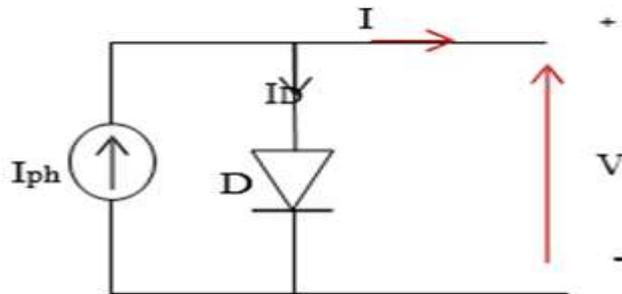


Figure I-6 : Circuit équivalent d'une cellule PV –Model idéal

L'équation courant tension I-V du circuit équivalent est donné comme suit :

$$I = I_{ph} - I_D \quad I-1$$

I: courant fourni par la cellule.

I_{ph} : photon-courant de la cellule proportionnelle à l'éclairement (G)

$$I_D = I_{sat} \left[\exp\left(\frac{V}{a.V_T}\right) - 1 \right] \quad I-2$$

$$\text{Avec : } V_T = \frac{K.T}{q} \quad I-3$$

Donc l'équation du courant délivré par une cellule photovoltaïque est décrite comme suit :

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{V}{a.V_T}\right) - 1 \right] \quad I-4$$

I_{sat} : Courant de saturation inverse de la diode, V_T : Potentielle thermodynamique, K: la constante de Boltzmann (1.38.10⁻²³Joules/Kelvin), T:la température de la cellule en Kelvin , q : charge d'un électron =1,6.10⁻¹⁹ C, a:le facteur d'idéalité de la jonction, V:la tension aux bornes de la cellule.

1.7.3 Modèle avec pertes ohmiques (model) [C]

Ce modèle tient compte de la résistivité du matériau et des pertes ohmiques dues aux niveaux des contacts, ce qui permet une meilleure représentation du comportement

électrique de la cellule par rapport au modèle idéal [A, B]. Ces pertes sont représentées par une résistance série dans le circuit équivalent représenté ci-dessous :

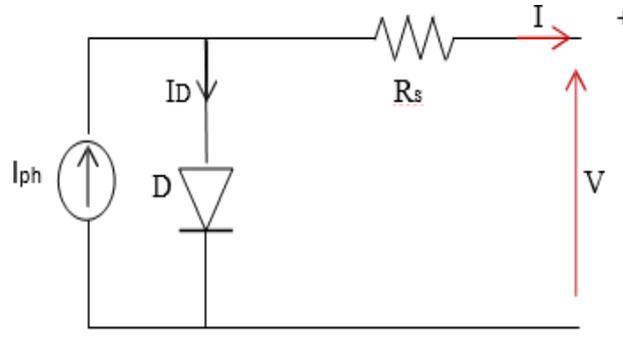


Figure I-7 : Circuit équivalent d'une cellule PV --Model C

Après analyse du circuit, l'équation courant- tension est donnée comme suit :

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V + (I \cdot R_s)}{a \cdot V_T} \right) - 1 \right) \quad I-5$$

R_s : La résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions

1.7.4 Modèle a une diode " modèle 1-D " [D]

Ce modèle est désigné aussi par -Model. Ce model tient compte non seulement des pertes en tension exprimée par la résistance série mais aussi des fuites de courants exprimées par une résistance parallèle [A, B, C, D]. C'est le modèle sur lequel s'appuient les constructeurs en donnant les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires (data sheet).il est aussi considéré satisfaisant et même une référence pour les constructeurs pour cataloguer typiquement les modules solaires.

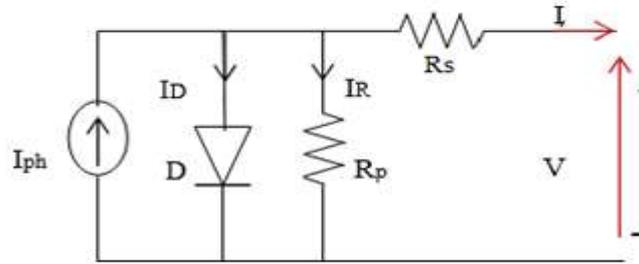


Figure I-8 : Circuit équivalent d'une cellule PV –Modèle 1-D

L'équation du courant délivré par la cellule photovoltaïque est décrite comme suit :

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{V + (I \cdot R_s)}{a \cdot V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + (I \cdot R_s)}{R_p} \quad I-6$$

R_p : la résistance modélisant les courants de fuites de la jonction

1.7.5 Modèle a deux diodes " modèle 2-D "[E]

Ce modèle est dit le plus proche du comportement réel de la cellule solaire, du fait qu'il tient compte du mécanisme du transfert des charges à l'intérieur de la cellule, la diode supplémentaire permet de reproduire dans le schéma équivalent les effets chimiques de recombinaison des électrons [B, C, D, E].

Les modèles à diode unique ont été fondés sur l'hypothèse que la perte de recombinaison dans la région d'appauvrissement est absente. Dans une cellule solaire réelle, la recombinaison représente une perte considérable, qui ne peut être adéquatement modélisés en utilisant une seule diode. L'examen de cette perte entraîne un modèle plus précis connu par le modèle à deux diodes. Toutefois, l'inclusion de la diode supplémentaire augmente les paramètres à sept nouveaux paramètres. Le principal défi est maintenant d'estimer les valeurs de tous les paramètres du modèle, tout en maintenant un effort de calcul raisonnable.

Le modèle à deux diodes est présenté comme suit :

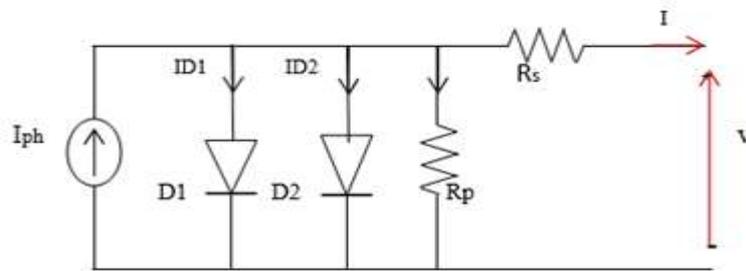


Figure I-9 : Schéma électrique équivalent d'une cellule en silicium cristallin-
modèle 2-D

L'équation suivante décrit le courant de sortie de la cellule photovoltaïque pour le modèle à deux diodes:

$$I = I_{ph} - I_{sat1} \left[\exp \left(\frac{V + (I \cdot R_s)}{a_1 \cdot V_{T1}} \right) - 1 \right] - I_{sat2} \left[\exp \left(\frac{V + (I \cdot R_s)}{a_2 \cdot V_{T2}} \right) - 1 \right] \left(\frac{V + (I \cdot R_s)}{R_p} \right) \quad I-7$$

Avec :

I_{sat1} : Courant de saturation inverse de la diode D1.

I_{sat2} : Courant de saturation inverse de la diode D2.

V_{T1} : potentielle thermodynamique de la diode D1.

V_{T2} : potentielle thermodynamique de la diode D2.

a_1 : le facteur d'idéalité de la jonction de la diode D1.

a_2 : le facteur d'idéalité de la jonction de la diode D2.

I.7.6 Autres modèles

De nombreux auteurs ont proposés des modèles plus sophistiqués qui représentent avec plus de précision le phénomène photovoltaïque. On recense ainsi le modèle à trois diodes, la troisième diode incluant dans le schéma équivalent les effets non pris en compte dans la représentation c'est que le nombre de paramètre inconnus augmente en augmentant le nombre de diodes dans le schéma électrique. D'autre part,

des modèles plus simplifiés voient aussi le jour : la valeur de la résistance étant généralement haute, elle est donc souvent supposée infinie et donc négligée dans les modèles courants [B, E] de même, la valeur de la résistance étant généralement basse, les auteurs de modèles équivalents posent souvent $=0$ et donc néglige de sorte que l'on revient alors au circuit équivalent du modèle idéal. Mais, malheureusement ce modèle perd en précision

I.8 . Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

La figure (I.9) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairement. Il correspond à un générateur de courant monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule :

- La résistance série (R_{ser}) est la résistance interne de la cellule : elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de Contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt (R_{shu}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée [1].

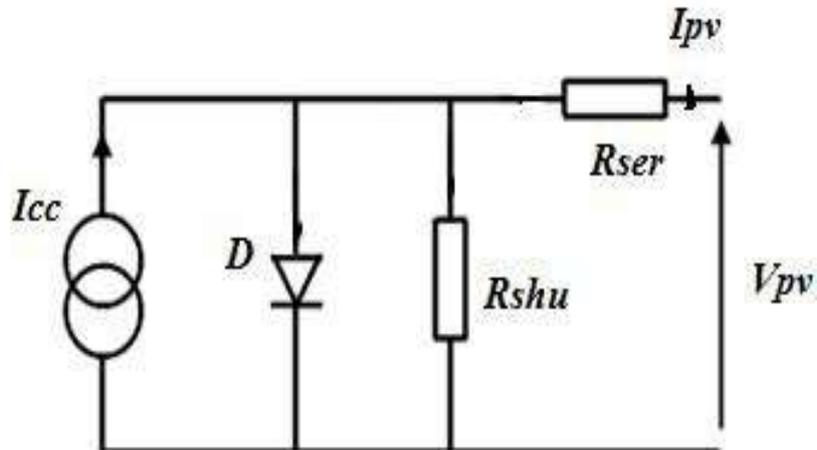


Figure I-10 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV

I.8.1 Tension de circuit ouvert

C'est la tension continue obtenue aux bornes d'un panneau sous un ensoleillement constant sans aucune circulation de courant (le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul) *figure(I.11)* on appelle cette tension la tension de circuit ouvert (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque). [2]

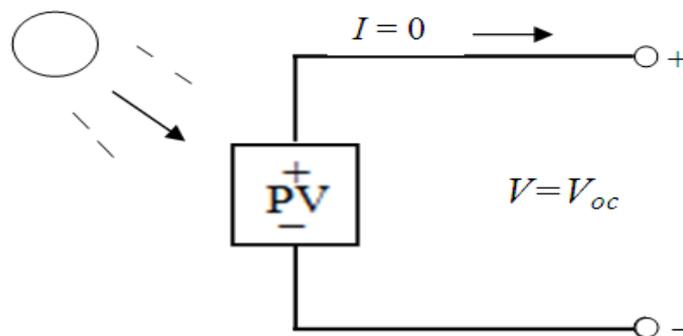


Figure I-11 : Tension de circuit ouvert [6]

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{V_{pv}}{n.KT}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv}}{R_{shu}} \quad I-8$$

$$V_{co} = V_T \cdot \ln\left[\exp\left(\frac{T_{ph}}{I_{sat}}\right) + 1\right] \quad I-9$$

1.8.2 . Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $P_{max}(I_{opt} \cdot V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{P_{inc}} \quad I-10$$

Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

1.8.3 Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule et le produit du courant de court-circuit par la tension de circuit-ouvert (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites et il est défini par :

$$FF = \frac{p_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_o} \quad I-11$$

1.9 Générateur photovoltaïque et ses performances

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur

est fonction de la puissance d'ensoleillement E . Il est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit.

Très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement et nécessitent une intensité régulière. On équipe alors le système de batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu [3].

Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur photovoltaïque, est convertit à l'aide d'un onduleur en courant alternatif.

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées (tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert). Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un et un désiré [3].

1.9.1 Caractéristique Courant-Tension

La figure (I.12) représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

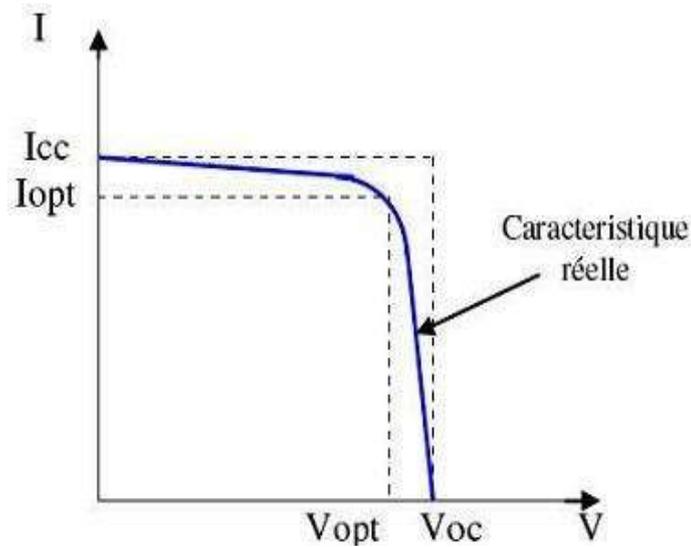


Figure I-12 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque [7].

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un module photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le module photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point P_m où la puissance se trouve être maximale. Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée.

Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P_m [6].

I.10 Avantages et inconvénients du PV

En tant que source d'énergie électrique, un système photovoltaïque offre des avantages mais aussi des inconvénients.

I.10.1 Avantages du photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques offrent les avantages suivants :

- L'installation 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.
- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Méga Watt.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions

I.10.2 Inconvénients du photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques ont les inconvénients suivants :

- La fabrication des panneaux solaires photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux. Cela se traduit dans le prix de l'installation qui, aujourd'hui, reste chère.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20% (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.

- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an.

I.11 Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. Ensuite on fait un rappel sur les systèmes PV et leurs performances.

Dans le chapitre prochain, on présentera une étude sur les convertisseurs DC-DC (hacheurs) et leurs commande MPPT pour chercher le point où la puissance du générateur photovoltaïque est maximale.

Chapitre 02 :

Pompage

solaire

Chapitre II : Pompage solaire

II.1 Introduction

Dans nos jours, la demande d'eau est plus en plus importante. Le problème se multiplie en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service. Dans ce chapitre on traite plus particulièrement les éléments nécessaires qui consistent une station de pompage solaire.

II.2 Type de pompage solaire

Deux méthodes de pompage d'eau sont possibles avec un système photovoltaïque.

II.2.1 Pompage sans stockage d'énergie (au fil du soleil) [13]

Le pompage sans stockage d'énergie figure (II-1) permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin

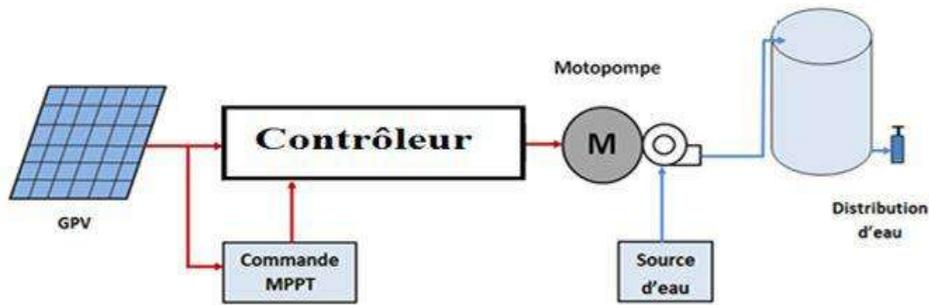


Figure II-1 : Pompage au fil du sol

II.2.2 Pompage avec stockage d'énergie : [13][17]

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries figure (II-2). Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.

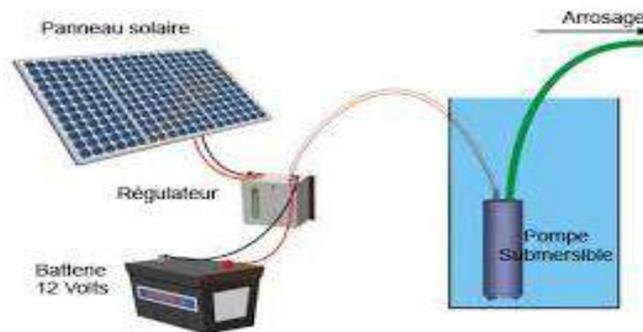


Figure II-2 : Pompage avec stockage d'énergie

II.3 Configurations d'un système de pompage photovoltaïque

Le pompage solaire photovoltaïque au fil du soleil représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent. Ce type de système est très simple car il est composé d'un couplage direct entre le générateur photovoltaïque et la pompe et il est destiné pour une durée de pompage tout au long de la journée [15,16]. Dans ce cas, le stockage d'énergie peut se faire de deux façons, stockage d'énergie électrique, ou stockage d'eau. Cette dernière solution est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux,

fragiles, et nécessitant un entretien. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20 % à 30 % de la production d'énergie.

La simplicité d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil se heurte au problème d'adaptation de charge puisque le couplage direct ne permet pas au générateur de délivrer sa puissance maximale durant une journée complète. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale car l'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. L'approche du problème consiste à intercaler entre le générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) pour effectuer le transfert optimal de puissance. Par conséquent, le système de pompage solaire sera généralement composé d'un générateur photovoltaïque, d'un groupe moteur-pompe, d'un dispositif électronique de commande et de contrôle, et d'une partie de stockage.

La figure II-3 montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple.

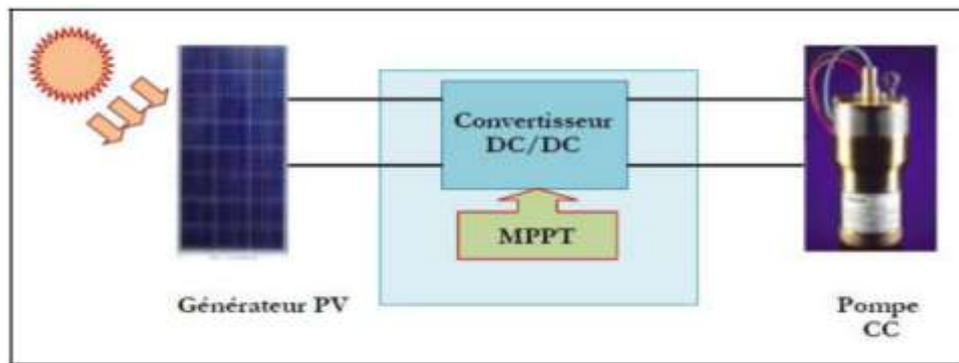


Figure II-3 : Système de pompage utilisant le moteur à courant continu

Une autre solution est possible, l'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste moins cher et sans entretien devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe. L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de

l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur figure(II-4).

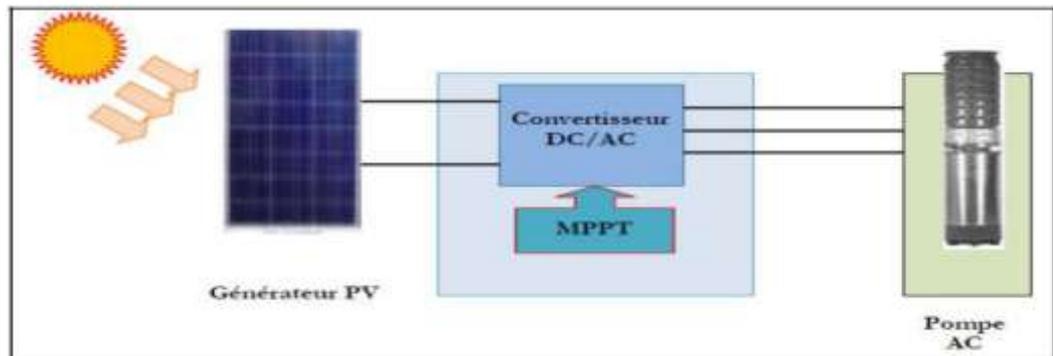


Figure II-4 Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif

II.4 Le convertisseur DC/DC

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs [7].

La technique du découpage, apparue environ dans les années soixante, a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries. Dans une alimentation à découpage, la tension d'entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un transistor alternativement passant et bloqué. Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue [7].

D'un point de vue circuit, le hacheur apparaît comme un quadripôle figure (II.5), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties d'un réseau. On peut le considérer comme un transformateur de grandeurs électriques continues [7].

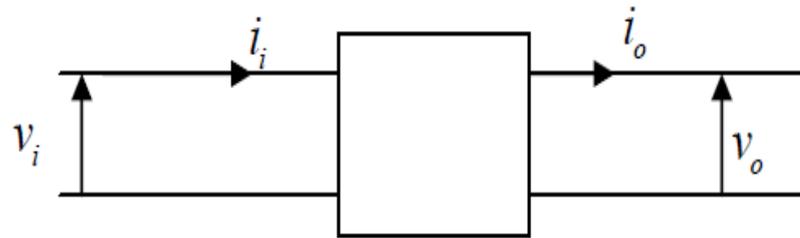


Figure II-5 : Schéma d'un quadripôle électrique

La régulation de la tension de sortie à un niveau constant est réalisée par une action sur le "rapport cyclique", défini comme la fraction de la période de découpage où l'interrupteur est passant figure (II.6). L'interrupteur est un dispositif semi-conducteur en mode tout-rien (bloqué – saturé), habituellement un transistor MOSFET. Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro et par conséquent sa dissipation de puissance est nulle. Si le dispositif est dans l'état saturé la chute de tension à ses bornes sera presque zéro et par conséquent la puissance perdue sera très petite [7].

Pendant le fonctionnement de l'hacheur, le transistor sera commuté à une fréquence constante f_s avec un temps de fermeture $=Tsd$ et un temps d'ouverture $= (1-d) Ts$. Où:

- T_s est la période de commutation qui est égale à $\frac{1}{f_s}$.
- d le rapport cyclique du commutateur ($d \in [0, 1]$).

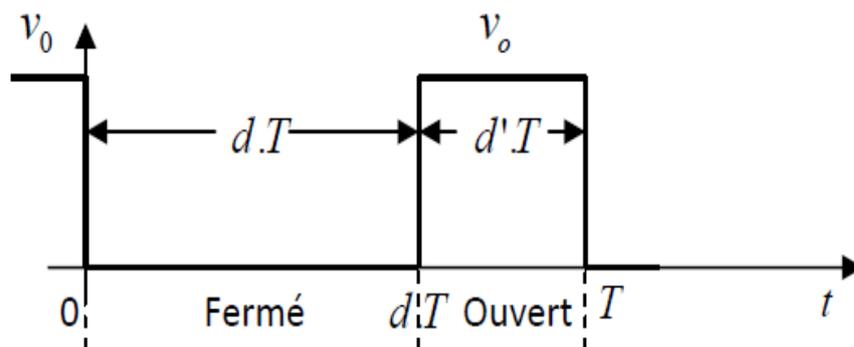


Figure II-6 : Périodes fermeture et ouverture d'un commutateur

Il existe plusieurs types des convertisseurs DC-DC. Parmi les quels, on présente le principe des trois types des convertisseurs à découpage (dévolteur, survolteur et mixte), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux solaires avec les différentes charges [1,2, 7,8].

II.4.1 Hacheur dévolteur

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de l'hacheur buck ou hacheur série. La figure (II.4) présente le schéma de principe du convertisseur dévolteur [7]. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion $M = \frac{V_o}{V_i}$ change avec le rapport cyclique du commutateur.

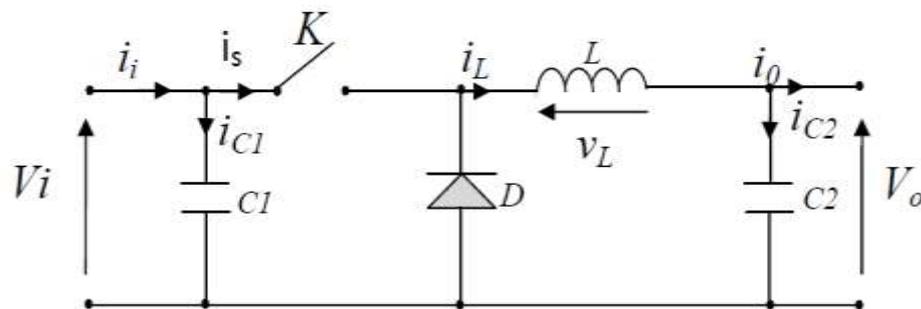


Figure II-7 : Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur.

Etudier le comportement réel de ce convertisseur, nécessite de connaître en détail son modèle mathématique.

Pour cela, nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (II.8) montre les schémas des circuits équivalents d'un convertisseur dévolteur dans les deux cas : l'interrupteur fermé pendant dT_s et l'interrupteur ouvert pendant $(1-d) T_s$ [1, 2, 7, 8].

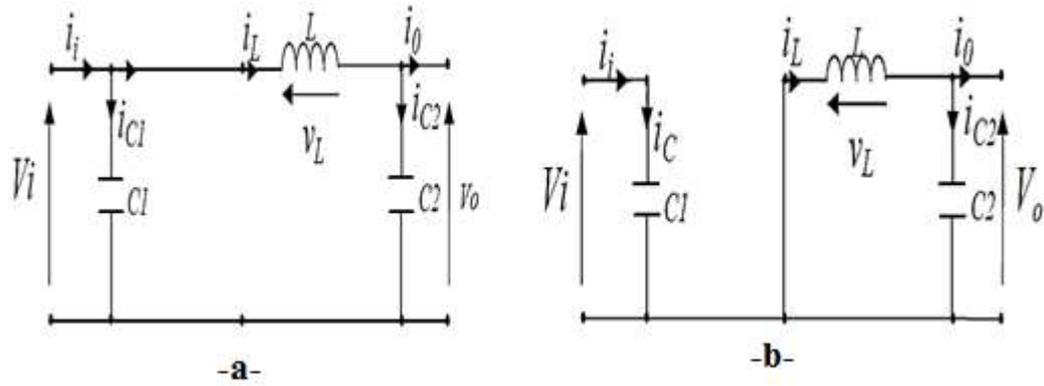


Figure II-8 : Schémas équivalents du hacheur dévolteur (a) : K fermé, (b) : ouvert

En appliquant les lois de Kirchhoff sur les deux circuits de la figure (II.8), on obtient les systèmes d'équations suivants :

Pour la première période $d.T_s$:

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = C2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad II-1$$

Pour la deuxième période $(1-d) T_s$:

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) \\ i_{c2}(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = -V_o(t) \end{cases} \quad II-2$$

Pour trouver une représentation dynamique valable pour tout la période T_s , on utilise généralement l'expression suivante [7] :

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{T_s} = \frac{dx}{dt}_{dT_s} dT_s + \frac{dx}{dt}_{(1-d)T_s} (1-d) T_s \quad II-3$$

En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.1) et (II.2), on obtient les équations qui régissent le système sur une période entière :

$$\begin{cases} C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} T_s = dT_s (i_i - i_L) + (1-d)T_s i_i \\ C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} T_s = dT_s (i_L - i_0) + (1-d)T_s (i_L - i_0) \\ L \frac{di_L}{dt} = dT_s (V_i - V_0) + (1-d)T_s (-V_0) \end{cases} \quad II-4$$

Après arrangement, on obtient le modèle mathématique finale du convertisseur abaisseur :

$$\begin{cases} i_0(t) = i_L(t) - C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} \\ i_L(t) = \frac{1}{d} (i_i(t) - C_1 \frac{dV_i(t)}{dt}) \\ V_i(t) = \frac{1}{d} (L \frac{di_L}{dt} + V_0(t)) \end{cases} \quad II-5$$

II.4.2 Hacheur survolteur [7]

Ce dernier est un convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « boost » ou l'hacheur parallèle ; son schéma de principe de base est celui de la figure (II.9). Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure [7].

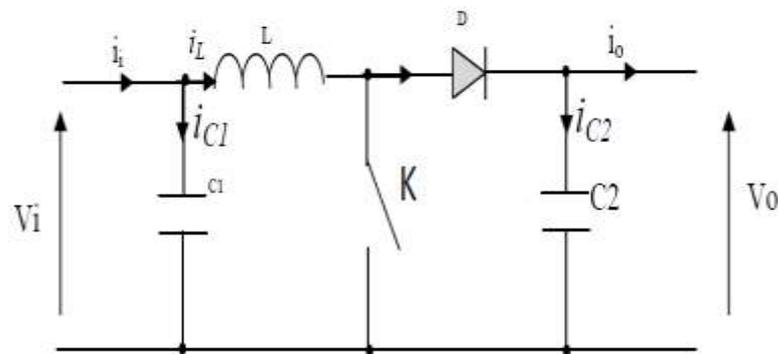


Figure II-9 : Schéma de principe d'un convertisseur Boost

Comme pour le convertisseur dévolteur, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents du convertisseur survolteur des deux phases de fonctionnement donne figure (II.10)

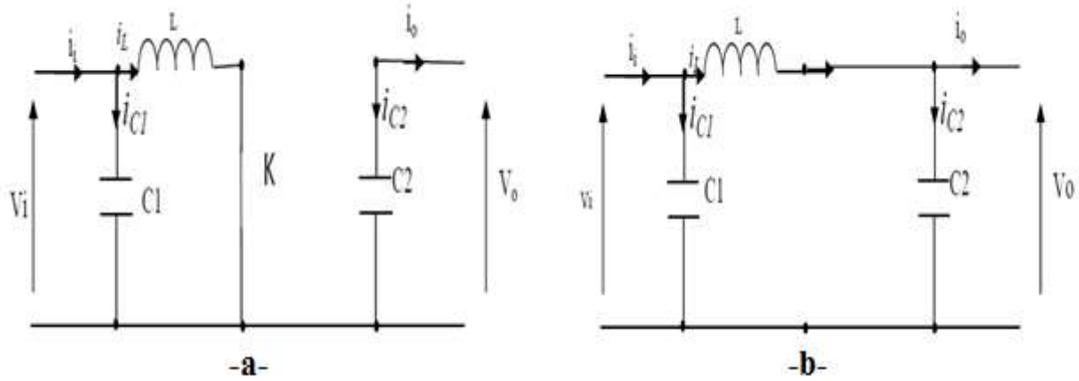


Figure II-10 : Schémas équivalents du hacheur survolteur, K fermé, (b) : ouvert

Pour la première période $d.T_s$:

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = -V_i(t) \end{cases} \quad II-6$$

Pour la deuxième période $(1-d)T_s$

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad II-7$$

En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.6) et (II.7), Comme pour le convertisseur dévolteur, on trouve le modèle approximé du convertisseur survolteur :

$$\begin{cases} i_L = i_i - C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} \\ i_o = (1-d)i_L - C_2 \frac{dV_i(t)}{dt} \\ V_i(t) = L \frac{di_L}{dt} = (1-d)V_o \end{cases} \quad II-8$$

II.4.3 Hacheur dévolteur-survolteur [7]

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée ; son schéma de base est illustré par la figure (II.11)

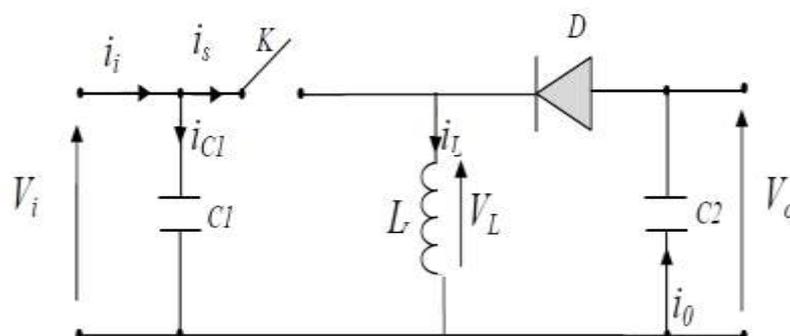


Figure II-11 : Convertisseur dévolteur-survolteur

La figure (II.12) montre les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur-survolteur pour les deux cycles de fonctionnement [7].

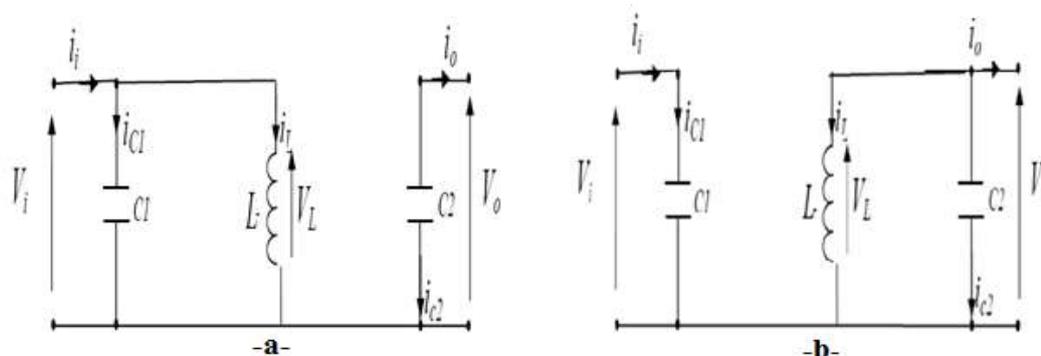


Figure II-12 : Schémas équivalents du hacheur dévolteur-survolteur,

(a) : K fermé, (b) : K ouvert

En appliquant la loi de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents du convertisseur dévolteur-survolteur des deux phases de fonctionnement, on obtient :

Pour la première période d.Ts :

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = -i_0(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = V_i(t) \end{cases} \quad II-9$$

Pour la deuxième période $(1-d)T_s$

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = i_L(t) - i_0(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = V_0(t) \end{cases} \quad II-10$$

En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.9) et (II.10), on trouve le modèle approximé du convertisseur dévolteur-survolteur [7] :

$$\begin{cases} i_L = \frac{1}{d} \left(i_i - C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} \right) \\ i_0(t) = -(1-d)i_L - C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} \\ V_i(t) = \frac{1}{d} \left(-(1-d)V_0 + L \frac{di_L}{dt} \right) \end{cases} \quad II-11$$

II.5 Commandes MPPT des convertisseurs DC-DC [14]

Pour améliorer le rendement d'un système photovoltaïque, il faut faire travailler les modules photovoltaïques dans la zone de fonctionnement où la puissance débitée est maximale, ce qui permet d'avoir un transfert optimal de l'énergie de la source vers la charge. Une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre les modules photovoltaïques et la charge électrique un convertisseur statique afin de rechercher et d'atteindre le **point de puissance maximale** (PPM).

Les commandes du MPPT sont classifiées d'une manière générale, selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classifier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande du MPPT. Bien qu'il existe un grand nombre de publications scientifiques qui présentent des commandes du MPPT plus ou moins complexes [2, 7].

Les figure (II-1) et (II-2) montrent le diagramme synoptique d'un système de pompage photovoltaïque, avec un module MPPT qui a pour entrées la tension et le courant de sortie du module [4]. Dans la plupart des cas, on fait une maximisation de la puissance fournie par le module solaire.

Ces méthodes sont basées sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le point de fonctionnement du module solaire pour que la puissance générée soit maximale sans interruption de fonctionnement du système. Elles ne sont pas basées sur des valeurs de références prédéfinies ou à partir des paramètres opérationnels, mais sur la maximisation permanente de la puissance générée par les modules photovoltaïque PV.

La puissance extraite du module est calculée à partir des mesures de courant I et de tension V du module et la multiplication de ces deux grandeurs. $P_{PV} = I_{PV} * V_{PV}$

Ces mesures sont utilisées par diverses méthodes qui poursuivent le MPP réel [2,8].

II.5.1 Méthode de perturbation et d'observation (P&O)

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement, elle peut dépister le point maximum de puissance même lors des variations de l'éclairement et la température [2].

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension V_{pv} et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du panneau photovoltaïque.

La figure (II.13) représente l'algorithme de la méthode P&O. À chaque cycle, V_{pv} et I_{pv} sont mesurés pour calculer $P_{pv}(k)$. Cette valeur de $P_{pv}(k)$ est comparée à la valeur $P_{pv}(k-1)$ calculée au cycle précédent. Si la puissance de sortie a augmenté, V_{pv} est ajustée dans la même direction que dans le cycle précédent. Si la puissance de sortie a diminué, V_{pv} est ajustée dans la direction opposée que dans le cycle précédent. V_{pv} est ainsi perturbée à chaque cycle de MPPT.

Quand le point de puissance maximale est atteint, V_{pv} oscille autour de la valeur optimale V_{op} . Ceci cause une perte de puissance qui augmente avec le pas de l'incrément de la perturbation. Si ce pas d'incrément est large, l'algorithme du MPPT répond rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement

D'autre part, si le pas est petit, les pertes, lors des conditions de changements atmosphériques lents ou stables, seront inférieures mais le système ne pourra pas répondre rapidement aux changements rapides de la température ou de l'éclairement. Le pas idéal est déterminé expérimentalement en fonction des besoins [8].

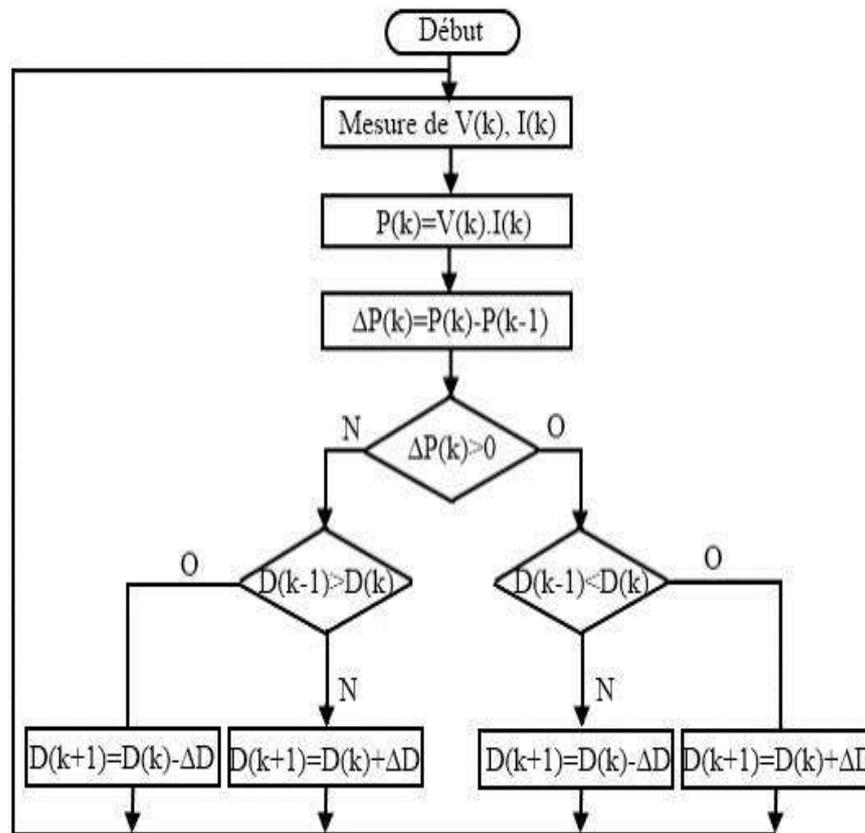


Figure II-13 : Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation

Si une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite, on aura une augmentation de la puissance du panneau.

L'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui l'éloigne du vrai point de puissance maximale.

Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains de fonctionnement et des pertes de puissance [8].

Pour remédier à l'inconvénient majeur de la déviation de cette méthode lors de la recherche du MPP durant l'augmentation rapide des niveaux d'insolation, une version améliorée de cet algorithme est proposée, où on introduit une nouvelle condition dans la branche « *Oui* » de condition $\Delta P(k) > 0$ dans la structure de l'organigramme de l'algorithme de P&O [1,2, 8].

II.5.2 Algorithme d'incrémental de l'inductance

Dans cet algorithme la dérivée de la puissance de sortie du panneau est calculée d'une autre manière. Elle est calculée en fonction de la tension V et sa différence dV et du courant I et sa différence dI .

Cette dérivée est nulle au point de puissance maximale, positive à gauche du point MPP et négative à droite [4, 8].

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P = I * V \quad II-12$$

La dérivée partielle $\frac{dP}{dV}$ est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad II-13$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{1}{V} + \frac{dI}{dV} \quad II-14$$

On définit la conductance de la source $G = \frac{I}{V}$ et l'incrémental conductance $\Delta G = \frac{dI}{dV}$

Puisque la tension V du panneau est toujours positive, les relations (II.15) expliquent que le point de puissance maximale MPP est atteint si la conductance de la source G égale l'incrémental conductance ΔG de la source avec un signe moins, et qu'elle est à gauche de ce

point lorsque la conductance G est supérieure à l'incrémentale conductance ΔG et vice-versa, comme suit :

$$\begin{cases} \frac{dP}{dV} > 0 \text{ si } \frac{I}{V} > -\frac{dI}{dV} \\ \frac{dP}{dV} = 0 \text{ si } \frac{I}{V} = -\frac{dI}{dV} \\ \frac{dP}{dV} < 0 \text{ si } \frac{I}{V} < -\frac{dI}{dV} \end{cases} \quad \text{II-15}$$

La figure (II.14) présente le signe de $\frac{dP}{dV}$ pour différentes zones de fonctionnement

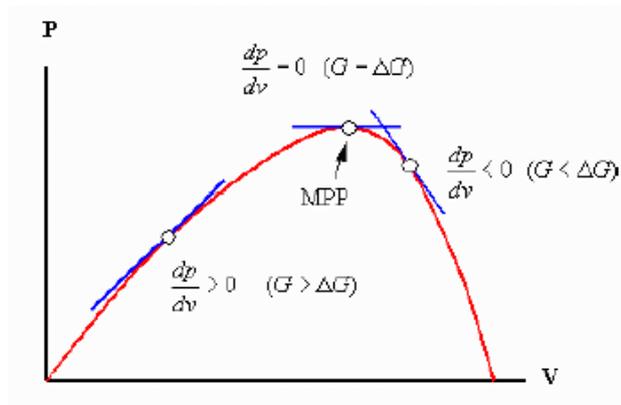


Figure II-14 : Signe de $\frac{dP}{dV}$ pour différentes zones de fonctionnement

Les tensions et courants du panneau sont moniteurs, de telle manière que le contrôleur peut calculer la conductance et la conductance incrémentale, et décider de son comportement. Cet algorithme implique un nombre important de calculs de dérivées [4].

II.6 Le groupe de moteur pompe :

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

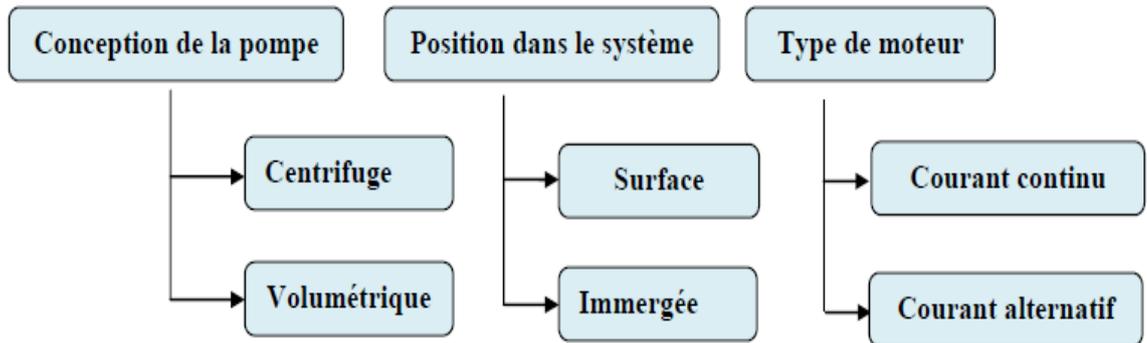


Figure II-15 classification des moteurs pompes

II.6.1 Classification selon la conception de la pompe [15]

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.

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

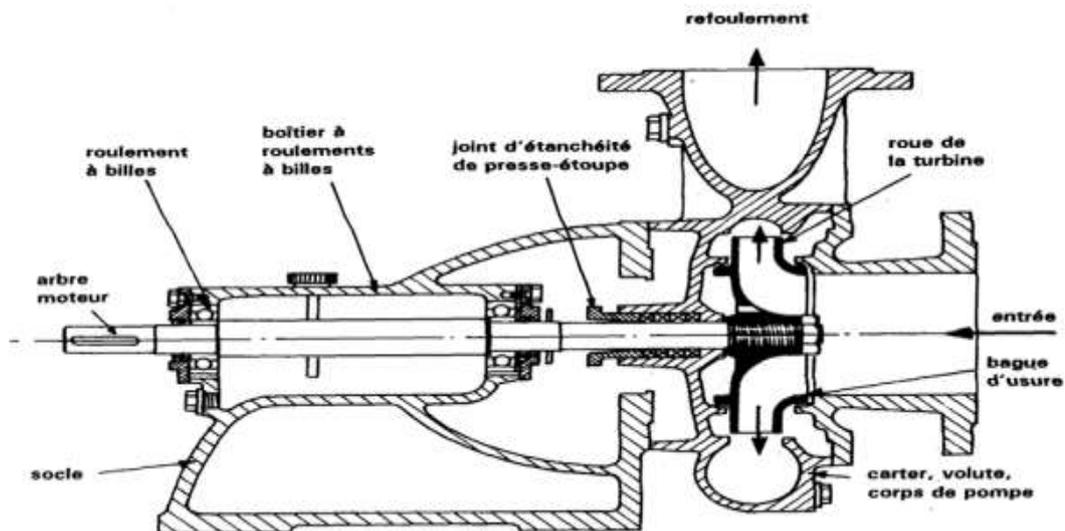


Figure II-16 : Schéma d'une pompe centrifuge

B) **Pompe volumétrique** La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va et vient permettant au fluide de vaincre la gravité par

variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse. Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

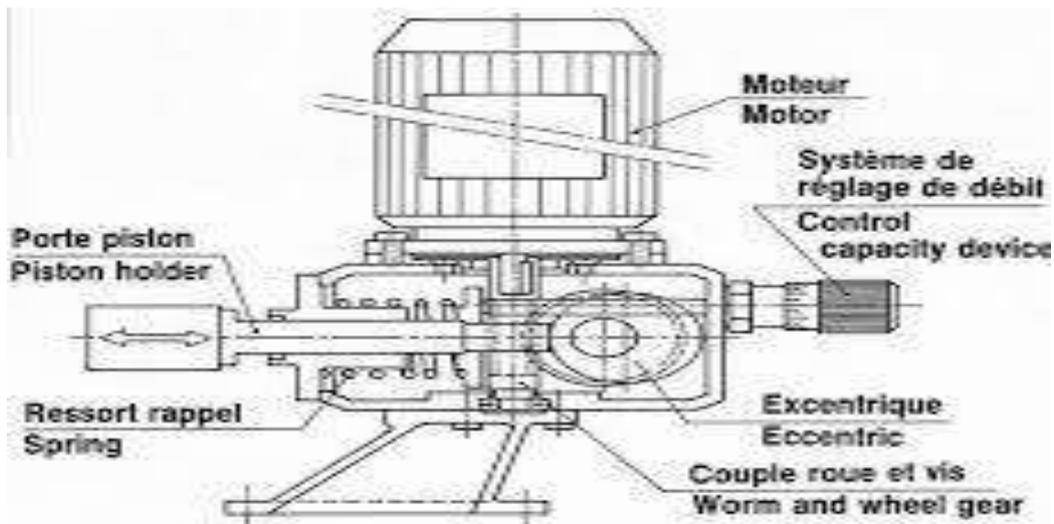


Figure II-17 Schéma d'une pompe volumétrique.

II.6.2 Classification selon le moteur utilisé : [20]

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs : à courant continu et alternatif [15].

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

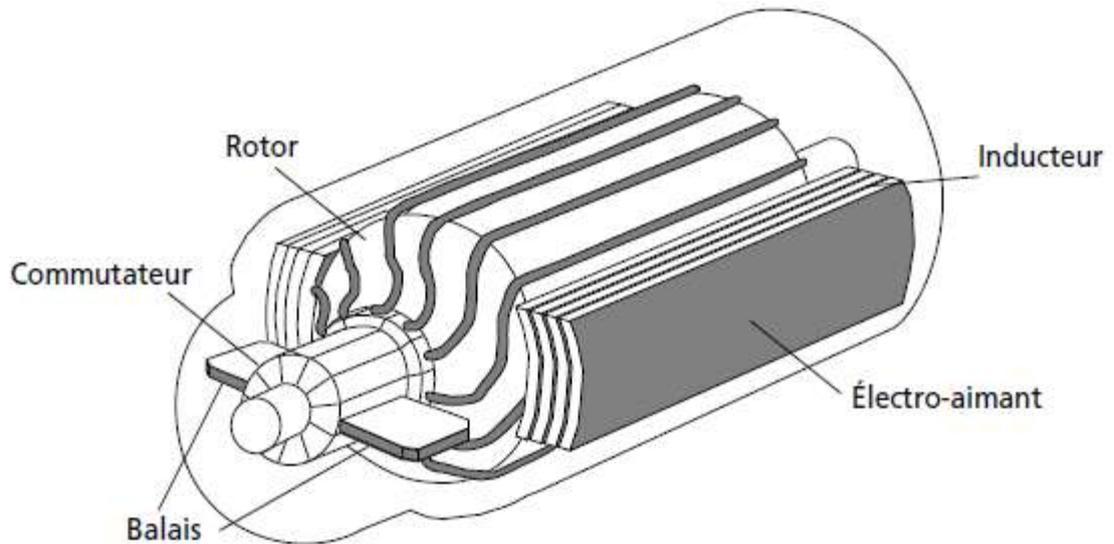


Figure II-18 : Moteur courant continu

- b) Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les composants essentiels d'un système de pompage photovoltaïque. Quelques topologies de base des alimentations à découpage.

Ensuite, la commande MPPT appliquée aux convertisseurs DC-DC pour rechercher le point où la puissance du générateur photovoltaïque est maximale est étudiée, et les différentes classifications des moteurs pompes étaient exposés.

On verra dans ce qui suit, la simulation d'un système photovoltaïque sous Matlab-Simulink.

Chapitre 03 :

**Simulation d'un Système de
Pompage d'eau PV**

Chapitre III : Simulation d'un Système de Pompage d'eau photovoltaïque

III.1 Introduction

Le système de pompage PV est composé d'un générateur PV, d'un convertisseur d'énergie, d'un moteur et d'une pompe.

Pour les systèmes DC, deux types peuvent être utilisés. Le premier est constitué d'un générateur PV couplé directement à un groupe motopompe. Le deuxième le système est composé d'un générateur PV couplé à une motopompe DC à travers un convertisseur DC/DC fonctionnant en MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Pour avoir la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque et la charge et produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) a été développé depuis 1968, ces genres de contrôleurs forcent le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP) induisant une amélioration du rendement du système.

En effet, les moteurs à courant continu ont été les premiers à être utilisés dans les systèmes de pompage parce qu'il offre un principal avantage d'être facilement commandable grâce au découplage naturel du flux et du couple ; cependant la présence du collecteur et des balais a toujours été un inconvénient. Face à cette limitation et avec l'évolution de l'électronique de puissance et des aimants permanents, de nouvelles machines ont vu le jour, telles que la Machine Synchrones à Aimant Permanent qui a l'avantage d'éliminer les balais et les pertes rotorique.

III.2 Système proposé

Figure III-1 représente le schéma de principe du système de pompage photovoltaïque simulé dans ce travail.

- Pour le générateur photovoltaïque (GPV) on prend l'exemple d'un panneau Q. PRO fabriqué en silicium multi-cristallin est constitué de 60 cellules photovoltaïques élémentaires. Il peut délivrer dans les conditions standards (CST) une puissance de 230W, un courant de 8.30A sous une tension optimale de 36.61V.
- Un convertisseur DC-DC d'énergie de type buck- boost (Cúk Converter).
- La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) permet de chercher et suivre le point de fonctionnement optimal du GPV qui dépend des conditions météorologiques et de la variation de la charge. Le moteur de la pompe DC à aimant permanent (PMDC).

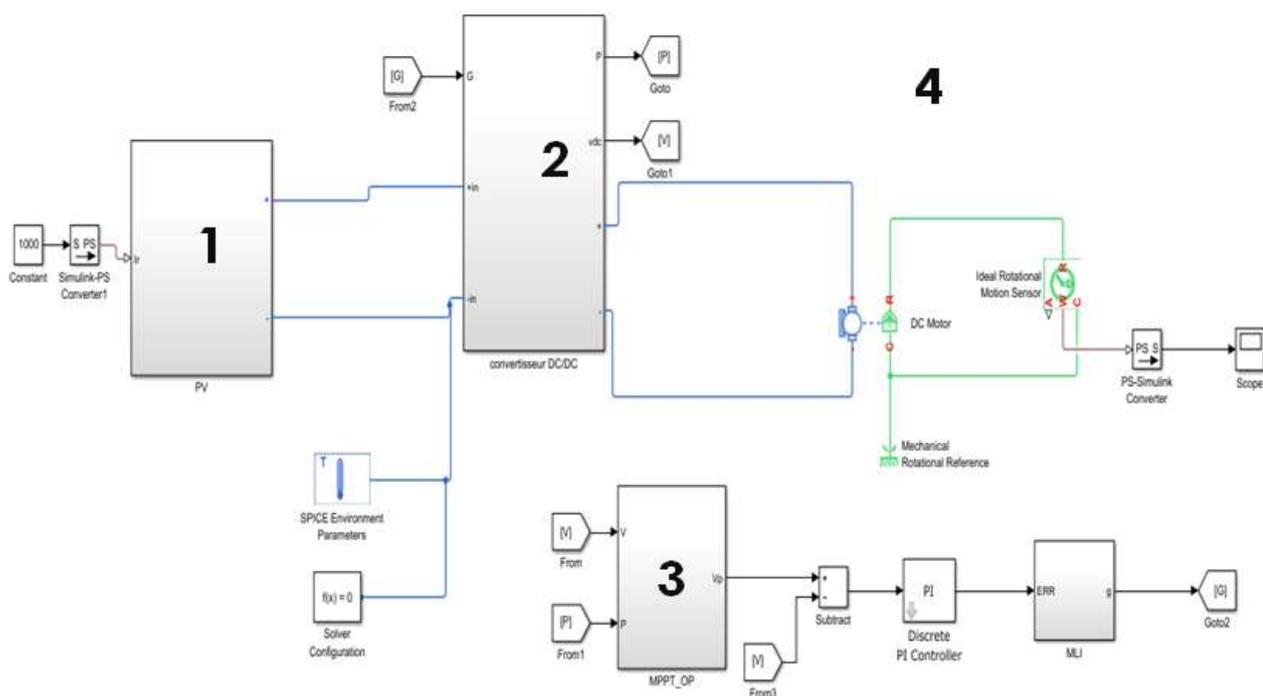


Figure III-1 : Schéma de principe du système proposé

III.2.1 Simulation de module

Des nombreux constructeurs offrent une gamme importante des panneaux photovoltaïques. On prend, l'exemple d'un panneau **Q. PRO** avec une puissance de **230W**. Pour créer notre modèle, nous allons travailler avec les composants disponible dans la bibliothèque des composants avancés, (Advanced components library, Simscape / SimElectronics) qui fournit le modèle d'une cellule solaire à deux diodes.

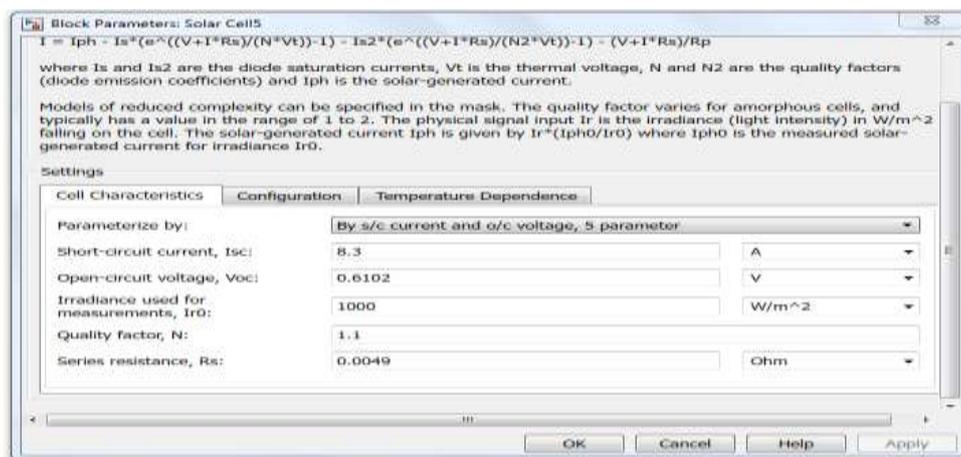


Figure III-2 : Le modèle cellule PV à cinq paramètres

Le bloc représente une seule cellule solaire où une résistance RS connectée en série avec une combinaison en parallèle des éléments suivants :

- Source de courant,
- Deux diodes et
- Une résistance parallèle RP

Dans ce travail nous allons utiliser le modèle à cinq paramètres figure. (III-2) en termes de la tension de circuit ouvert (VOC) et du courant de court-circuit (ISC) qui applique les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Le courant de saturation de la seconde diode est nul.
- L'impédance de la résistance parallèle est infinie.

Le calcul de la résistance série R_S se fait à partir de la pente de la courbe caractéristique I-V fournit par le constructeur au point VOC. Pour pouvoir simuler le modèle du panneau, nous avons suivi les étapes suivantes :

Après la connexion en série de six cellules, on crée un sous-système (boîte noire), Figure(III-3).

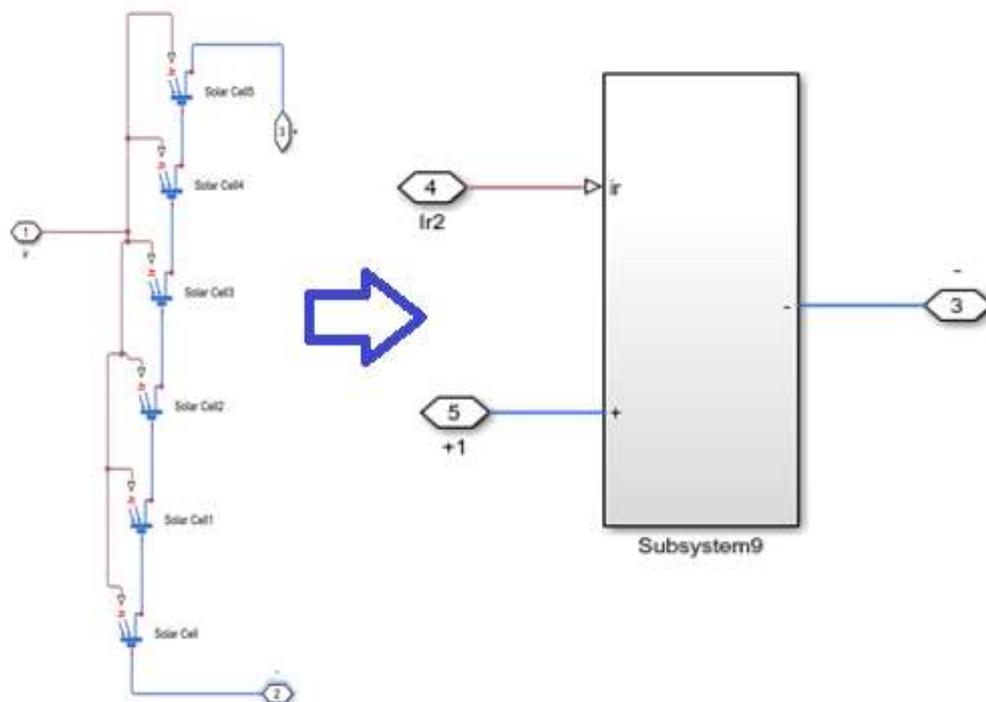


Figure III-3 : Connexion en série de 06 cellules

La connexion en série de 10 sous-systèmes créés nous donne le panneau solaire 6x10 de Q.PRO (Figure III-4). Enfin une autre boîte noire à partir de ces 10 sous-systèmes qui nous donne le panneau final.

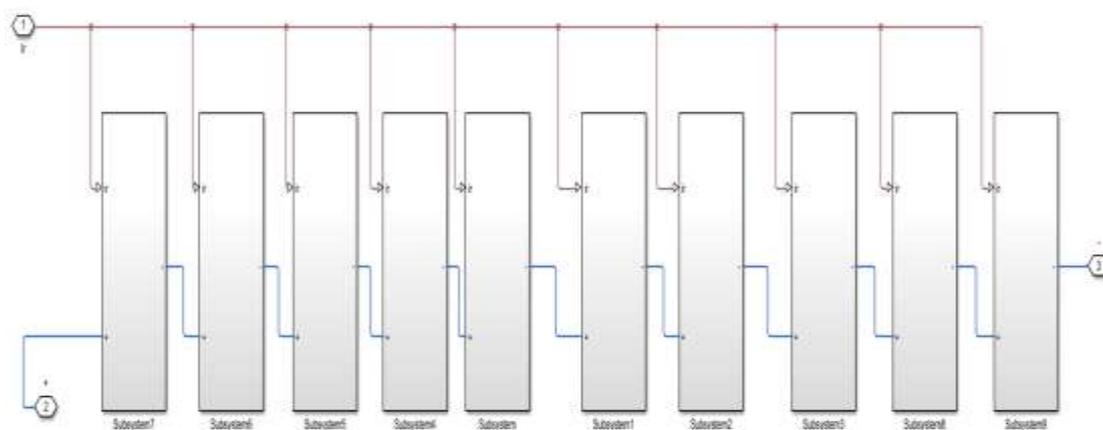


Figure III-4 : Connexion en série de 10 sous-systèmes

III.2.2 Simulation de convertisseur Cúk

Le convertisseur Cúk (buck-boost) figure (III-5) permet d'élevé et abaissé la tension, il a plusieurs avantages par rapport au convertisseur abaisseur. Il fournit une isolation capacitive qui protège contre les pannes de commutation (contrairement à la topologie buck : abaisseur). Le courant d'entrée d'un convertisseur Cúk est continu, et il peut tirer un courant sans oscillation d'un générateur photovoltaïque qui est important pour l'efficacité de l'MPPT. Le convertisseur Cúk est conçu selon les caractéristiques données dans le tableau (III-1).

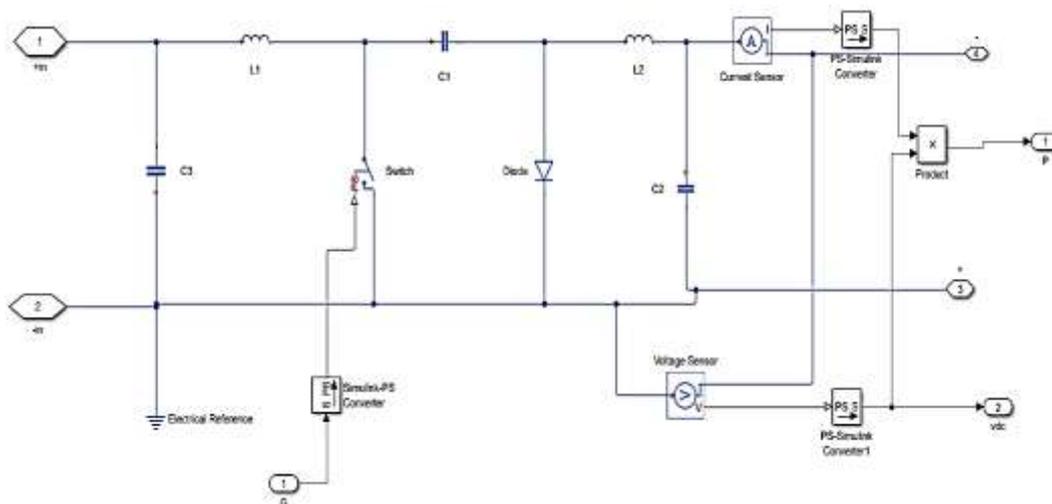


Figure III-5 : Convertisseur Cúk.

Tableau III-1 : Caractéristiques du convertisseur cuk exige

Caractéristiques	Valeurs
La tension d'entrée (VS)	(25-36 .6)V
Le courant d'entrée (IS)	(0-8.3) A
La tension de sortie (V0)	(90-110) V
Le courant de sortie (I0)	(0-8.3)A
La puissance maximum de sortie	1200W
La fréquence de commutation	50Hz
Rapport cyclique (D)	$0.1 \leq D \leq 0.6$

Le choix des composants pour le convertisseur Cúk exige le calcule suivant : :

III.2.2.1 Sélection d'inductance :

Le choix de l'inductance est pris de telle sorte que la variation de courant n'est pas plus de 5% de courant moyen. L'équation suivante donne la variation du courant d'inductance.

$$\Delta i_L = \frac{V_s \cdot D}{L \cdot f} \quad \text{III-1}$$

Avec :

V_s : La tension d'entrée.

D : le rapport cyclique (Duty cycle).

f : La fréquence de commutation. Ce qui donne L :

$$L = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_L \cdot f} \quad \text{III-2}$$

Supposons que la plus grande ondulation de courant se produit lorsque la puissance est maximale. Sous cette condition, le courant moyen (I_{L1}) de l'inductance d'entrée (LI) est 7.84A, et le courant d'ondulation est de 5% de (I_{L1}).

$$\Delta i_{L1} = 0.05 \cdot I_{L1} = (0.05) \cdot (4.35) = 0.2175A \quad \text{III-3}$$

Ainsi :

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_{L1} \cdot f} = \frac{(34.5)(0.465)}{(0.2175) \cdot (50 \times 10^3)} = 1.475 \text{mH} \quad \text{III-4}$$

Dans le marché l'inductance disponible est de 1.5mH.

De même, la valeur de l'inductance de sortie (L2) est calculée comme suit.

$$\Delta i_{L2} = 0.05 \cdot I_{L2} = (0.05) \cdot (5.0) = 0.250 \text{A} \quad \text{III-5}$$

$$L_2 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_{L2} \cdot f} = \frac{(34.5)(0.465)}{(0.250) \cdot (50 \times 10^3)} = 1.283 \text{mH} \quad \text{III-6}$$

Dans ce cas pour simplifier, on peut utiliser la même inductance pour la sortie et l'entrée.

III.2.2.2 Sélection de condensateur :

Le critère de conception pour les condensateurs est que la tension d'ondulation à travers eux doit être inférieure à 5%. La tension moyenne aux bornes du condensateur (C_1) est :

$$V_{C1} = V_s + V_0 = 34.5 + 110 = 144.5 \text{V} \quad \text{III-7}$$

de sorte que la tension maximale d'ondulation est :

$$V_{C1} = 0.05 \times 144.5 = 7.225 \text{V} \quad \text{III-8}$$

La résistance de la charge équivalente est :

$$\frac{V_0^2}{P_0} = \frac{(110)^2}{(150)} = 10.08 \Omega \quad \text{III-9}$$

La valeur de C_1 est calculée avec l'équation suivante :

$$C_1 = \frac{V_0 \cdot D}{R \cdot f \cdot V_{C1}} = \frac{(110)(0.465)}{(10.08)(50 \times 10^3)(7.225)} = 0.14 \mu\text{F} \quad \text{III-10}$$

Pour une réalisation, la valeur disponible dans le marché est $22 \mu\text{F}$. Un condensateur électrolytique en aluminium avec une faible résistance série équivalente est nécessaire.

La valeur du condensateur de sortie (C_2) est calculée en utilisant l'équation de la tension d'ondulation.

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8.L_2.C_2.f^2} \quad \text{III-11}$$

Cette équation donne C_2 :

$$C_2 = \frac{1-D}{8.(\Delta V_0/V_0).L_2.f^2} \quad \text{III-12}$$

$$C_2 = \frac{1-0.465}{8.(0.05).(1.5 \times 10^{-3})(50 \times 10^3)^2} = 0.3567 \mu F \quad \text{III-13}$$

Pour une réalisation, la valeur disponible dans le marché est $0.47 \mu F$. Condensateur électrolytique en aluminium avec un faible résistance série équivalente est nécessaire.

III.2.2.3 Simulation du moteur PMDC

Le moteur DC à aimant permanent (PMDC) a été modélisé en Simulink/Simscape en utilisant les valeurs suivantes: résistance de l'induit et l'inductance: 0.20Ohm et 10mH, couple constant = 1.8V/rad/s, l'inertie $J = 0.05 \text{ kg.m}^2$, coefficient de frottement $BM = 0.02 \text{ N.ms}$ [3].

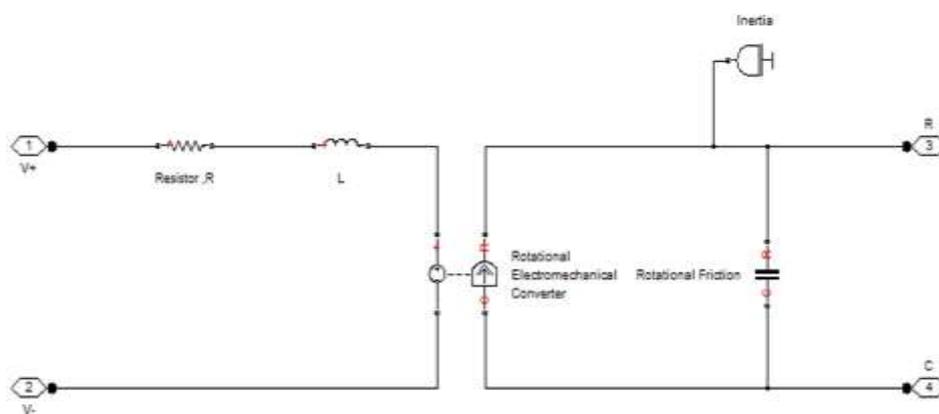


Figure III-6 : Moteur DC à aimant permanent (PMDC).

III.2.3 Simulation du l'algorithme MPPT-P&O

Le modèle de la commande MPPT de type P&O (perturber et observer) sous Matlab Simulink est illustré par la figure (III-7)

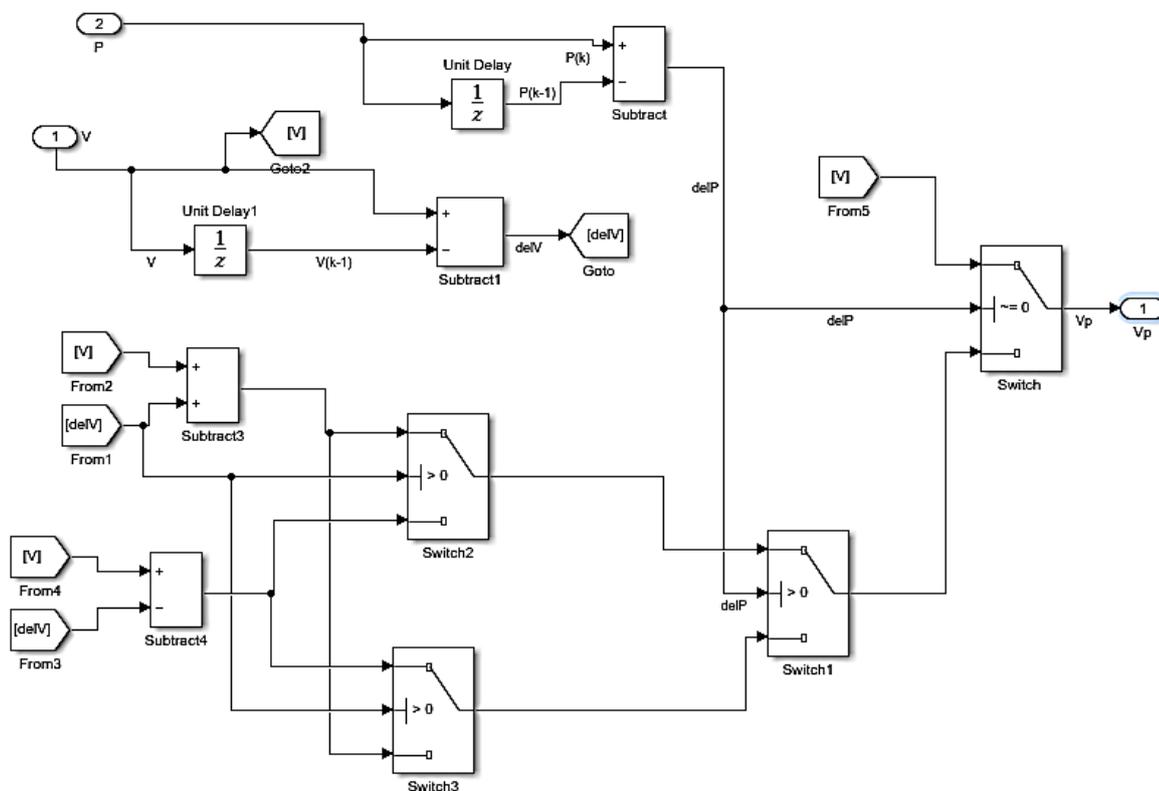


Figure III-7 commande MPPT p&o

III.3 Résultats de simulation du système

Le système a été simulé par l'intermédiaire du convertisseur Cúk et le contrôleur MPPT sous l'irradiation $1000W/m^2$.

Dans cette simulation nous avons observé que le moteur consomme la puissance délivrée par le module figure (III-8), et il atteint une vitesse maximale, ce qui permet à la pompe de délivrer le maximum d'eau par rapport à un système couplé directement. Ainsi nous obtenons un système de pompage photovoltaïque efficace avec un bon rendement.

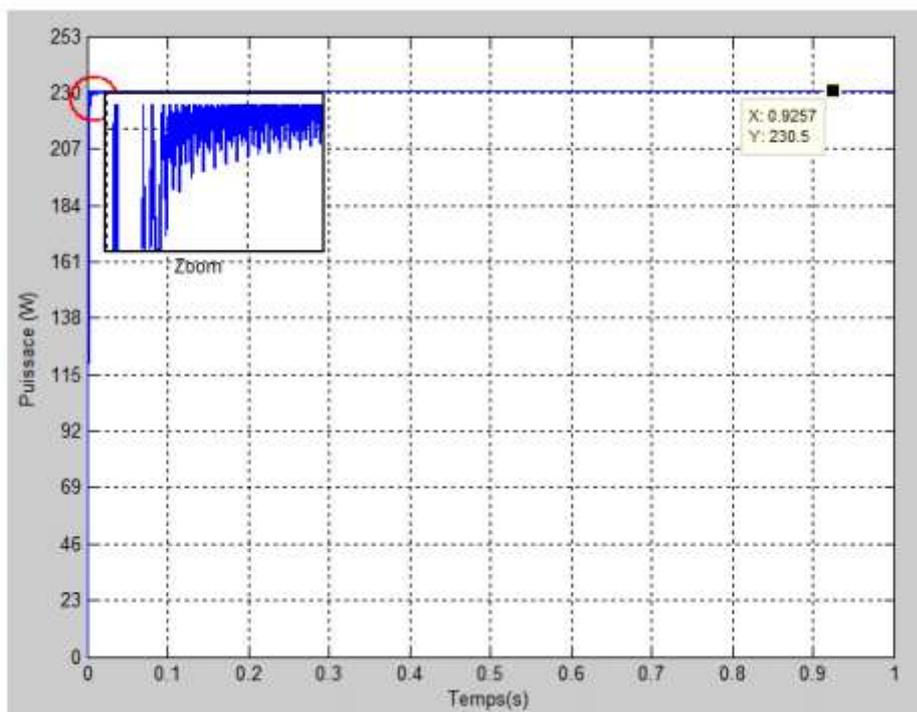


Figure III-8 : Résultat de simulation de système avec MPPT

Un autre avantage de système avec MPPT est que le moteur fonctionne aisément lorsque l'irradiation est faible contrairement où le système couplé directement qui peut être ne fonctionne pas dans les mêmes conditions.

III.4 CONCLUSION

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théoriques d'un système. En effet, ce dernier peut être testé sous des conditions facilement contrôlables et ses performances peuvent être aisément surveillées. La procédure de simulation lie les deux principales parties de la conception d'un système, à savoir, l'étude théorique et la réalisation.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches ont out conduit à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde

Le travail qu'on a présenté porte sur l'analyse d'une modélisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) adapté par une commande (commande MPPT) assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV

En effet, pour la conception des systèmes photovoltaïques, la donnée la plus utile est rayonnement solaire reçu par le panneau photovoltaïque solaire, donne des généralités sur les systèmes PV, l'effet PV, principe de cellule PV, Ainsi, les avantages et les inconvénients

Dans un deuxième temps, quelques types des convertisseurs DC/DC qui utilisé dans les systèmes photovoltaïques de type buck (hacheur dévolteur), boost (hacheur survolteur) et l'hacheur mixte (dévolteur-survolteur) Ainsi, on a décrit le mécanisme de la poursuite pour l'extraction de la puissance maximale sous différentes conditions de fonctionnement. On a présenté les méthodes MPPT basées sur contre réaction de puissance, comme l'algorithme de perturbation et observation et la méthode d'incrémentement de l'inductance.

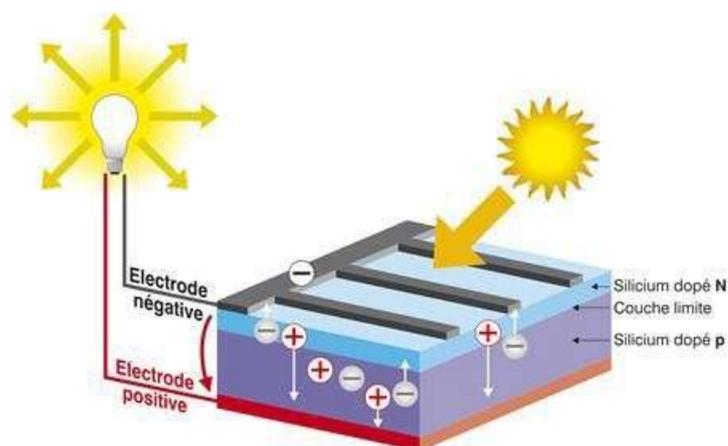
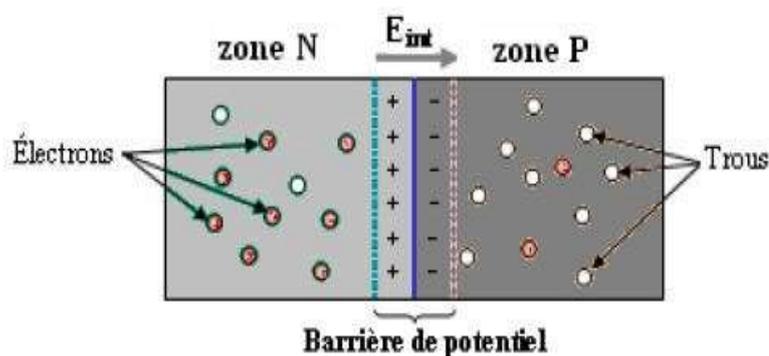
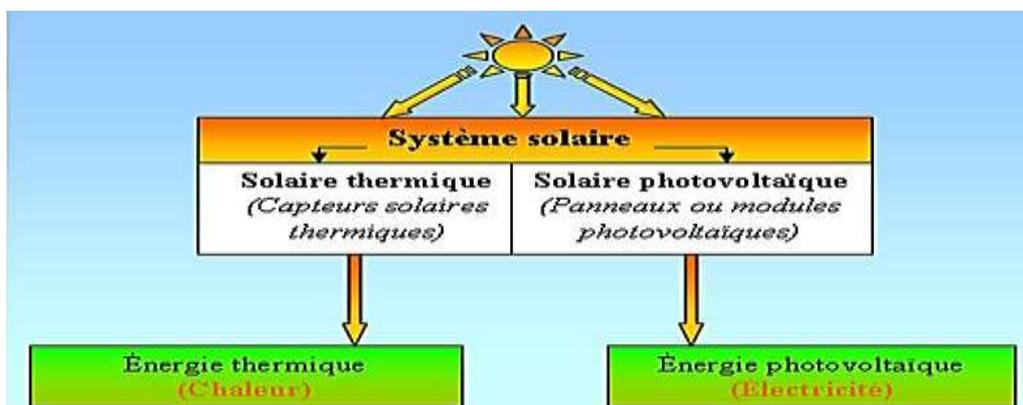
Finalement, on a étudié la modélisation du système photovoltaïque. Pour cela, on a utilisé les paramètres du module générateur PV (KC130GT)

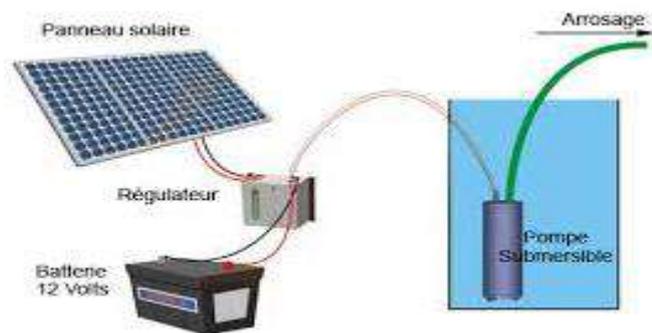
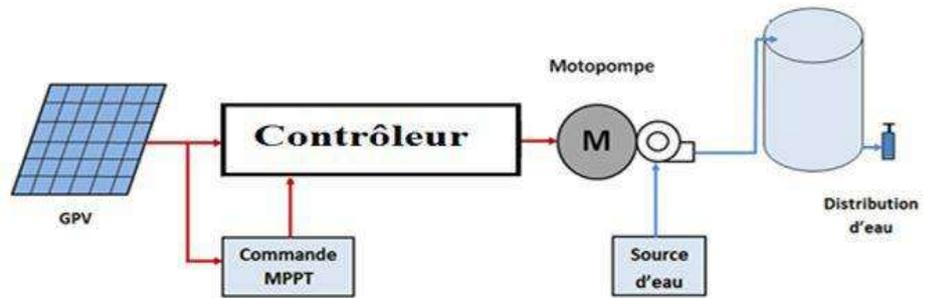
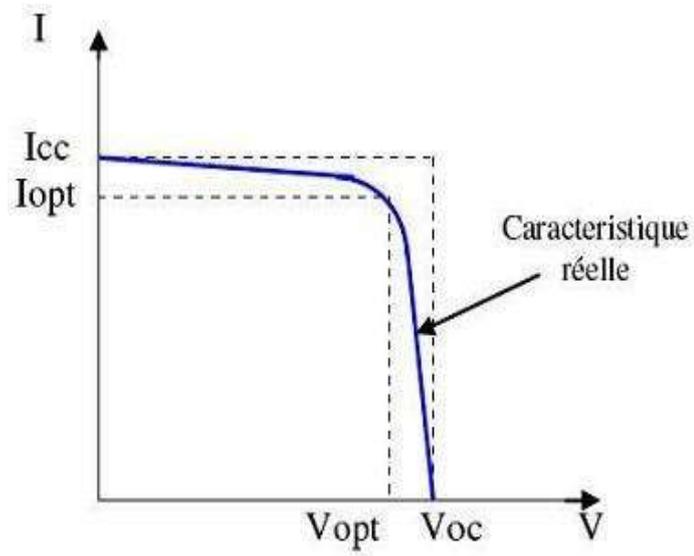
Puis l'adaptation par le convertisseur DC-DC survolteur et on trouve les relations reliant les grandeurs du convertisseur et le rapport cyclique du signal qui commande l'interrupteur du convertisseur.

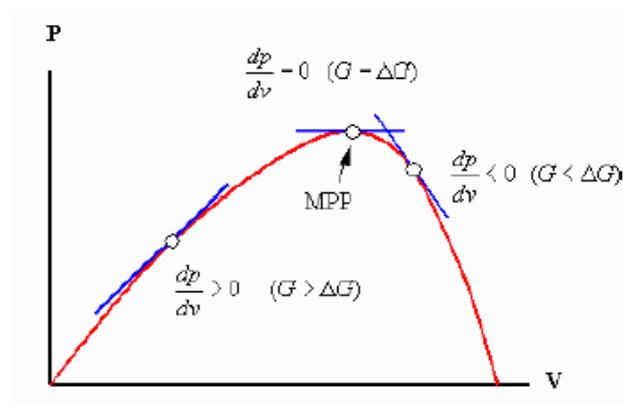
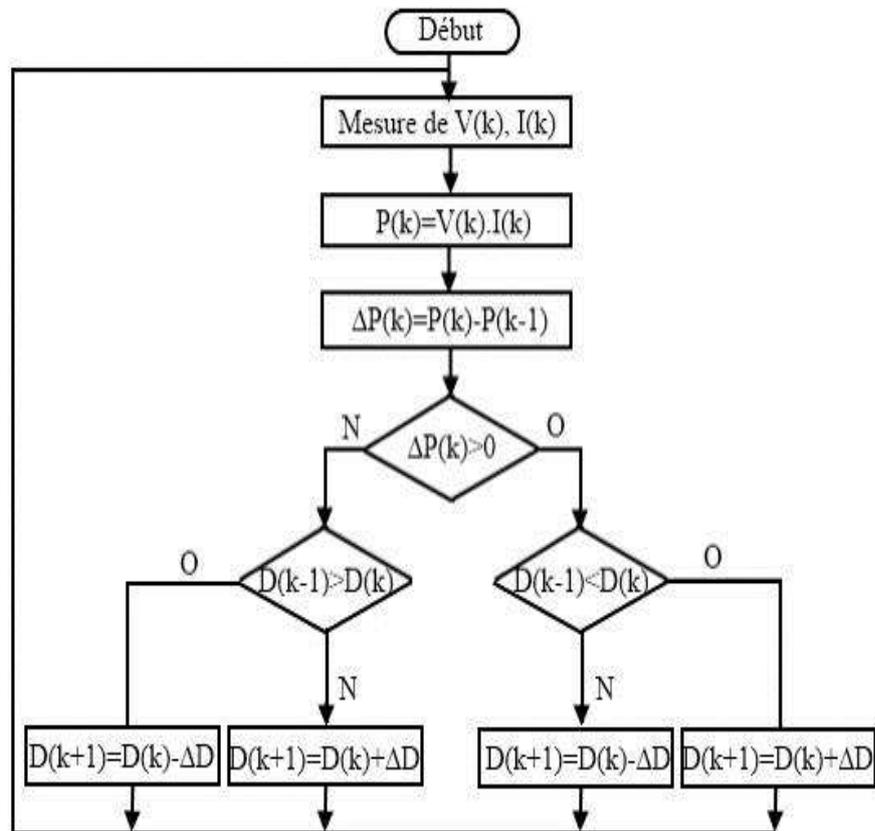
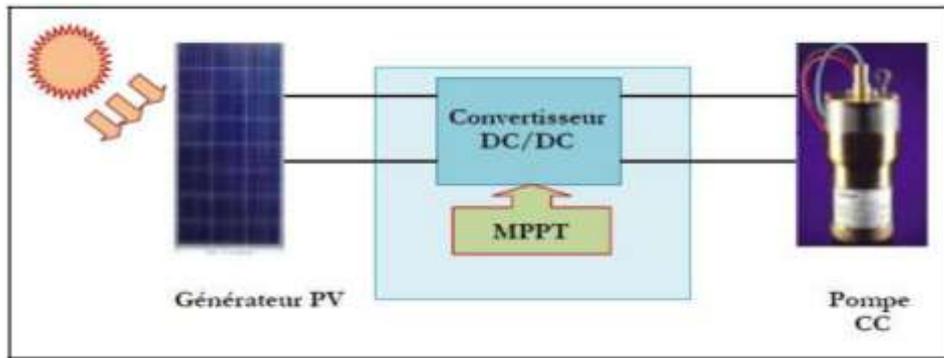
La représentation de la structure de la commande MPPT « perturbation et observation ». Cette commande MPPT utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale. La commande MPPT P&O a donnée de bons résultats face aux des perturbations de luminosité de température et de charge, ce qui permet à notre système de fonctionné à son point de puissance maximal.

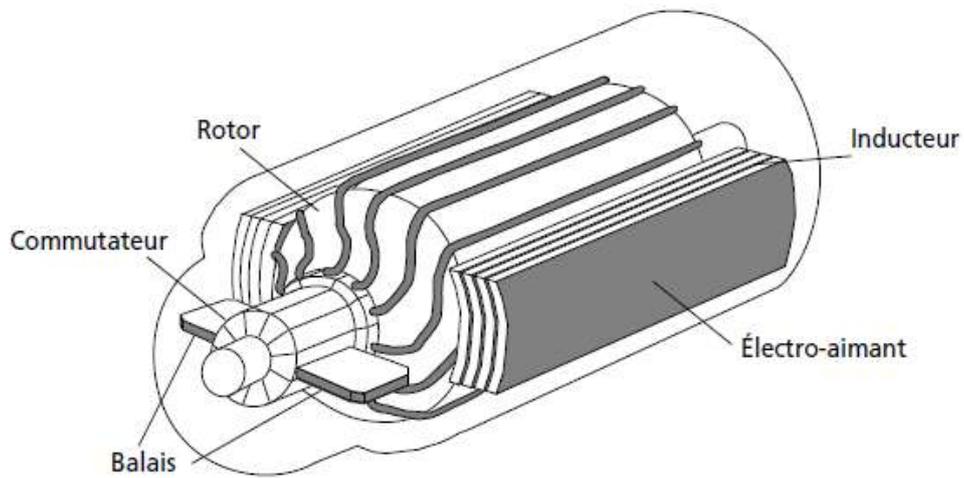
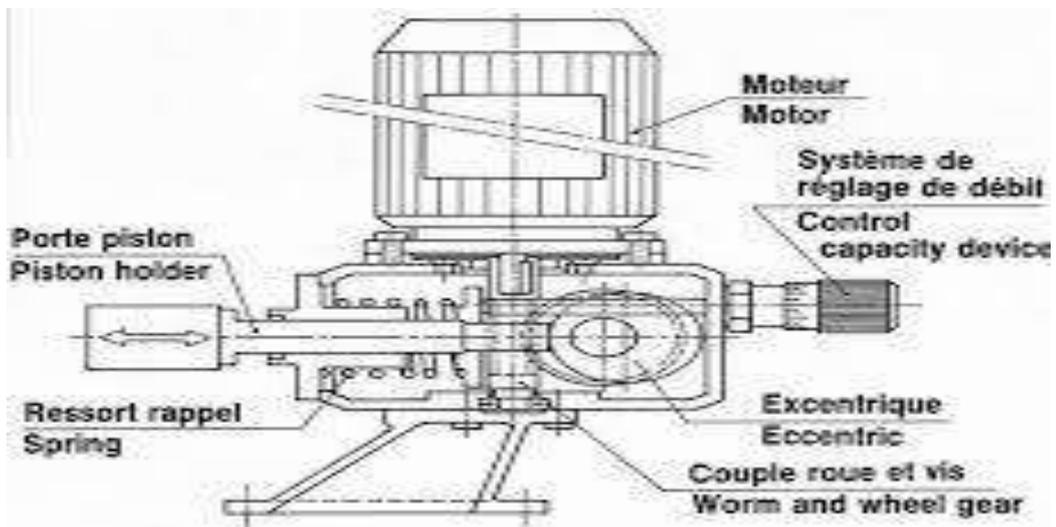
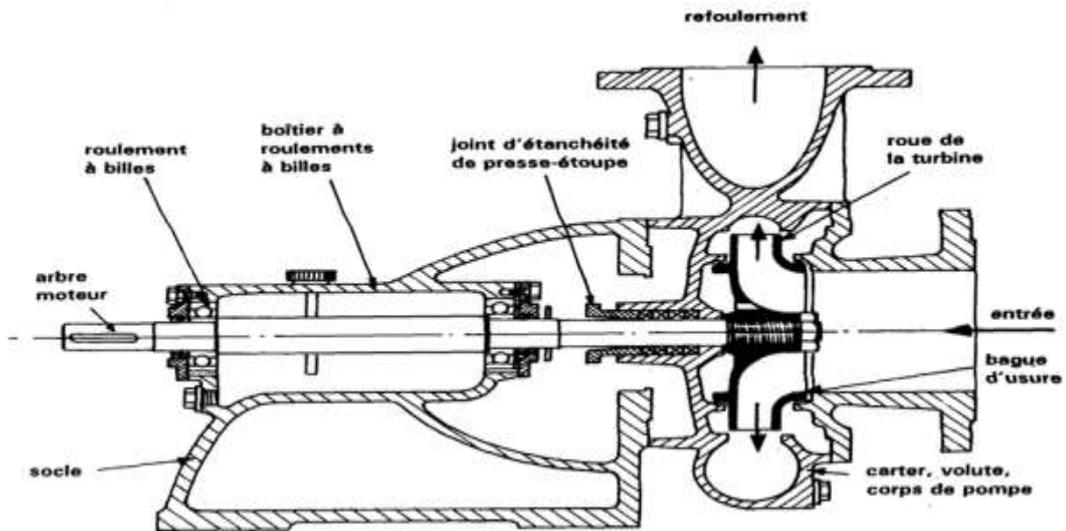
Les Annexes

Annexes









Block Parameters: Solar Cell5

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left(e^{\frac{V+I R_s}{N_1 V_T}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{V+I R_s}{N_2 V_T}} - 1 \right) - \frac{V+I R_s}{R_p}$$

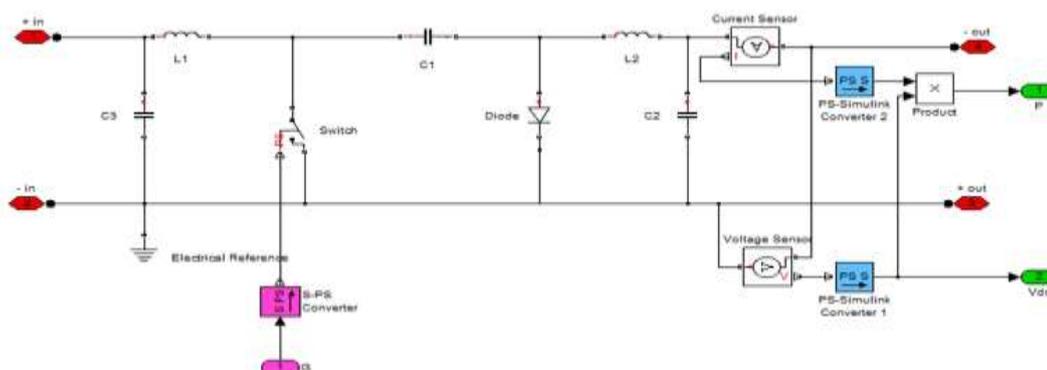
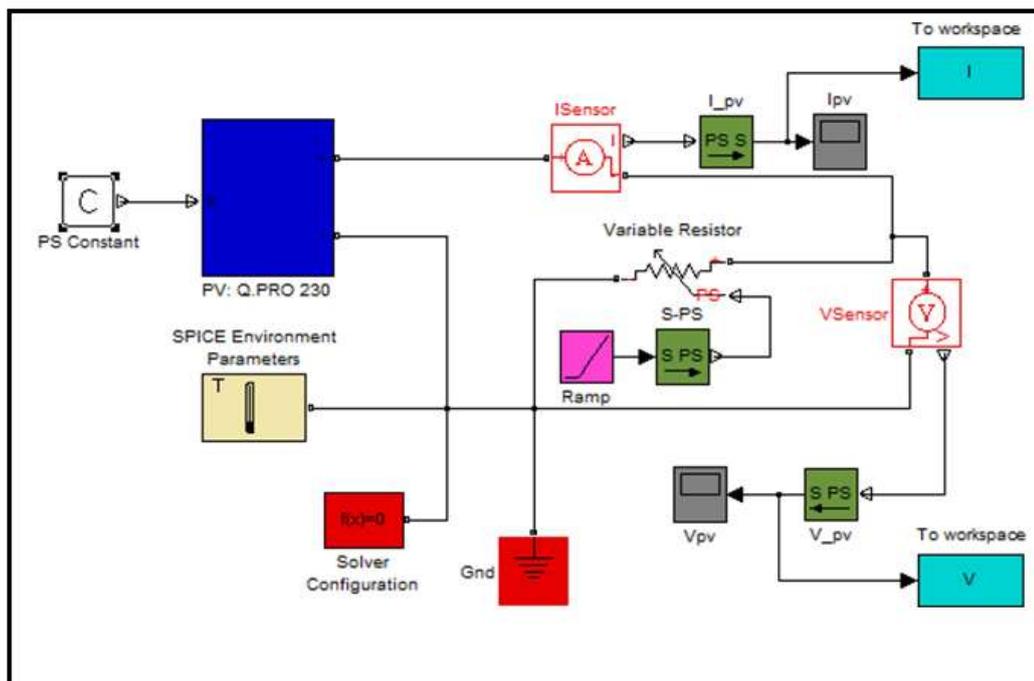
where I_{s1} and I_{s2} are the diode saturation currents, V_T is the thermal voltage, N_1 and N_2 are the quality factors (diode emission coefficients) and I_{ph} is the solar-generated current.

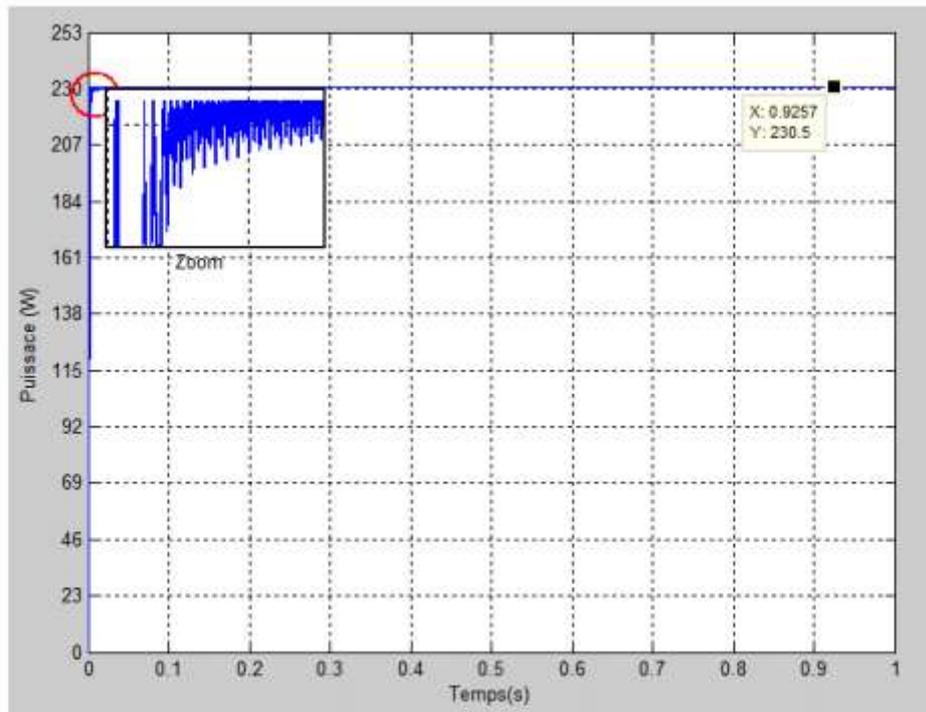
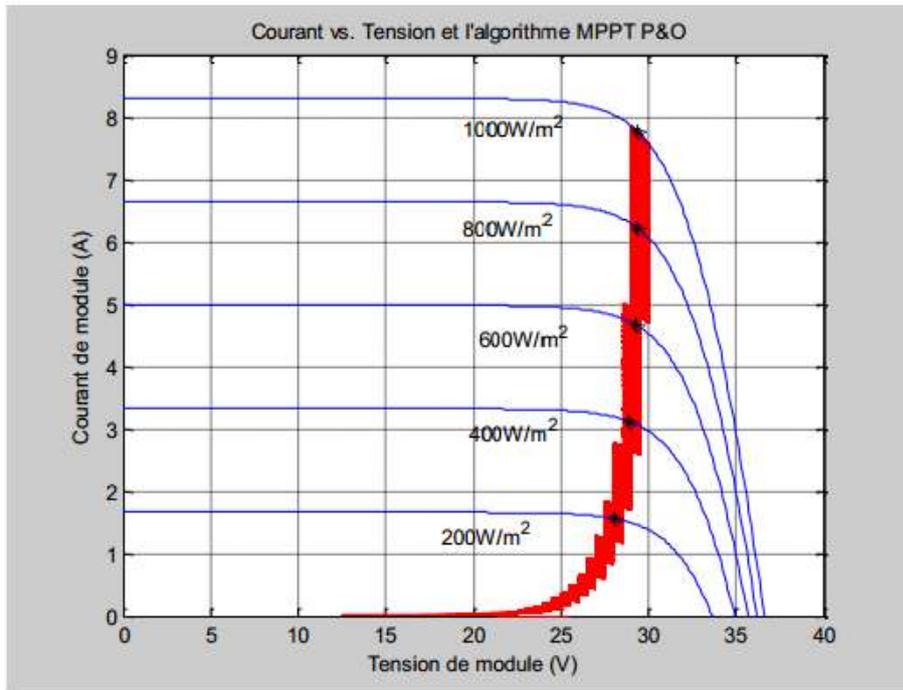
Models of reduced complexity can be specified in the mask. The quality factor varies for amorphous cells, and typically has a value in the range of 1 to 2. The physical signal input I_r is the irradiance (light intensity) in W/m^2 falling on the cell. The solar-generated current I_{ph} is given by $I_r \cdot (I_{ph0}/I_{r0})$ where I_{ph0} is the measured solar-generated current for irradiance I_{r0} .

Settings

Cell Characteristics	Configuration	Temperature Dependence
Parameterize by:	By s/c current and o/c voltage, S parameter	
Short-circuit current, I_{sc} :	0.3	A
Open-circuit voltage, V_{oc} :	0.6102	V
Irradiance used for measurements, I_{r0} :	1000	W/m^2
Quality factor, N_1 :	1.1	
Series resistance, R_s :	0.0049	Ohm

OK Cancel Help Apply





Bibliographie

Bibliographie

- [1] S. M. Ait-Cheikh, «*Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques*», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [2] S. Issaadi, «*Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones* », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.
- [3] M. Adouane, «*Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique*», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [4] F. Chekired, «*Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA*», mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [5] S. Bellakehal, «*Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables*», thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2010.
- [6] M. Makhoulf, «*Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage*», mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie, 2006.
- [7] N. Abouchabana, «*Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT* », Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [8] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, «*Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné a une installation photovoltaïque* », Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.
- [9] A. Meflah, «*Modélisation et commande d'une chine de pompage photovoltaïque*», Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen, Algérie, 2011.
- [10] Z. MEZIANI, «*Modélisation de modules photovoltaïques* », Mémoire de Magistère, Université de BATNA, Algérie, 2012.
- [11] A. Daoud «*Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire*», Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 17/09/2013
- [12] M. T. Boukadoum, A. Hamidat et N. Ourabia, «*Le Pompage Photovoltaïque*», *Revue des*

Énergies Renouvelables », : *Zones Arides*, pp. 69-73, 2002.

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

[14] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, A. Lazaro, « *Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems* », *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 90, pp. 1555–1578, 2006.

[15]M.L.Degla, B.Ben Ahmed « *Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque*», Master professionnel, Université KasdiMerbah Ouargla, 24/05/2017

[16]N.Debili« *Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage Photovoltaïque* »,Thèse Magister En Electronique, Université Constantine I,2014/2015

[17] : B. Azoui et M. Djarallah, « *Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur* », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia

Résumé

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie, mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de la tension.

Dans ce travail, on a analysé la modélisation et la simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) adapté par une commande numérique "incrémentation de l'inductance" assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Les résultats de la simulation obtenue par Matlab/Simulink, pour un système de contrôle de trafic dynamique photovoltaïque.

Mots clés : Photovoltaïque, Convertisseur boost, Commande MPPT, Modélisation, Simulation.

Abstract

A photovoltaic generator can function in a broad range of tension and of current output but it can deliver a maximum power only for particular values of the current and tension.

In this work, we analyze the modelisation and the simulation of the electric operation of a photovoltaic (PV) system adapted by an numerical control " incrementing the inductance " ensuring the tracking of the maximum power provided by the PV generator. The findings of the simulation obtained by Matlab/Simulink, for a system of control of dynamic traffic photovoltaic.

Key words: Photovoltaic, Converter boost, Order MPPT, Modeling, Simulation.

المخلص

يستطيع مولد الطاقة الشمسية العمل في مجال واسع من التوتر و التيار و لكن لا يستطيع توزيع الطاقة القصوى إلا في توتر و تيار مميزتين.

في هذا العمل قمنا بتحليل التصميم و محاكاة الاشتغال الكهربائي للنظام الكهروضوئي وفق الآلية الرقمية " التزايد الحثي " لضمان متابعة الاستطاعة الاعظمية المفرغة عن طريق المولد الكهروضوئي نتائج المحاكاة المتحصل عليها تمت بواسطة Matlab/Simulink الذي دل على المراقبة في السير الديناميكي للنظام الكهروضوئي. الكلمات المفتاحية: نظام الكهروضوئي, المحول الرافع, آلية التحكم MPPT, التصميم, المحاكاة.