

Rapport de Projet de Fin d'Études

LICENCE APPLIQUEE EN GENIE ELECTRIQUE

**Modélisation sous Matlab Simulink d'un
système photovoltaïque et réalisation d'un
suiveur de soleil**

Entreprise : Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie CRTEn

Réalisé par : Zribi Rania et Bouabid Rihab

Encadré par :

Encadreur(s) entreprise : M. Talbi Mourad

Encadreur(s) ISET : M. Tlili Nouredine

*Année universitaire : 2019/2020
EI19/2020*

Code : n°

Remerciement

Au terme de la rédaction de ce projet de fin d'étude, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciement à Monsieur Tlili Mourad, notre encadrant, pour les conseils qu'il nous a accordés et pour le temps qu'il nous a consacré tout au long de l'élaboration de ce projet.

Nous tenons aussi à remercier monsieur Mourad TALBI, Maître Assistant au Centre de recherches et de technologies de l'énergie de BORJ CEDRIA, pour son aide et ses conseils qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Enfin, nos remerciements sont exprimés à tous ceux qui nous ont soutenu d'une manière ou d'une autre nous vous disons merci du fond de nos cœurs.

Introduction Générale

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 et la tension générée peut varier en fonction du matériau Utilisé pour la fabrication de la cellule.

La caractéristique I-V du GPV dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. De plus, son point de Fonctionnement du GPV ne dépend directement de la charge qu'il alimente. Afin d'extraire en Chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV, nous introduisons Un étage d'adaptation entre le générateur et la charge pour coupler les deux éléments le plus parfaitement possible.

Le problème du couplage parfait entre un générateur photovoltaïque et une charge de Type continue n'est pas encore réellement résolu. Un des verrous technologiques qui Existe dans ce type de couplage est le problème du transfert de la puissance maximale du Générateur photovoltaïque (GPV) à la charge qui souffre souvent d'une mauvaise adaptation.

Le point de fonctionnement qui en découle est alors parfois très éloigné du Point de puissance maximale (PPM). La littérature propose une grande quantité de Solutions sur l'algorithme de contrôle qui effectue une recherche de point de puissance maximale lorsque le GPV est couplé à une charge à travers un convertisseur statique.

Les convertisseurs statiques, adaptés à l'énergie solaire photovoltaïque, sont souvent Appelés dans le commerce «convertisseurs solaires». Ils ont comme objectif d'adapter L'énergie électrique qui provient des panneaux photovoltaïques, pour pouvoir alimenter des Charges alternatives.

Sommaire

Remerciement.....	1
Introduction générale.....	2
Sommaire.....	3
Table des figures	5
Cahier de charge.....	7
Présentation du Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie.....	8
Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques.....	9
1. Introduction :	11
2. Les cellules photovoltaïques :	12
2.1. Définition :	12
2.2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :	13
2.3. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	14
2.4. Les types des cellules :	16
2.4.1. Cellule au silicium monocristallin :	16
2.4.2. Cellule au silicium poly-cristallin :	16
2.4.3. Cellule au silicium amorphe :	16
3. Système photovoltaïque : Générateur PV, étage d'adaptation et sa charge :	17
3.1. Générateur photovoltaïque :	17
3.1.1. Caractéristiques courant-tension d'un système photovoltaïque :	18
3.1.2. Caractéristique puissance –tension d'un module photovoltaïque :	19
3.1.3. Zone de fonctionnement du module solaire :	19
3.1.4. Influence de la température sur les caractéristiques I-V et P-V	20
3.1.5. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques $I - V$ et $P - V$:	21
3.1.6. Mise en série / parallèle des modules photovoltaïques :	22
3.2. Etage d'adaptation :	23
3.2.1. Hacheur Buck (série/abaisseur) :	24
3.2.2. Hacheur élévateur « BOOST » :	25
3.2.3. Hacheur élévateur-dévolteur :	27
3.3. Principe de la commande MPPT :	28
4. Conclusion :	29
1. Introduction :	30

2.	Modélisation du système global :	31
2.1.	Modélisation d'un générateur photovoltaïque (GPV)	31
2.2.	Etude de la problématique de transfert du maximum de puissance :	36
2.2.1.	Essai sous MATLAB Simulink :	37
2.2.2.	Choix du convertisseur :	39
3.	Modélisation du hacheur (boost):	41
3.1.	Modèle sur Matlab Simulink :	41
3.2.	Génération d'un signal par MLI :	42
4.	La stratégie de commande :	42
4.1.	Principe de la commande MPPT	43
4.2.	La Méthode de la Perturbe and Observe (P&O) :	43
4.2.1.	Modélisation sous Matlab :	45
4.3.	Méthode de la Conductance Incrémentielle	46
4.3.1.	Algorithme de la méthode Conductance Incrémentale :	46
4.3.2.	Modélisation sur matlab :	48
5.	Conclusion	48
Chapitre III		49
Simulation des deux commandes MPPT et Réalisation d'un suiveur		49
I.	Introduction	50
II.	Dimensionnement des composants :	50
	Choix de l'interrupteur :	50
III.	Simulation du système global :	53
1.	Simulation sans MPPT :	53
2.	Simulation avec MPPT :	56
Avantages		59
Inconvénients		59
Les avantages et les inconvénients pour IC		59
3.	Suiveur de soleil	59
3.1.1	La différence entre l'installation fixe et l'installation avec suiveur :	60
3.1.2	Les différents caractères d'un Traqueur :	60
3.2.1	Suiveur solaire à axe horizontal :	61
3.2.2	Suiveur à axe vertical incliné :	62
3.2.3	Suiveur à deux axes :	62
3.3.1	Circuit de Commande :	63
3.3.2	Circuit de puissance	64
3.3.3	Partie Mécanique	64
<i>Les capteurs solaires LDR(Photorésistance)</i>		66

Conclusion.....	68
Conclusion generale :	69

Table des figures

Figure 1: Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie.....	9
Figure 2: Système photovoltaïque lié au réseau	11
Figure 3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	13
Figure 4: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	14
Figure 5: cellule au silicium mono-cristallin.....	16
Figure 6: Cellule silicium poly-cristallin	16
Figure 7: Cellule au silicium amorphe	16
Figure 8: Système photovoltaïque.....	17
Figure 9: de la cellule solaire au système photovoltaïque.....	17
Figure 10: caractéristiques courant- tension.....	18
Figure 11: caractéristiques puissance-tension	19
Figure 12: zone de fonctionnement d'une cellule solaire	20
Figure 13: Influence de la température sur les caractéristiques I-V.....	20
Figure 14: Influence de la température sur les caractéristiques P-V	21
Figure 15: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I-V.....	21
Figure 16: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques P-V :.....	22
Figure 17: Mise en parallèle d'un module photovoltaïque	23
Figure 18: Mise en série d'un module photovoltaïque.....	23
Figure 19: Schéma d'un hacheur Buck.....	24
Figure 20: Schéma d'un hacheur Boost	26
Figure 21: Schéma d'un hacheur Buck- boost.....	27
Figure 22: Modèle du panneau PV sous Matlab	32
Figure 23: Equation du courant du panneau sous Matlab	33
Figure 24: Modélisation de courant photonique sous Matlab	33
Figure 25 : Modélisation du courant de la diode sous Matlab	34
Figure 26: Modélisation du courant shunt sous Matlab	34
Figure 27: Modélisation du courant de saturation sous Matlab	34
Figure 28: Modélisation d'un système PV (Panneau et charge résistive)	36
Figure 29: Mesures de courant et de la tension à l'aide du Matlab	37
Figure 30: Mesure de la puissance correspondante a une charge de 25Ω	38
Figure 31: Hacheur dévolteur.....	39
Figure 32: Hacheur survolteur.....	40
Figure 33: Hacheur survolteur-dévolteur	40
Figure 34: Modélisation d'un hacheur survolteur sur Matlab	41
Figure 35: Modélisation du signal MLI sous Matlab	42
Figure 36: Algorithme de la commande Perturbe et Observe	44
Figure 37: code de l'Algorithme de la commande Perturbe et Observe	45
Figure 38: Algorithme de la commande Conductance Incrémentale	47
Figure 39: Modélisation de la commande Conductance Incrémentale	48
Figure 40: Schéma équivalent d'un transistor	51
Figure 41: Schéma équivalent d'un transistor bipolaire	51
Figure 42: MOSFET.....	52
Figure 43: Symbole d'un IGBT	Figure 44:
IGBT.....	52
Figure 45: Modèle de système photovoltaïque sans MPPT	54
Figure 46 : La courbe variable de l'éclairement	54
Figure 47: la courbe correspondante à la puissance fournis par le panneau à un éclairement variable	55

Figure 48:Figure 45: la courbe correspondante à la puissance consommée par la charge à un éclairement variable	55
Figure 49: la puissance de sortie du panneau photovoltaïque (en bleu) et du hacheur (en jaune) charge $R=25\Omega$ sans MPPT	55
Figure 50: la puissance de sortie du panneau photovoltaïque (en bleu) et du hacheur (en jaune) charge $R=500\Omega$ sans MPPT	56
Figure 51Modèle de système photovoltaïque avec commande P&O	56
Figure 52: courbe d'éclairement variable en fonction de temps	57
Figure 53: Réponse du panneau au cours d'éclairement variable avec la commande IC	58
Figure 54:Pmax et Vmpp pour un ensoleillement de $250W/m^2$	58
Figure 55:Pmax et Vmpp pour un ensoleillement de $1000W/m^2$	58
Figure 56 : les types des suiveurs	61
Figure 57 : Suiveur solaire à axe horizontal	61
Figure 58: Suiveur à axe vertical incliné	62
Figure 59 : suiveur de soleil à deux axes	62
Figure 60 : description d'une carte ARDUINO UNO	63
Figure 61:le shield ULN2003A	64
Figure 62: moteur pas à pas bipolaire	66
Figure 63: la photorésistance LDR	66
Figure 64: algorithme du suiveur de soleil	68

Cahier de charge :

Problématiques :

L'exploitation de l'énergie solaire à l'aide d'un système photovoltaïque pose ses propres problèmes, dus au changement des conditions d'ensoleillement et de la température ainsi qu'au problème d'adaptation d'impédance.

Ces modifications climatiques et le type de charge affectent gravement l'efficacité et la puissance de sortie des modules PV.

Solution :

Pour que le générateur photovoltaïque fonctionne le plus souvent dans son régime optimal, la solution consiste à introduire un convertisseur statique jouant le rôle d'adaptateur GPV-charge commandé par un algorithme nommé PPPM (poursuite de point de puissance maximal) ou MPPT (maximum power point tracking) assurant la recherche du point de puissance maximale pour n'importe quelles conditions climatiques et n'importe quel type de charge.

Et afin de poursuivre les rayonnements de soleil pour une productivité maximale, on suggère de réaliser un suiveur de soleil.

Objective :

- Modélisation d'un système photovoltaïque, d'un hacheur et de la charge
- Etude de quelques commandes MPPT : P&O et IC
- Implémentation une des deux la commande MPPT
- Réalisation d'un suiveur de soleil

Présentation du Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie

Le Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie (CRTE) est une structure de recherche et développement (R&D) opérant sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS).

Le CRTE s'étale sur une superficie totale de près de 3500 m². Le Centre est appelé à accompagner le développement du tissu industriel national dans le domaine de l'énergie, de répondre aux diverses demandes d'expertises inhérentes aux énergies renouvelables, et de faire de la R&D un moteur de croissance. Axé sur un savoir et un acquis scientifique et technologique de plus de 25 ans, le CRTE s'articule autour de programmes de recherche et d'actions de veille, qui sont appelés, à courts et moyens termes, à donner une orientation moderne à la recherche dans le domaine de l'énergie.

Le CRTE est une plateforme technologique où la R&D et les actions pilotes jouent un rôle important dans l'accompagnement et le développement des entreprises innovantes ouvrant dans les divers secteurs de l'énergie, particulièrement les énergies nouvelles et renouvelables. Le CRTE contribue aussi d'une façon efficace à la formation postuniversitaire afin qu'une nouvelle génération d'emplois voit le jour.



Figure 1: Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

1. Introduction :

L'augmentation du coût des énergies fossiles (le pétrole, le charbon, le gaz naturel etc..) et la limitation de leurs ressources, les accidents des centrales nucléaires, le problème des déchets radioactifs qui continue de nuire à l'environnement et la vie humaine font que les énergies renouvelables deviennent de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses, avec les avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution, pour cela, l'amélioration, la conception et la réalisation des systèmes de l'énergie renouvelable sont des problèmes d'actualité [1]

En effet le mot " photovoltaïque " vient du mot " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement « la lumière électricité ».

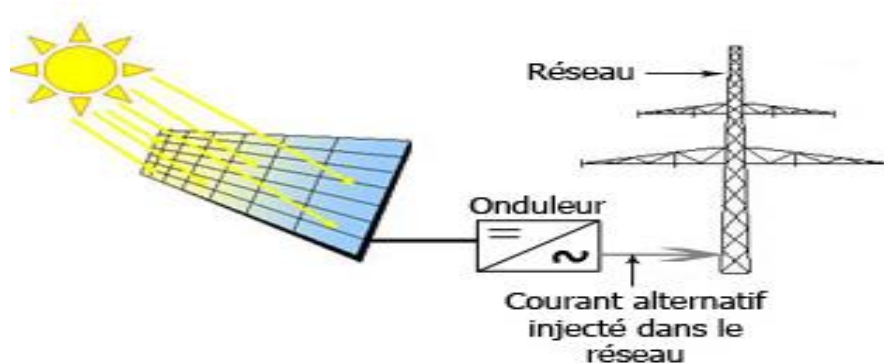


Figure 2: Système photovoltaïque lié au réseau

Il y a principalement trois types d'installations :

- **Systèmes autonomes** : Une installation photovoltaïque autonome est une installation qui produit de l'électricité grâce au soleil, mais qui fonctionne indépendamment du réseau électrique. Dans la majorité des cas, ce système est utilisé dans les sites isolés où il serait beaucoup trop coûteux de raccorder au l'habitation ou le local que l'on souhaite alimenter en électricité, La différence majeure avec une installation photovoltaïque standard (raccordée au réseau) c'est la présence des batteries. Une installation photovoltaïque autonome doit être capable de fournir de l'énergie, y compris lorsqu'il n'y a plus de soleil (la nuit ou en cas de mauvais temps). Il faut donc qu'une partie de la production journalière des modules photovoltaïques soit stockée.

- **les systèmes hybrides** : Les systèmes hybrides sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si vous désirez diminuer votre investissement dans les champs de modules photovoltaïques et les batteries d'accumulateurs (Ressources naturelles Canada , 2003). Ils permettent généralement un retour sur investissement plus rapide
- **Système raccordé au réseau électrique** : La troisième approche raccordée au réseau électrique, permet quant à elle une contribution du producteur pour ses propres exigences en matière d'énergie, sans devoir pour autant combler la totalité de ses besoins en question, le système étant plus souvent qu'autrement dimensionné non pas pour répondre à la demande mais selon le budget et/ou la surface de toiture disponible. Pour une maison très économe en énergie, on pourra retrouver le concept de « maison nette zéro », c'est-à-dire qui produit au cours d'une année entière autant qu'elle consomme, toutes formes d'énergie confondues.

2. Les cellules photovoltaïques :

2.1. Définition :

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », qui a été découvert par E. Becquerel en 1839. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homo-jonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

2.2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

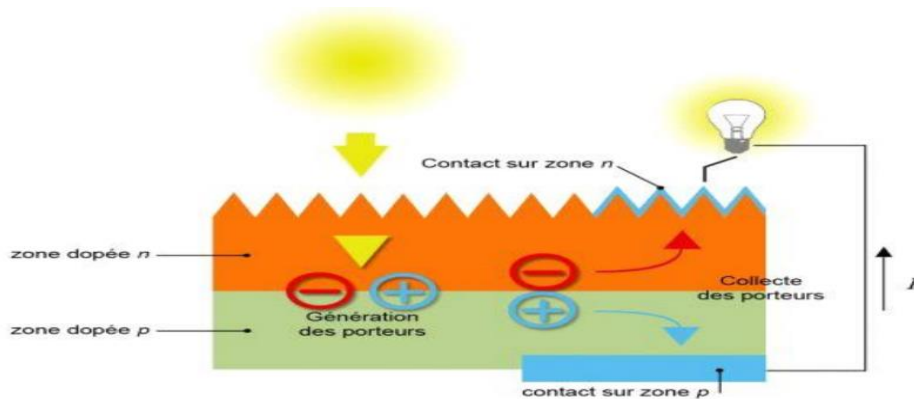


Figure 3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule PV nommée aussi photopile, est un dispositif constitué d'un matériau semi-conducteur permettant de transformer l'énergie solaire en une énergie électrique. Cette conversion d'énergie se base sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce phénomène consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. Plus précisément comme le montre la figure (3), la structure la plus simple d'une cellule PV est constituée d'une jonction entre deux couches de silicium dopées différemment, une P et l'autre N. Cette jonction PN permet de capter le maximum de photons, dans ce cas les électrons de ces atomes sont libérés et ainsi on a des électrons et des trous ce qui résulte une différence de potentiel entre les deux couche [2]

Le matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

2.3. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le choix du modèle à cinq paramètres (tension à circuit ouvert, V_{co} , courant à court-circuit, I_{cc} , la résistance en série, R_s , le facteur d'idéalité n et l'éclairement G) permet d'effectuer une évaluation et une analyse des performances du module photovoltaïque les plus proches de la réalité. Ce modèle représente la cellule solaire comme étant une source de courant qui permet de modéliser la conversion du flux lumineux en énergie électrique. La résistance en série R_s est la résistance de contact et de connexion.

Outre cette résistance, on a une résistance en parallèle R_{sh} représentant le courant de fuite. En plus on a une diode en parallèle qui modélise la jonction.

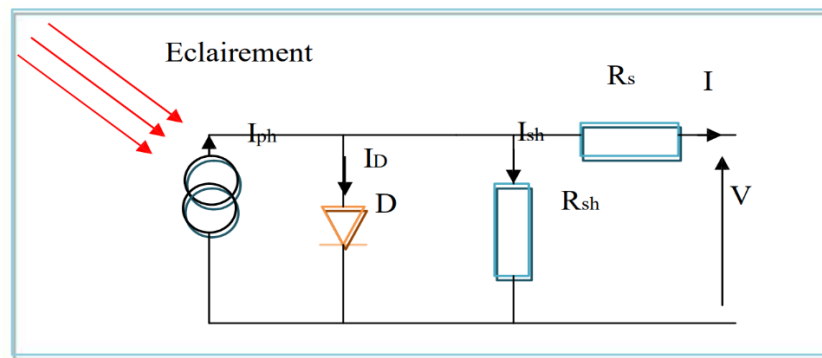


Figure 4: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Selon cette figure on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh}$$

Où :

I_{sh} : le courant traversant la résistance shunt R_{sh}

I_d : le courant qui traverse la diode D

I_{ph} : le courant photonique

Les courants I_d et I_{sh} sont exprimés comme suit :

$$I_d = I_s \left(\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{n V_t} \right) - 1 \right) \quad \& \quad I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

Avec :

V : la tension aux bornes de la cellule PV

V_d : la tension aux bornes de la diode D

I : le courant fourni par la cellule PV

V_t : la tension thermique

n : le facteur d'idéalité de la jonction PN.

Ainsi l'équation $I = I_{ph} - I_d - I_{sh}$ devient :

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{n V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

Et on a :

$$V_t = \frac{k \cdot T}{q}$$

$$I_s = I_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \frac{G_{ref}}{n \cdot V_t} \right]$$

$$I_{ph} = (I_{cc} + K_i \cdot (T - T_{ref})) \cdot \frac{G}{G_{ref}}$$

Avec :

I_s : Le courant de saturation

K : La constante de Boltzmann ($K = 1,38 \cdot 10^{-23}$)

K_i : Le coefficient d' I_{cc} ($K_i = 2,2 \cdot 10^{-3}$)

T : La température effective de la cellule en Kelvin

T_{ref} : La température des conditions standards (STC) 25°C

q : La charge d'un électron ($q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C),

I_{cc} : Le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température, G_{ref} : L'éclairage de référence 1000 W/m²

G : L'éclairement de la cellule, W /m².

2.4. Les types des cellules :

Il existe trois grands types des cellules en silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe

2.4.1. Cellule au silicium monocristallin :

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher.



Figure 5: cellule au silicium mono-cristallin

2.4.2. Cellule au silicium poly-cristallin :

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le monocristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser.



Figure 6: Cellule silicium poly-cristallin

2.4.3 Cellule au silicium amorphe :

Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin, les cellules sont constituées par des couches très minces.

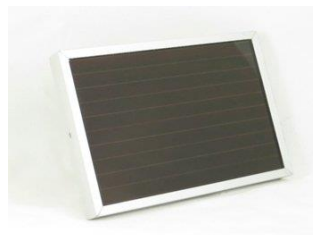


Figure 7: Cellule au silicium amorphe

3. Système photovoltaïque : Générateur PV, étage d'adaptation et sa charge :

Notre système global constitué principalement par un GPV, une charge continue ainsi qu'un hacheur. Pour le contrôle du convertisseur DC-DC, on va utiliser une commande MPPT.

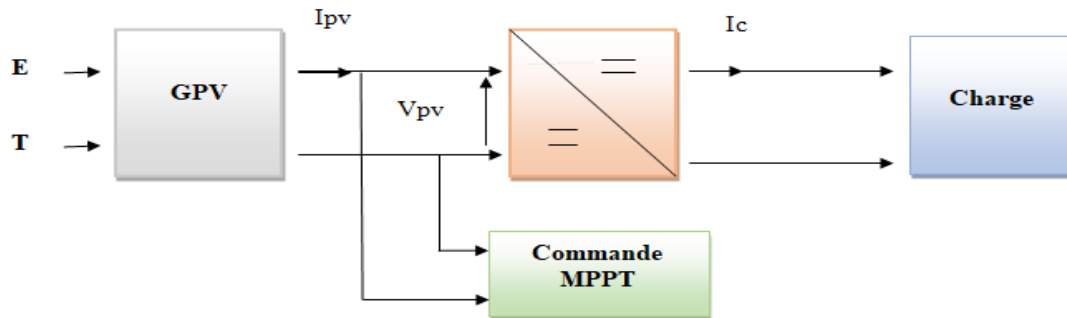


Figure 8: Système photovoltaïque

3.1. Générateur photovoltaïque :

La puissance produite par une seule cellule solaire est très faible, pour cette raison les cellules solaires sont en général associées en série ou/et en parallèle, puis encapsulées sous verre afin d'obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV se compose d'un nombre de cellules photovoltaïques élémentaires montés en série et/ou en parallèle pour avoir les caractéristiques électriques désirées telles que le courant court-circuit (I_{cc}), la puissance ainsi que la tension de circuit ouvert (V_{co}).

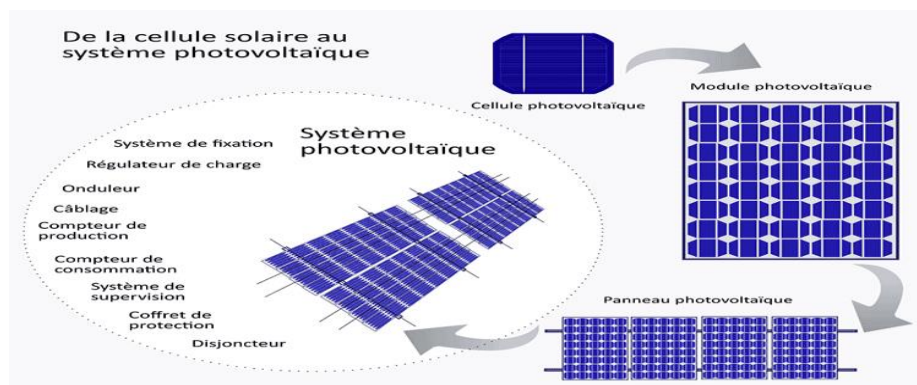


Figure 9: de la cellule solaire au système photovoltaïque

Le regroupement de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur PV. Précisément, si les cellules se connectent en parallèle, les courants de chaque cellule s'additionnent, augmentant le courant total du générateur. Par contre si les cellules se connectent en série, dans ce cas c'est la tension totale du générateur qui augmente.

3.1.1. Caractéristiques courant-tension d'un système photovoltaïque :

Dans la figure ci-dessous est représentée la caractéristique I-V (Courant en fonction de la tension) dans des conditions de test bien précises (STC : Standard Test Conditions).

Les conditions standard de test sont les suivantes :

- Un ensoleillement égal à 1000 W/m^2 ,
- une température ambiante égale à 25°C .

On s'aperçoit donc que cette caractéristique possède un point de puissance maximale (MPP) caractérisé par son courant et sa tension optimaux notés respectivement I_{opt} et V_{opt} .

Il est nécessaire de se situer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi de mieux exploiter la puissance.

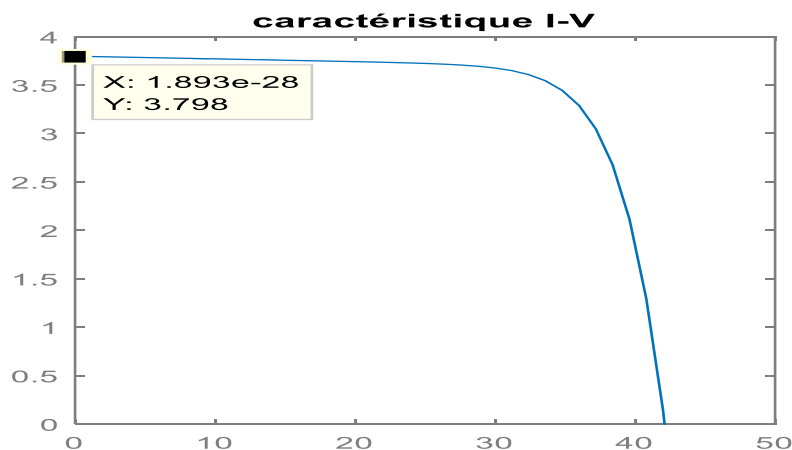


Figure 10: caractéristiques courant- tension

3.1.2. Caractéristique puissance –tension d’un module photovoltaïque :

Sur la figure ci-dessous est représentée l’allure générale de la caractéristique (P-V) pour des conditions standards CST. La courbe passe par un maximum (M), qui représente la puissance maximale débitée par le générateur.

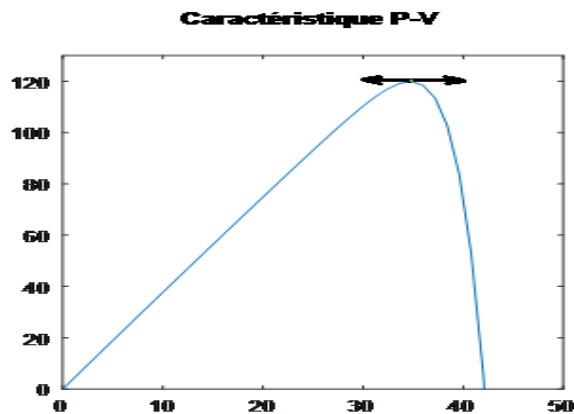


Figure 11: caractéristiques puissance-tension

Le point « MPP » désigne le point de la puissance maximale débitée par le générateur photovoltaïque.

3.1.3. Zone de fonctionnement du module solaire :

Le point de fonctionnement d'un système PV est dépendant de la valeur de la charge aux bornes du générateur. Sur la figure ci-dessous sont représentées les trois régions essentielles suivantes :

- Région (I) : c'est une zone où le générateur PV fonctionne comme un générateur de Courant.
- Région (II) : c'est la région intermédiaire entre les deux régions I et III. Cette partie Représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur où se trouve le point de puissance maximale (MPP).
- Région (III) : correspond à la région où la variation de courant correspondant à une tension presque constante. Dans cette région le générateur fonctionne comme un générateur de tension.

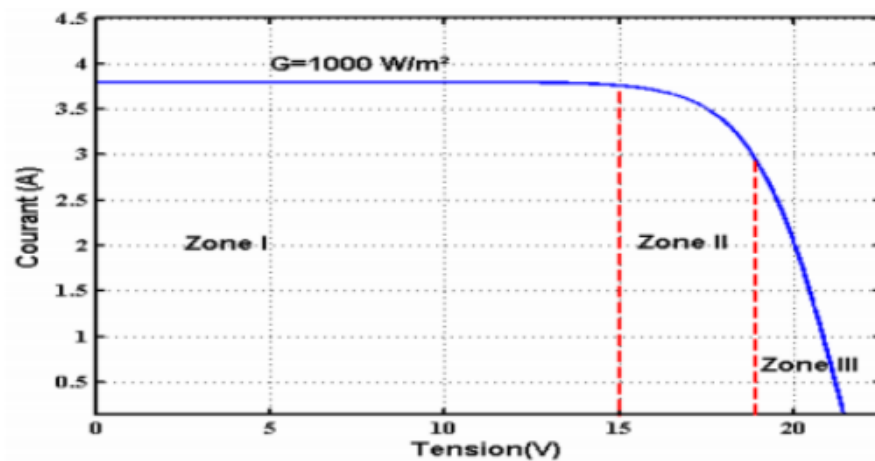


Figure 12 zone de fonctionnement d'une cellule solaire

3.1.4. Influence de la température sur les caractéristiques I-V et P-V

Les caractéristiques électriques d'un module PV dépendent de deux principaux paramètres qui sont : l'éclairement et la température. Sur la figure est illustrée la caractéristique $I - V$ d'un GPV pour différentes valeurs de température et pour un niveau d'ensoleillement fixé. Ces courbes nous montrent que lorsque la température augmente, le courant de court-circuit augmente légèrement, alors que la tension de circuit ouvert diminue. Ainsi cette influence se traduit par une diminution de la puissance maximale

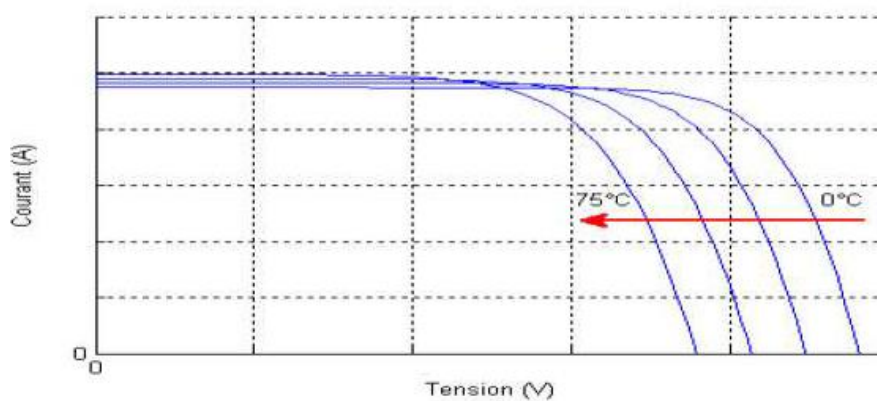


Figure 13: Influence de la température sur les caractéristiques I-V

Comme le montre la figure si dessus, la température a des impacts sur la caractéristique (P-V). Cette figure montre la variation de la puissance délivrée par le générateur PV en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température.

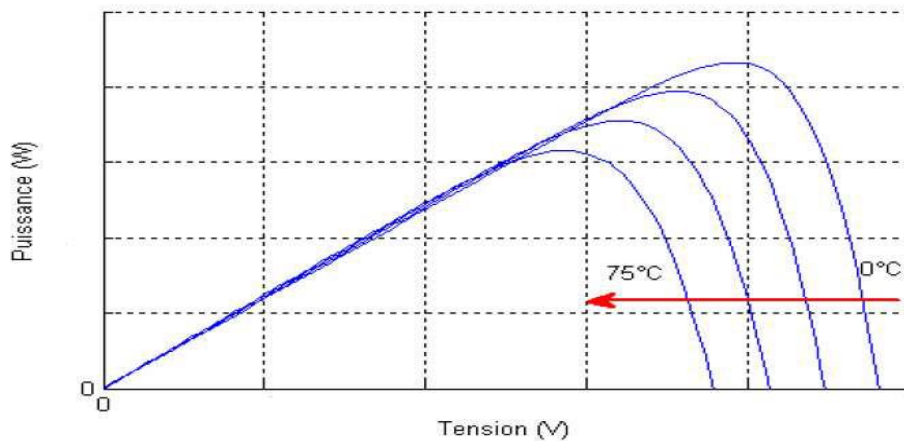


Figure 14: Influence de la température sur les caractéristiques P-V

3.1.5. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I – V et P – V :

L'évolution de la caractéristique (I-V) en fonction de l'éclairement pour une température constante est illustrée sur la figure ci-dessus. Il est clair que la valeur de courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'ensoleillement.

Comme le montre cette figure, l'augmentation de l'éclairement fait augmenter fortement le courant de court-circuit contrairement à la tension de circuit –ouvert qui varie légèrement avec l'éclairement.

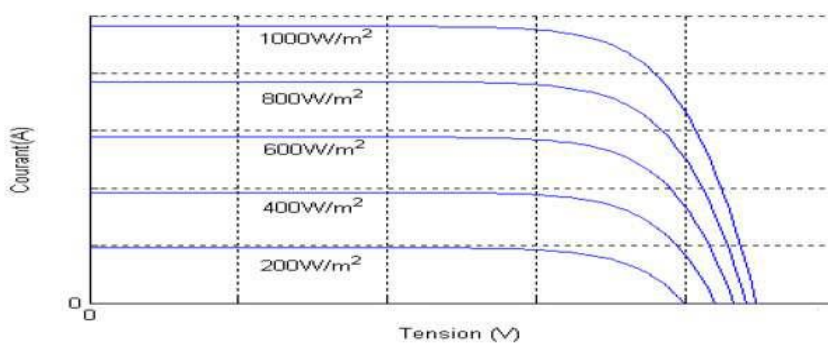


Figure 15: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I-V

L'éclairement a des effets non seulement sur la caractéristique I-V mais aussi sur la caractéristique puissance –tension. La figure ci-dessous illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement.

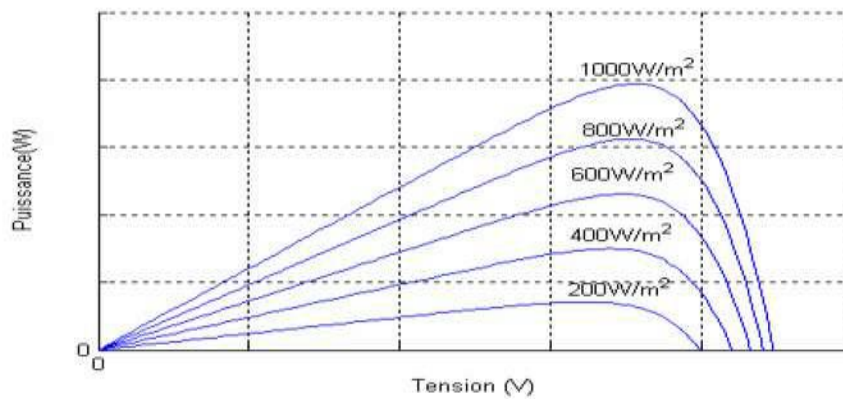


Figure 16: Influence de l'éclairement sur les caractéristiques P-V :

3.1.6. Mise en série / parallèle des modules photovoltaïques :

La mise en série et en parallèle répond aux règles connues de l'électricité : quand les modules sont montés en série, les tensions s'ajoutent et le courant reste constant, et quand ils sont montés en parallèle, c'est l'inverse les courants s'ajoutent et la tension reste constante.

Encore il faut que les courants des différents panneaux soient identiques dans une liaison série et que les tensions dans une liaison parallèle.

On retiendra donc la première règle suivante on ne monte en série que des panneaux ayant le même courant de fonctionnement (mais ils peuvent ne pas avoir la même tension), et on ne monte en parallèle que des panneaux qui ont la même tension).

Dans la réalité il n'y a pas deux panneaux strictement identiques, cela consiste à mettre ensemble des panneaux dont les valeurs sont le plus proche possible. Même appariés, les panneaux peuvent, sur le terrain, ne pas débiter la même puissance, tout simplement parce qu'ils ne reçoivent pas le même rayonnement solaire une ombre portée sur une partie du champ photovoltaïque peut faire baisser momentanément, de manière significative, la production de la partie moi exposée.

De même que les cellules ombrées dans le phénomène de « hot-spot », un panneau moins bien exposé peut devenir récepteur de autres panneaux, et recevoir de la puissance en inverse. Le plus simple pour éviter tout problème de ce type est de placer une diode anti-retour de puissance adéquate en sortie de chaque série de panneaux

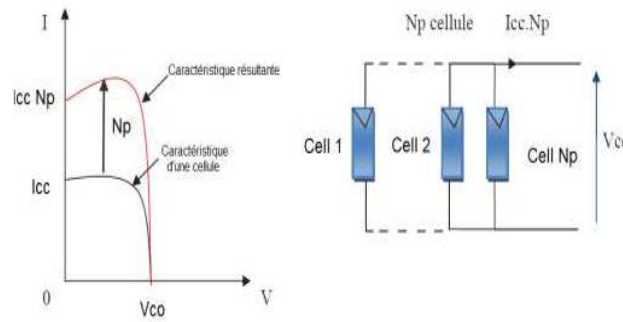


Figure 17: Mise en parallèle d'un module photovoltaïque

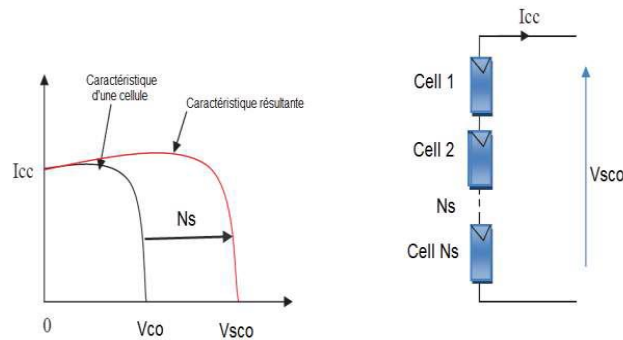


Figure 18: Mise en série d'un module photovoltaïque

3.2. Etage d'adaptation :

Comme illustré précédemment, un générateur PV admet des caractéristiques non linéaires présentant un point de puissance maximale. Ces caractéristiques sont dépendantes entre autre de la température ainsi que du niveau d'éclairement de la cellule. En plus, suivant les caractéristiques de la charge sur laquelle le générateur PV débite, il existe un grand écart entre la puissance réellement transférée à la charge en mode connexion directe et la puissance potentielle du générateur. Dans le but d'extraire à chaque instant la puissance maximale disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge, il suffit d'introduire un étage d'adaptation entre la charge et le GPV. Le rôle de cet étage est d'assurer à travers une action de contrôle, le transfert de la puissance maximale fournie par le générateur [4].

Le choix de convertisseur s'effectue en fonction de la caractéristique de la charge à alimenter. Ce convertisseur peut être un hacheur dévolteur ou survolteur, le rôle de cet étage est d'assurer à travers une action de contrôle, le transfert de la puissance maximale fournie par le générateur.

3.2.1. Hacheur Buck (série/abaisseur) :

Dans cette section, le convertisseur dévolteur ou hacheur série ou encore hacheur Buck est utilisé pour convertir une tension continue en une autre continue ayant une plus faible valeur. Comme montré dans la figure ci-contre l'interrupteur commandé Q est placé en série avec la source d'où son nom hacheur série [3].

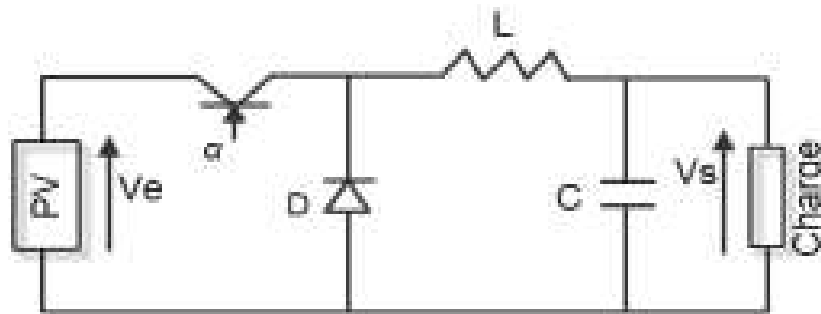


Figure 19: Schéma d'un hacheur Buck

Principe de fonctionnement :

Phase 1 : $0 < t < \alpha T$:

Si le commutateur Q est activé à $t=0$, un courant circule dans le circuit, mais ne passe pas par la diode D puisqu'elle est inversement polarisée. Le courant i n'augmente pas immédiatement, mais plutôt linéairement avec un taux d'accroissement imposé par l'inductance L.

En supposant que la valeur de la capacité du condensateur C_2 est suffisamment élevée pour que la tension V_{load} soit supposée constante.

On a:

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

Or:
$$V_L = V_s - V_e$$

Donc:
$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s - V_e}{L}$$

D'où:

$$i(t) = \left(\frac{V_e - V_e}{L}\right)t + I_0$$

Pour $t = \alpha T$

$$i(\alpha T) = \left(\frac{V_e - V_e}{L}\right) \alpha T + I_{min} = I_{max}$$

Phase 2 : $\alpha T < t < T$

Si S_1 est désactivé après $t = \alpha T$, la charge est déconnectée de son alimentation. Le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers la diode D appelée « diode de roue libre ». Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surtension.

Selon l'équation ci-dessous, le courant décroît.

$$\frac{di}{dt} = \frac{-V_e}{L}$$

$$i(t) = \frac{-V_e}{L}(T - \alpha T) + I_1$$

Pour $t = T$

$$i(T) = I_{min} = \frac{-V_e}{L}(T - \alpha T) + I_{max}$$

D'où

$$I_{max} - I_{min} = \frac{-V_e}{L}(T - \alpha T) = \Delta I$$

D'après les équations précédentes, on a :

$$\frac{V_s}{L}(T - \alpha T) = \left(\frac{V_e - V_s}{L}\right) \alpha T$$

La relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est donc la suivante :

$$V_s = \alpha \times V_e$$

3.2.2. Hacheur élévateur « BOOST » :

Le hacheur survolteur (élévateur) ou encore hacheur parallèle ou boost, est utilisé pour accroître la tension de sortie par rapport à la source. Comme l'illustre la figure ci-contre

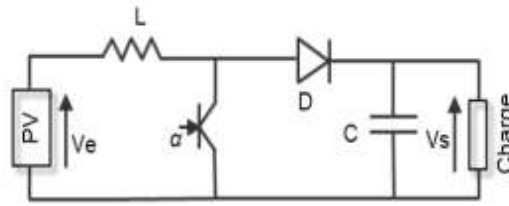


Figure 20: Schéma d'un hacheur Boost

Principe de fonctionnement :

Phase 1 : $0 < t < \alpha T$

Durant l'état passant, l'interrupteur Q est fermé, le courant d'entrée, qui s'élève, traverse l'inductance L et le transistor.

$$V_e = L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = \frac{V_e}{L}t + I_0$$

Or pour $t = \alpha T$ $i(t) = \frac{V_e}{L}\alpha T + I_{min} = I_{max}$

D'où $I_{min} - I_{max} = \frac{V_e}{L}\alpha T$

Phase 2: $\alpha T < t < T$

$$V_e - V_s = L \times \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = \frac{V_e - V_s}{L} \times (t - \alpha T) + I_1$$

Pour $t = T$ $i(t) = \frac{V_e - V_s}{L} \times (T - \alpha T) + I_{max} = I_{min}$

D'où $I_{max} - I_{min} = \frac{-(V_e - V_s)}{L} \times (T - \alpha T)$

D'après les deux équations, on a :

$$\frac{-(V_e - V_s)}{L} (T - \alpha T) = \frac{V_e}{L} \alpha T$$

Par conséquent :

$$V_{load} = \frac{1}{1 - \alpha} V_e$$

3.2.3. Hacheur élévateur-dévolteur :

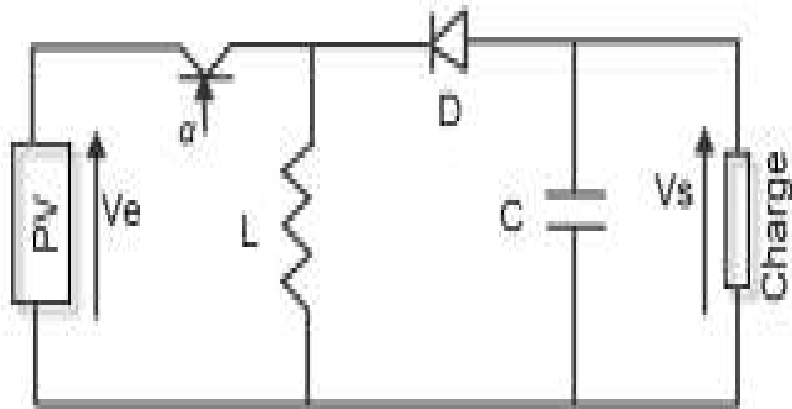


Figure 21: Schéma d'un hacheur Buck- boost

Ce convertisseur combine les propriétés des deux convertisseurs dévolteur et survolteur. Il permet de générer à partir d'une tension continue, une autre continue plus faible ou plus élevée. Cette variation de tension dépend de la valeur du rapport cyclique.

Principe de fonctionnement :

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse.

Phase 1 : $0 < t < \alpha T$:

Durant la première phase, l'énergie apportée par la source (générateur PV) est stockée dans l'inductance L, le courant qui la traverse augmente. La diode D est bloquée et V_d est nulle, pendant cette phase il n'y a pas d'échange d'énergie entre les deux sources de tension.

On a:

$$V_{load} = L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = \frac{V_{pv}}{L}t + I_{min}$$

A l'instant $t=\alpha T$, le courant dans l'inductance atteint la valeur crête

$$i(t) = I_{max} = \frac{V_{pv}}{L}t + I_{min}$$

Phase 2 : $\alpha T < t < T$:

Durant la deuxième phase, l'énergie stockée dans l'inductance L est livrée ensuite à la charge, cette phase correspond à la phase de décroissance de courant dans l'inductance L. la diode D devient conductrice.

On a:

$$V_{load} = -L \frac{di}{dt}$$

D'où:

$$i(t) = I_0 - \frac{V_{load}}{L} \times (t - \alpha T)$$

A l'instant $t=T$, le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

$$i(t) = I_{min} = I_{max} - \frac{V_{load}}{L} \times (1 - \alpha)T = \frac{V_{pv}}{L} \alpha T$$

Donc :

$$V_{load} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times V_{pv}$$

On constate que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que de la tension d'entrée et du rapport cyclique α . Le rapport de la transformation de ce convertisseur peut être soit abaisseur ($\alpha > 0.5$) d'où l'appellation anglo-saxonne de Buck-boost. Par contre, la tension de sortie est toujours de signe opposé à celle d'entrée, pour cette raison nous lui préférons l'appellation de convertisseur inverseur

3.3. Principe de la commande MPPT :

La technique de suivi du point à puissance maximal (MPPT) a été développée depuis 1968 cette commande est essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV dans les conditions météorologiques et de charge stable. Le principe de régulation se base sur la variation automatique du courant, ou la tension V . Pour cette raison, on va présenter et étudier par la suite deux algorithmes de commande celui de la méthode « perturbation et observation » et la méthode « conductance incrémentale »

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les principales caractéristiques d'un générateur photovoltaïque. On a également montré que les performances d'un module photovoltaïque sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement la température et l'ensoleillement. Ce chapitre nous a également permis de dégager les problèmes rencontrés pour une connexion directe GPV – Charge, et montrer par conséquent la nécessité de l'utilisation d'un étage d'adaptation permettant le transfert maximal de la puissance photovoltaïque vers la charge.

CHAPITRE II : Modélisation et analyse d'un système photovoltaïque avec deux commandes MPPT sous MATLAB Simulink

1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à la modélisation d'un système global constitué par un GPV, une charge continue ainsi qu'un hacheur survolteur. Pour le contrôle du convertisseur DC-DC, on va utiliser deux types de commande MPPT qui sont la commande Perturbation & Observation (P&O) et la commande Conductance Incrémentale (CI).

Pour ce faire, on va focaliser dans la première partie du chapitre, au développement des modèles élémentaires du système photovoltaïque global constitué par un panneau photovoltaïque, une charge résistive et un hacheur ainsi que d'analyser la problématique mentionnée dans le chapitre précédent. Dans la deuxième partie du chapitre, on va s'intéresser au développement des deux commandes.

2. Modélisation du système global :

Pour étudier le système global, on va s'intéresser à la modélisation de chacun des blocs de ce système qui sont :

- Le Générateur Photovoltaïque
- le hacheur
- la charge qu'on va supposer une résistance pure.

Ces blocs seront par la suite intégrés dans un modèle global qui reflète le comportement réel du système. La modélisation élémentaire effectuée pour chaque partie du système photovoltaïque doit être adaptable à toute topologie de commande.

2.1. Modélisation d'un générateur photovoltaïque (GPV)

La figure représente le modèle sous Matlab/Simulink du panneau photovoltaïque avec ses caractéristiques pris du Datasheet (voir tableau 1). Ce modèle est composé de 36 cellules en série.

Tab1: Les caractéristiques du PV pris du Data-sheet :

Grandeur physique	valeur
Courant de court-circuit : I_{cc}	3.8
Courant de saturation : I_s	4.9787e-13
Tension nominal : V_n	0.649599
Résistance série : R_s	0.8
Résistance parallèle : R_p	360
Tension circuit-ouvert : V_{co}	21.1
Tension thermique : V_t	0.97952
Température : $T(^{\circ}C)$	25
Facteur d'idéalité : n	1.36
Nombre de cellules en série	36
Eclairement (W/m^2): E	1000

Le modèle du panneau photovoltaïque sous MATLAB :

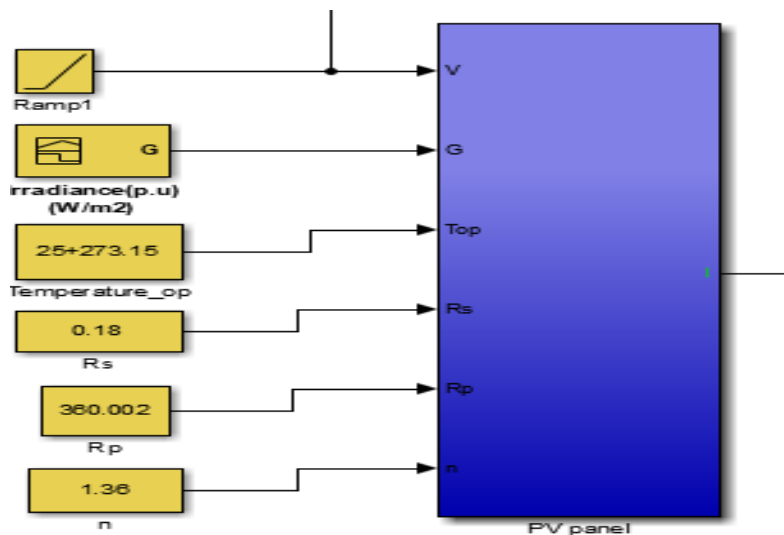


Figure 22 Modèle du panneau PV sous Matlab

D'après le schéma équivalent d'un PV l'équation du Courant du panneau est égale à :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh}$$

La modélisation du courant du panneau sous matlab sera la suivante :

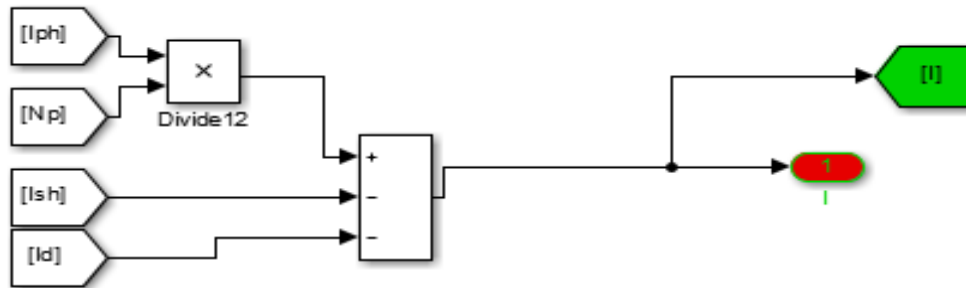


Figure 23: Equation du courant du panneau sous Matlab

La modélisation du courant photonique d'après son équation sous Matlab sera la suivante :

courant photonique : $I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \times [I_{sc} + K_i \times (T - T_{ref})]$

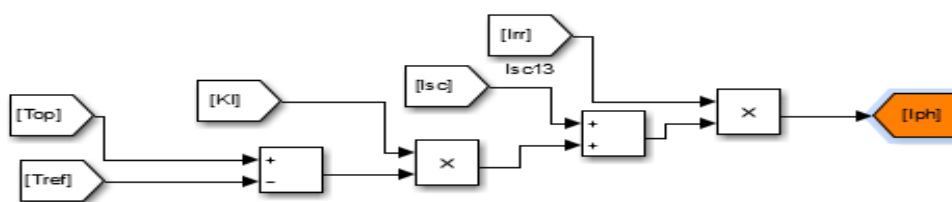


Figure 24: Modélisation de courant photonique sous Matlab

La modélisation du courant de la diode d'après son équation sous Matlab sera la suivante :

Courant de la diode : $I_d = I_s \times \exp\left(\frac{V_d}{n \times N_s \times V_t} - 1\right)$

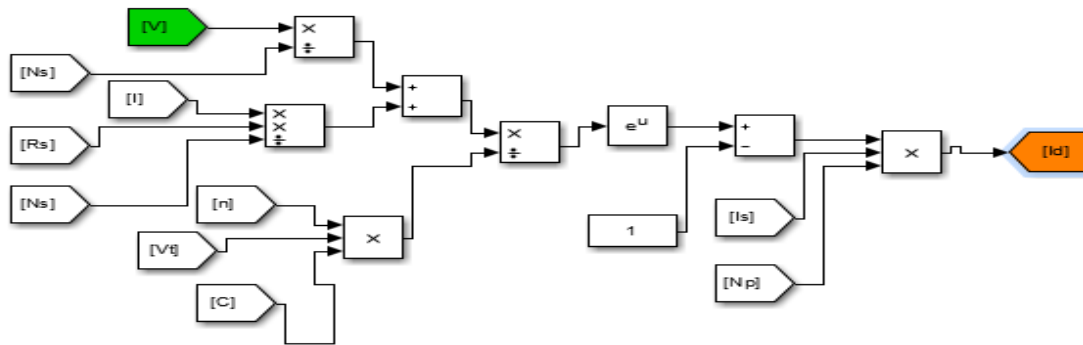


Figure 25 : Modélisation du courant de la diode sous Matlab

La modélisation du courant de la résistance shunt d'après son équation sous Matlab sera la suivante :

$$\text{Courant shunt : } I_{sh} = \frac{V + R_s \times I}{R_p}$$

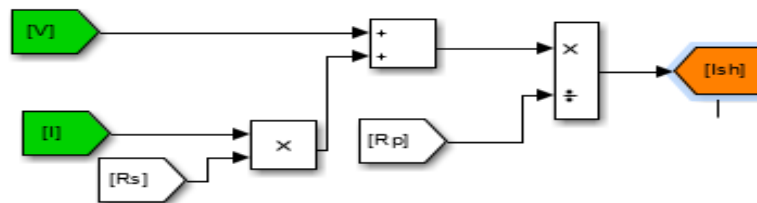


Figure 26: Modélisation du courant shunt sous Matlab

Courant de saturation :

La modélisation du courant de saturation sous Matlab sera la suivante :

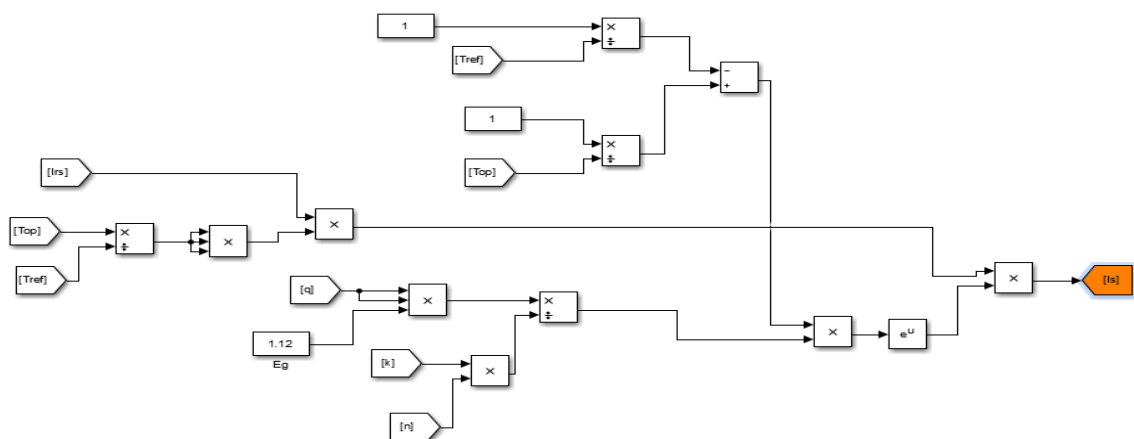


Figure 27: Modélisation du courant de saturation sous Matlab

Tous les équations suivantes va être implémenté sous Matlab pour avoir à la fin un panneau photovoltaïque qui délivre une puissance à des conditions précises tel que :

$$G=1000\text{W/m}^2 ; T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_s= 0.18\text{ ohms}$$

$$R_p=360.002\text{ ohms}$$

$$n=1.36$$

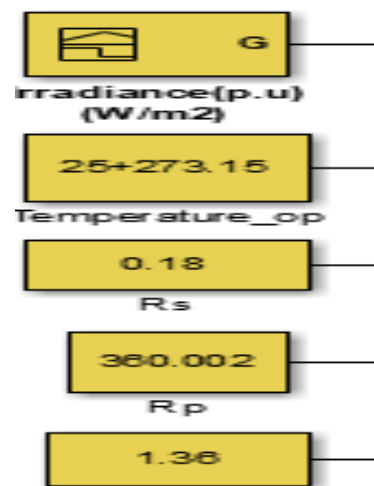


Figure 28: Les paramètres implémentés dans le PV

2.2. Etude de la problématique de transfert du maximum de puissance :

Dans cette partie, on va faire des tests sur le panneau photovoltaïque dans le but d'analyser les résultats obtenus par connexion directe d'un GPV à une résistance.

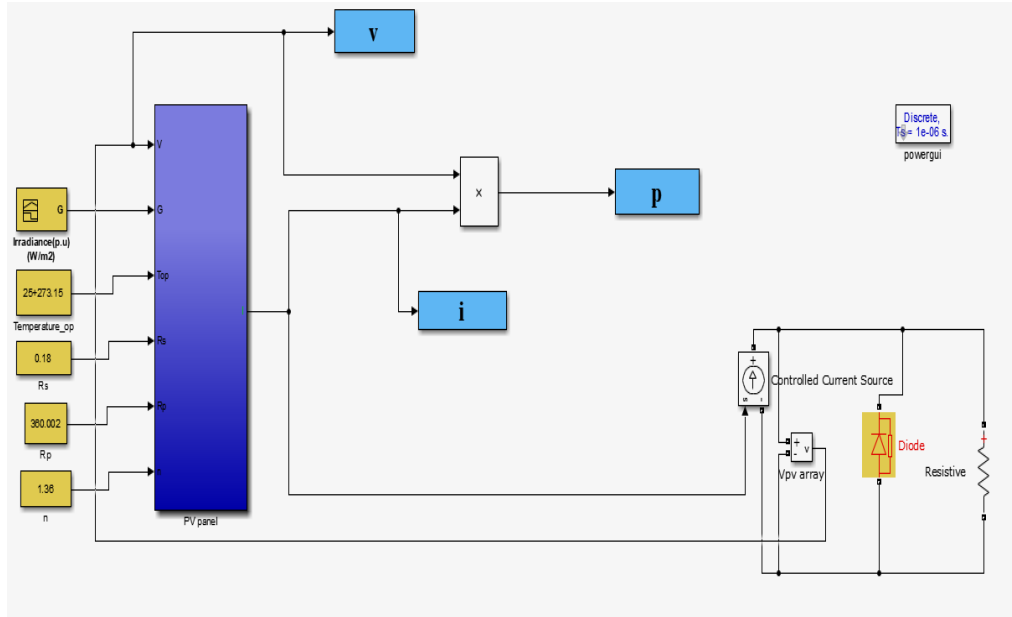


Figure 29: Modélisation d'un système PV (Panneau et charge résistive)

Notre but est d'atteindre la puissance maximale du panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque se comporte comme un générateur avec une résistance interne noté r donc l'équation de la puissance fournie à la charge s'écrit comme suit :

$$P_{charge} = R_{charge} \times I^2, \text{ avec : } I = \frac{V_{pv}}{(r + R_{charge})}$$

$$\Leftrightarrow P_{charge} = R_{charge} \times \frac{V_{pv}^2}{(r + R_{charge})^2}$$

On obtient P_{charge} est maximale pour :

$$\frac{dP_{charge}}{dR_{charge}} = 0$$

On a:
$$\frac{dP_{charge}}{dR_{charge}} = \frac{E^2 \times (r + R_{charge})^2 - R_{charge} \times E^2 \times 2 \times (r + R_{charge})}{(r + R_{charge})^4}$$

Donc :

Pour $E^2 \times (r + R_{charge})^2 - R_{charge} \times E^2 \times 2 \times (r + R_{charge}) = 0$

$\Leftrightarrow E^2 \times (r + R_{charge})^2 = R_{charge} \times E^2 \times 2 \times (r + R_{charge})$

$\Leftrightarrow R_{charge} = r$

\Rightarrow Donc, on peut constater que dans le cas du branchement d'une charge résistive, il faut que l'impédance de la charge et l'impédance interne du panneau soient égales pour que les modules restent tout le temps à leur point de fonctionnement optimal

2.2.1. Essai sous MATLAB Simulink :

A l'aide de Matlab, on a pu déterminer le courant et la tension correspondant à la puissance maximale qu'on doit l'extraire

```
>> [val,m]=max(p)

val =
    37.6937

m =
    52

>> v(52)

ans =
    10

>> i(52)

ans =
    3.7694
```

Figure 30: Mesures de courant et de la tension à l'aide du Matlab

D'où, la résistance interne du panneau photovoltaïque $R_{pv} = \frac{V_{opt}}{I_{opt}} = 2.65 \Omega$.

Pour vérifier notre analyse, on fait quelques essais au panneau photovoltaïque.

1^{er} Essai :

Pour $R_{\text{charge}} = 25\Omega$ ($R_{\text{charge}} > R_{\text{pv}}$)

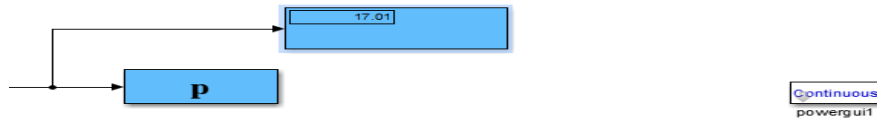


Figure 31: Mesure de la puissance correspondante a une charge de 25Ω

2^{ème} Essai :

Pour $R_{\text{charge}} = 2.65\Omega$ ($R_{\text{charge}} = R_{\text{pv}}$)

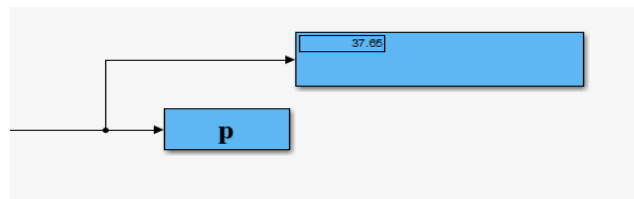


Figure 30: Mesure de la puissance correspondante a une charge de 2,65 Ω

➔D'après les résultats obtenus, on peut déduire qu'un panneau lié directement à la charge même aux conditions d'ensoleillement et de température idéales ne peut pas atteindre sa puissance maximale

Pour que la charge puisse tirer le maximum de puissance du PV, il faut que R_{charge} soit égale à r interne du panneau photovoltaïque. Toutefois, il est difficile de trouver une charge de résistance interne adaptée à notre PV pour pouvoir extraire un maximum de puissance. L'objectif maintenant est d'introduire un étage d'adaptation d'impédance en puissance qui permet un transfert d'énergie optimal.

2.2.2. Choix du convertisseur :

2.2.2.1. Cas d'un hacheur dévolteur :

Un hacheur série permet de régler le transfert d'énergie d'une source de tension continue vers une source de courant continue en liaison direct. C'est –à-dire sans élément intermédiaire d'accumulation. L'interrupteur électronique H, place en série avec la source de tension, est périodiquement fermer pendant une durée αT et ouvert pendant $(1-\alpha) T$, ou T est la période de fonctionnement. Le schéma qui illustre le hacheur dévolteur et celle de la figure.



Figure 32: Hacheur dévolteur

On a :

$$P_s = \frac{V_s^2}{R}$$

Or

$$V_s = \alpha \times V_e$$

Donc un hacheur dévolteur fait augmenter l'impédance vue par V_e , c'est pour cette raison qu'il est praticable pour les charges ayant des petites résistances.

2.2.2.2. Cas d'un hacheur survolteur :

Le hacheur parallèle permet de varier le courant fourni par une source de courant I dans un récepteur de tension U . Ce hacheur est, constitué d'un interrupteur à ouverture commandée en parallèle avec le récepteur et d'un interrupteur à fermeture et ouverture spontanée entre la source et le récepteur.



Figure 33: Hacheur survolteur

Pour le cas d'un hacheur survolteur, on a ;

$$V_s = \frac{V_e}{1 - \alpha}$$

Donc un hacheur survolteur fait diminuer l'impédance vue par V_e , c'est pour cette raison qu'il est praticable pour les charges ayant des grandes résistances.

2.2.2.3. Cas d'un hacheur survolteur-dévolteur :

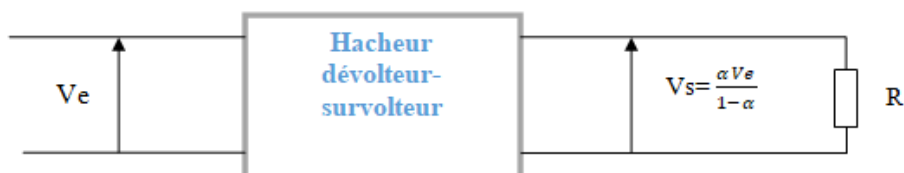


Figure 34: Hacheur survolteur-dévolteur

Pour le cas d'un hacheur survolteur-dévolteur, on a :

$$V_S = \frac{\alpha \times V_e}{1 - \alpha} \quad (1)$$

Par conséquent, si, d'une part, $\alpha < 0.5$, le convertisseur fonctionne comme un hacheur dévolteur. Et si, d'autre part, $\alpha > 0.5$, le convertisseur fonctionne comme un hacheur survolteur.

➔ A cet égard, pour que notre système puisse fonctionner d'une manière optimale pour une valeur de résistance = 500 Ω , on a choisi le hacheur survolteur (boost) comme un étage d'adaptation.

3. Modélisation du hacheur (boost):

3.1. Modèle sur Matlab Simulink :

A l'aide de Matlab Simulink on va modéliser notre hacheur Boost on se basant sur le choix des composants

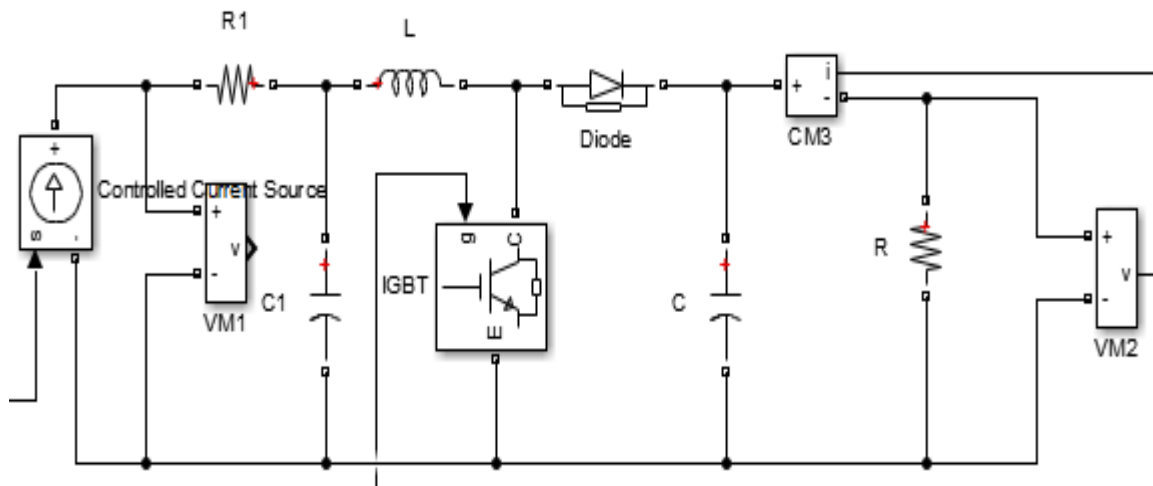


Figure 35: Modélisation d'un hacheur survolteur sur Matlab

3.2. Génération d'un signal par MLI :

Notre hacheur BOOST va être commandé par La technique de modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation PWM) qui consiste à générer un signal rectangulaire avec un rapport cyclique variable en fonction d'un signal de commande

La figure ci-contre montre le fonctionnement de la modulation de largeur d'impulsion (MLI). Une porteuse triangulaire est comparée à un signal de consigne (le rapport cyclique). Le signal de sortie est au niveau haut lorsque la consigne est supérieure à la porteuse, au niveau bas dans le cas contraire.

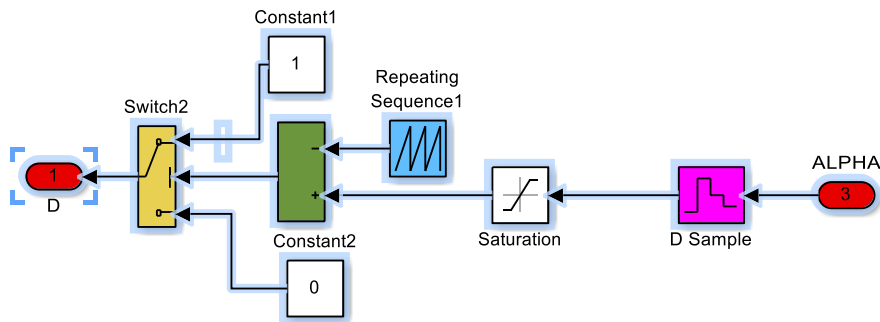


Figure 36: Modélisation du signal MLI sous Matlab

4. La stratégie de commande :

Un panneau solaire de la première génération est généralement dimensionné pour avoir un PPM. Grâce à cette configuration, une simple connexion directe via une diode anti retour est suffisante pour réaliser le transfert d'énergie du générateur PV à la charge. Cependant, les caractéristiques non-linéaires du module PV ainsi que sa sensibilité à la condition extérieure tels que l'éclairement et la température, induisent des pertes énergétiques. L'utilisation d'un étage d'adaptation basé sur la commande MPPT afin d'optimiser la production énergétique à chaque instant est donc de plus en plus préconisée.

Dans cette partie on donnera une présentation et description du système MPPT[5].

4.1. Principe de la commande MPPT

Des méthodes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximaux de leurs caractéristiques sans qu'à priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache à quel moment ils ont été modifiés, ni quelles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques comme notre panneau solaire cela se traduit par des points de puissance maximale. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » en anglais (MPPT). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximale (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance. Cette technique consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le GPV à sa valeur optimale de fonctionnement quelles que soient les fluctuations atmosphériques. Les méthodes les plus communément rencontrées sont la Perturbation et Observation (P&O) et Conductance Incrémentielle (IC) et les réseaux de neurones.

Concernant notre travail , on va se focaliser sur la modélisation des deux commandes P&O et IC

4.2. La Méthode de la Perturbe and Observe (P&O) :

L'algorithme P&O est largement utilisé parce qu'il a la particularité d'avoir une structure simple, et peu de paramètre de mesure, pour l'utiliser on considère que le PV fonctionne à un point qui n'est pas obligatoirement le MPP. La méthode P&O fonctionne en perturbant périodiquement la tension du panneau V et on observe la variation de l'énergie électrique délivrée à la sortie du PV [6].

- Si $\Delta P > 0$ alors la perturbation de la tension déplace le point de fonctionnement vers un point plus proche du MPP et on continue à perturber la tension dans la même direction cela va déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.

- Si $\Delta P < 0$ le point de fonctionnement s'éloigne du MPP alors on perturbe la tension avec un signe algébrique contraire au signe précédent pour déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.

La figure ci-dessous montre l'algorithme utilisé pour implémenter la commande P&O sous MATLAB simulink :

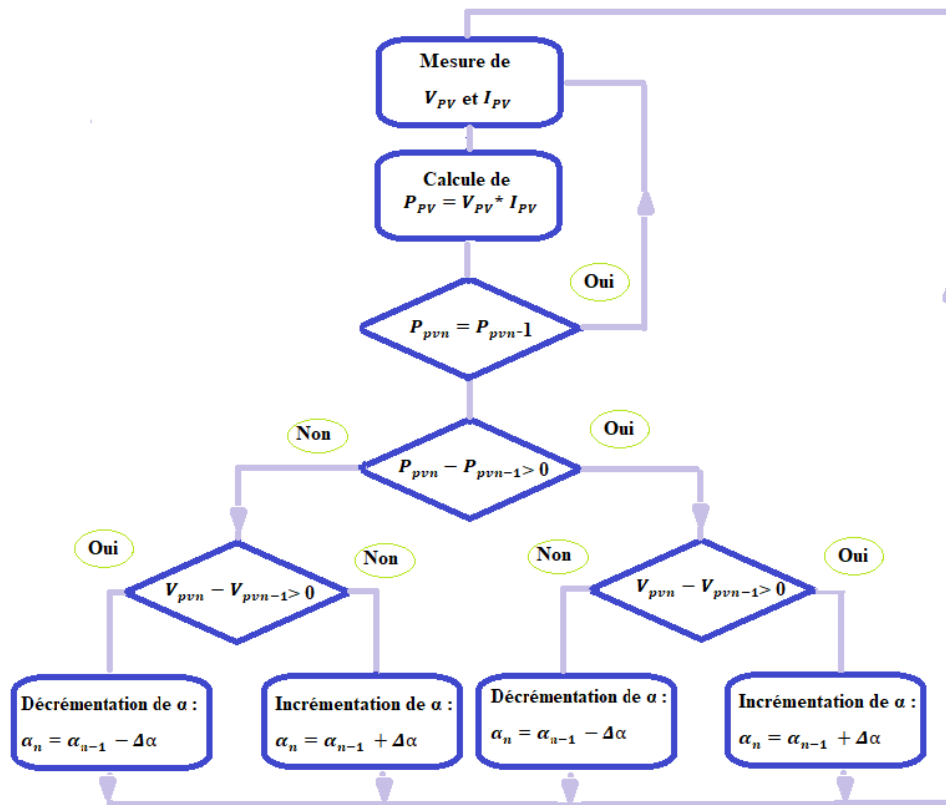


Figure 37: Algorithme de la commande Perturbe et Observe

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique α . En effet, suite à cette perturbation, on calcule la valeur de la puissance fournie par le panneau PV à l'instant k, puis on la compare à celle précédente de l'instant (k-1). Si la puissance augmente, on s'approche du point à maximum de puissance (MPP) et la variation du rapport cyclique est maintenue dans le même sens. Au contraire, si la puissance diminue on s'éloigne du point MPP. Alors, on doit inverser le sens de la variation du rapport cyclique

4.2.1. Modélisation sous Matlab :

La modélisation de la commande P&O sous matlab va se faire par un code comme suit :

```
function D = PandO(Param, V, I)
Dinit = Param(1);
Dmax = Param(2);
Dmin = Param(3);
deltaD = Param(4);
persistent Vold Pold Dold;
dataType = 'double';
    if isempty(Vold)
        Vold=0;
        Pold=0;
        Dold=Dinit;
    end
P= V*I;
dV= V - Vold;
dP= P - Pold;
if dP ~= 0
    if dP < 0
        if dV < 0
            D = Dold - deltaD;
        else
            D = Dold + deltaD;
        end
    else
        if dV < 0
            D = Dold + deltaD;
        else
            D = Dold - deltaD;
        end
    end
else D=Dold;
end
if D >= Dmax | D<= Dmin
    D=Dold;
end
Dold=D;
Vold=V;
Pold=P;
```

Figure 381: code de l'Algorithme de la commande Perturbe et Observe

4.3. Méthode de la Conductance Incrémentielle

La conductance est une grandeur physique relativement connue : il s'agit du quotient de l'intensité du courant par la tension ($G=I/V$) . La conductance Incrémentielle est rarement définie ; il s'agit du quotient de la variation, entre deux instants, de l'intensité du courant par celle de la tension ($G = dI / dV$).

Nous allons dans cette méthode nous intéresser directement aux variations de la puissance et de la tension sous forme d'un produit pour éviter les problèmes mathématiques (dénominateur nul).

4.3.1. Algorithme de la méthode Conductance Incrémentale :

Une autre variante de la commande P&O, est celle à incrémentation de conductance . Elle se base sur la dérivée de la conductance du générateur PV pour connaître la position relative du point MPP, ce qui permet d'appliquer une action de contrôle adéquat poursuivant le point MPP.

La puissance en sortie de la source peut s'écrire :

$$P = I * V$$

D'où en dérivant :

$$\frac{dI}{dV} = I * \frac{dV}{dV} + V * \frac{dI}{dV}$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V * \frac{dI}{dV}$$

Donc :

$$\left(\frac{I}{V}\right) \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} = G + dG$$

En général, la tension issue de la source est positive ; c'est pourquoi, nous pouvons déduire les résultats clés de la méthode de la conductance incrémental qui suivent :

$\frac{dP}{dV} > 0$ donc, $G > -dG$: Le point max se trouve à gauche, donc il faut incrémenter

$\frac{dP}{dV} = 0$ donc, $G = -dG$: On est sur le point maximal

$\frac{dP}{dV} < 0$ donc, $G < -dG$: Le point maximal se trouve à droite, donc il faut décrémenter

Ci-dessous l'algorithme de commande IC utilisé dans notre système :

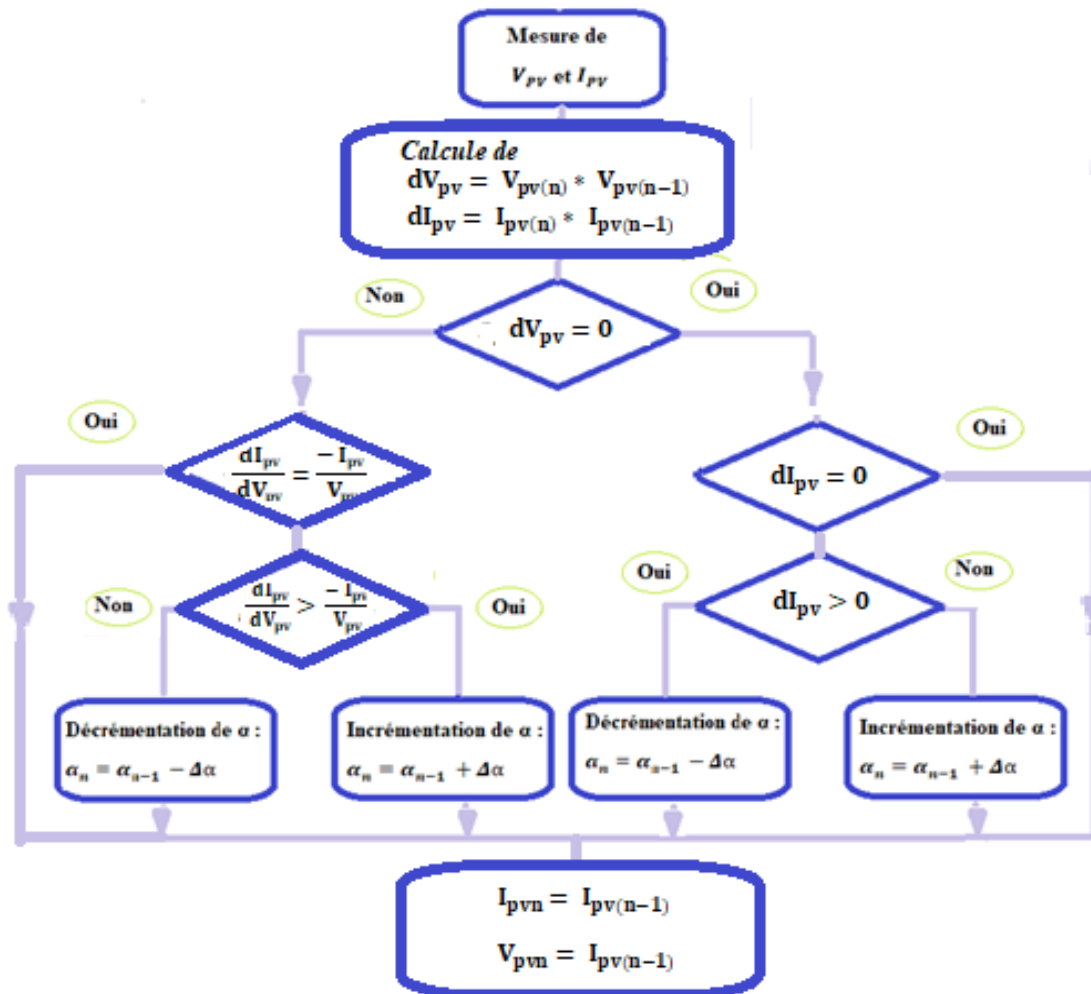


Figure 39: Algorithme de la commande Conductance Incrémentale

Le principe de cet algorithme est basé sur la connaissance de la valeur de la conductance $G=I/V$ et l'incrément de la conductance (dG) pour en déduire la position du point de fonctionnement par rapport au point MPP. Si l'incrément de conductance (dG) est supérieur à l'opposé de la conductance ($-G$), on diminue le rapport cyclique ; sinon on augmente le rapport cyclique. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le point MPP .

4.3.2. Modélisation sur matlab :

Dans la figure ci-dessous est représenté le bloc diagramme utilisé de la commande MPPT (IC).

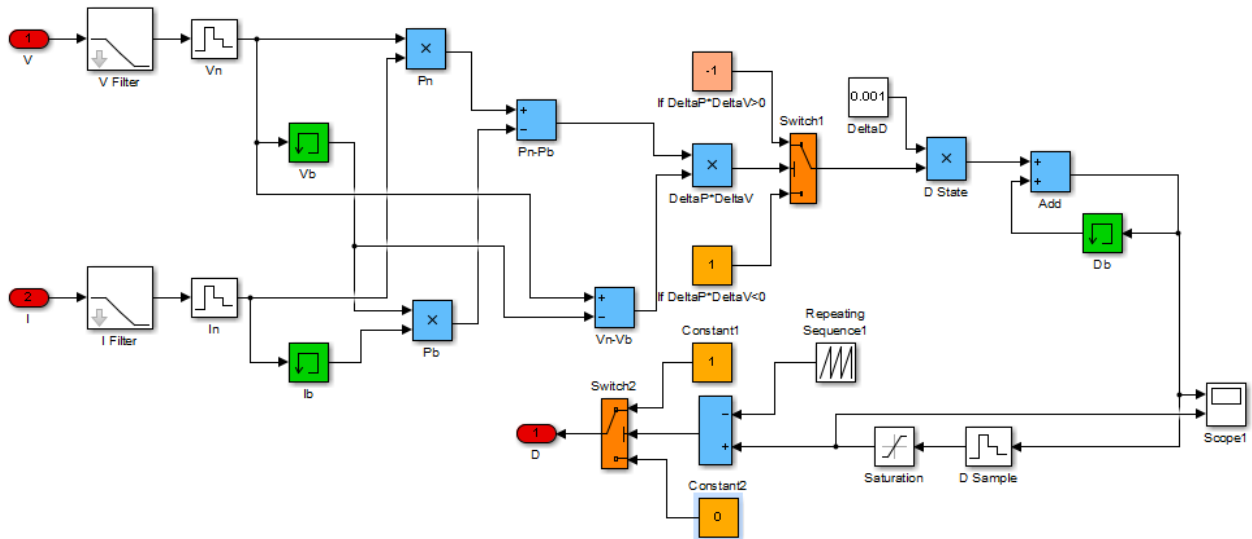


Figure 40: Modélisation de la commande Conductance Incrémentale

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et modélisé deux techniques pour le suivi du point de fonctionnement à puissance maximale. Nous avons commencé par la méthode la plus utilisée P&O qui a un organigramme simple à implémenter et qui converge rapidement. La deuxième méthode présentée est celle à conductance incrémentale s'appuyant sur la variation de la conductance du circuit possède un organigramme plus complexe. Elle ne converge pas rapidement et elle est influencée par le pas de simulation et celui de variation du rapport cyclique.

Chapitre III

Simulation des deux commandes MPPT et Réalisation d'un suiveur de soleil

I. Introduction

Dans ce chapitre, on va commencer par le choix des composants utilisés dans le hacheur BOOST. On présentera par la suite les résultats obtenus par les commandes MPPT (IC) et (P&O). Le système complet va être simulé dans différents cas, à savoir, sans MPPT, et avec MPPT. Des comparaisons vont également être effectuées.

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à l'étude et la réalisation d'un suiveur de soleil d'un seul axe pour que le panneau puisse suivre toujours les rayonnements de soleil ce qui améliorera le rendement du panneau photovoltaïque.

II. Dimensionnement des composants :

Le cahier des charges correspondant à notre application est le suivant :

Tableau 1

<i>Courant d'entrée max</i> = I_{sc}	2.9A	<i>Tension d'entrée max</i> = V_{oc}	21.1 V
<i>Ondulation du courant</i>	5%	<i>Ondulation de la tension</i>	5%
<i>Fréquence de hachage</i>	10 kHz		

Choix de l'interrupteur :

Les transistors sont des dispositifs à l'état solide composés de matériaux semi-conducteurs, généralement de silicium, de germanium et de l'arséniure de gallium. Ils possèdent généralement trois bornes : une borne commune aux signaux d'entrée et de sortie, tandis qu'un signal sur l'une des bornes restantes contrôle le courant dans l'autre borne

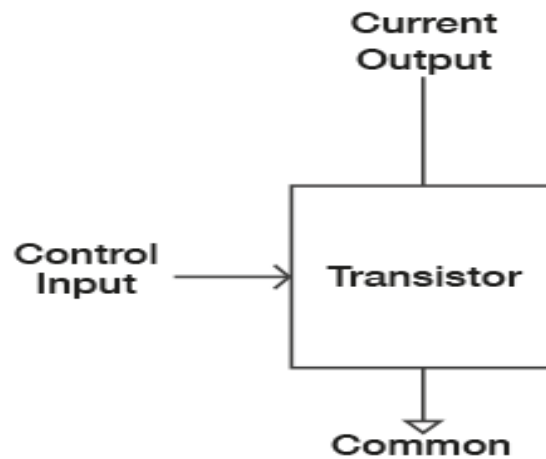


Figure 41: Schéma équivalent d'un transistor

i. Le Transistor bipolaire :

On distingue deux sortes de transistors bipolaires (PNP et NPN) et c'est le sens du courant, qu'ils laissent passer dans une direction et bloquent dans l'autre, qui les différencie.

On distingue trois états de fonctionnement d'un transistor :

- État passant Un courant (modulé ou fixe) sur la Base (B) permet de laisser passer plus ou moins de courant (qui sera également modulé ou fixe) entre C et E.

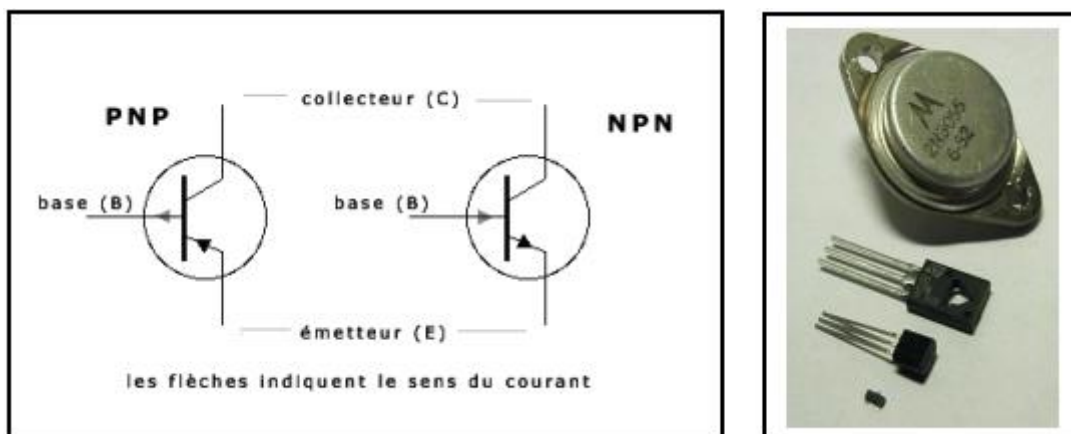


Figure 42: Schéma équivalent d'un transistor bipolaire

Ce courant est contrôlé par un petit courant entrant dans la région moyenne (base) ce qui implique un échauffement et pertes lors du passage du courant.

- État de saturation maximale (ou clip) Une fois atteint son maximum, le transistor agira comme simple interrupteur fermé et laissera donc passer la totalité du courant d'alimentation.

- État bloqué S'il n'y a pas de courant à la base (B), rien ne passe dans le transistor et il agira comme un interrupteur ouvert.

ii. Le Transistor à effet de champ MOSFET

MOS FET (Métal Oxyde Semi-conducteur Field Effect Transistors) Un transistor à effet de champ permet de commander un "grand" courant drain - source I_{DS} à l'aide d'une tension de commande grille – source U_{GS} . Un canal dopé (P ou N) entre Drain et Source est rendu +/- conducteur par une jonction PN entre Grille et Source polarisée en inverse. C'est une commande en tension car il n'y a pratiquement aucun courant demandé par la grille. Ils sont utilisés comme un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors.



Figure 43: MOSFET

iii. Le Transistor IGBT :

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) : Le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les montages de l'électronique de puissance.

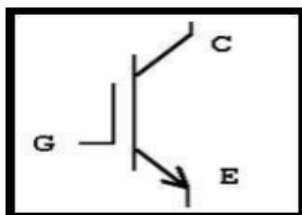


Figure 44: Symbole d'un IGBT

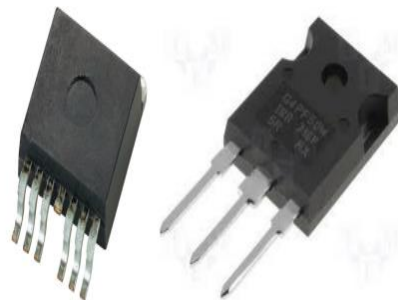


Figure 45: IGBT

Ils sont utilisés comme un transistor bipolaire à porte isolée. Il associe les avantages des transistors bipolaires et ceux des transistors MOSFET.

⇒ Puisque la fréquence est ± élevée, on choisira entre le MOSFET et l'IGBT . on a choisi de travailler avec l'interrupteur IGBT pour des raisons de disponibilité.

Dimensionnement de l'inductance :

Pour $0 < t < \alpha T$

$$L \times \frac{di_L}{dt} = V_{pv}$$

Sur une période on a :

$$L \times \frac{\Delta i_L}{T} = V_{pv} \Rightarrow L = \frac{V_{pv} \times T}{\Delta I}$$

$$L = \frac{V_{pv}}{\Delta I \times f_{pwm}}$$

ΔI : L'ondulation maximale du courant permise

Pour $I = 2.9 \text{ A}$ (valeur maximale générée par le panneau photovoltaïque)

$2.9 \text{ A} \rightarrow 100\%$

$\Delta I_{max} \rightarrow 5\%$

$$\Delta I_{max} = 0,145 \text{ A}$$

$$\text{Donc : } L = \frac{V_{pv}}{\Delta I \times f_{pwm}} = \frac{21,1}{0,19 \times 10000} = 14,55 \text{ mH} \approx 15 \text{ mH}$$

III. Simulation du système global :

1. Simulation sans MPPT :

Dans cette partie on testera notre système sans intervention de la commande MPPT comme est montré sur la figure ci-dessous. Le système fonctionne à un certain rapport cyclique, ce qui ne permettra pas d'obtenir la puissance maximale aux conditions météorologiques variables.

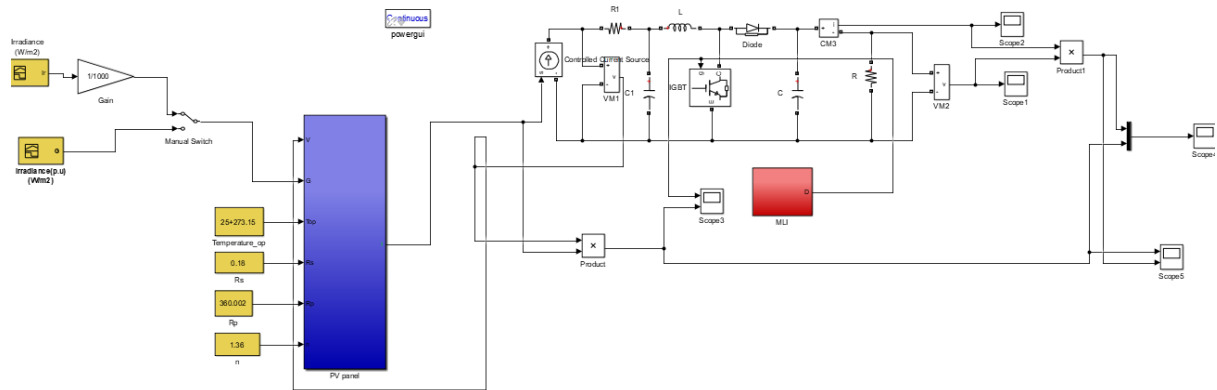


Figure 46: Modèle de système photovoltaïque sans MPPT

Deux modes seront présentés :

1.1- Éclairement variable :

A l'aide du modèle du panneau photovoltaïque fait auparavant et après l'insertion des nouvelles valeurs d'ensoleillement G comme montre la courbe ci-dessous :

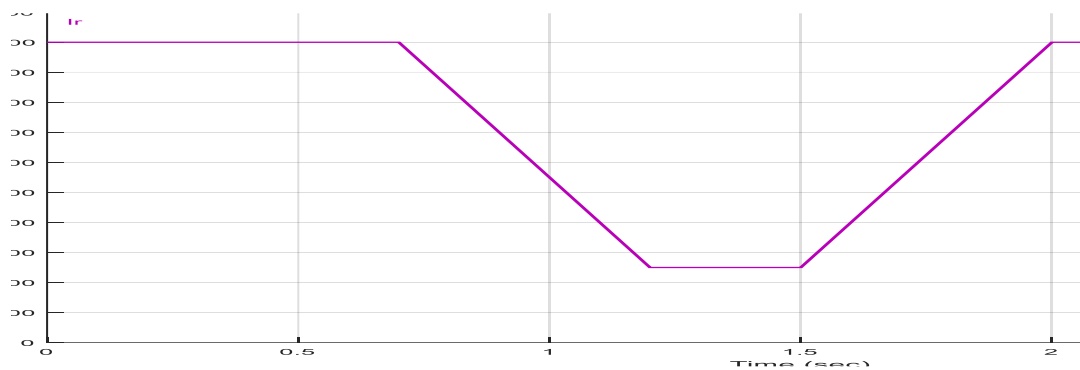


Figure 47 : La courbe variable de l'éclairement

On a déterminé les courbes de la puissance fournie par le panneau et la puissance consommée par la charge comme le montrent les deux figures suivantes :

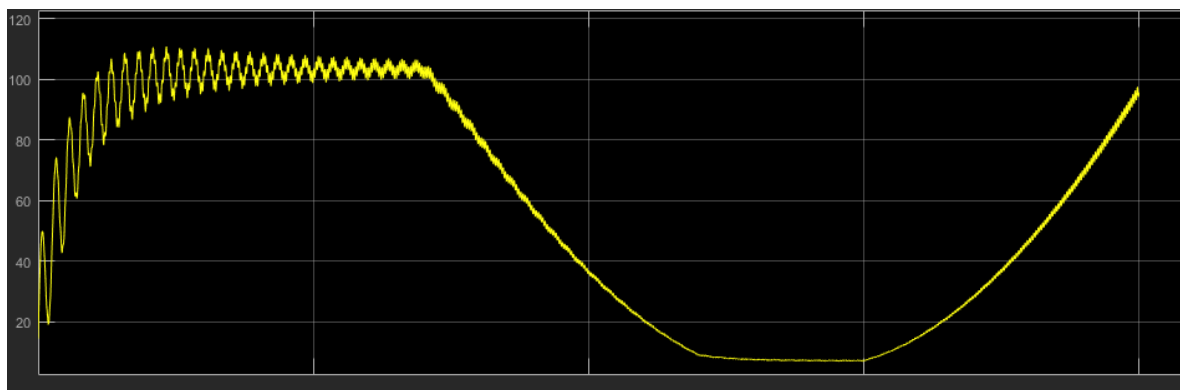


Figure 48: la courbe correspondante à la puissance fournis par le panneau à un éclairement variable

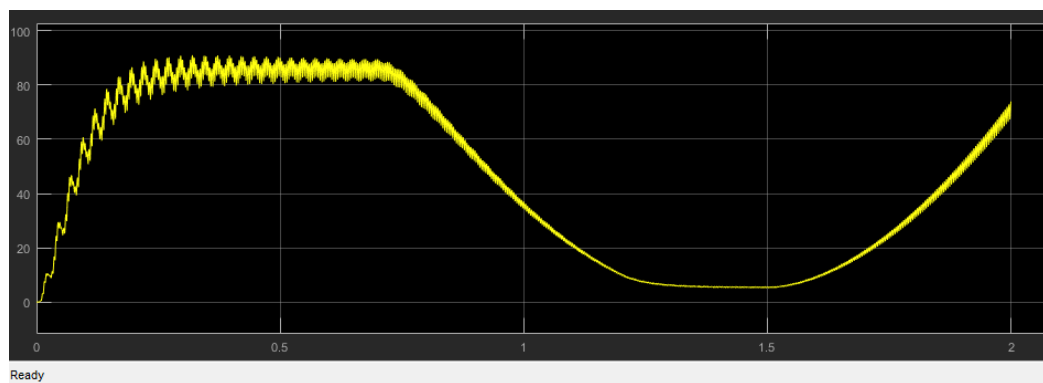


Figure 49: la courbe correspondante à la puissance consommée par la charge à un éclairement variable

1.2- Charge variable

Pour $R = 25\Omega$

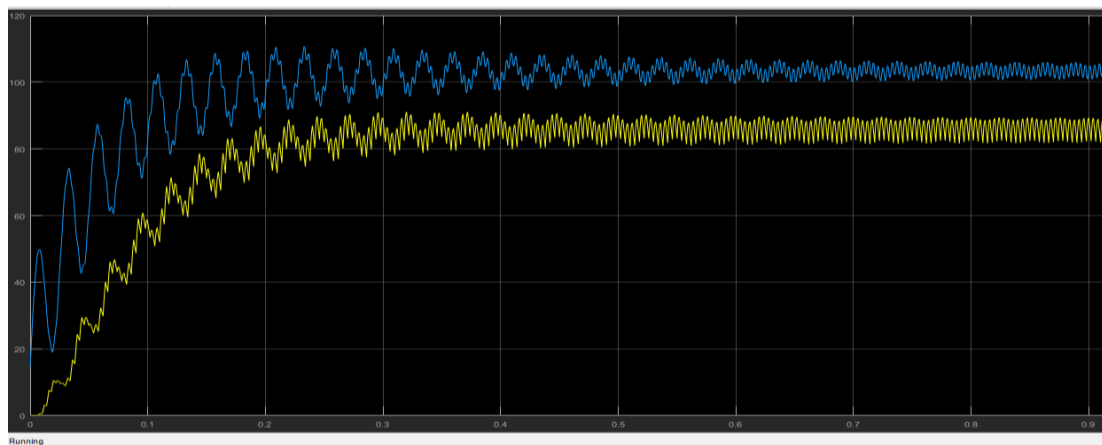


Figure 50: la puissance de sortie du panneau photovoltaïque (en bleu) et du hacheur (en jaune) charge $R=25\Omega$ sans MPPT

Pour $R = 500\Omega$:

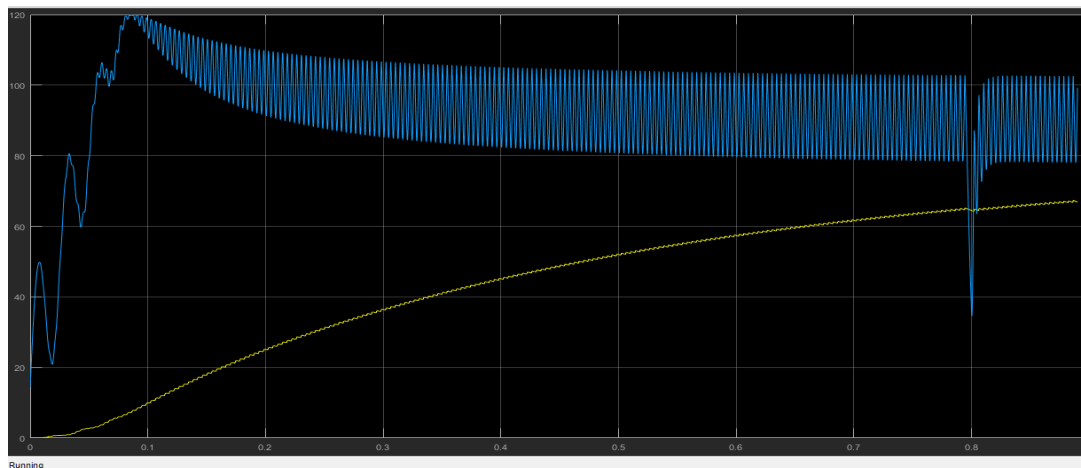


Figure 51: la puissance de sortie du panneau photovoltaïque (en bleu) et du hacheur (en jaune) charge $R=500\Omega$ sans MPPT

D'après les résultats obtenus, nous pouvons remarquer le changement des caractéristiques PV du panneau photovoltaïque. Pour chaque condition de fonctionnement, il existe une tension différente à atteindre afin d'obtenir le maximum de puissance du panneau photovoltaïque.

2. Simulation avec MPPT :

Deux types de commandes seront simulés.

2.1. Simulation avec commande P&O

Dans cette partie, on va faire des essais sur le panneau photovoltaïque pour tester la réponse du hacheur pour un éclairement variable en appliquant la commande (P&O) comme est montré dans la figure suivante :

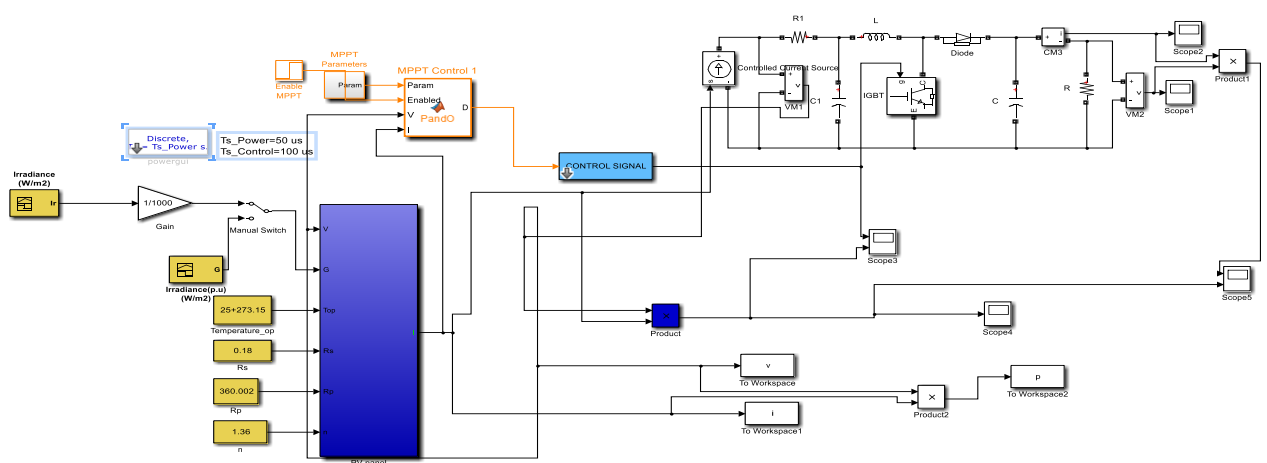
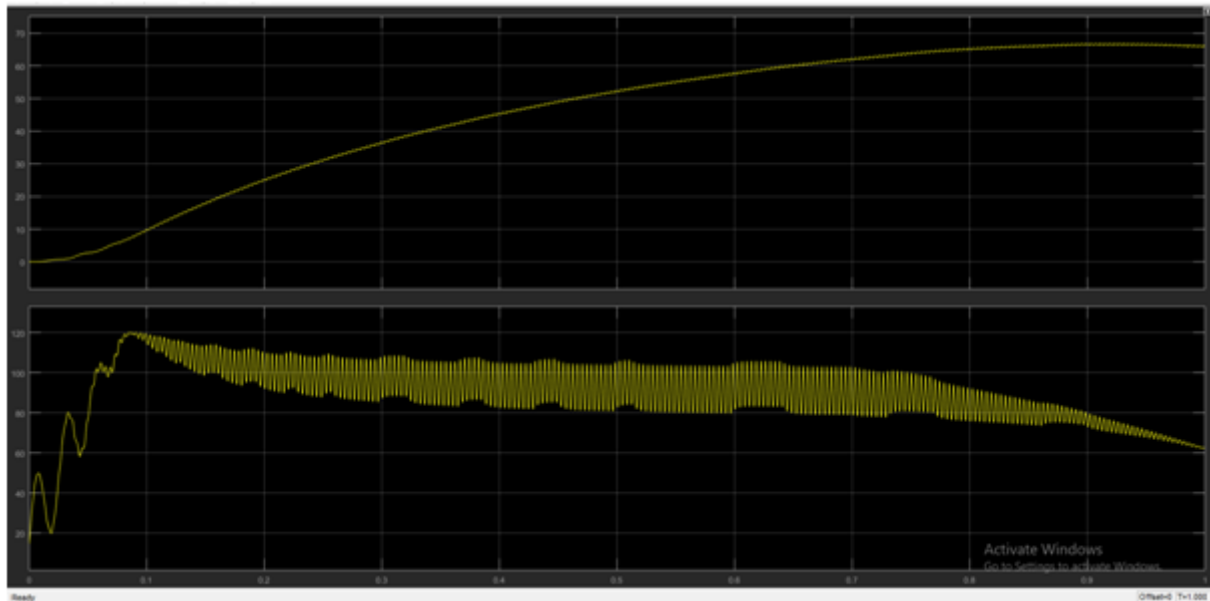


Figure 52Modèle de système photovoltaïque avec commande P&O

Les résultats de simulation du système PV utilisant l'algorithme P&O sont présentés dans les deux figures suivantes :



D'après les deux figures on peut constater que la puissance fournie par le panneau suit la variation d'éclairement en donnant une puissance maximale plus efficace en la comparant à celle de la puissance maximale générée sans utiliser la commande P&O.

2.2. Simulation avec commande IC :

Les figures suivantes montrent que pour une variation d'éclairement entre 250 W/m^2 et 1000 W/m^2 , la puissance maximale délivrée par le panneau suit cette variation pour une valeur maximale de puissance égale à 120 W et une valeur minimale égale à 25 W .

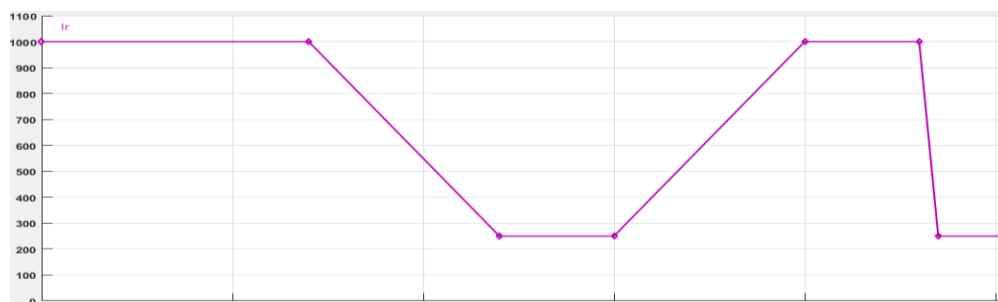


Figure 53: courbe d'éclairement variable en fonction de temps

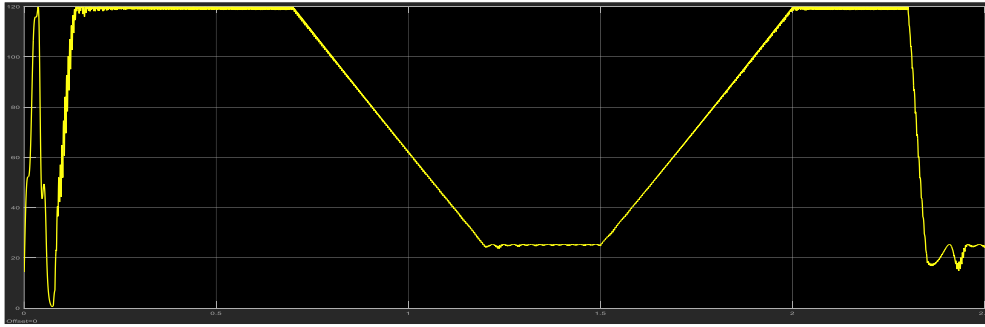


Figure 54: Réponse du panneau au cours d'éclairement variable avec la commande IC

On peut déterminer en utilisant la fenêtre de commande matlab la valeur exacte de la puissance maximale Pmax et sa tension correspondante Vmpp

Pour $G=250\text{W/m}^2$ on a

```
>> [val,m]=max(p)
val =
    25.5863
m =
    14115
>> v(14115)
ans =
    31.5588
```

Figure 55: Pmax et Vmpp pour un ensoleillement de 250W/m^2

Pour $G=1000\text{W/m}^2$ on a :

```
>> [val,m]=max(p)
val =
    120.5166
m =
    8284
>> v(8284)
ans =
    34.7169
```

Figure 56: Pmax et Vmpp pour un ensoleillement de 1000W/m^2

2.3 Comparaison entre deux commandes

Pour P&O

Avantages

- Structure de régulation simple
- Nombre réduit de paramètres mesures

Inconvénients

Dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide des conditions atmosphériques.

Les avantages et les inconvénients pour IC

L'avantage principal de cet algorithme est qu'il offre un bon rendement même sous un changement rapide des conditions atmosphériques.

Néanmoins, l'inconvénient est que le circuit de commande est complexe et très coûteux

En outre, il réalise l'oscillation inférieure autour du point MPP contrairement à la technique de P&O, quoique, quand la technique de P&O est optimisée, les rendements de la conductance par incrémentation et de l'algorithme P&O soient essentiellement identiques.

3. Suiveur de soleil

3.1 Définition et fonctionnement :

Le système vise à orienter en temps réel les capteurs vers le Soleil, pour placer le panneau dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement si possible), car tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons) la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon la latitude. Cette adaptation en temps réel a pour effet de substantiellement augmenter la captation et production d'énergie. Elle peut se faire sur deux axes : en azimut (d'est en ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et en hauteur (selon la saison et, de nouveau, l'avancée de la journée). L'idéal est d'utiliser un traqueur à deux axes, mais il en existe aussi avec un seul (typiquement avec un suivi seulement en azimut, l'angle par rapport au sol étant fixé selon l'optimum local, qui dépend de la latitude).

3.1.1 La différence entre l'installation fixe et l'installation avec suiveur :

- ✓ Augmentation de la productivité énergétique des panneaux : Les suiveurs peuvent absorber un maximum de lumière solaire tout au long de la journée, ils produisent de 30 à 40% de plus que des installations de même tailles et de même puissances installées sur des toits dans des conditions optimales.
- ✓ La meilleure rentabilité : Le bon rendement du côté financier est lié forcément à la bonne productivité énergétique c'est pour cela, une installation équipée d'un système de poursuite solaire peut augmenter le taux de son rendement de 30% à 40% par rapport à une installation fixe qui augmente à son tour les bénéfices financiers.

3.1.2 Les différents caractères d'un Traqueur :

Les principales caractéristiques différenciant les Traqueurs sont les suivantes :

Le gain de production électrique.

L'orientation mono ou multi axiale.

La précision du positionnement vis-à-vis du soleil (type d'asservissement).

La robustesse (tenue au vent) et la fiabilité .

Le type de panneaux solaire.

Le coût.

3.2 Types de suiveurs solaires :

Les différents types de suiveurs rencontrés sur le marché sont les suivants :

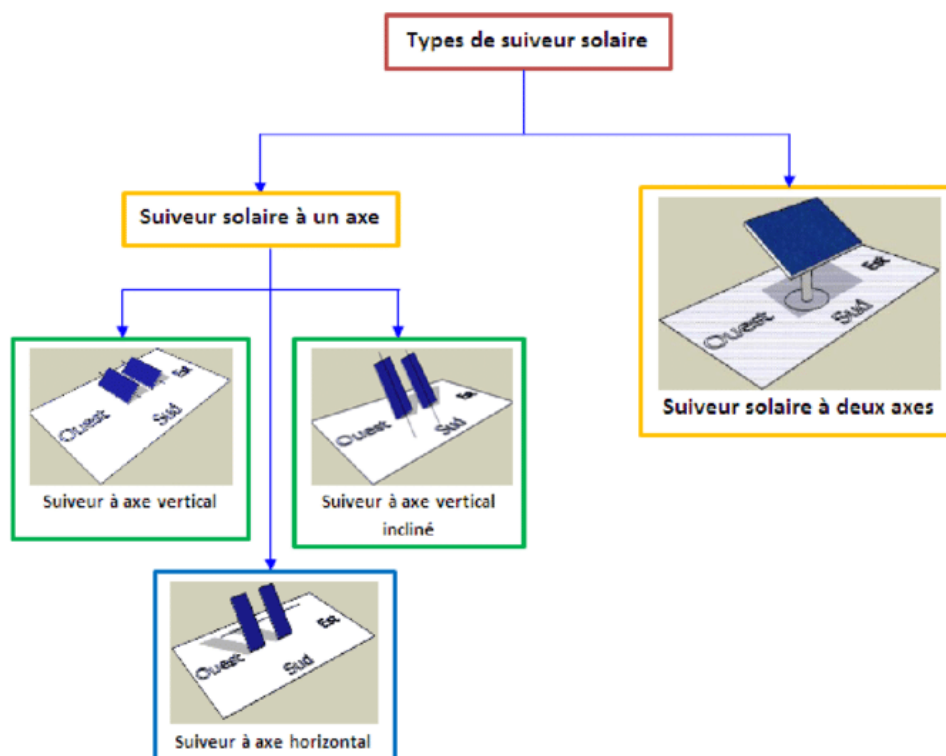


Figure 57 : les types des suiveurs

3.2.1 Suiveur solaire à axe horizontal :

Ce type de suiveur n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe. Il est plus intéressant d'utiliser des suiveurs à un axe vertical. En revanche, sa conception est la plus simple de l'ensemble des suiveurs il faudrait un suiveur permettant une plage d'inclinaison allant de 10 à 30° pour obtenir la meilleure solution. Cependant, le gain resterait assez faible : de l'ordre de 2,2% (ce gain ne compense pas le surcoût).

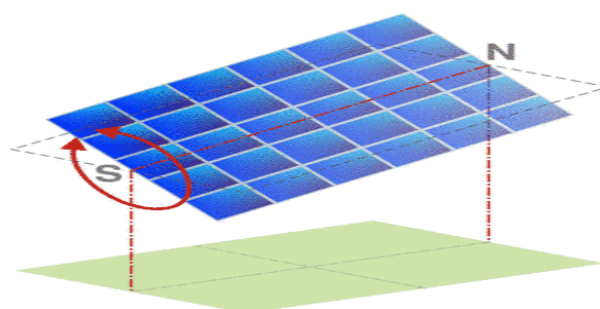


Figure 58 : Suiveur solaire à axe horizontal

3.2.2 Suiveur à axe vertical incliné :

Ce type de suiveur permet un gain d'environ 20%. Il est souvent moins imposant que les suiveurs à 2 axes, moins coûteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné comparé aux 2 axes.

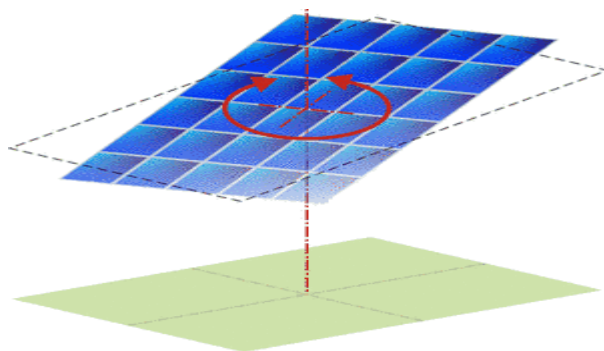


Figure 59: Suiveur à axe vertical incliné

3.2.3 Suiveur à deux axes :

Pour assurer un suivi complet de la course solaire (en azimut et en zénith) on utilise Les suiveurs à deux axes permettent un gain d'environ 30%. Ce type de suiveur est très imposant et visible de loin.

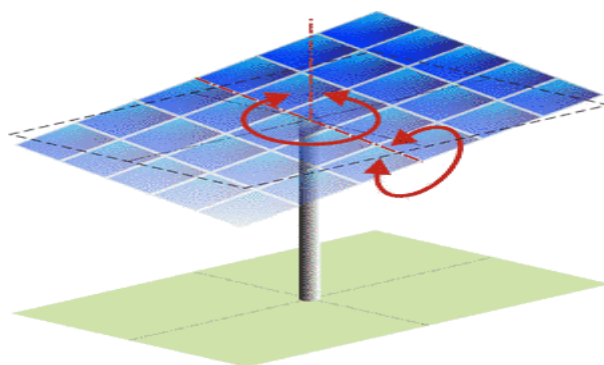


Figure 60 : suiveur de soleil à deux axes

3.3 Réalisation et modélisation du suiveur :

Dans cette phase du travail, on expose la partie réalisation ou modélisation motif plus important dans chaque recherche scientifique. Le système suiveur réalisé est composé d'une structure mécanique cette dernière faite pour supporter le panneau solaire et le diriger au sens du rayonnement perpendiculaire du soleil sur un axe horizontale, ainsi d'une partie électronique : capteurs solaires avec une carte microcontrôleur « Arduino » suivis d'un actionneur qui est dans ce cas un moteur électrique de type pas à pas.

3.3.1 Circuit de Commande :

Une carte Arduino, et son synonyme Genuino, est une marque qui couvre des cartes matériellement libres sur lesquelles se trouve un microcontrôleur. Grâce à leur licence libre, nous pouvons programmer comme on veut les microcontrôleurs que contiennent les différentes cartes de cette marque, et ce afin d'analyser et de produire des signaux électriques qui pourront servir à différentes tâches, dont le contrôle et le pilotage de processus et instruments électroniques : c'est pour cette raison que nous avons opté pour Arduino afin de commander, grâce au programme que nous avons développé, les mouvements de notre suiveur de Soleil.

Pour notre travail, nous avons décidé d'exploiter le modèle UNO. Décrit comme étant la meilleure solution pour débiter dans le monde de l'électronique et du codage.

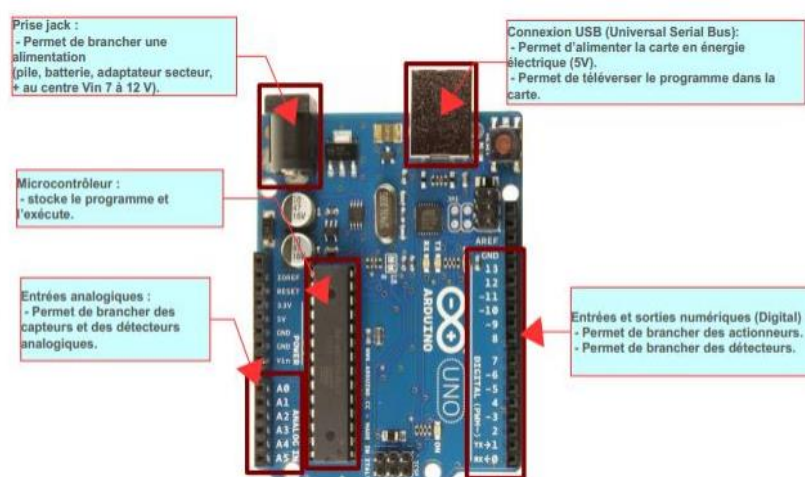


Figure 61 : description d'une carte ARDUINO UNO

3.3.2 Circuit de puissance

Le circuit de puissance de notre montage est un pilote basé sur le composant ULN2003A qui contient sept pilotes de transistor darlington. L'ULN2003A peut transmettre jusqu'à 500 mA par canal et a une chute de tension interne d'environ 1 V lorsqu'il est allumé. La carte de commande du moteur pas à pas ULN2003 fournit une interface d'entraînement entre Arduino et moteur pas à pas. Le PCB fournit 4 entrées pour la connexion à Arduino, alimentation connexion pour la tension du moteur pas à pas, et ON / OFF. La carte peut alimenter le moteur entre 5V et 12V à partir d'un réseau indépendant source de courant.



Figure 62: le shield ULN2003A[7]

3.3.3 Partie Mécanique

La mobilisation du suiveur solaire exige l'activité d'un moteurs pas à pas bipolaire pour une rotation horizontale (azimutale) dans les directions « Est et Ouest ». La commande du moteur est effectuée à l'aide d'un programme exécuté au niveau de la carte Arduino qui reçoit des signaux électriques émis par le capteur lumineux composé des trois photorésistances. Au niveau des sorties actives de la carte les signaux traversent le circuit de puissance, et après leur amplification ils agissent directement sur le moteur pour le permettre de tourner horizontalement selon deux sens.

Moteur pas à pas :

Applications :

-La traction des robots mobiles.

-informatique : avance des têtes de lecture de disques mémoire (dans les disques durs actuels, on utilise des actionneurs à bobine mobile plus rapides) imprimantes, scanners, machines à écrire...

-Distributeurs automatiques (billets de banques, boissons)

-Tables de positionnement X Y, scanners médicaux. -Accessoires automobiles. - Orientation d'antennes.

-Certains appareils photos et caméscopes.

Types de moteurs pas à pas :

Il existe 3 types principaux de moteurs pas à pas :

- moteurs à aimant permanent.
- moteurs à réluctance variable.
- moteurs hybrides.

On s'intéresse dans notre réalisation d'un moteur pas à pas bipolaire sous model 42BYGH811 choisi pour sa précision avec les caractéristiques suivantes :

Tension d'alimentation=12V

Courant de sortie max=2.5A.

1.8°/pas (200 pas/tour) ; 2 phases et 4 fils.

Les moteurs bipolaires :

La commande de ce type moteur est plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant doit changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué. Les bobinages d'un moteur bipolaire sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire. Chaque bobine ne possède que deux fils. Cela complique un peu l'électronique de commande mais permet de renforcer le couple du moteur (ou de réduire son encombrement pour un même couple par rapport à un moteur unipolaire).

Un avantage des moteurs bipolaires est qu'ils n'ont qu'un seul enroulement par phase, de faible résistance, ce qui maximise le couple pour un même courant.

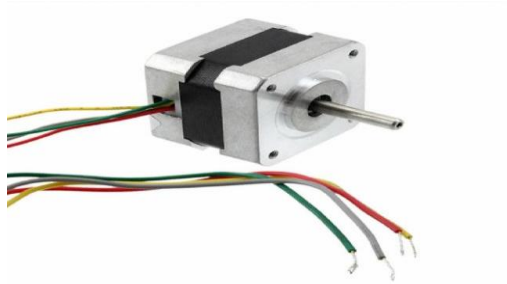


Figure 63: moteur pas à pas bipolaire

Les capteurs solaires LDR(Photorésistance) :

La photorésistance (également appelée résistance, photo-dépendante ou cellule photoconductrice) est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente : plus elle est éclairée, plus sa résistivité baisse.

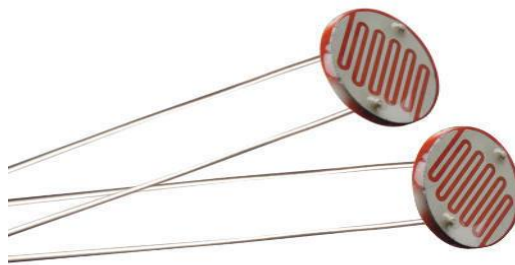


Figure 64: la photorésistance LDR

3.3.4 La partie programmation :

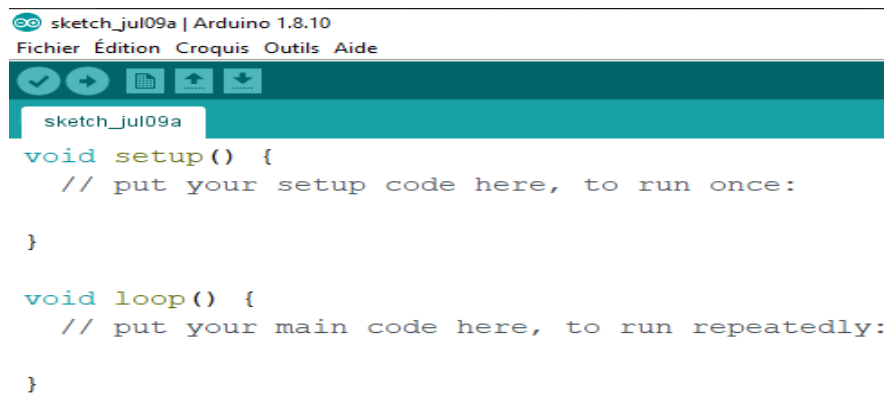
Le logiciel de programmation IDE Arduino :

Un IDE (environnement de développement intégré) libre et gratuit est distribué sur le site d'Arduino qui offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre

d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent.

Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée répartie en trois étapes comme suit :

- La partie déclaration des variables (optionnelle)
- La partie initialisation et configuration des entrées/sorties : C'est la fonction `setup()` : elle contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).
- La partie principale : C'est la fonction `loop()`, elle est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction `setup`.



```
sketch_jul09a | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_jul09a

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Le code Arduino La programmation de la carte s'effectue via l'interface logicielle Arduino en pseudo langage C. Une fois le programme écrit, il est envoyé sur la carte qui peut ensuite fonctionner en autonomie (sans connexion avec l'ordinateur).

Le principe de fonctionnement du prototype repose sur l'algorithme de suivi décrit dans l'organigramme suivant la figure ci-dessous :

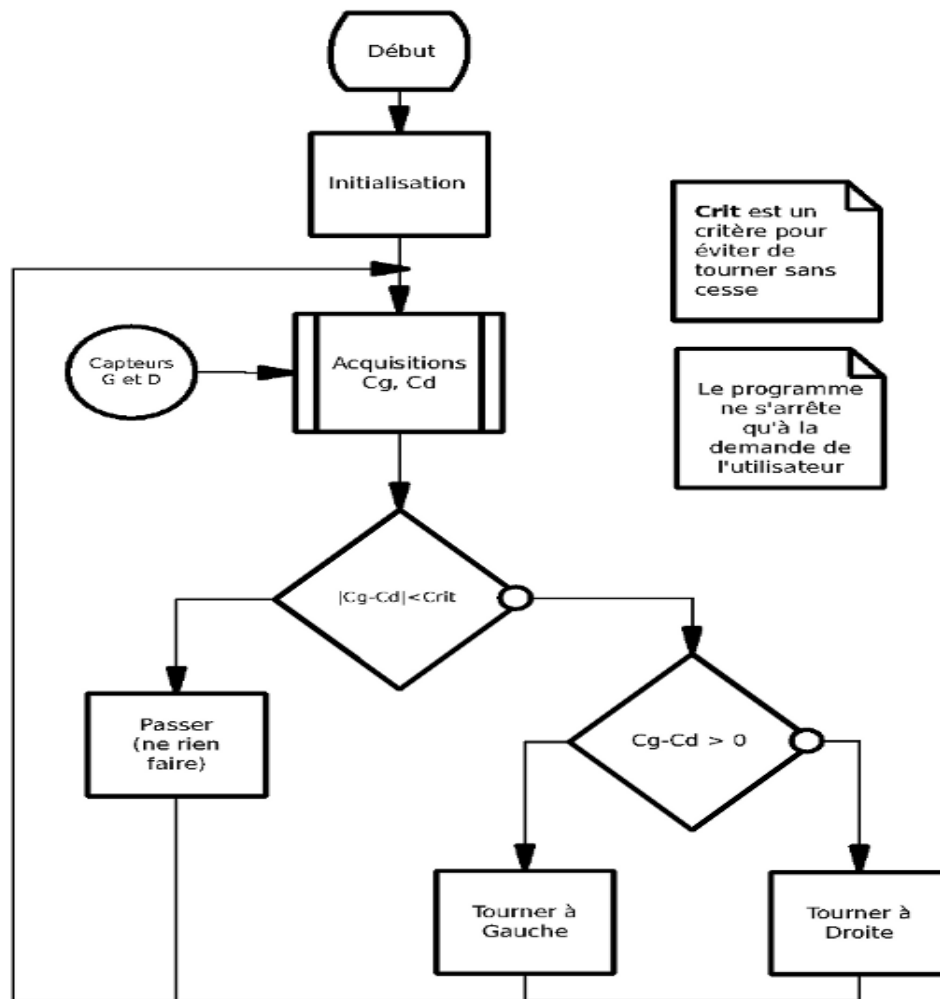


Figure 65: algorithme du suiveur de soleil

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait la simulation du système PV sans MPPT pour tester la réponse du hacheur intégrant l'une des deux commandes MPPT P&O et IC. Les variations temporelles de la puissance de ce système montrent que la commande IC est plus rapide et plus stable. De plus, les résultats obtenus par application de cette commande sont proches de ceux obtenus par application de la commande P&O.

Conclusion generale :

Les travaux présentés dans ce projet de fin d'études ont porté sur l'étude et l'analyse d'une cellule photovoltaïque, en tenant compte des effets des paramètres physiques et environnementaux tels que le rayonnement, la température. Pour ce faire dans un premier volet de ce rapport, on s'est intéressé à deux commandes MPPT : P&O et IC. Ces deux commandes sont utilisées pour l'extraction de la puissance photovoltaïque maximale.

En a implémenté ces deux commandes sur le modèle d'un système autonome formé par un générateur Photovoltaïque (Panneau composé de 36 cellules PV) et un hacheur Boost.

Les résultats sont obtenus par la simulation du système global dans le cas où sont utilisées les deux commandes. Ces résultats sont les différentes variations temporelles de la puissance fournis par le PV et de la puissance de sortie du hacheur. Ces résultats montrent que la commande IC est plus rapide et plus stable que la commande P&O. De plus, la partie pratique de ce travail, nous avons réalisé l'implémentation de la commande P & O sur une carte Arduino et aussi nous avons réalisé un suiveur de soleil.

Dans le but d'aller plus loin dans l'étude de notre projet, il serait possible de faire une étude d'autres commandes MPPT tel que le réseau de neurones et faire une étude comparative et choisir la commande la plus efficace. Il serait également important de réaliser un suiveur de soleil à deux axes pour un rendement plus performant.

Bibliographie

- [1] M. Angel Cid Pastor, « CONCEPTION ET REALISATION DE MODULES PHOTOVOLTAIQUES ELECTRONIQUES », THESE présentée en vue de l'obtention de grade de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse M. Angel Cid Pastor <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00128644/document>
- [2] A. Buyers :«les systèmes photovoltaïques» article PDF guide, Canada 2002. <https://www.univ-tlemcen.dz/~benouaz/memoires/behadj.pdf>
- [3] Mr. BELKACEM Mourad, « Mémoire de master : Etude et optimisation du transfert d'énergie électrique en conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance maximale (MPPT) » (les hacheurs)
http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/8092/1/etude_et_optimisation_du_transfert_dener_gie.pdf
- [4] Frank Jackson: Planning and Installing Photovoltaic Systems Green Dragon Energy, A guide for installers, architects and engineers second edition Berlin October.2007. http://dl.booktolearn.com/ebooks2/engineering/environmental/9781844074426_planning_and_installing_photovoltaic_systems_38ce.pdf
- [5] K. Kassmil, M. Hamdaoui et F. Olivié, "Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique ». Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 (2007) 451 – 462. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.563.3334&rep=rep1&type=pdf>
- [6] DJELLAL LEILA IMEMNE & DIB YASMINA <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11520/1/Ms.ELN.Djellal%2BDib.pdf>
- [7] <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1dK9hur9YBuNjy0Fgq6AxcXXaZ.jpg>

