الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Farés de Médéa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire de Projet de Fin D'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme
de Master en électrotechnique
Spécialité : Commande électrique.

Thème

Conception et réalisation d'un émulateur photovoltaïque

Dirigé par,
Dr. HENINI Noureddine

Préparé et présenté par,

BENSAHA AYOUB

MAKHLOUFI AZZEDINE

Année Universitaire 2020-2021

Dédicace

Je dédie ce travail,

Mes chers parents qui ont sacrifié leur vie pour

Mon succès et encouragé que dieu

Garde heureux pour toujours

A toute la famille BENSAHA et aussi la famille de mère la famille SAKHRI

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation, depuis le primaire à ce jour, en particulier : M.HANINI

A tous mes amis et mes collègues à tous ceux qui m'ont aidé pour réaliser ce mémoire

A l'ensemble des étudiant de ma promotion, particulièrement ceux de la commande électrique

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

AYOUB

Dédicace

NOUS DIDIONS CE MODESTE TRAVAIL A :

** NOS CHERS PARENTS*

** NOS FAMILLE MAKHLOUFI*

** NOS CHERS AMIS*

SONS OUBILIER CEUX QUI ONT NOUS AIDE A FAIRE CE MODESTE TRAVAIL PAR LEURS CONSEILS ET LEURS ENCOURAGEMENTS.

Et sans oublier tous ceux que j'aime, et qui m'aiment.

AZZEDINE

Remerciements

Premièrement, nous remercions dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour faire cet modeste travail.

Nous tenons à remercier nos promoteurs Mr. HENNI d'avoir accepter de nous encadrer et de nous suivre durant toute cette période.

Nos remerciements vont membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidés à réaliser ce modeste travail.

Chapitre I

Production d'énergie photovoltaïque

Figure I.1 Schéma de différentes énergies renouvelables.
Figure I.2 Composantes du rayonnement solaire au sol
Figure I.3 Cellule photovoltaïque
Figure I.4 Caractéristique (I, V) d'une cellule photovoltaïque
Figure I.5 Caractéristique et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.
Figure I.6 Caractéristique I-V de 2 cellules photovoltaïques raccordées en série.
Figure I.7 Caractéristique I-V de 2 cellules photovoltaïques raccordées en parallèle.
Figure I.8 Caractéristique d'un groupement mixte

Chapitre II

Etat de l'art sur les émulateurs photovoltaïques

Figure II.1 Schéma de l'émulateur de source PV proposé par Baert
Figure II.2 Emulateur de source de PV proposé par Nagayoshi
Figure II.3 Principe de l'émulateur de source de PV proposé par Easwarakhanthan
Figure II.4 Emulateur de source PV proposé par Mukerjee et Dasgupta
Figure II.5 Emulateur de source PV proposé par Lloyd
Figure II.6 Schéma descriptif d'émulateur de source PV Proposé par Haeberlin et Borgna
Figure II.7 Modèle de cellule PV proposé.
Figure II.8 Principe d'un émulateur basé sur l'électronique de puissance

Figure II.9 Détails du bloc d'alimentation d'énergie (émulateur de PV proposé par Khouzamet Hoffman)
Figure II.10 Description globale de l'émulateur de source PV proposé par Sanchis et autres
Figure II.11 Circuit de puissance de l'émulateur de source PV proposé par Sanchis
Figure II.12 Arrangement de circuit de PVAE proposé près Koutroulis et autres

Chapitre III
Emulateur d'un système PV a base d'un hacheur buck boost

Figure III.1 Schéma du montage pour la simulation d'un GPV
Figure III.3 Schéma du montage pour la simulation d'un hacheur buck boost
Figure III.4 Allure de la tension de hacheur buck boost
Figure III.5 Schéma du montage pour la simulation d'un montage globale
Figure IV.6 Allure représentons la comparaison entre la courant PV et courant d'un hacheur buck boost

Natations et symboles

MPPT	Maximum power point tracking
I	Courant débité par le générateur PV (A)
PV	Photovoltaïque
I_{OP}	Courant optimal (A)
I_{p}	Photo courant (A)
$\boldsymbol{I}_{o}$	Courant de saturation (A)
I_{sc}	Courant de court circuit (A)
G	Irradiation (w /m2)
GPV	Générateur photovoltaïque
K	Constant de Boltzmann (J/k)
N_S	Nombre de modules en séries
N_P	Nombre de modules en parallèles
P&O	Perturbation & Observation
P_{OP}	puissance optimale (W)
q	Charge de l'électron (coulomb)
R	Résistance (Ω)
T	Température (°C)
Tc	Température de cellule (°C)
R_S	Résistance série (Ω)
R_P	Résistance shunt (Ω)
Tr	Température de référence (°C)
V	Tension aux bornes du panneau PV (V)
V_{oc}	Tension en circuit ouverte (V)
	Tension optimal (V)
V_o	Tension de sortie de l'hacheur (V)
T	Tension thermique (V)

	Période (s)
t_s	Temps (s)

Introduction Générale

Introduction Générale

L'electricite photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en electricite.l'effet photovoltaique a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre_edmond Becquerel cette filiére s'est ensuite développée par nécessite d'approvisionner en électricité solaire les satelleites .

Les sources d'énergie renouvelables jouent un rôle important dans la production d'électricité. Diverses sources renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la géothermie sont exploitées pour la production d'électricité. L'énergie solaire est une bonne alternative à la production d'électricité en raison de sa disponibilité et de sa propreté. L'énergie solaire est directement convertie en électricité par un module solaire photovoltaïque (PV). Les modules photovoltaïques ont des points de puissance maximum (MPP) correspondant aux conditions ambiantes telles que l'éclairement solaire, la température des modules PV, la surface de la cellule et la charge. Pour que le module PV puisse fournir sa puissance maximale, plusieurs méthodes de suivi du point de puissance maximale (MPPT) ont été proposées dans les systèmes PV autonomes et connectés au réseau. Aujourd'hui, la plupart des systèmes de conversion de nature onduleur souffrent souvent de faibles rendements en site réel de production qui en fond encore des systèmes trop chers présentant en plus des déficiences importantes en termes de fiabilité. De plus, leurs durées de vie entre trois et cinq ans est loin d'être satisfaisantes pour répondre aux critères d'exigence de source de production d'énergie fiable et à grande échelle en comparaison avec la durée de vie des capteurs photovoltaïques commerciaux garantie pour une période supérieure à 25 ans. Ces différents constats ont motivé différents travaux de recherches pour rendre viables des sources photovoltaïques. Dans ces domaines, de nombreux progrès effectués sur les matériaux et les cellules au cours de ces dernières années sont à noter, notamment en termes de réduction de coût. Pour pallier les nombreuses réticences des futurs acquéreurs et répondre aux exigences des nouvelles normes européennes sur les performances escomptées sur les systèmes de conversion associés, il est important de faire un effort également en termes de recherche pour résoudre les nombreux problèmes techniques liés à l'électronique de traitement et amener ce domaine à un degré de maturité suffisant pour en faire des produits industriels à part entière.

Dans ce travail nous allons nous intéresser au principe d'émulation. C'est-à-dire, réalisation d'un environnement expérimental au laboratoire, nous permettant de reproduire des comportements réels en site de certains dispositifs. Pour notre part, le dispositif en question est une installation photovoltaïque, l'intérêt de posséder des émulateurs est primordial, car cela nous permet une réalisation d'un dispositif industriel efficace et optimal. Ceci s'inscrit évidement dans le cadre du développement durable et une économie d'énergie certaine

Ainsi nous avons débuté notre travail avec une introduction générale,

Au chapitre I, dans ce chapitre nous avons parlé de Production d'énergie photovoltaïque

Au chapitre II, dans ce chapitre nous avons parlé de l'état de l'art des émulateurs photovoltaïques ainsi que les différents circuits d'émulateurs qui existent.

Au chapitre III, Emulateur d'un système PV a base d'un hacheur buck boost

Chapitre I
Production d'énergie photovoltaïque

I.1. Introduction

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (photovoltaïque), le vent (éolien), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Habituellement, la recherche et le développement des technologies photovoltaïques ont été axés sur l'analyse des rayonnements, les stratégies d'exploitation efficaces, la conception et le dimensionnement de ces systèmes ; oubliant certains aspects critiques et les conditions externes qui pourraient affecter le fonctionnement du système photovoltaïque.

Le vieillissement des modules photovoltaïques est un processus qui évolue naturellement avec les années de fonctionnement du module, ces effets comprennent principalement la décoloration de l'encapsulant, généralement l'éthylène-acétate de vinyle (EVA), la dégradation du revêtement anti-réfléchissant (AR), la formation de points chauds, l'intrusion d'humidité, la délamination, la corrosion et les fissures. Cependant, en raison de la nature compliquée par laquelle ces effets de vieillissement apparaissent, progressent, se transforment et provoquent d'autres effets de dégradation, la prédiction de la progression exacte du vieillissement peut être difficile.

I.2.Energie renouvelable

Les énergies renouvelables (ER) utilisent des flux inépuisables d'énergies d'origine naturelle (soleil, vent, eau, croissance végétale...). Ces énergies de l'avenir ne couvrent pourtant que 22% de la consommation mondiale d'électricité avec l'importance de l'hydroélectricité qui représente les trois quarts de l'électricité issue des ER.

Les principaux intérêts des énergies renouvelables sont leur non épuisement et leurs émissions très limitées de gaz à effet de serre (GES) comme en témoigne l'analyse du cycle de vie de leur exploitation.

Évaluation des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie pour les grandes catégories de technologies de production d'électricité par :

- Hydraulique (Eau : turbines).
- Biomasse (bois CO_2 de combustion = CO_2 de la croissance des arbres: photosynthèse).
-Energie géothermique.
- Solaire (thermique et photovoltaïque)- Eolienne (Vent). [1]

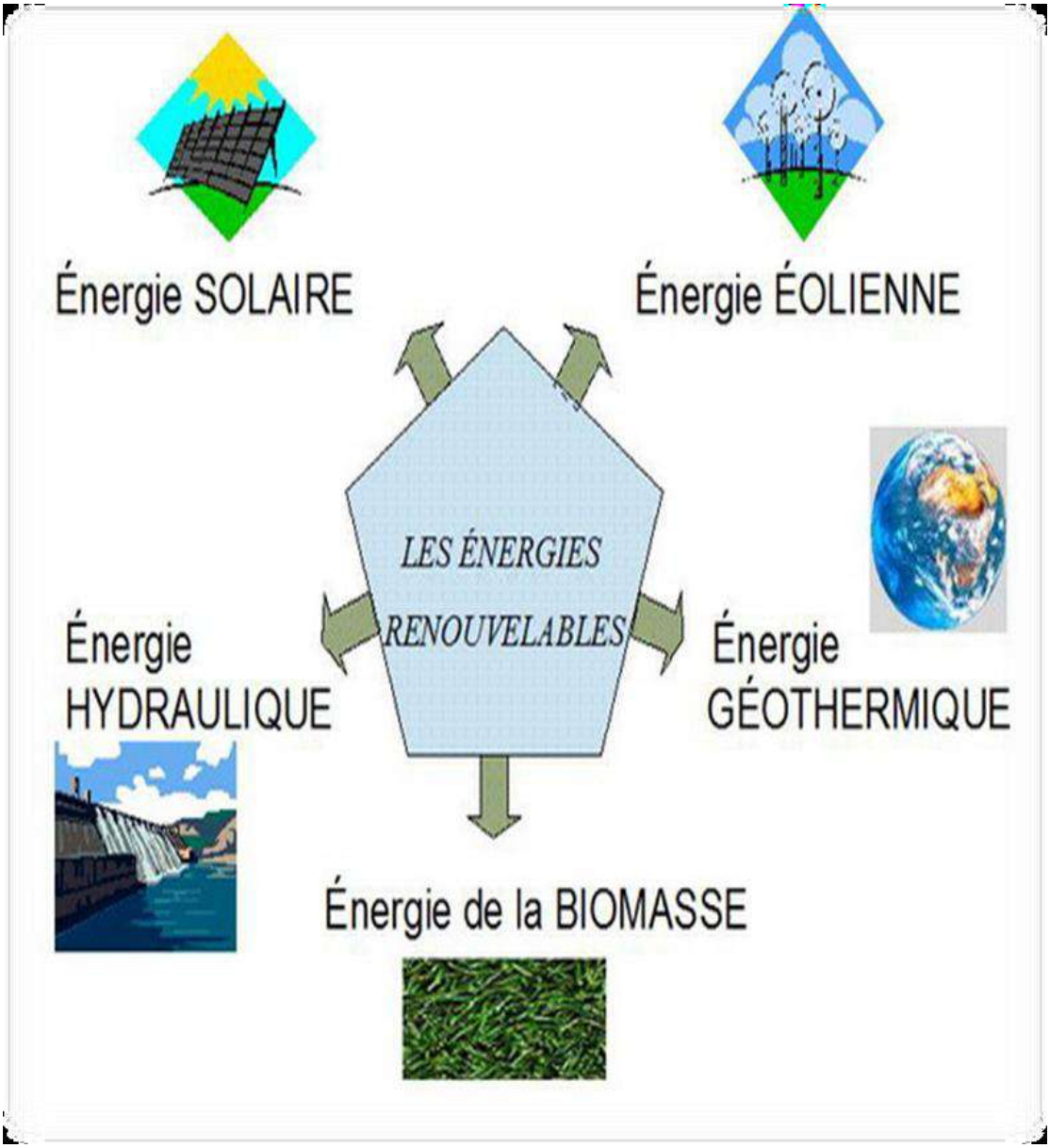


Figure (I-1) : schéma de différentes énergies renouvelables.

I.3. L'énergie solaire

Le soleil est l'origine de toute forme d'énergie sur terre, que ce soit pour les énergies conventionnelles d'origine fossile comme les hydrocarbures ou pour les énergies renouvelables dont les plus importantes sont le solaire, l'éolien et la biomasse.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables comme la plupart des énergies douces, elle donne à l'usager la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.

I.3.1. Rayonnement solaire

Le rayonnement ou spectre solaire est comparable à celui d'un corps noir à une température de 5800 K, il est compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 μm et se décompose approximativement sur 3 bandes :

- 9% dans la bande des Ultraviolets (< 0.4 μm)
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm)
- 44% dans la bande des infrarouges (> 0,8 μm)

L'énergie solaire reçue sur terre en dehors de l'atmosphère est estimée à 1370 W/m2 cependant elle s'atténue et perd son intensité en traversant l'atmosphère ne dépassant pas les 1000 W/m2 à la surface de la terre en raison de l'absorption dans ce dernier, ce chiffre variera
par la suite en fonction de la localisation géographique du site (latitude), la saison, l'heure, les conditions météorologiques (nébulosité, poussière, humidité…), et l'altitude du lieu.[2]

Etant absorbé et diffusé en traversant l'atmosphère seul une fraction modifié du rayonnement solaire parvient à la surface de la terre se composant de 3 différents types de rayonnements :

- Le rayonnement direct : Rayonnement provenant du soleil en ligne droite du seul disque solaire, il est nul lorsque le soleil est complètement couvert par les nuages.
- Le rayonnement diffus : Radiation solaire arrivant sur la surface de la terre après déviation de la lumière par les nuages et les molécules diverses, elle est donc nulle que la nuit.
- Le rayonnement réfléchi (albédo) : Radiation solaire incidente réfléchie par une surface.

Le rayonnement global est donc la somme des 3 rayonnements directs, diffus, et réfléchi comme illustrer dans la figure si dessous :

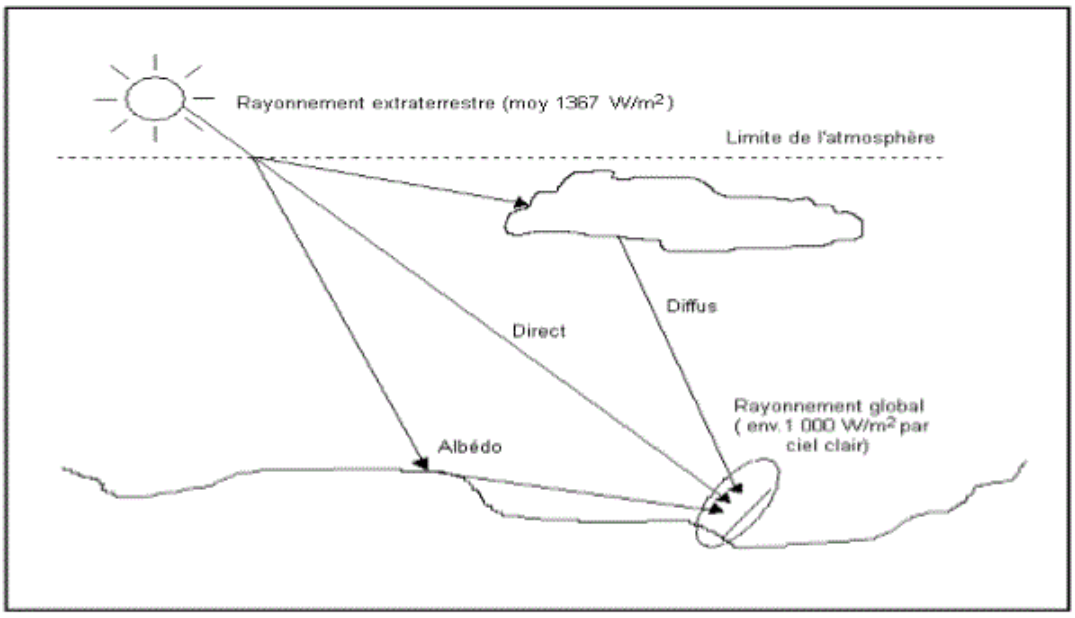


Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol**.** [2].

I.3.2. Spectre du rayonnement

Le Soleil émet un rayonnement de type électromagnétique. La lumière blanche nous parvient en très peu de temps (elle met en moyenne environ 8 minutes et 19 secondes à nous parvenir) car il se déplace à la vitesse de la lumière, soit 299 792 458 m/s.

Ce rayonnement constitue un spectre continu allant des ultra-violets à l'infrarouge en passant par le visible ou il émet avec le maximum d'intensité. Cependant, en traversant la chromosphère du Soleil et l'atmosphère de la Terre, les atomes qui les composent absorbent certains photons.

Le spectre alors observable depuis la surface de la Terre est donc un spectre de raies d'absorptions. Ainsi, à la surface de la Terre le rayonnement solaire comprend : 5% d'ultra-violet, 40% de lumière visible et 55% d'infrarouge, les IR étant porteurs de l'essentiel de l'énergie thermique.

Le rayonnement ultra-violet émis par le Soleil est classé en 3 types d'ultra-violet : les UV-A ayant une longueur d'onde de 380 (cette valeur peut varier légèrement selon la source) à 315 Chapitre I : La conversion photovoltaïque 6 nanomètres (1nm=1×10-9mètre), les UV-B dont la longueur d'onde est comprise entre 315 et 280nm ainsi que les UV-C qui ont une longueur d'onde allant de 280 à 200 nm. Cependant seuls les UV-A et une petite partie des UV-B parviennent jusqu'à la surface de la Terre car en traversant l'atmosphère la totalité des UV-C et la majeure partie des UV-B sont soit absorbées, soit réfléchies.

Ainsi le rayonnement solaire que nous recevons comprend seulement 5% d'ultra-violet, ces 5% étant composés à 95% d'UV-A et à 5% d'UV-B.

Le rayonnement solaire peut être considéré comme un ensemble de photons, particules transportant chacune une quantité d'énergie appelée "quantum d'énergie" et notée "ΔE ".L'énergie d'un photon de fréquence υ (en hertz), dont la longueur d'onde λ (en mètre) est égale à la célérité divisée par υ , est exprimée par la relation

$\Delta E = h \times \upsilon = (h \times c) / \lambda$ (I-1)

h étant la constante de Planck c'est-à-dire 6,63*10-34Joules par seconde. Ainsi, les photons composant le rayonnement ultraviolet, du fait de leur longueur d'onde, transportent un quantum d'énergie plus important que les photons composant le rayonnement infrarouge.

L'énergie que transmet le Soleil à la surface de l'atmosphère par rayonnement est égale à 1350 Watts/m² (c'est la constante solaire). Cependant, en traversant l'atmosphère, des parties de ce rayonnement sont réfléchies, absorbées ou diffusées, ce qui diminue significativement cette valeur.

Cette diminution est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante. Ainsi, l'énergie que nous transmet le Soleil dépend de plusieurs facteurs comme l'épaisseur de l'atmosphère où l'on se trouve ou encore la position du Soleil et sa valeur atteint dans les meilleures conditions 900 à
1000 Watts/m². [3]

I.4. Conversion photovoltaïque

I.4.1. L'effet photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques, c'est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire, porté par les photons, en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trous dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules porteuses de charge électrique générées dans le dispositif [8]

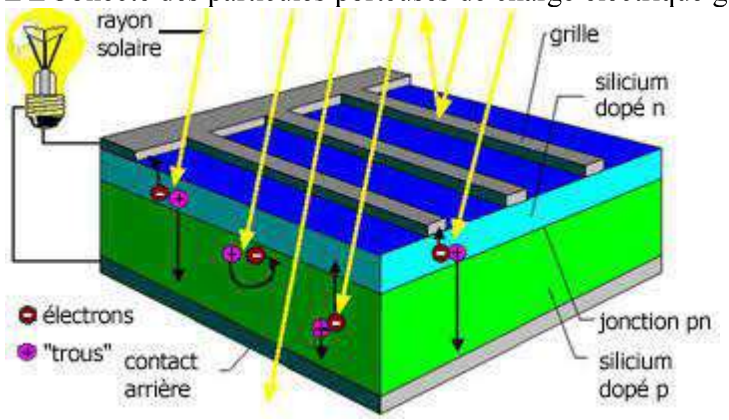


Figure (I. 3) : Cellule photovoltaïque

I.4.2. Le principe de conversion photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » désigne le processus physique qui consiste à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique par le transfert de l'énergie des photons aux électrons d'un matériau. Le préfixe Photo vient du grec « phos » qui signifie lumière. « Volt » vient du patronyme d'Alessandro Volta (1745-1827), physicien qui a contribué aux recherches sur l'électricité. Photovoltaïque (PV) signifie donc littéralement électricité lumineuse. [4]

Le scientifique français, Edmond Becquerel, fut le premier à découvrir en 1839 l'effet photoélectrique. Il a trouvé que certains matériaux pouvaient produire une petite quantité de courant sous l'effet de la lumière. Par la suite, Albert Einstein à découvert, en travaillant sur l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon est donnée par la relation :

$$E = h \cdot c / \lambda \qquad (I\text{-}2)$$

Où h est la constante de Planck, c la vitesse de la lumière et λ sa longueur d'onde. Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande. Cette découverte value à Albert Einstein le prix Nobel en 1905.

La conversion photovoltaïque aujourd'hui largement utilisée peut être simplement définie comme la transformation de l'énergie des photons en énergie électrique grâce au processus d'absorption de la lumière par la matière. Lorsqu'un photon est absorbé par le matériau, il passe une partie de son énergie par collision à un électron l'arrachant littéralement de la matière. Ce dernier étant précédemment à un niveau d'énergie inférieur où il était dans un état stable passe alors vers un niveau d'énergie supérieur, créant un déséquilibre électrique au sein de la matière se traduisant par une paire électron-trou, de même énergie électrique. Généralement, la paire électron-trou revient rapidement à l'équilibre en transformant son énergie électrique en énergie thermique. [5]

L'énergie produite par l'absorption d'un photon dans un matériau se traduit du point de vue électrique par la création d'une paire électron-trou. Cette réaction entraine une différence de répartition des charges créant ainsi une différence de potentiel électrique, c'est l'effet photovoltaïque. Le fait d'avoir associer deux types de matériaux pour créer une jonction permet de pouvoir récupérer les charges avant que ces dernières ne se soient recombinées dans le matériau qui redevient alors neutre. La présence de la jonction PN permet ainsi de maintenir une circulation de courant jusqu'à ses bornes. Le nombre de photons par unité de longueur d'onde est une donnée à connaître pour les applications photovoltaïques pour estimer l'énergie totale disponible. La longueur d'onde correspondant au maximum de photons est de l'ordre de 650-670nm.

La plupart des cellules photovoltaïques utilisent des semi-conducteurs pour récolter les paires électron-trou créées par la collision des photons dans le matériau. Cependant, selon le matériau utilisé, le nombre de photons utiles (qui peuvent être absorbés) diffère. En effet, chaque matériau possède son propre gap énergétique (bande d'énergie interdite). Tout photon possédant une énergie inférieure à ce gap et arrivant à la surface du matériau n'aura pas assez d'énergie pour arracher un électron au matériau même s'il entre en collision avec un. Le courant produit par un capteur PV est donc beaucoup plus faible que la quantité de photons arrivant sur le matériau car plusieurs conditions doivent être réunies pour que réellement l'énergie d'un photon se traduise en courant (compatibilité du matériau avec les longueurs d'ondes du spectre solaire, énergie des photons à leur arrivée sur le matériau, probabilité de rencontre d'un photon avec un électron, incidence du rayonnement, épaisseur du matériau,…). De plus, un autre compromis doit être fait par

le concepteur de capteurs PV. Si le gap du matériau est grand, peu de photons auront assez d'énergie pour créer du courant mais aux bornes de la cellule, la tension en circuit ouvert sera grande et facilitera d'autant plus l'exploitation de l'énergie électrique. A l'inverse, un matériau avec un faible gap absorbe plus de photons mais présente une tension plus faible à ses bornes. Ce compromis a été quantifié par Shockley et Quessier [6]. Ainsi par exemple, avec un seul matériau, le rendement de conversion maximal théorique est de 31% pour un gap énergétique d'environ 1.4eV. Par comparaison, le gap du silicium qui est aujourd'hui le matériau

le plus utilisé pour constituer des cellules dans les capteurs PV terrestres, n'est pas très loin de cet optimum avec 1.12 Ev . Ainsi, le maximum théorique pour une simple jonction Si est d'environ 29%.

La différence de potentiel présente aux bornes d'une jonction PN soumise à un éclairement est également mesurable entre les bornes de la cellule PV. Typiquement, la tension maximale d'une cellule (PN) est d'environ 0.5 à 0.8V. Elle peut être directement mesurée à ses bornes sans charge (circuit ouvert). Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (Voc). Lorsque les bornes d'une cellule sont court-circuitées, on peut mesurer le courant maximal produit par la cellule PV et on le nomme communément courant de court-circuit (Icc). [7]

I.4.3. Propriété électrique d'une cellule PV

La cellule photovoltaïque possède une caractéristique = ( ) non linéaire Figure (II-2). La caractéristique d'une cellule photovoltaïque balaie 3 quadrants le repère (courant, tension) sur les 4 existants.

Dans le quadrant QI et le quadrant QIII la cellule PV fonctionne en récepteur. Le fonctionnement dans ces deux quadrants est à proscrire car un risque de destruction par phénomène d'échauffement local (hot spot) est possible. Dans le quadrant QII, la cellule fonctionnement en générateur, c'est le fonctionnement normal, en effet dans ce cas la cellule produit donc de l'énergie. L'objectif est donc de faire travailler la cellule dans le deuxième quadrant [8].

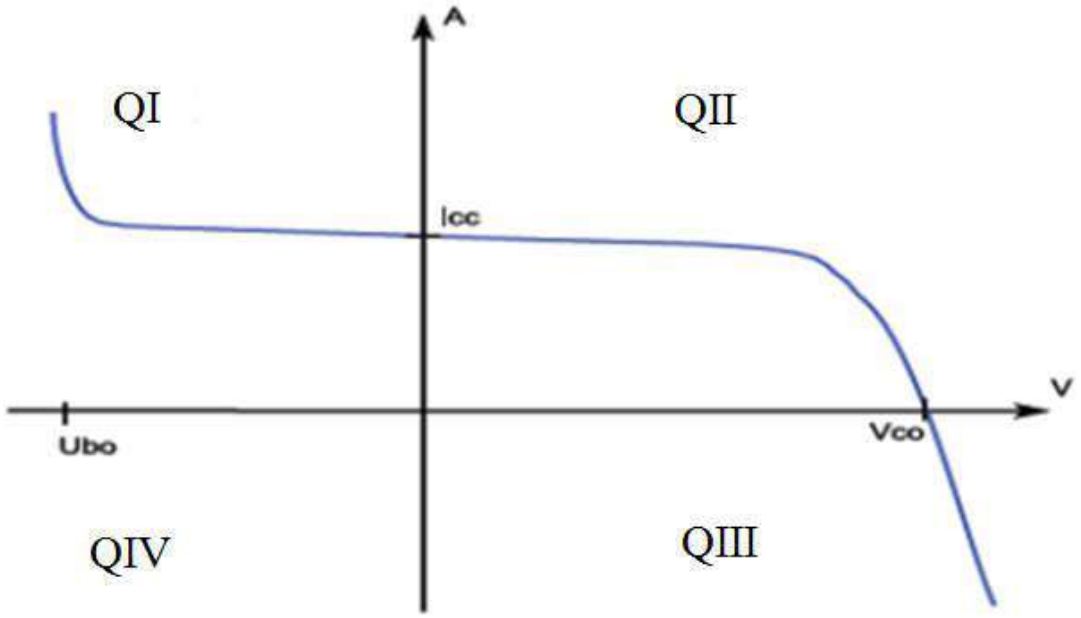


Figure (I. 4) : Caractéristique (I, V) d'une cellule photovoltaïque

I.4.4. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

Caractéristique courant-tension et schéma équivalent

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Le panneau photovoltaïque est donc à considérer comme une source de puissance

continue. On s'aperçoit alors de l'existence d'un point Pm où la puissance est maximale. Il est sans aucun doute intéressant de choisir un récepteur dont l'impédance nous place sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. Certains régulateurs solaires réalisent donc une adaptation d'impédance pour qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPPT)). La caractéristique réelle et le schéma équivalent de la cellule sont représentés sur la figure (II-3).

Les valeurs respectives des divers éléments du schéma équivalent déterminent les performances de la cellule réelle.[9]

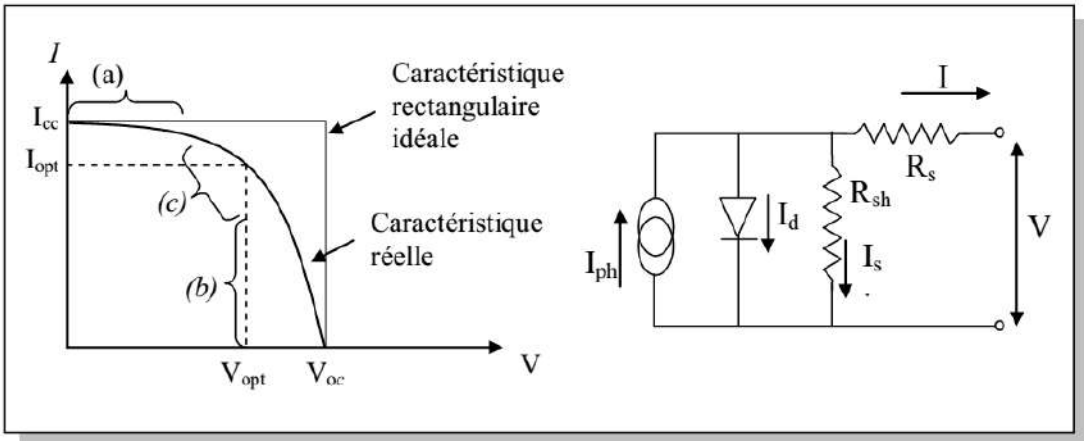


Figure (I. 5) : Caractéristique et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle. **[9]**

La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes). Nous pouvons décomposer la caractéristique *I= f(v)* d'un générateur photovoltaïque en 3 zones :

_ Une zone assimilable à un générateur de courant ICC proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $1/R_{s}$ (Zone a),

_ Une zone assimilable à un générateur de tension Vco d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s (Zone b),

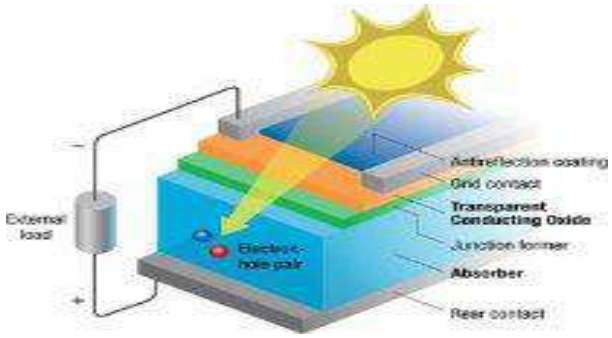
_ Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement deR_s à R_{s} c(zone c).

C'est dans la zone c qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, caractérisé par le couple (Imax, V max), et seule une charge dont la caractéristique passe parce point, permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées. [9]

I.5. Les différentes technologies des cellules PV

Les technologies cristallines à base de silicium (multi cristallin et monocristallin) sont de loin les plus utilisées aujourd'hui mais les technologies

"couches minces", en particulier CIS et CdTe se développent de plus en plus sur le marché. D'autres filières basées sur l'utilisation de colorants ou de matériaux organiques, encore à leur balbutiements, promettent un bel avenir à l'énergie photovoltaïque.



Structure générique d'une cellule photovoltaïque

La cellule solaire, élément unitaire d'un module photovoltaïque, est aussi l'élément actif dans lequel se produit l'effet photovoltaïque. Celui-ci permet au matériau de cellule de capter l'énergie lumineuse (photons) et de la transformer en énergie électrique caractérisée par un déplacement de charges, positives et négatives.

La caractéristique commune à toutes les technologies photovoltaïques est la mise en présence dans le matériau de la cellule d'un donneur et d'un accepteur d'électrons pour permettre ce déplacement de charges. Une fois transféré dans un circuit électrique extérieur, celui-ci prend la forme d'un courant électrique continu.

I.5.1. Cellules cristallines

pour lesquelles l'élément actif est le silicium dopé dans la masse. Bien que plus ancienne, cette technologie représente encore 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances (rendement modules allant de 12 à 20 % pour une durée de vie de 30 ans environ) ainsi que des investissements importants qui lui ont été destinés, que ce soit pour la transformation du silicium, l'élaboration des cellules ou l'assemblage des modules.

I.5.2. Cellules à couches minces (amorphes)

Qui ont en commun le procédé de dépôt du matériau semi-conducteur à faible épaisseur sur des substrats variés et donnant un aspect uni, produisant des modules de rendement légèrement inférieur (de 7 à 13 %). La part de marché pour l'ensemble de ces technologies est d'environ 10 % et reste relativement stable : ces filières ont perdu l'avantage de leur moindre coût de production avec les investissements massifs consentis dans le silicium au début des années 2000.

I.6. Panneau solaire (champ solaire)

La puissance fournie par une seule cellule solaire étant très faible, plusieurs cellules dont les caractéristiques sont semblables doivent être électriquement associées et encapsulées dans un plastique pour former un GPV pratique.

I.6.1. Regroupement des cellules en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Figure.1.4 montre la caractéristique résultante (ICS, VCS) obtenue en associant en série NS cellules identiques (IC , VC) [6].

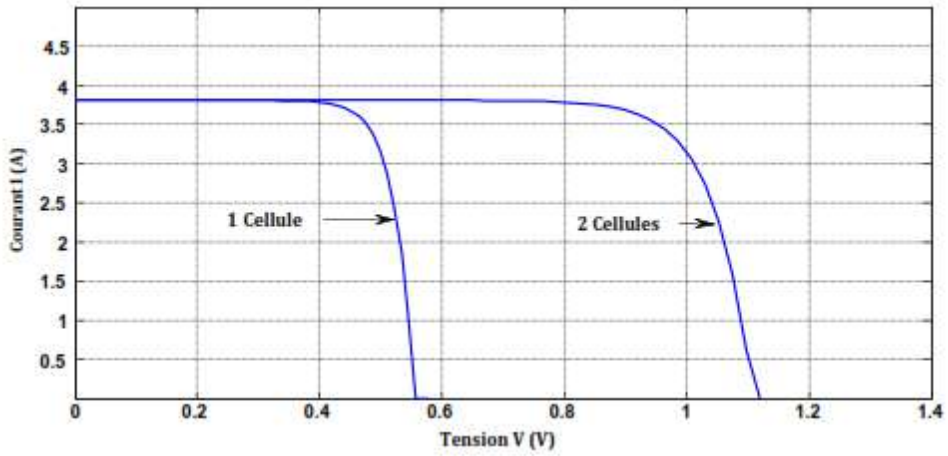


Figure.1.6 : Caractéristique I-V de 2 cellules photovoltaïques raccordées en série.

$Ics = Ic$ (I-23)

Et

$Vcs = Ns \cdot Vc$ (I-24)

I.6.2. Regroupement des cellules en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. (Figure 1.5) montre la caractéristique résultante (I CP , VCP) obtenue en associant en parallèle NP cellules identiques (IC , VC) [6] :

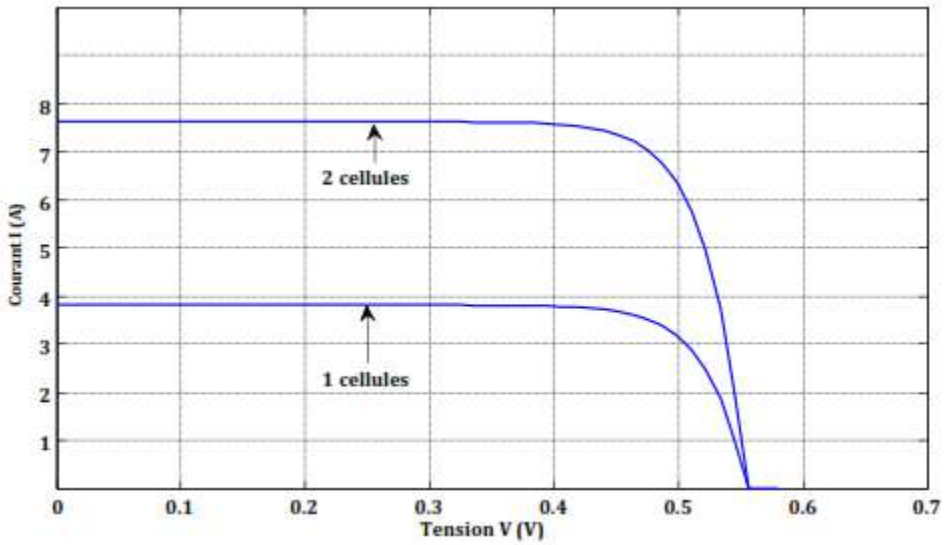


Figure.1.7 : Caractéristique I-V de 2 cellules photovoltaïques raccordées en parallèle.

$I_{cp} = N_p I_c$ (I-25)

Et

$V_{cp} = V_c$ (I-26)

I.6.3. Regroupement des cellules mixte (séries et parallèle)

Le générateur photovoltaïque est constitué d'un réseau série-parallèle de nombreux modules photovoltaïques regroupés par panneaux photovoltaïques. La caractéristique électrique globale courant/tension du PV se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport *ns* parallèlement à l'axe des tensions et de rapport *np* parallèlement à l'axe des courants,

Ainsi que l'illustre la figure 7, *ns et np* étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle.

Icc= np.Icc: courant de court-circuit du module résultant.
Vco=n s.Vco: tension du circuit ouvert du module résultant.

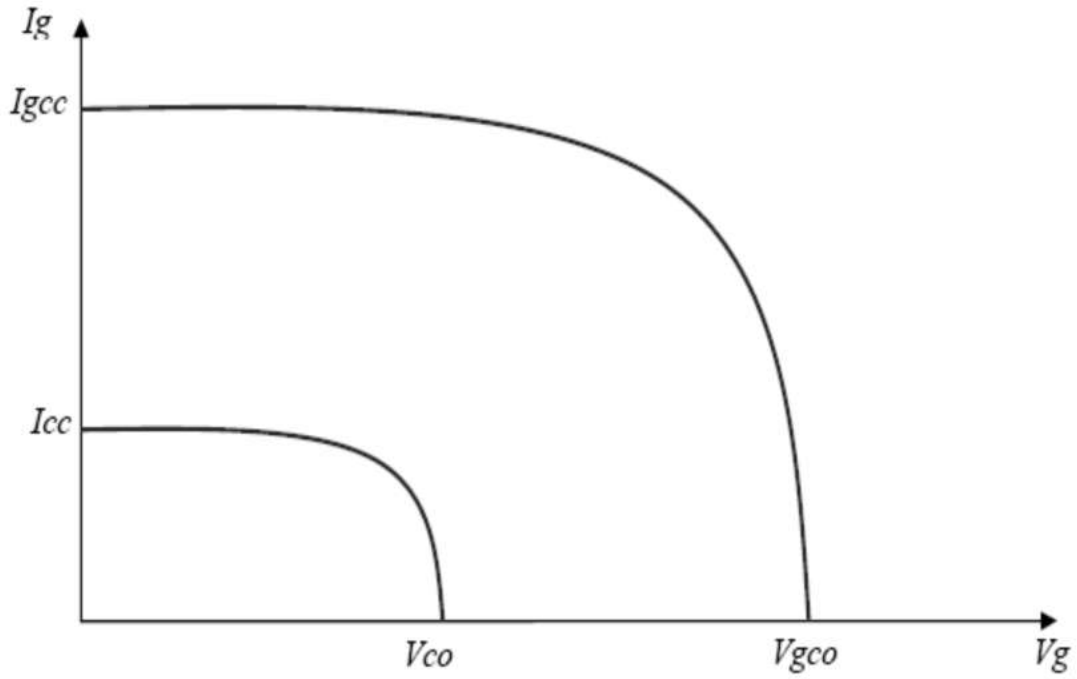


Figure I.8: Caractéristique d'un groupement mixte

Les générateurs photovoltaïques sont alors réalisés en vue d'augmenter la tension (association en série**)** ou augmenter le courant (association en parallèle) par l'association d'un grand nombre de cellules élémentaires de même technologie et de caractéristiques identiques. Le câblage série-parallèle est donc utilisé pour obtenir un module PV (ou panneau PV) aux caractéristiques souhaitées (courant et tension suffisants) **[5].**

I.7. Zones de fonctionnement du module solaire

Ce fonctionnement est caractérisé essentiellement par trois zones

- fonctionnement comme générateur de courant : Dans ce cas le point de fonctionnement appartient à la zone AB.
- fonctionnement comme générateur de tension : le point de fonctionnement appartient à la zone CD. La tension est proche de la tension à vide Voc et le courant est faible.
- fonctionnement optimal : quand le point de fonctionnement appartient à la zone BC, l'exploitation d'énergie est maximale et la puissance délivrée est maximisée par rapport aux deux autres zones (AB,CD).

I.8. Conclusion

Les énergies renouvelables nous proposent de multiples façons de produire de l'énergie. Elles donnent aussi plusieurs :

Avantage :

• Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée ;
• Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps ;
• Pas d'émission de CO2 ;
Pour la plus part des méthodes.
• Coût au kWh fixe, faible et stable ;
• L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

Inconvénients:

• Investissement important ;
• L'installation doit s'intégrer dans l'environnement ;
• Variabilité de la production de l'éolien qui dépend d'un vent aléatoire ;
• Projets de longue durée ;
• Le stockage de l'électricité.

Il ne faut pas oublier qu'il faut commencer par l'optimisation des consommations, ceci se réalise par une conception architecturale bioclimatique accompagnée par des équipements ménagers économes.

Une fois les consommations diminuées (mais pas le confort), nous pouvons envisager d'investir dans des systèmes de production d'énergie.

Après avoir donné une définition des différentes énergies renouvelables, le chapitre qui suit exposera l'impact de ces énergies sur le réseau électrique.

Chapitre II
Etat de l’art sur les émulateurs photovoltaïques

II.1 Introduction

L'énergie solaire d'origine photovoltaïque offre des perceptives intéressantes. Depuis 2005 elle est classée comme la première source énergétique du futur. Elle est la solution la plus approprie pour une installation en site isolé, ceci pour tout les niveaux de puissances demandés.

Pour un bon dimensionnement de telles installations, une étude préalable est nécessaire. Cependant, les résultats obtenus exigent une validation par des expériences appropriées impliquant la source PV associée à leurs charge qui sont de divers genres , telles que les charges résistives, moteurs à C.C, batteries de stockages, et des onduleurs reliés à des récepteurs. Ces installations sont toujours munies d'un onduleur, fonctionnant au point de puissance maximum (MPPT) qui ont un rôle prépondérant, donc à prendre en considération en premier lieu.

L'alternative est la configuration d'un émulateur PV, c'est-à-dire, un équipement de Laboratoire approprié dans lequel la tension et le courant sont les mêmes que dans une source réelle. L'expérimental d'une telle installation permet de réaliser des mesures et des essais sans les contraintes de conditions environnementales et, surtout, à moindre coût, depuis l'utilisation d'un système PV .Considérant que la tendance de l'industrie photovoltaïque évolue vers une exploitation plus optimale, la mise en place d'émulateurs photovoltaïques efficaces et fiables devient de plus en plus une nécessité. L'émulation d'un générateur PV est réalisée par deux tâches principales ; la première est la connaissance des caractéristiques électriques du générateur. En effet, une introduction détaillée à la modélisation des générateurs PV et leur émulation s'impose au moyen de convertisseurs de l'électronique de puissance. Pour se faire, on va se concentrer sur la définition de modèles de source PV précis, y compris les techniques d'extraction des paramètres. Viens ensuite en deuxième lieu la conception d'un système pour reproduire le comportement d'une source PV en utilisant la caractéristique courant - tension , obtenues par la modélisation, comme une référence pour contrôler convenablement la commutation du convertisseur DC / DC. L'objectif principal est de concevoir et mettre en place un émulateur PV basé sur des convertisseurs de puissance contrôlés, à partir d'une modélisation de la source PV. [1]

Il est intéressant de considérer que le concept d'émulation globale, en référence aux sources PV, est général; par conséquent, il peut être facilement étendu à d'autres sources électriques, telles que des piles à combustible, des batteries ou des éoliennes ou encore moteur à aimant permanent dans lequel la tension de sortie continue est obtenue par un redresseur.

Ainsi ces émulateurs font appel à des montages à base de convertisseur statique, donc à l'électronique de puissance.

II.2 Emulateurs photovoltaïques

D'une façon générale, les simulateurs solaires qui sont à base de lampes ayant un spectre spécifique, présentent quelques problèmes avec la réalisation d'une distribution uniforme de l'irradiation. Pour toutes ces raisons, et quand des puissances plus élevées sont impliquées, la solution la plus approprié est l'utilisation d'autres genres de dispositifs souvent dit « émulateur », cela sera référée, ci-après, en tant que des émulateurs de source PV.

II.2.1 définition

Un émulateur, en général, est prévu comme un système qui reproduit les fonctions d'un équipement à l'aide d'un matériel différent. Un tel système utilise des outils de simulation différents sur ordinateur, de forme qui concerne les modèles abstraits de l'équipement à simuler. La possibilité pour installer un émulateur d'un générateur PV, de telles sortes que la tension et le courant se comportent comme dans la vraie source, est très avantageux. L'émulateur de source PV devrait montrer les mêmes caractéristiques électriques (puissance, tension, courant) d'une source photovoltaïque, y compris leur dépendance à l'égard des conditions atmosphériques, ombre partielle, et dynamique, permettant à l'utilisateur de contrôler une installation réelle d'une façon virtuelle. Un dispositif expérimental permettrait à des mesures et à des essais d'être effectué, sans contraintes des conditions environnementales et, surtout, meilleur marché, car l'utilisation d'une rangée réelle de panneau PV est ainsi évitée. Par exemple, le choix sur l'éventail qu'offre le marché, ou la conception optimal du convertisseur de puissance connectant le générateur PV au récepteur, quelque soit sa nature, sera faite tout en considérant les problèmes liés à la commande du convertisseur et à la nature des charges.

II.2.2 Émulateurs PV: Concepts et réalisation :

L'émulation d'un générateur PV est constitué de deux parties principales: la première s'occupe de la connaissance des caractéristiques (I,V) du générateur, la deuxième consiste en leur reproduction par les amplificateurs de puissance appropriés, qui définit la puissance maximum produite. En général, les caractéristiques (I, V) d'une rangée de panneaux PV peuvent être déduites par un modèle de cellules PV, autrement une base de données peut être installée en mesurant des courbes de (I, V) dans différentes conditions environnementales. En ce qui concerne la première tâche, une discussion étendue sur la modélisation de source PV et identification de paramètres sera donnée dans le prochain chapitre.

Quant à la deuxième tâche, une large variété de réalisations est présentée dans la littérature technique pour des émulateurs PV. Parmi les idées fondamentales suggérées dans le passé pour l'installation d'un émulateur de source PV, nous pouvons citer:

1. La modification d'une source de tension de sorte que sa résistance interne soit variable selon une loi exponentielle avec le courant;
2. L'amplification du courant et de la tension d'une cellule;
3. La définition d'un circuit équivalent du générateur PV constitué d'une source de courant constante équivalente et un réseau de résistances et de diodes.

Toutes ces méthodes ont montré qu'une flexibilité limitée dans l'impacte de l'influence de l'irradiation solaire, de la température, et d'autres paramètres du générateur PV. D'ailleurs, certaines de ces méthodes sont peu judicieuses pour l'émulation des sources PV dans la gamme dépassant le kW. Par exemple, la méthode des trois points exige l'utilisation d'un nombre inacceptable de diodes et des sources de courant de puissance élevée. Pour toutes ces raisons, la recherche dans le domaine des émulateurs PV a été orientée vers l'utilisation des sources d'énergie actives convenables qui conduit aux caractéristiques d'élasticité près de la réalité. Conceptuellement, les émulateurs modernes de source PV sont des convertisseurs d'électroniques de puissance dont le rendement en tension et en courant sont commandé afin de reproduire le comportement des générateurs PV. C'est à dire l'impédance apparente aux bornes du convertisseur sera variable, est contrôlée de telle

sorte à suivre l'impédance réelle de l'ensemble des panneaux constituant l'installation PV.

II.3 Etat de l'art des émulateurs photovoltaïque

II.3.1 L'émulateur à base de lampes

Le problème lié à l'utilisation de tels systèmes est dû à l'alimentation électrique appropriée, et à l'approximation de l'effet de chaleur du soleil ainsi que la distribution non uniforme de l'irradiation. Ainsi, pour obtenir l'irradiante de 1000 W/m2 sur un panneau PV de 50 W, une énergie électrique d'environ 10 kW est nécessaire; tandis que pour une rangée PV de 2 kW, l'énergie électrique exigée est égale environ 400 kW. L'utilisation des lampes à décharges de Roman laisse obtenir une meilleure efficacité, mais le spectre produit diffère de celui produit par la lumière du soleil. Récemment les chercheurs ont proposé l'utilisation des simulateurs solaires tels que les diodes électro luminescentes (LED), pour imiter le spectre et l'intensité de la lumière du soleil normale; c'est une solution tout à fait bon marché et efficace sur un marché dominé par des dispositifs de puissance très chère. [12]

II.3.2 Circuits basés sur les amplificateurs opérationnels

Une première classification approximative des émulateurs PV, sur la base de leur structure matériel, peut être faite considérant l'amplificateur de puissance utilisé pour réaliser son opération. Dans les notices techniques des émulateurs à base d'amplificateurs opérationnels, des régulateurs série et des convertisseurs de commutation, sont proposés. Nous allons présenter quelques exemples typiques.

A. Emulateur de source PV proposé par Baert

Une des contributions les plus anciennes sur des émulateurs de source PV a été proposée par Baert (1979), il est constitué d'un circuit ayant l'effet d'augmenter pratiquement la surface d'une petite cellule solaire de référence. Ce circuit a été prévu pour des études sur les onduleurs et les systèmes de stockage d'énergie dans des batteries. Le circuit est basé sur les amplificateurs opérationnels de puissance, comme montré dans la figure (II-1).

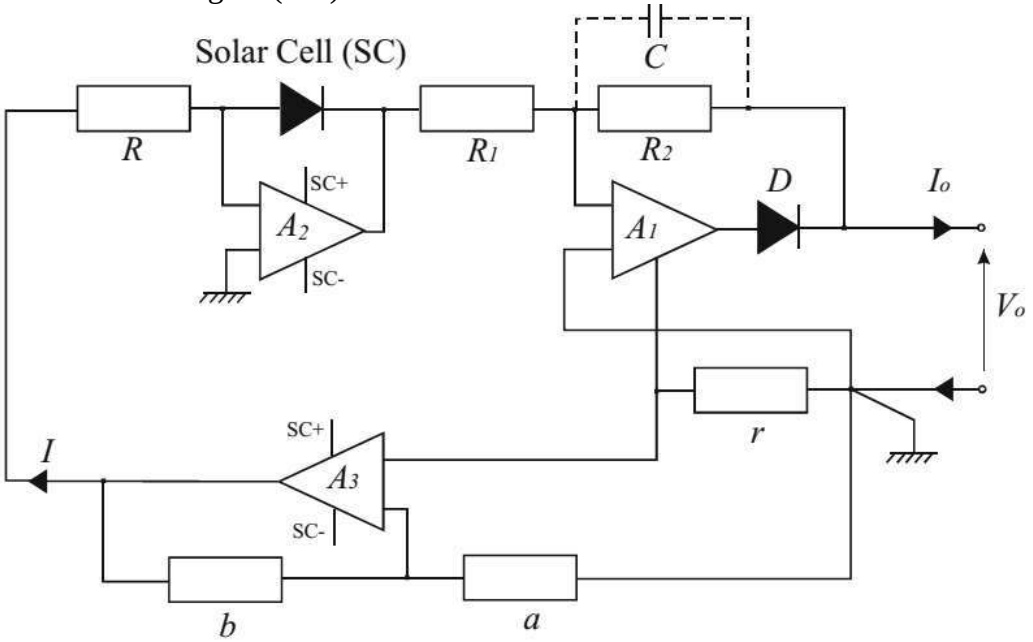


Figure (II. 1) : Schéma de l'émulateur de source PV proposé par Baert [12]

En particulier, l'amplificateur A1 permet de multiplier la tension de la cellule solaire par un facteur $\frac{-R1}{R2}$. Le courant de sortie est détecté par une faible résistance r par laquelle il est transformé en une tension, puis il est renvoyé dans la

cellule par un autre amplificateur A 3; donc, le nouveau courant de sortie est le courant de cellules de référence multiplié par un facteur $\frac{aR}{br}$. Le condensateur C est employé comme limiteur de la largeur de bande passante pour supprimer des oscillations à haute fréquence, alors que la diode D est employée pour protéger le dispositif contre le courant et la tension inverse peu désiré.

B. Emulateur de source PV proposé par Nagayoshi

Une approche semblable est suivie par Nagayoshi (2004) qui propose un multi circuit de caractéristique (I, V) dont l'unité élémentaire est basée sur un amplificateur linéaire de courant continu. Le circuit utilise une petite cellule PV comme générateur de la caractéristique (I, V) et fournit une amplification séparée de la tension et du courant pour réaliser l'opération d'émulateur PV. Le schéma de cet émulateur est illustré dans la figue (II-2).

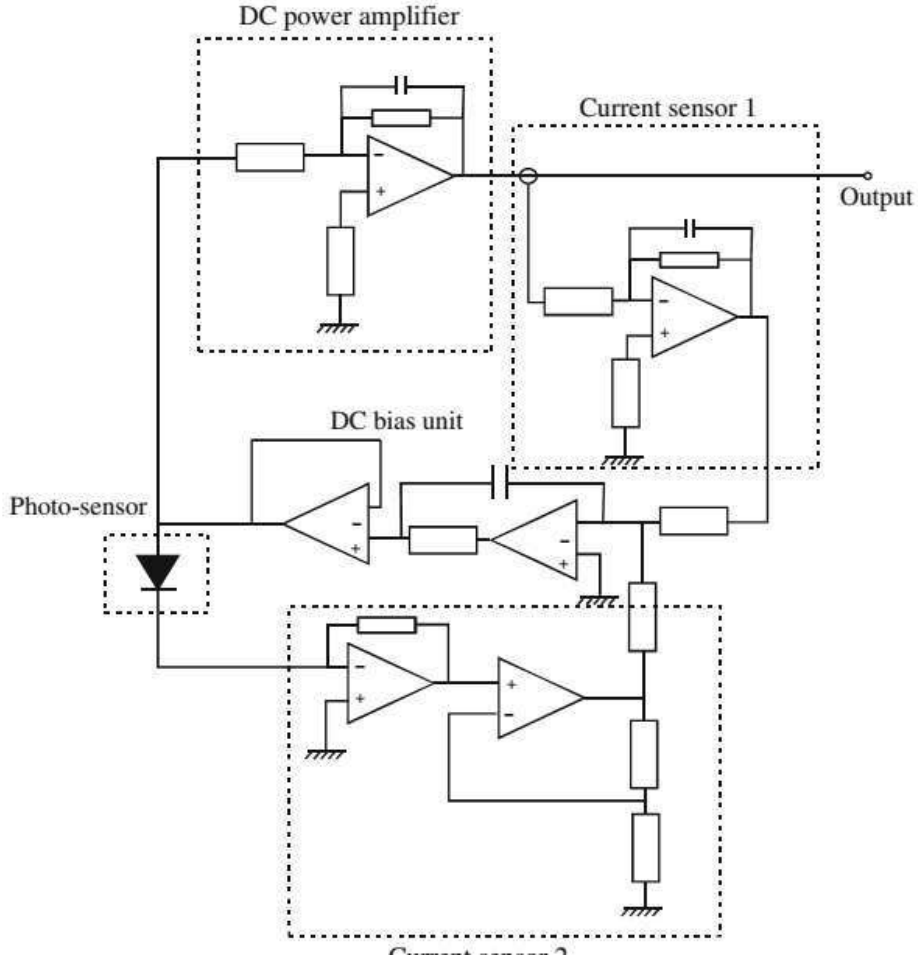


Figure (II. 2) : Emulateur de source de PV proposé par Nagayoshi [11]

Il est possible d'observer qu'un amplificateur d'alimentation à courant continu, augmente la tension de sortie de la petite cellule PV (obtenue par une photo détectrice PN illuminée par une lumière de LED), tandis que le point de fonctionnement est contrôlé par le signal de retour provenant d'un capteur de courant placé à la sortie du simulateur. Pour plus d'explication, le courant de sortie de l'émulateur PV Iout et le courant photo-capteur Iph est contrôlé par les capteurs de courant 1 et 2 respectivement. La tension de sortie du capteur de courant 2 est maintenue égale à la sortie en tension du capteur de courant 1 à tout moment par une commande en rétroaction. Par conséquent le gain en courant est donné par:

A1=Iout/Iph =G2/G1 (I.1)

Où

G1 = Vs1 /Iout (I.2)

G2 = Vs2/Iph (I.3)

G1 et G2 étant les gains des capteurs de courants 1 et 2, respectivement et Vs 1 et Vs 2 les tensions de sorties des capteurs de courants 1 et 2, respectivement. Selon ces équations, il est possible d'observer que le gain en courant est indépendant du gain en tension, défini par l'amplificateur de puissance. Dans ce système, la dépendance de la température de la source solaire est mise en application par la commande de température de la photo détectrice.

Plusieurs courbes (I, V) ont été obtenues par l'émulateur PV décrit en utilisant une résistance de puissance variable comme charge. L'utilisation de l'amplificateur opérationnel permet à la tension et au courant délivré par la source d'être amplifié, leurs valeurs maximum sont limitées seulement par le choix des amplificateurs. D'ailleurs, l'amplificateur opérationnel a une bonne largeur de bande pour reproduire correctement les coupures. D'autre part, les phénomènes parasites, attachés à la capacité de jonction ou l'inductance de fils, peut être reproduite correctement seulement avec référence à la cellule PV utilisée comme échantillon. En effet, le raccordement série (parallèle) des cellules PV diminue (augmente) la valeur de la capacité de jonction et augmente (diminue) l'inductance parasite; par conséquent, une seule multiplication de la tension ou du courant ne peut pas tenir compte de ces effets. [11]

C. Emulateur de source de PV proposé par Easwarakhanthan

Afin de surmonter la flexibilité limitée des méthodes d'émulation PV précédemment décrites, pour prendre en compte facilement l'influence des paramètres de la météo sur la source photovoltaïque, Ea-Swarakhanthan (1986) a proposé un émulateur contrôlé par micro-ordinateur basé sur une source de tension continue programmable, un multimètre programmable et un amplificateur de puissance. Dans ce système, les points de fonctionnement sont fournis par un tableur, pour les variations de charge, d'éclairement solaire, de température et de divers paramètres de module / réseau PV selon une technique itérative à interpolation linéaire

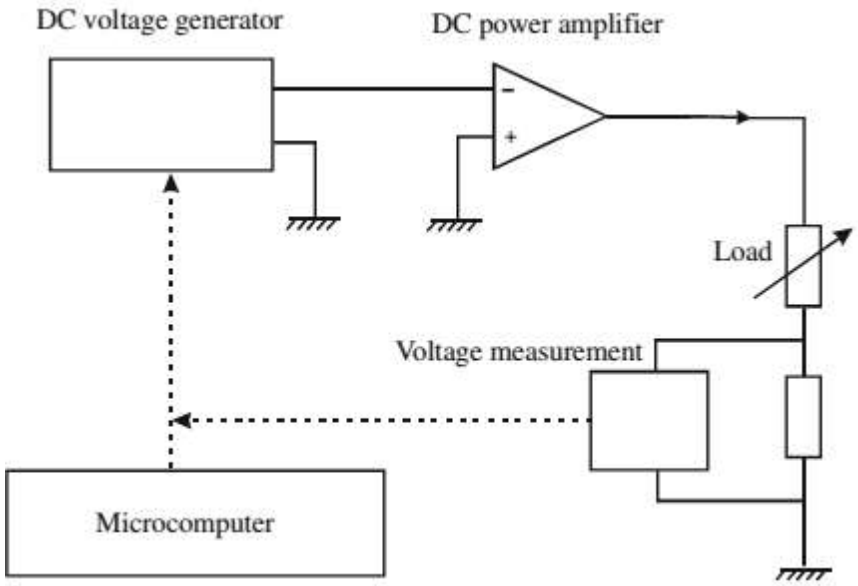


Figure (II- 3) : Principe de l'émulateur de source de PV proposé par Easwarakhanthan

Un ordinateur calcule le courant de sortie et la tension à l'intersection entre la courbe (I, V) de la source PV et une ligne droite entre deux points traités ultérieurement sur la courbe de fonctionnement de la charge. Ensuite, il programme le générateur de tension continue pour appliquer la tension calculée à la charge, acquiert le courant mesuré, par le multimètre, est comparé ainsi, avec celui calculé. Une boucle de retard est activée lorsque la différence relative entre les courants mesurés et calculés atteint la limite souhaitée. Il convient de noter que, le fonctionnement du système décrit nécessite une connaissance à priori de la courbe de fonctionnement de la charge connectée. C'est à dire que la connaissance de l'impédance de récepteur est importante.

II.3.3Circuits basés sur les régulateurs linéaires

Dans ce genre de circuits, la tension de sortie est obtenue par un dispositif capable de faire varier la tension continu, et la mise en série de résistances variables quantifiant les chutes de tension. Par conséquent, la tension de sortie est toujours inférieure à la tension d'alimentation. Cet effet peut être obtenu par un transistor de puissance polarisé dans la région active, fonctionnant ainsi comme amplificateur de classe A. Cependant, un effet semblable, bien que tout à fait rigoureux, peut être également obtenu avec une série de résistances. [11]

A.Emulateur de source de PV proposé par Mukerjee et Dasgupta

Un circuit à prix réduit utilisé comme émulateur PV pour examiner l'algorithme MPPT est proposé par Mukerjee et Dasgupta (2007). Il est basé sur une alimentation à tension continue variable, cette variation est effectuée approximativement avec une résistance variable. Ce circuit donne un comportement semblable à celui d'un générateur PV. Le principe du système est donné par la figure(II-4).

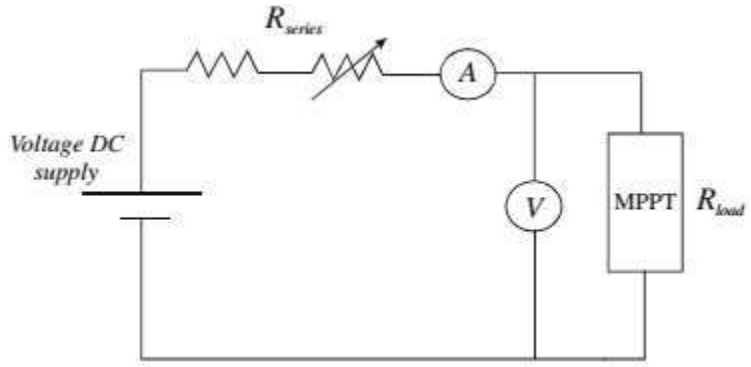


Figure (II. 4) : Emulateur de source PV proposé par Mukerjee et Dasgupta[11]

Si la résistance indiquée comme Rsérie est fixe, quand la charge R varie de sa valeur minimum à sa valeur maximum, la caractéristique du courant qui la traverse en fonction de la tension à ces bornes est de forme linéaire avec une pente négative.
La puissance absorbée par la charge R atteint son maximum quand la chute de tension aux bornes de la résistance est égale à la moitié de la tension d'alimentation appliquée, correspondant à Voc du générateur PV émulé. Par conséquent, la courbe (I, V) aura un maximum semblable à la courbe de (I, V) produite par une source PV. Le MPPT pistera ce maximum. Afin de tenir compte des variations de la température, la valeur de la tension
d'alimentation est modifiée, quand la température change, la tension en circuit ouvert change de manière significative.Pour augmenter ou diminuer le courant de court-circuit, la valeur de Rsérie doit etre convenablement modifiée, s'assurant qu'une résistance finie est toujours en série avec la source d'alimentation, pour éviter d'éventuels dommages possibles. [11]

B.Emulateur de source PV proposé par Lloyd

Une solution intéressante proposé par Lloyd (2000), utilisant la combinaison d'un régulateur de classe A et de plusieurs source de courant continu qui peuvent être reliés au régulateur par des commutateurs à base de diodes. En particulier, une conception modulaire a été adoptée pour installer un émulateur de source PV, dont l'unité de puissance simple est capable de fournir un maximum de puissance de 400 W. Afin de tenir compte du vrai comportement de la source PV, un réseau de courbes (I, V) pour des valeurs indiquées d'irradiante solaire et des températures a été utilisé. Ces courbes sont chargées dans un EPROM. Les courbes (I, V) ont été calculées sur la base d'un modèle de double diode avec des références de panneaux PV du silicium (a-Si) poly cristallins et amorphes. Le schéma électrique de ce système est représenté sur la figure (II- 5).

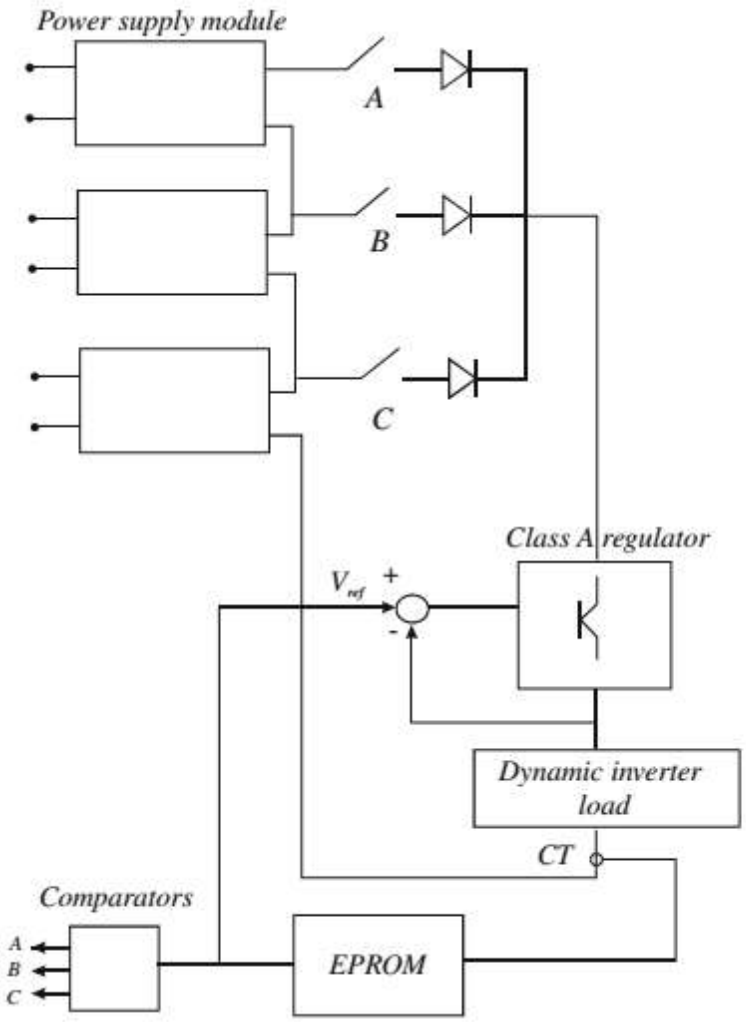


Figure (II- 5) : Emulateur de source PV proposé par Lloyd

Le régulateur de la classe A produit une tension de sortie, selon les caractéristiques (I, V) contenues dans l'EPROM, pour poursuivre le comportement de la source PV, un bloc commande « Dynamic inverter » fournie le signal de contrôle du transistor, qui fonctionne en amplificateur. Le régulateur est équipé d'une commande de courant permettant aux unités de puissance additionnelles d'être reliés en parallèle, pour obtenir un courant de sortie plus élevé.

Les commutateurs de charge statique A, B, et C, sont automatiquement choisi pour faire fonctionner le régulateur. Des modules d'alimentation d'énergie peuvent être reliés en série ou en parallèle pour répondre aux caractéristiques (I, V) de l'onduleur PV mis à l'essai. Ce système d'émulation permet deux modes de fonctionnement:

1. Régulateur de courant: dans ce cas la tension est mesurée et introduite à l'EPROM cela donne une valeur désirée du courant de charge.
2. Régulateur de tension: dans ce cas l'EPROM délivre la tension de référence, V réf.

Dans le premier cas la tension mesurée est employée pour commuter les alimentations d'énergie.

C. Emulateur de source PV proposé par Haeberlin et Borgna

Un intéressant émulateur linéaire de source PV de puissance élevée (pour des puissances allant jusqu' aux dizaines de kW) est proposé par Haeberlin et Borgna (2004), pour des testes sur des onduleurs photovoltaïques, en tenant compte de l'efficacité des algorithmes MPPT. Il est basé sur une source de courant linéaire

contrôlée, caractérisée par une grande stabilité et sans interaction avec les circuits d'électroniques de puissance testés. Le schéma de principe d'un tel dispositif est représenté sur la Figure (II-6).

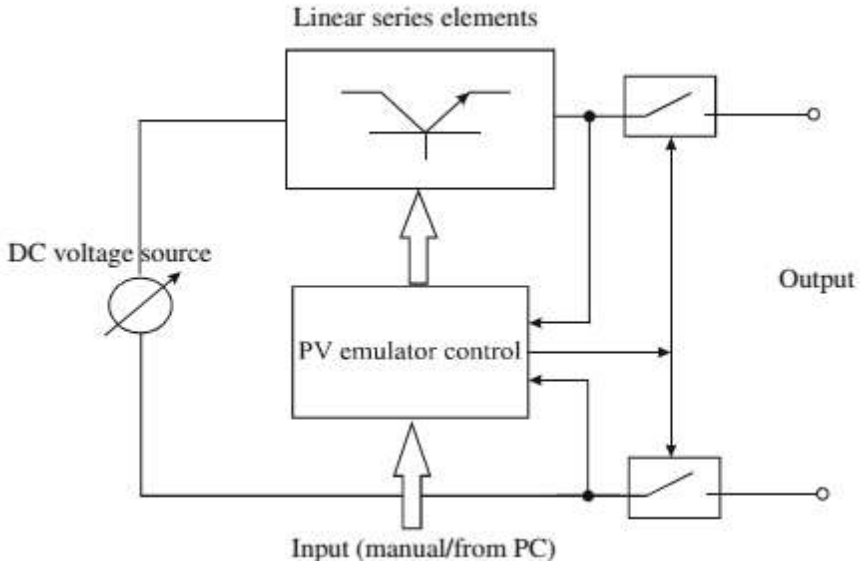


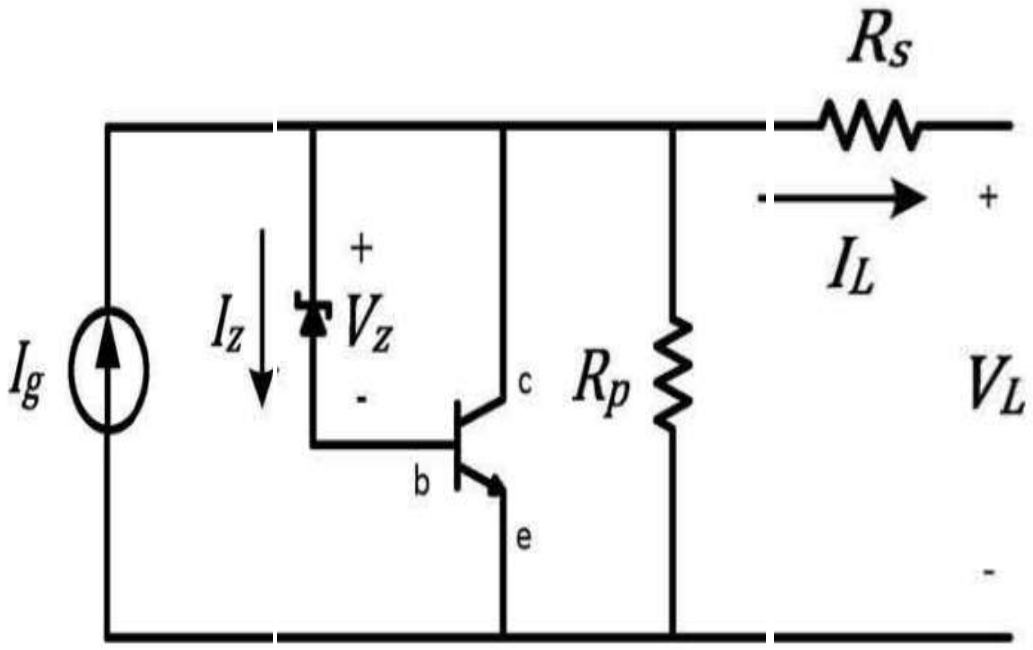
Figure (II- 6) : Schéma descriptif d'émulateur de source PV
Proposé par Haeberlin et Borgna

Dans cet émulateur, la variation de puissance est imposée en changeant le courant de fonctionnement. Ce mode de fonctionnement reproduit la variation d'irradiation solaire par rapport à la température constante.

Il est possible d'observer la présence de deux interrupteurs d'isolement en série, utilisés pour fournir une isolation galvanique à la sortie de l'émulateur PV lorsqu'il ne fonctionne pas. Le choix d'un design linéaire, dans ce cas, est considéré comme approprié pour deux raisons principales: la meilleure réponse dynamique et l'absence de tensions haute fréquence générées en interne, car aucune commutation PWM ne sera produite, c'est un avantage en ce qui concerne la compatibilité électromagnétique. Concernant la puissance ce type d'Emulateur est limité. Ce si s'explique par la conception linéaire qui implique un grave inconvénient; En particulier, si l'émulateur fonctionne à proximité de l'état de court-circuit avec des valeurs élevées de la source de tension, une grande quantité de puissance sera dissipée dans les éléments placés en série fonctionnant en mode linéaire.

D. Émulateur de cellules PV avec une diode zener

Pour mettre en oeuvre la cellule photovoltaïque représentée sur la figure(I-7), en utilisant par exemple une diode de redressement, et d'obtenir une tension considérable en sortie, il faudrait une quantité raisonnable de cellules PV, ce qui est indésirable dans la pratique. Pour surmonter ce problème, il est possible d'utiliser une diode Zener. A cause de la puissance limitée que peut supporter une diode zener , ce dispositif est associé à un transistor bipolaire comme indiqué sur la figure (II-7) [13]



la figure (II-7): Modèle de cellule PV proposé. [13]

II.3.4 Circuits basés sur des convertisseurs d'électronique de puissance :

Les émulateurs de source PV, dont la structure matérielle est basée sur les convertisseurs d'électronique de puissance, sont les plus citées dans la littérature technique, la raison de leur succès dépend des considérations suivantes :

Un amplificateur linéaire a besoin, en général, d'un grand dissipateur de chaleur et ses pertes de puissance de conversion se rapprochent de 100% lorsque l'émulateur PV fournit le courant de court-circuit. Dans un convertisseur DC / DC, les périphériques d'alimentation sont utilisés en considérant seulement deux états fondamentaux: l'état dans lequel la tension de l'interrupteur d'alimentation est nulle et l'état d'arrêt dans lequel, à son tour, le courant est nul. Dans les deux cas, en principe, il n'y a pas de dissipation énergétique. Des pertes en lieux uniquement pendant les transitions entre les états d'amorçage et de blocage et vice versa, elles sont proportionnelles à la fréquence de commutation.

En conséquence, le rendement global est très élevé, d'où une unité d'émulation de plus petite taille peut être configurée tout en prenant en charge des puissances importantes.

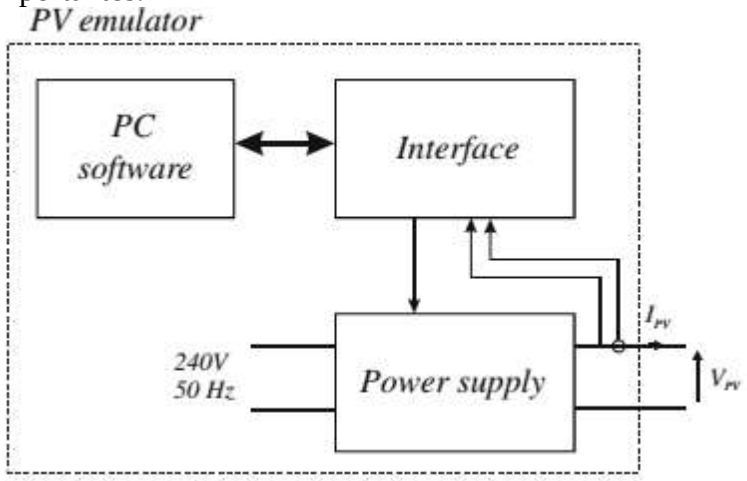


Figure (II- 8) : Principe d'un émulateur basé sur l'électronique de puissance

A. Emulateur de source PV proposé par Khouzam et Hoffma

Une réalisation d'émulateur photovoltaïque basée sur un convertisseur fonctionnant en mode commuté, avec un contrôle numérique, est proposée par Khouzam et Hoffman (1996). Ce système peut imiter un générateur photovoltaïque en temps réel, en tenant compte des caractéristiques de tout le système, de sa taille, ainsi que des conditions spécifiques d'irradiation et de température et le vieillissement photovoltaïque. Toutes ces données peuvent être introduites dans un ordinateur, afin que la sortie du convertisseur soit contrôlée pour reproduire le point de fonctionnement correspondant.

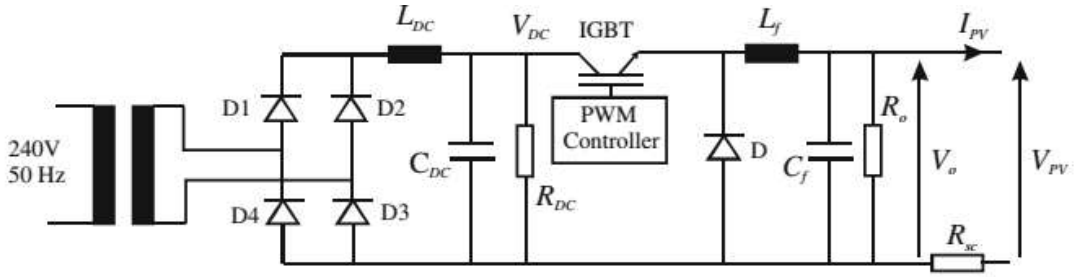


Figure (II- 9) : Détails du bloc d'alimentation d'énergie (émulateur de PV proposé par Khouzamet Hoffman)

Le système est composé d'un pré-régulateur, d'un convertisseur de tension DC/DC fonctionnant en mode commutateur produisant plusieurs Watt (alimentation), d'une interface informatique et d'un logiciel de modélisation et de contrôle. La nouveauté de l'approche dans la configuration de cet émulateur est l'utilisation d'une modélisation mathématique pour décrire la caractéristique de sortie de la source PV. La figure (I-8) montre le schéma synoptique de l'émulateur PV. Les détails des blocs sont indiqués sur la figure (I-9)

La tension d'alimentation est réduite par un transformateur d'isolement, ensuite redressé et filtré pour créer une tension continue constant et non régulée que l'on appel, VDC. Cette tension est appliquée à l'entrée du convertisseur de nature DC/ DC, fonctionnant à des fréquences relativement élèves, de l'ordre de 50 kHz, à la sortie de ce dernier on récupère une tension continue régulée allant de 0 à VDC. La résistance de dérivation Ro est utilisée pour permettre un fonctionnement en mode de conduction continue du convertisseur DC / DC (c'est-à-dire une opération où le courant dans l'inducteur du convertisseur ne s'annule jamais entre les cycles de commutation) même pour un courant IPV égal à zéro. La résistance série Rsc est utilisée pour fournir un degré de limitation de courant si la sortie est en court-circuit. En mettant en œuvre les équations du modèle PV dans le logiciel de contrôle, la tension de sortie du convertisseur descendant DC / DC est conduite pour suivre la loi VPV = f (IPV). Le courant de sortie du convertisseur est d'abord mesuré, puis la tension théorique correspondante est calculée. Le processus est répété itérativement et en quelques millisecondes jusqu'à ce que la tension et le courant de sortie corrects soient dans une faible tolérance pour une charge donnée et un ensemble spécifié de paramètres PV. En ce qui concerne ces paramètres, ainsi que l'éclairement solaire, la température et les conditions de vieillissement, ils peuvent tous être sélectionnés et

modifiés avant et pendant le fonctionnement. En outre, les courbes (I,V) du réseau photovoltaïque peuvent être définies en termes de paramètres sur la base de tableau précédemment acquis ou une interpolation entre les valeurs mesurées d'un tableau réel.

B. Emulateur de source PV proposé par Sanchis (2003)

Une autre topologie intéressante de l'émulateur de source PV a été proposée par Sanchis (2003). Son idée principale est de mesurer l'évolution réelle et dynamique du réseau de courbe caractéristiques (I, V) d'un générateur photovoltaïque à l'extérieur, puis de les reproduire au laboratoire pour les onduleurs et les tests avec les algorithmes MPPT.

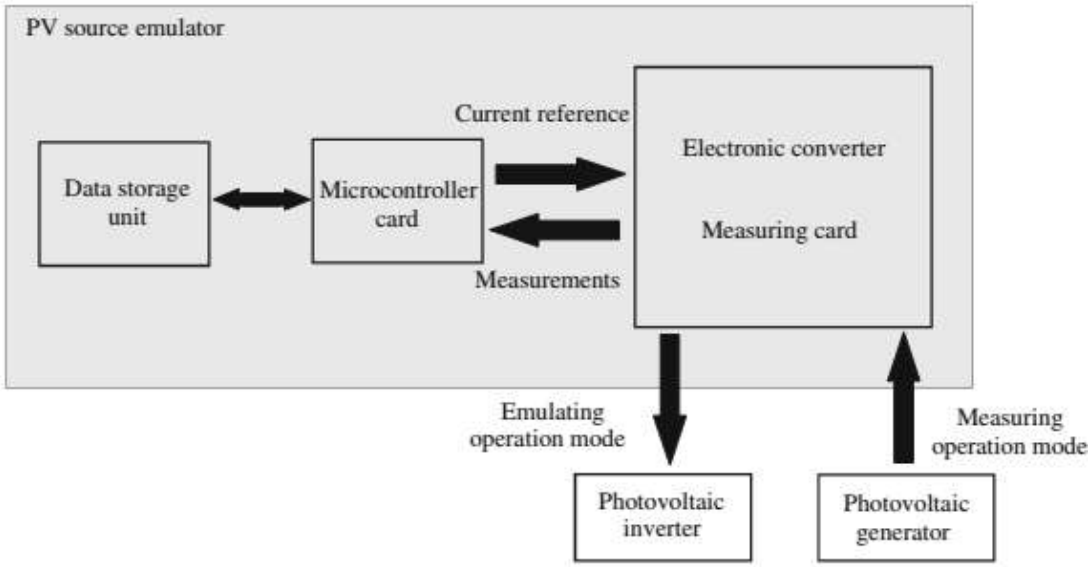


Figure (II-10) : Description globale de l'émulateur de source PV proposé par Sanchis et autres

Une description globale du système est donnée à la figure (II-10),

Figure (II- 11) : Circuit de puissance de l'émulateur de source PV proposé par Sanchis

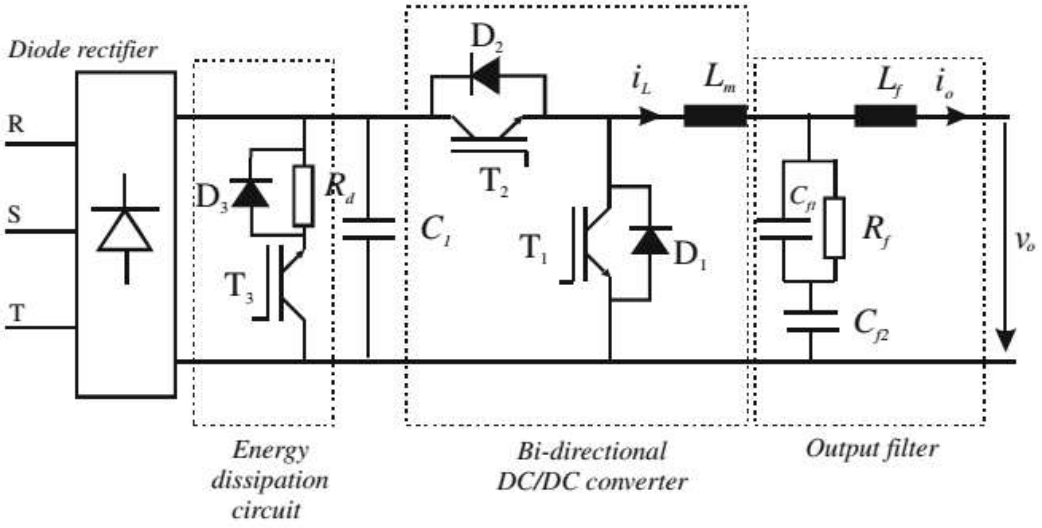


Figure (II- 11) : Circuit de puissance de l'émulateur de source PV proposé par Sanchis

Il est possible d'observer que tout le système se compose d'un convertisseur électronique, d'un microcontrôleur et d'une unité de stockage de données. Une carte de mesure est également incluse dans le convertisseur de puissance dans le but de mesurer, par des capteurs appropriés, les courbes (I, V) d'un réseau photovoltaïque et d'implémenter les boucles de contrôle. L'émulateur est réalisé par un convertisseur bidirectionnel en courant continu avec des transistors IGBT qui permettent deux modes de fonctionnement différents, c'est-à-dire la mesure et l'émulation, avec l'avantage évident de combiner à la fois les modes de travail prévus avec un seul équipement. Lorsque le système fonctionne en mode émulation, les convertisseurs de puissance se comportent comme une source d'alimentation; En particulier, il fonctionne comme un convertisseur abaisseur, qui réduit la tension fourni par le réseau électrique via le redresseur à diodes. Au contraire, lorsque le système fonctionne en mode de mesure, le convertisseur se comporte comme une charge variable et il fonctionne comme un convertisseur amplificateur c'est-à-dire élévateur, fourni par un générateur photovoltaïque.

Le prototype du système peut mesurer et imiter le comportement d'un générateur photovoltaïque jusqu'à 15 kW et peut réaliser des acquisitions de données en temps réelle toute les trois secondes.

C. Emulateur PV propose par Koutroulis et autres (2007)

Récemment, des émulateurs PV basés sur des convertisseurs DC/ DC contrôlés par Field Pro-Grammable Gate Arrays (FPGA) ont été proposés. Le système développé par Koutroulis (2009) doit être pris en considération. La structure matérielle est basée sur un convertisseur Buck simple dont le contrôle est obtenu par une unité basée sur un FPGA, fonctionnant selon le principe de PWM. La figure (II-12) schématise son principe.

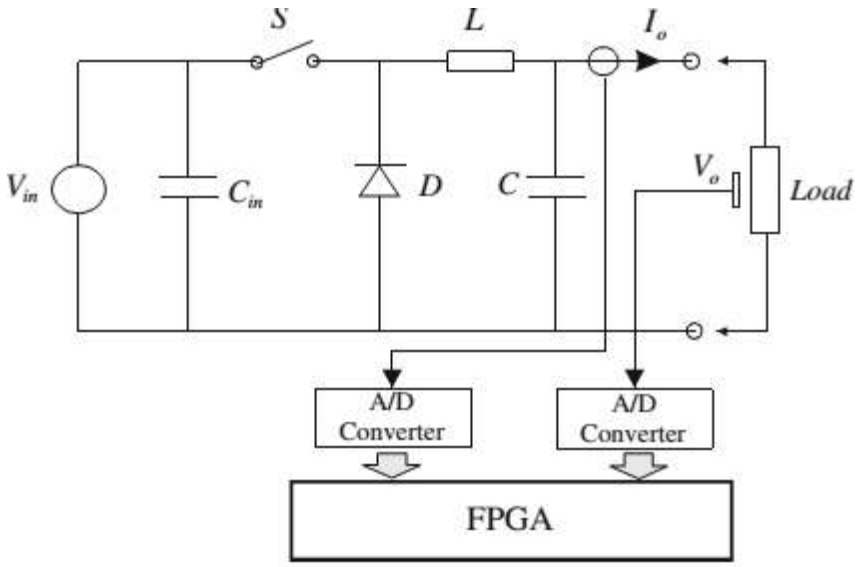


Figure (II- 12) : Arrangement de circuit de PVAE proposé près Koutroulis et autres

Il est composé du convertisseur de commutation DC/ DC et du système de commande comprenant l'unité FPGA, les convertisseurs analogique-numérique (A / D) et les capteurs de tension et de courant.

L'avantage d'un FPGA en termes de flexibilité, en raison de sa capacité de reprogrammation et de sa logique reconfigurable, permet à l'émulateur d'être adapté à toute modification. Par conséquent, une émulation d'un générateur photovoltaïque sous différentes conditions, à savoir :

- Type de matériaux utilisés
- de température,
- de l'luminosité
- de pression atmosphérique est possible.

En général, les cartes de contrôle sont caractérisées par des caractéristiques de calcul rapides et rendent possible la mise en oeuvre d'une architecture parallèle, ce qui permet d'obtenir une réduction du temps d'exécution de l'algorithme de contrôle.

Par rapport aux implémentations basées sur le processus des émulateurs PV, le système basé sur un FPGA contribue à un prototypage. En outre, les caractéristiques opérationnelles du microcontrôleur doivent permettre une haute fréquence des dispositifs FPGA permettant une architecture d'unité de commande PWM permettant d'implémenter une fréquence de commutation de convertisseur de puissance accrue. Par conséquent, une réduction de la taille du convertisseur (et du coût) est réalisable car elle est principalement liée à la taille du matériau magnétique de l'inductance qui, à son tour, est inversement proportionnelle à la fréquence de commutation du convertisseur.

L'émulateur considéré reproduit la courbe (I, V) d'un générateur photovoltaïque donné fonctionnant sous n'importe quelle condition d'irradiation et de température. Il a la flexibilité d'être opérationnelle soit avec des valeurs mesurées en temps réel de la température « T » et de l'irradiation « G », provenant de capteurs de température et d'irradiation solaire, ou avec des valeurs définies par l'utilisateur entrées dans l'émulateur PV dans un format numérique via un port PC. Le prototype développé utilise un MOSFET de puissance évaluée de 60 V et de 50 A et une fréquence de commutation PWM d'environ 50 kHz.

II.3 conclusion

Dans ce premier chapitre, diverses méthodes adoptées pour réaliser des émulateurs PV solaires sont examinées. Une étude détaillée a été rassemblée en analysant différentes

Méthodologies sur les émulateurs et leur capacité à reproduire une caractéristique I-V précise dans des conditions météorologiques bien définis. Différentes méthodologies basées sur le coût de réalisation, la précision, le niveau de complexité, la performance dans des conditions environnementales, et la mise en oeuvre du matériel a été également présenté.

À partir de ce bref aperçu des topologies des émulateurs PV, il est possible de conclure que la solution la plus utilisée repose sur l'utilisation de convertisseurs de commutation DC / DC. En fait, cette solution permet une réalisation simple, une bonne efficacité et une reproduction précise des courbes courant-tension (I, V) à la fois en régime permanent et en conditions dynamiques. Les informations concernant l'installation photovoltaïque constituent un bloc important d'un émulateur, par conséquent le chapitre suivant sera consacré à l'étude et la modélisation d'une cellule photovoltaïque.

Chapitre III
Emulateur d’un système PV a base d’un hacheur buck boost

III.1. Introduction

Les systèmes PV requièrent peu d'entretien, sont silencieux et ne produisent aucune émission de polluants (Miller *et al.*, 2001). Dans les systèmes PV, les générateurs produisent la puissance qu'exige l'application à réaliser.
Actuellement, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes.

Ces systèmes PV, générateurs d'électricité, peuvent être exploités dans différents lieux: électrification des sites isolés, installation dans les bâtiments, raccordement direct au réseau,

III.2. Le Système Photovoltaïque proposée

Le système proposé pour notre expérience et un système assez simple composé de 2 parties essentielles, qui sont :

- Générateur photovoltaïque : panneau solaire
- Charge : résistance variable En plus de quelque instrument de mesure comme les multimètres et le solaire mètre, le schéma suivant représente le montage du système.

III.3.Modélisation et simulation du générateur photovoltaïque

III.3 .1. Modélisation du générateur (GPV)

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle standard à une seule diode, établit par shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un GPV en le considérant comme un ensemble de modules identiques branchés en série et /ou en parallèle.
En court-circuit, $V = 0$ et $I = I_{sc}$
Le courant du court-circuit I_{sc} peut s'écrire :

$$I_{sc} = \frac{R_P + R_S}{R_P}(I_{p\square} - I_d)$$

On a : $I_{p\square} \gg I_d$ et $R_s \ll R_P \Longrightarrow I_{sc} \approx I_{p\square}$
Le courant donné par un module de N_S cellules en série peut écrire :

$$I = I_{sc} - I_s\,[\exp(\frac{V+R_s I}{V_T} - 1] - \frac{V+R_s.I}{R_P}$$

Avec :

$$V_T = \frac{N_S n K T}{q}$$

n : Facteur de qualité de la diode.
R_S; R_P : Résistance Série/Parallèle du module
Le photo-courant $I_{p\square}$ de la cellule PV dépend directement de l'irradiation solaire et est également influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{p\square} = \frac{(I_{p\square n} + \Delta T\, K_i)}{G_n} G = I_{sc}$$

Le courant de saturation I_s est aussi influencé selon l'équation :

$$I_s = \frac{(I_{scn} + \Delta T\, K_i)}{\exp\frac{(V_{ocn} + \Delta T\, K_i)}{V_T} - 1}$$

Avec : $\Delta T = T - T_n$
K_i : Facteur proportionnel du courant
K_V : Facteur proportionnel de Tension
G, G_n : Eclairement et éclairement nominale, respectivement (W/m2)
T, T_n : Température et température ambiante (C°).
I_{scn} : Courant de court-circuit nominal (A).
V_{ocn} : Tension de circuit ouvert nominale (V).
$I_{p□n}$: Photo-courant nominal (A).
Le photo-courant I_m du panneau PV donné par N_{SS} modules connectés en série et N_{PP} modules en parallèles, est donné par l'équation :

$$I_m = N_{PP}\ I_{p□} - N_{SS}\ I_S.(\exp\left[\frac{V+\frac{N_{SS}}{N_{PP}}R_S I}{V_T N_{SS}}\right] - 1)$$

Et le courant du panneau :

$$I = I_m - \frac{V+\frac{N_{SS}}{N_{PP}}R_S I}{\frac{N_{SS}}{N_{PP}}R_P}$$

Les modules constitués de la générateur PV sont montés sur des supports métalliques et inclinés orienté suivant l'angle désiré (fonction du lieu). Sa caractéristique est extrapolée de celle d'un module solaire, pour un nombre N_S (nombre de modules montés en série) et N_P (nombre de modules montés en parallèle), la relation du courant lié à la tension est :

$$\boldsymbol{I} = N_P I_{p□} - N_P \boldsymbol{I}_o\ [\mathbf{exp}\ (q\frac{N_S V + R_S I(N_S/N_P)}{N_S nKT}) - 1] - \frac{N_S V + R_S I(N_S/N_P)}{R_P(N_S/N_P)}$$

Cette relation est valable si toute $\frac{R_P + R_S}{R_P}$ s les cellules constituantes le générateur sont identiques (ayant la même caractéristique I = F(V)).
Avec :
$\boldsymbol{I}$; $\boldsymbol{V}$: Le courant et la tension du GPV.
R_S; R_P: La résistance série et parallèle.
$\boldsymbol{I}_o$: le courant de saturation inverse.
$I_{p□}$: La photo courant.
q : La charge de l'électron =1,6.10-19C.
n : Le facteur de qualité de la cellule.
$\boldsymbol{K}$: La constante de Boltzmann = 1.38. 10-23J/K.
$\boldsymbol{T}$: La température de fonctionnement en Kelvin
Les grandeurs électriques du GPV sont données sous la forme suivant :
$I_{sc} = N_P . I_{sc}$
$\boldsymbol{I}_o = N_P . \boldsymbol{I}_o$
$V = N_P . V$
$R_S = (N_S/N_P) . R_P$

III.3 .2. Simulation du générateur (GPV)

Les caractéristiques I=f(V) et P=f(V) de la cellule solaire ou du générateur photovoltaïque, sont très importantes. Elles peuvent être mesurées, ou reproduites par des modèles mathématiques ou électriques représentatifs, en utilisant des logiciels de simulation. Cependant, dans notre étude, On a utilisé l'environnement MATLAB/Simulink.

III.3 .2.1 Schéma de simulation :

• Schéma du montage d'un GPV avec le MATLAB SIMULINK

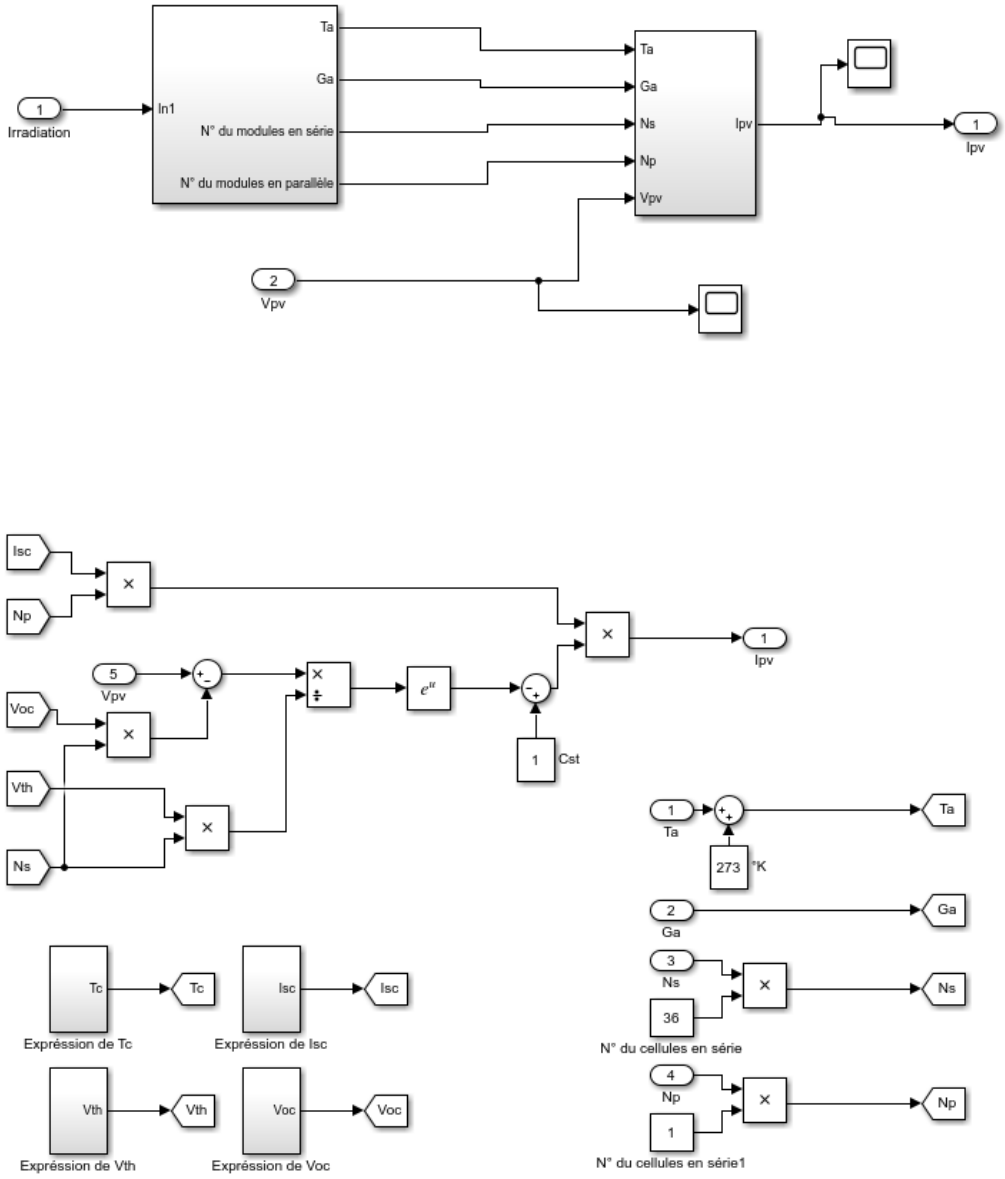


Figure (III-1) : Schéma du montage pour la simulation d'un GPV

III.4.1. Simulation de hacheur buck boost :

III.4.1.1.Schéma de simulation:

• Schéma du montage d'un hacheur buck boost avec le MATLAB SIMULINK

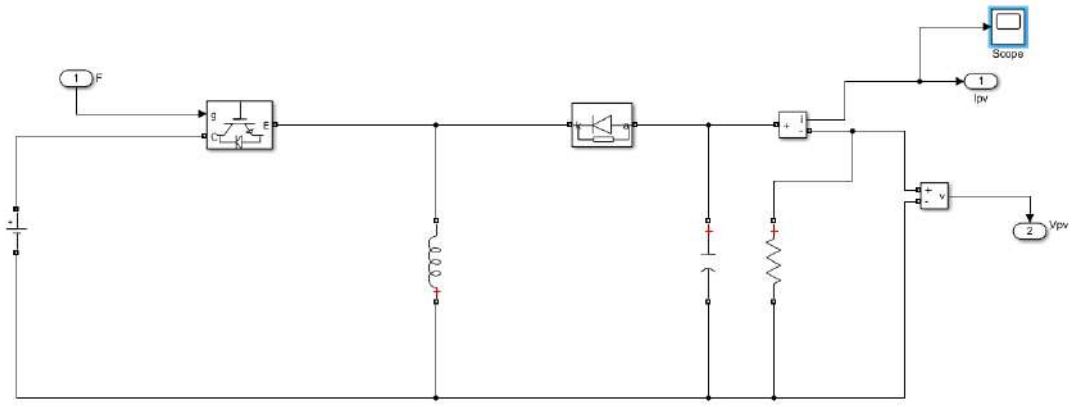


Figure (III-2): Schéma du montage pour la simulation d'un hacheur buck boost

III.4.1.2.Résultat de simulation:

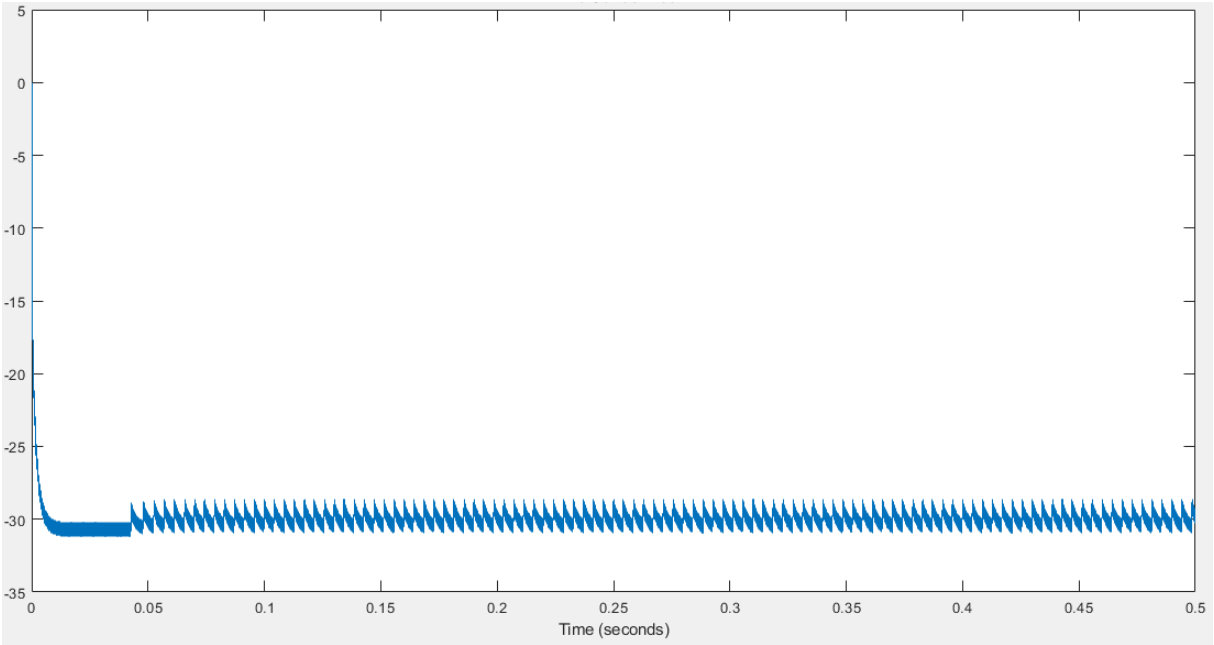


Figure (III-3): Allure de la tension de hacheur buck boost

III.5 .1.simulation de montage Globale :

III.5 .1.1.simulation de Schéma du montage Globale:

• Schéma du montage globale avec le MATLAB SIMULINK

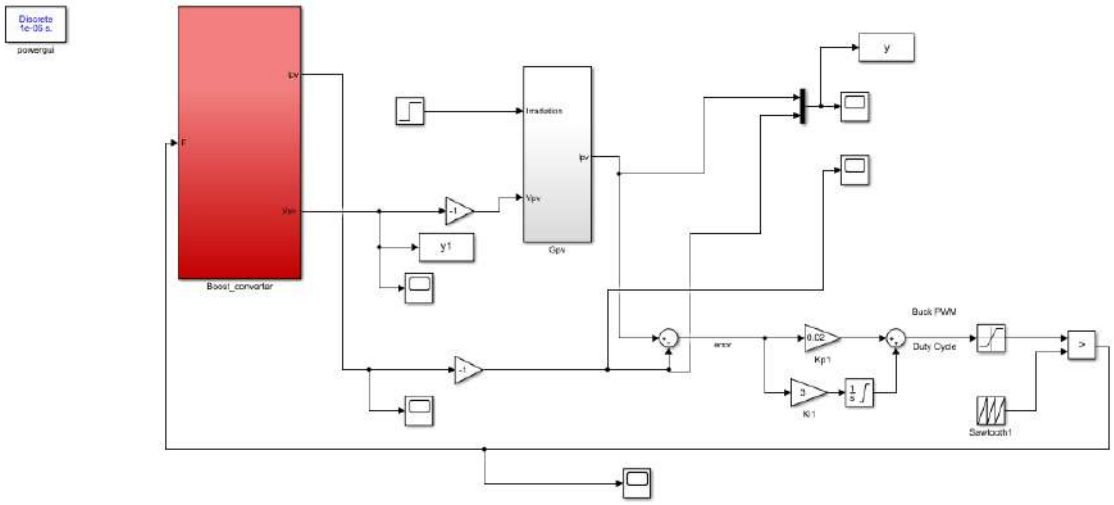


Figure (III-4): Schéma du montage pour la simulation d'un montage globale

III.5.1.2.Résultat de simulation globale :

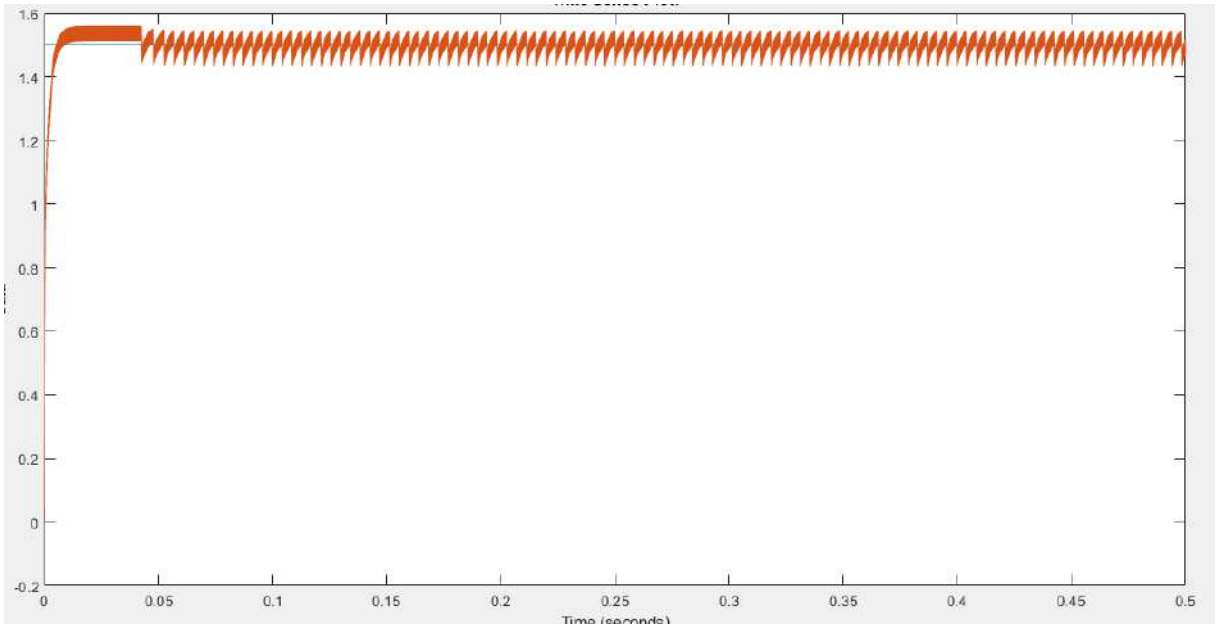


Figure (III-5): Allure représentons la comparaison entre la courant PV et courant d'un hacheur buck boost

III.7. conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un simulateur qui peut reproduire le comportement de tous les composants, matériel et de logiciel intervenant dans un émulateur, sous l'environnement MATLAB/ Simulink

Voici les performances de l'émulateur PV avec charge non linéaires simulée dans MATLAB dont le résultat est comparable avec le vrai système PV. La performance de l'émulateur PV est presque au vrai système PV avec une certaine valeur d'ondulation; qui peut être éliminé en variant la taille de l'inducteur et condensateur utilisant dans le filtre.

Au ce chapitre on a présenté les résultats expérimentaux issus des essais effectués sur notre émulateur. Et afin d'approuver la conformité des caractéristiques de ce dernier avec celles d'un vrai module PV.

Conclusion Générale

CONCLUSION générale

L'objectif de ce travail était la conception et la réalisation d'un émulateur solaire. Ceci était dans le but de disposer d'un outil de laboratoire performant, permettant d'effectuer des travaux de recherche expérimentaux sans avoir besoin d'un module PV, ni entravé par des conditions climatiques défavorables (absence du soleil).

Nous avons présenté un émulateur photovoltaïque (PV) de matrice basé sur le contrôle du convertisseur DC-DC en même temps abaisseur et élévateur de tension par la technique de d'espace d'état. La structure de notre émulateur est composée principalement du hacheur à accumulation inductive accompagné d'une boucle de régulation à l'aide d'un contrôleur PI, sans oublier le modèle électrique équivalent du panneau photovoltaïque choisis. L'émulateur photovoltaïque a des caractéristiques électriques similaires à un panneau ou module photovoltaïque, aussi il est indépendant de l'état de l'environnement afin qu'il génère et maintienne les mêmes caractéristiques par rapport au système photovoltaïque réel. Ici, la technique d'espace d'état est utilisée pour contrôler la caractéristique tension-courant de

L'émulateur photovoltaïque qui est obtenu par le modèle PV. Tout ce système a été évalué sous environnement MATLAB_Simulink avec charges non linéaires. Les résultats de la simulation montrent que l'émulateur de la matrice de panneau PV donne effectivement le comportement similaire à un vrai système PV.

Les résultats des essais effectués sur l'émulateur solaire réalisé montrent ses différentes caractéristiques pour différentes conditions météorologique :

- Les caractéristique I=f(V) et P=f(V) pour une température fixe et un éclairement variable.
- La caractéristique I=f(V) et P=f(V) pour un éclairement fixe et une température variable.

Ces résultats nous ont permet de constater que ces caractéristiques sont, dans une large mesure, identiques à celles d'un vrai module photovoltaïque.

Bibliographie

- **[2]: Jellad abdelhak,** modélisation et optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque –Eolienne, thèse de doctorat université d'Annaba, Algeria, 2014.
- **[3] :** https://sites.google.com/site/tpesoleil2012/fayolle/composition-des-rayons
- **[5] Emery, K.; Burdick, J.; Caiyem, Y.; Dunlavy, D.; Field, H.; Kroposki, B.; Moriarty, T.;Ottoson, L.; Rummel, S.; Strand, T.; Wanlass, M.W.;** Temperature dependence of photovoltaic cells, modules and systems Photovoltaic Specialists Conference, 1996,Conference Record of the Twenty Fifth IEEE, Page(s):1275 – 1278, 13-17 May 1996.
- **[6] William Shockley and Hans J.** Queisser ; « Detailed balance limit of efficiency of P-N junction solar cells » ; J. APPL. PHYS. 32, 510;DOI:10.1063/1.1736034,(1961).
- **[7] Zaouk, D.;** Zaatar, Y.; Khoury, A.; Llinares, C.; Charles, J.-P.; Bechara, J.; Ajaka, M.;« Electrical and optical characteristics of NAPS solar cells of Si (PiN) structure »,Environment and Solar, Page(s):93 – 95, 2000 Mediterranean Conference for 16-17 Nov. 2000.
- **[8] Stéphane Petibon** "Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pourles applications photovoltaïques" ; Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse (2009).
- **[9] : Dang Minh Trung**, Elaboration de cellules solaires photovoltaïques a base de polymères conjugues, études des systèmes reticulables, Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, 2009.
- **[11]: Maria Carmela Di Piazza** , Gianpaolo Vitale « Photovoltaic Sources Modeling and Emulation » Springer-Verlag London 2013
- **[12]: J. Prasanth Rama, Himanshu Manghania, Dhanup S. Pillaia, T. Sudhakar Babua, Masafumi Miyatakeb, N. Rajasekar** « Analysis on solar PV emulators: A review » journal,Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018)
- **[13]: Rafael F. Q. Magossi, PHnio G. B. Ferreira, Mateus S. Quinalia, Marina C. Carvalho, Ricardo Q. Machado** « PROJECT OF A SOLAR MODULE EMULATOR USING A ZENER DIODE TO ANALYZE THE BEHAVIOR OF MPPT ALGORITHMS » Sao Carlos School of Engineering, EESC-USP, Sao Carlos - SP, Brazil, 2017 IEEE
- **[14]: K.Sobaihi** '' étude et réalisation d'un hacheur de Tracking du point de puissance Maximale (MPPT) a contre réaction '' Mémoire de Magister Ecole Nationale polytechnique 10, Avenue Hassen Badi El –Harrach Alger.
- **[15]: H.Wenzl & all**, « Life prediction of batteries for selecting the technically most suitable and cost effective battery », Journal of power sources, Vol 144, pp.373-384, 2005
- **[16]: A.Szumanowski, Y.Chang**, « Battery Management System Based on Battery Nonlinear Dynamics Modeling », IEEE Transactions on vehicular technology, 2008.
- **[17]:** 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'ingéniorat, université de Ouargla, Algérie, 2005.

ملخص

أصبحت الطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة مصدرا هاما جدا للطاقة مثل الطاقة الشمسية والطاقة المائية وغيرها الكثير بسبب اختفاء الطاقة غير المتجددة ، لذلك تطورت الدراسات في هذا المجال يركز العمل الذي تم في نهاية أطروحة الدراسة على تصميم ومحاكاة وإنتاج جهاز محاكاة الطاقة الكهروضوئية. أولاً ، ركزنا على نموذج الخلية المختار ، أي المسمى بالنموذج العام الذي استندت إليه محطة الطاقة الكهروضوئية الخاصة بنا. ثانياً ، قمنا بدراسة ومحاكاة مفرمة التراكم الحثي. قادنا هذا إلى تجميع الجزأين معًا في بنية عالمية هي المحاكي

الكلمات الرئيسية: المحاكي ، مفرمة التخزين الاستقرائي ، I-V. ، خاصية PV ، محطة L5P ، نموذج Buck-Boost

Résumé:

Dans ces dernières années, l'énergie renouvelable est devenue une source d'énergie très importante comme l'énergie solaire et l'énergie hydraulique et bien d'autres à cause de la disparition de l'énergie non renouvelable .Alors, Des études ont évolué dans ce domaine

Le travail réalisé dans ce mémoire de fin d'étude est porté sur la conception et la Simulation et la réalisation d'un émulateur photovoltaïque. En premier lieu, on s'est consacré au modèle de la cellule choisis à savoir le modèle L5P dit modèle général sur lequel s'est basé notre station PV. Dans un second lieu, nous avons étudié et simulé le hacheur à accumulation inductive. Cela nous a amené à rassembler les deux parties dans une structure globale qui est l'émulateur.

Mots clés : Emulateur, hacheur à stockage inductif, Buck-Boost, modèle L5P, station PV, caractéristique I-V.

Abstract:

In recent years, renewable energy has become a very important energy source like solar energy and hydropower and many others because of the disappearance of non-renewable energy .so the studies evolved in this field.

The work carried out in this end of study thesis is focused on the design and simulation and production of a photovoltaic emulator. First, we focused on the cell model chosen, called the L5P model called general model on which our PV station was based. Secondly, we studied and simulated the inductive accumulation chopper. This has led us to bring the two parts together into a global structure which is the emulator.

Keywords: Emulator, inductive storage chopper, Buck-Boost, L5P model, PV station, I-V characteristic.