

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière: Électrotechnique.
Spécialité : Énergie et environnement.

Présenté par: CHEIKH Ghizléne.
DAOUD Abir

Thème

**Étude des techniques d'hybridation entre
les différentes sources d'énergie
électrique.**

Soutenu publiquement, le 29/09/2020, devant le jury composé de :

FEROUANI abdel-karim	Maître de conférences «A»	ESSA.Tlemcen	Président
ABDELLAOUI Ghouti	Maître de conférences «B»	ESSA.Tlemcen	Directeur de mémoire
MSIRDI Mohammed	Enseignant contractuel	ESSA.Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
MEGNAFI Hichem	Maître de conférences «B»	ESSA.Tlemcen	Examinateur 1
M'HAMED I Mohammed	Maître assistant « A »	ESSA.Tlemcen	Examinateur 2

Année universitaire: 2019 /2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail :

A mon cher père : Kaddour

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne et mon estime et de mon respect, aucun dédicace ne sera exprimer mes sentiments, que dieu te préserver et te procure santé et long vie.

A ma cher mère : Zahra

Tu m'as donnée la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte. Je t'offre ce modeste travail pour te remercie pour sacrifices et pour l'affectation dont tu m'as toujours entourée.

A mes chers frères et sœurs :

Khelifa Abelkarim, Zakaria Abdelaziz, Asmaa, pour qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité pour finaliser ce travail. et la petites Sara , que dieu vous réserve un avenir plein de succès et que dieu vous protège.

A tous ma famille et mes chères amies.

Je les remercie pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs prières pour effectuer ce travail.

*Sans oublier mon binôme **Abir**, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

Ghizlène CHEIKH

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, Je tiens C'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrases, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Ali**.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Wahiba**.*

*A ma chère sœur **Safia** et mes chers frères **Ayoub** et **Mohamed Nadir** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur. A mon adorable petite sœur **Besma** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous, les amis que j'ai connue jusqu'à maintenant. Je les remercie pour leurs amours et leurs encouragements, leurs tendresses, leurs soutien et leurs prières tout au long de mes études.

*Sans oublier mon binôme **Ghizlèn** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

Abir DAOUD

Remerciements

Nous remercions en premier temps notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de

M.ABDELLAOUI Ghouti : Maitre de conférences classe B à l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements à notre Co-encadrant ***M.MSIRDI Mohammed*** : Ingenieur en Automatique à l'école supérieures en sciences appliquées de Tlemcen, pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nous remercions très chaleureusement , le président de jury, Monsieur FEROUANI Abde-karim :Maitre de conférence classe A, les membres de jury :M.MEGNAFI Hichem :Maitre de conférence classe B et M.M'HAMEDI Mohammed :Maitre assistant classe A, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être rapporteur de notre mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelle.

Abir DAOUD, Ghizléne CHIEKH

Abstract

Today, the use of renewable energies has become a major concern for all societies. These are the environmental, social and economic advantages they offer compared to traditional energies, especially fossil fuels (coal, gas, oil, etc.).

Therefore, while many countries are interested in developing the five sectors of renewable energy (wind, solar, hydro, geothermal and biomass), pay special attention to the design of systems with a higher percentage and renewable energies. Therefore, in the market today we find a wide variety of renewable energy systems (RES), each with their own advantages and disadvantages, making it difficult for decision-makers to choose RES in particular. numerous technical, environmental, social and economic criteria, etc.

The complete architecture of the multi-source system studied in this paper consists of a combination of two completely different energy sources : photovoltaic, power grid. Simple control with a DC-DC converter is used to obtain maximum power from the solar renewable source, and the AC power from the power grid is rectified with a three-phase rectifier. All of these are connected to a DC bus to power the load, a three-phase inverter connecting the AC load to a DC bus.

Key words

Renewable energies, hybrid system, photovoltaic,converters, DC bus, inverter.

Résumé

Aujourd'hui, l'utilisation des énergies renouvelables est devenue une préoccupation majeure pour toutes les sociétés. Il s'agit des avantages environnementaux, sociaux et économiques qu'elles offrent par rapport aux énergies conventionnelles, notamment les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole, etc.). Par conséquent, de nombreux pays s'intéressent au développement de cinq secteurs des énergies renouvelables (éolien, solaire, hydraulique, géothermique et biomasse), tout en essayant et en accordant une attention particulière à la conception de systèmes avec un pourcentage plus élevé d'énergies renouvelables.

C'est pourquoi nous trouvons aujourd'hui sur le marché une grande variété de systèmes d'énergie renouvelable (SER), chacun avec ses avantages et ses inconvénients, ce qui rend difficile pour les décideurs le choix des SER, notamment au regard d'un grand nombre de critères techniques, environnemental, social et économique, etc.

L'architecture complète du système multi-source examinée dans cette étude est consiste en une combinaison de deux sources d'énergie totalement différents : photovoltaïque, réseau électrique. Un contrôle simple avec un convertisseur DC-DC est utilisé pour obtenir la puissance maximale de la source renouvelable solaire et le courant alternatif du réseau électrique est redressé par un redresseur triphasé. Tous ces éléments sont connectés à un bus DC pour l'alimentation de la charge, un onduleur triphasé relie la charge AC à un bus DC.

Mots clés

Énergies renouvelables, système hybride, photovoltaïque, convertisseurs, bus continu, onduleur.

تلخيص

في الوقت الحالي، أصبح استخدام الطاقات المتجددة مصدر قلق كبير لجميع المجتمعات. هذه هي المزايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية التي توفرها مقارنة بالطاقات التقليدية، ولا سيما الوقود الأحفوري (الفحم والغاز والنفط وما إلى ذلك).

لذلك، تهتم العديد من الدول بتطوير خمسة قطاعات للطاقة المتجددة (الرياح، والطاقة الشمسية، والطاقة المائية، والطاقة الحرارية الأرضية، والكتلة الحيوية)، مع محاولة تصميم وتحسين أنظمة متطورة من الطاقة المتجددة.

لأجل هذا، نجد في السوق مجموعة واسعة من أنظمة الطاقة الهجينة المتجددة (RES)، لكل منها مزاياها وعيوبها، مما يجعل من الصعب على صانعي القرار اختيار مصادر الطاقة المتجددة، خاصة في ضوء عدد كبير من المعايير الفنية والبيئية والاجتماعية والاقتصادية، الخ.

يتكون الهيكل الكامل للنظام متعدد المصادر الذي تم فحصه في هذه الدراسة من مزيج مصدرين للطاقة الكهروضوئية، وكذلك الشبكة الكهربائية، يتم استخدام التحكم البسيط باستخدام محول DC-DC للحصول على أقصى طاقة من كلا المصدرين. كل هذه العناصر متصلة بقناة DC لتزويد المستهلك بالطاقة عن طريق عاكس ثلاثي الطور حيث يعمل على ربط المستهلك للتيار المتردد بقناة DC.

كلمات مفتاحية

الطاقة المتجددة، الأنظمة الهجينة، ثلاثي الطور، الطاقة الشمسية، المعايير البيئية.

Table des matières

Abstarct	ii
Résumé	ii
Table des acronymes	v
Table des symbole	v
Table des figures	xi
Table des tableaux	xii
Introduction générale	1
1 Problématique	4
2 Objectif de la recherche	5
1 État de l’art	6
1.1 Introduction	7
1.2 Généralité sur les systèmes photovoltaïques(Pv)	7

1.2.1	Le soleil	7
1.2.1.1	Énergie solaire	9
1.2.2	Système photovoltaïque	10
1.2.3	Cellules photovoltaïques	10
1.2.3.1	La conversion de l'énergie solaire	10
1.2.4	Principe du fonctionnement de PV	12
1.2.5	Association des cellules photovoltaïque	13
1.2.6	Différentes types des cellules photovoltaïques	14
1.2.6.1	Cellules mono-cristallines	14
1.2.6.2	Cellules poly-cristallines	15
1.2.6.3	Cellules amorphes	16
1.2.7	Comparaison entre les différentes technologies des cellules	17
1.2.8	Utilisation optimal d'une cellule	19
1.2.9	Les avantages et les inconvénients	19
1.2.9.1	Les avantages	19
1.2.9.2	Les inconvénients	20
1.3	Les convertisseurs statiques dans les SEH	21
1.4	La charge	21
1.5	Conclusion	22
2	Présentation d'un système hybride	23
2.1	Introduction	24
2.2	Définition d'un système hybride	24
2.3	Classification	25
2.3.1	Le régime de fonctionnement	25
2.3.1.1	Système d'énergie hybride connecté aux réseaux	25
2.3.1.2	Système d'énergie hybride autonome	26
2.3.2	La structure de système	26

2.4	Étude des structures de systèmes hybrides	27
2.4.1	Configurations de bus dans les systèmes hybrides	27
2.4.1.1	Architecture à bus DC	27
2.4.1.2	Architecture à bus AC	28
2.4.1.3	Architecture mixte (DC& AC)	29
2.5	Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides	30
2.6	Conclusion	31
3	Modélisation des éléments du système hybride	32
3.1	Introduction	33
3.2	L'outil Matlab/Simulink	33
3.3	Description du notre système	35
3.4	La modélisation d'un système PV	36
3.5	Modélisation du générateur photovoltaïque	37
3.5.0.1	Caractéristiques I(V) et P(V)	40
3.5.0.2	Influence de la température sur le générateur PV	44
3.5.0.3	Influence de l'irradiation sur le générateur PV	45
3.5.0.4	Influence de l'association série / parallèle des cellules PV	46
3.6	Les convertisseurs BOOST/BUCK	52
3.6.1	Convertisseur abaisseur (BUCK)	52
3.6.1.1	Principe de fonctionnement	53
3.6.2	Le convertisseur élévateur (BOOST)	55
3.6.2.1	Principe de fonctionnement	56
3.6.3	Modélisation du hacheur BOOST	58
3.7	La commande MPPT	60
3.7.1	Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque	60
3.7.2	Principe du MPPT	61
3.7.3	Méthode de perturbation et d'observation (P&O)	62

3.8	Le redresseur Triphasé	64
3.9	Modélisation du bus continu	66
3.10	Modélisation de l'onduleur triphasé	68
3.11	Conclusion	71
4	Simulation du système hybride	72
4.1	Introduction	73
4.2	Résultat de simulation	73
4.2.1	La simulation des convertisseurs statiques(BOOST,BUCK)	73
4.2.1.1	Simulation d'un hacheur élévateur(BOOST)	73
4.2.2	Simulation du convertisseur statique abaisseur(BUCK)	75
4.3	Simulation du générateur PV	76
4.3.1	La connexion directe entre PV et une charge	77
4.3.2	Simulation du générateur PV sans la commande MPPT	79
4.3.3	Simulation du générateur PV avec MPPT	81
4.4	Simulation du réseau électrique	84
4.5	Supervision et simulation du système hybride	85
4.6	Simulation de système hybride	87
4.6.1	Discussion et analyse des résultats	87
4.6.2	Les difficultés trouvées	89
4.7	Conclusion	90
	Conclusion générale	90
	Annexes	95
	Bibliographie	98

Table des acronymes

AC : Alternating current.

CS : Convertisseur statique.

DC : Direct current.

ESSAT : Ecole des sciences appliqués Tlemcen.

GPV : Générateur photovoltaïque.

I_{cc} : Le courant de court-circuit.

Jonction PN : Jonction positive/ négative.

MLI : Modulation de largeur d'impulsion.

MPP :Maximum Power Point.

MPPT : Maximum power point tracker.

PV : Panneau photovoltaïque.

PPM : Point de puissance maximale.

SH : Un système hybride.

SHSER :Un système hybride à sources d'énergie renouvelable.

V_{co} : La tension en circuit ouvert.

V_{opt} : La tension optimale spécifiée.

Table des symboles

\mathbf{R}_s :Résistance en série.

$\mathbf{R}_s h$:Résistance en parallèle.

\mathbf{I}_d :Courant de diode.

\mathbf{A} :Facteur d'idéalité la cellule.

\mathbf{q} : La charge électrique de l'électron).

\mathbf{S} :Ensoleillement dans le plan des panneaux .

\mathbf{S}_{ref} : Ensoleillement de référence.

\mathbf{T}_{ref} :Température de référence.

\mathbf{T} :Température ambiante.

$\mathbf{I}_p h$: L'intensité du photo-courant.

\mathbf{I}_{cC} :Courant de court-circuit .

\mathbf{K}_i :La constante de Boltzmann.

\mathbf{E} : L'énergie du photon.

\mathbf{h} : la constante de Planck.

μ : La fréquence (en hertz).

\mathbf{N}_s : Nombre des cellules identiques en série.

$\mathbf{N}(p)$:Nombre des cellules identique en parallèle.

\mathbf{v}_s : La tension de sortie.

\mathbf{V}_{DC} : La tension de la charge.

v_e : La tension d'entrée.

V_{pv} : Ma tension du panneau photovoltaïque.

I_L : Le courant dans l'inductance.

V_{an}, V_{bn}, V_{cn} : tension de référence .

V_{dc} : Tension de bus continu .

I_{dc} : Courant modulé par le redresseur.

S_a, S_b, S_c : Fonctions logiques correspondant à l'état de l'amorçage.

I_{pv} : le courant du système PV.

I_{res} : le courant de réseau électrique.

I_{charge} : le courant de la charge.

Table des figures

1.1	La carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle sur le plan horizontale[1].	8
1.2	les deux types des énergies solaire	9
1.3	Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque[2].	11
1.4	Une coupe transversale d'une cellules PV[1].	12
1.5	Principe de fonctionnement de photovoltaïque[1]	13
1.6	Diode de protection , cellule,module ,panneau photovoltaïque[3].	14
1.7	Cellules monocristallines[4].	15
1.8	Cellules poly-cristallines[5].	16
1.9	Cellules amorphe[6].	16
2.1	Schéma descriptif d'un système hybride étudié.	25
2.2	Classification de système hybride.	27
2.3	Structure à bus DC dun système hybride[7].	28
2.4	Structure à bus AC d'un système hybride[7].	29
2.5	Structure à bus mixte(DC et AC)d'un système hybride[7].	29
3.1	L'environnement du logiciel Matlab[8].	34
3.2	Bibliothèque SIMULINK.	35
3.3	Architecture du système d'énergie hybride.	36
3.4	Schéma d'une chaîne de conversion photovoltaïque avec MPPT.	37

3.5	Les composants du générateur photovoltaïque[9].	37
3.6	Schéma équivalent d'une cellule PV[9].	38
3.7	Caractéristique typique I-V d'une cellule solaire [10]	41
3.8	Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque.	42
3.9	Caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque.	42
3.10	Influence de la température sur la caractéristique I(V).	44
3.11	Influence de la température sur la caractéristique P(V).	44
3.12	Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique I(V).	45
3.13	Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique P(V).	46
3.14	Association des modules solaires en série[10].	47
3.15	Caractéristique I-V des cellules photovoltaïques raccordées en série pour différent N_s [10].	48
3.16	Caractéristique P-V des cellules photovoltaïques raccordées en série pour différent N_s [10]	48
3.17	Association de N_p modules solaires en parallèle[10].	49
3.18	Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en parallèle[10].	50
3.19	Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en parallèle[10].	50
3.20	Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle $I=f(V)$ [10].	51
3.21	Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle $P=f(V)$ [10].	52
3.22	Schéma de convertisseur élévateur «BUCK»[11].	53
3.23	Circuit équivalent d'un convertisseur BUCK pour T_{on} [11].	54
3.24	Circuit équivalent d'un convertisseur BUCK pour T_{off} [11].	54
3.25	Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur BUCK[11].	55
3.26	Schéma d'un convertisseur élévateur « BOOST »[11].	56
3.27	Circuit équivalent d'un convertisseur BOOST pour T_{on} [11].	57
3.28	: Circuit équivalent d'un convertisseur BOOST pour T_{off} [11].	57
3.29	Formes d'onde des courants et tensions d'un convertisseur BOOST[11].	58

3.30	Schéma de principe d'un hacheur parallèle[11].	58
3.31	Chaîne de conversion d'énergie solaire d'un PV avec convertisseur commandé par MPPT[10].	61
3.32	Caractéristique PPV (VPV) d'un panneau solaire[12].	63
3.33	Organigramme de la méthode (P&O)[13].	64
3.34	Schéma de l'association Redresseur triphasé raccordé avec une charge. . . .	65
3.35	Couplage des systèmes photovoltaïque et réseau électrique par le bus continu.	66
3.36	Modèle du bus continu.	67
3.37	Schéma de l'onduleur de tension triphasée alimentant une charge triphasé.	68
4.1	Schéma bloc d'un convertisseur élévateur.	74
4.2	Caractéristique de la tension de sortie et d'entrée du hacheur BOOST. . .	74
4.3	Le schéma de bloc du convertisseur abaisseur(BUCK).	75
4.4	L'allure de tension d'entrée et du sortie de BUCK.	75
4.5	Rayonnement d'un panneau solaire.	76
4.6	le schéma bloc d'un Pv connecté directement avec la charge.	77
4.7	L'allure de la tension et la puissance de la charge.	78
4.8	Le schéma bloc de PV raccordée avec BOOST sans commande MPPT. . .	79
4.9	l'allure de tension d'entrée et sortie du BOOST sans MPPT	80
4.10	l'allure de puissance sans MPPT.	80
4.11	Le schéma bloc du PV et BOOST avec commande MPPT.	81
4.12	L'allure du courant avec la commande MPPT.	82
4.13	L'allure de la tension avec la commande MPPT.	82
4.14	L'allure de la puissance avec/sans la commande MPPT.	83
4.15	Le schéma bloc de réseau raccordé avec redresseur triphasé.	84
4.16	L'allure de la tension du réseau avant le redressement.	84
4.17	L'allure de la tension du réseau après le redressement.	85
4.18	Organigramme de supervision de gestion.	86

4.19 Schéma globale de la simulation du SEH.	87
4.20 Simulation du système globale.	88

Liste des tableaux

1.1	Tableaux de comparaison de types de cellules[1]	18
3.1	Caractéristique du panneau PV utilisé.	41

Introduction Générale

L'électricité devienne de plus en plus importante pour l'humanité. En effet, l'accès au réseau électrique est un facteur important pour de meilleures conditions de vie (hygiène, santé, éducation, etc.), comme il influence directement sur le développement économique. La forte tendance de l'industrialisation dans ces dernières années et la prolifération des appareils électriques (chauffage, climatisation, lavage, médical, informatique, etc.) ont provoqué de grands besoins mondiaux contre l'énergie électrique.

Aujourd'hui, plus de 2,2 milliards de personnes ne sont pas connectées aux grands réseaux électriques (représentant environ 44% de la population mondiale). Plus de 50% vivent sans électricité, 95% vivent dans le sud de l'Algérie en raison de faibles revenus, de la présence de régions dures et d'une faible densité de population[14].

La consommation d'énergie continue à augmenter dans le monde notamment notre pays, qui marque une utilisation intensive menaçant réellement l'environnement des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.) et qui peuvent entraîner l'épuisement de ces réserves. Cette menace s'est manifestée principalement par la pollution et le réchauffement climatique mondial avec l'effet de serre.

La pollution de l'air, le réchauffement climatique, les risques liés à l'énergie nucléaire et les limites des ressources ont fait comprendre aux gens qu'un développement économique respectueux de l'environnement dans lequel nous vivons est essentiel. Pour réduire ces problèmes et limiter la consommation d'énergie provenant de sources inflammables. Certains pays se sont tournés vers une nouvelle forme d'énergie dite renouvelable.

Dans les pays développés, le défi du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies englobent de plus en plus la croissance nécessaire et légitime du développement rural, du logement, de la santé, de l'éducation puis des services énergétiques de base à long terme, l'industrie.

Ces énergies renouvelables offrent une électricité propre et surtout une production durable, à condition d'accepter des fluctuations naturelles et parfois aléatoires, en utilisant

l'énergie solaire directement ou indirectement. Parmi eux, l'énergie photovoltaïque.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et aussi le développement et la manière d'utilisation de l'énergie solaire, la disponibilité intermittente des sources d'énergies renouvelables induit le concept de stockage d'électricité qui est très diversifié.

Un système hybride de production de l'énergie (photovoltaïque-réseau électrique) donne aux différents sites isolés une alimentation continue de l'énergie électrique, ainsi il permet de réduire la charge sur le réseau électrique, sachant qu'une bonne modélisation et installation de ce genre de systèmes offrent des intérêts plus larges que fournir de l'énergie mais aussi pour assurer le développement social et économique des zones rurales. Le nombre de kilowattheures produits peut être moins important par rapport à la capacité de production des grandes centrales électrique du pays, mais ces dix ou centaines de kilowattheures peuvent raviver l'espoir d'un village ou d'une communauté.

Dans ce modeste travail, nous allons contribuer nous même dans l'application des systèmes de production d'électricité hybrides, en facilitant la combinaison entre une unité de production d'énergie renouvelable locale et le réseau électrique, Pour cette raison et pour atteindre cet objectif, nous avons structuré notre mémoire par quatre chapitres avec une introduction et conclusion générale :

Le premier chapitre présente une généralité sur les systèmes photovoltaïques et , ensuite, on rappellera sur les principes de fonctionnement du photovoltaïque, leurs types à partir de ses structures de fabrications, leurs avantages et inconvénients.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une définition d'un système hybride, ensuite, on a entamé a sa classification, sa structure et différentes types de configurations.

Le troisième chapitre est consacré à la modélisation et optimisation de chaque élément constitue le système hybride.

Dans le quatrième chapitre, nous faisons la simulation de la chaine de production

avec le résultat obtenu lors le dimensionnement du système en utilisant logiciel MATLAB.

Nous terminons par une conclusion générale qui sont centrés sur un résumé et perspectives de ce travail.

1 Problématique

Dans le domaine des énergies renouvelables, l'utilisation des systèmes photovoltaïques fournit -sans aucun doute- un grand avantage dans les zones isolées en générale et spécifiquement dans les zones résidentielles en raison de la facilité d'application et de la maintenance.

Cependant, le cout de production du watt photovoltaïque est assez couteux par rapport les autres sources d'énergies, si bien que les concepteurs ont été amené à combiner plusieurs systèmes énergétiques (éolien, solaire, diesel, réseau public, etc.), Ces systèmes sont alors appelés hybrides.

Ils sont utilisés afin d'optimiser au maximum les systèmes de la production d'électricité et minimiser les pertes du point de vue technique et économique, le bon rendement de ces systèmes est lié à plusieurs facteurs fondamentaux tels que la forme et le type de la charge, le régime du vent, le rayonnement solaire, le cout et la disponibilité de l'énergie, etc.

Pour l'installation de la faible puissance le système photovoltaïque est le plus économiques mais pour les installations des grandes puissances le cout de stockage présente un grand obstacle, c'est bien qu'il est la raison essentielle de la combinaison des systèmes photovoltaïques avec le réseau. L'intégration des systèmes hybrides dans l'installation du réseau électrique est le projet actuel dans tout le monde. Cette dernière est dans le but d'éviter le déséquilibre et la stratégie Black-out. Donc le but de cette étude est de proposé un système hybridé qui a la capacité de garantir la stabilité du réseau avec moins perte et meilleur optimisation de l'énergie électrique même il compense le manque d'énergie par le réseau électrique publique.

2 Objectif de la recherche

L'objectif principal de notre recherche est d'étudier et de modéliser un système hybride afin d'obtenir un meilleur rendement. Ce système permet de garantir une source d'énergie stable et confort aussi il est capable de compenser le manque de l'énergie à partir du réseau public.

Afin d'évaluer les performances du notre système hybride via un champ photovoltaïque et des convertisseurs statiques, nous avons décidé de simuler ce système a l'aide de logiciel MATLAB et avec les caractéristiques des panneaux photovoltaïques existants dans l'école ESSAT.

Chapitre **1**

État de l'art

1.1 Introduction

L'énergie renouvelable est un ensemble de sources d'énergie dont les quelles sont renouvelables naturellement, ils peuvent considérer comme inépuisable à l'échelle humain, ils sont largement disponibles, fondamentalement gratuites et compatibles avec un certain respect de l'environnement. Ceux-ci peuvent être convertis, si nécessaire, en électricité ou en chaleur. Elle intègre plusieurs cas dans l'environnement :

Dans le cas de la géothermie, de la biomasse et de l'énergie solaire, l'électricité et la co-génération thermique sont possibles.

L'énergie solaire est l'utilisation directe des rayons du soleil pour produire de la chaleur ou de l'électricité.

La biomasse recueille toutes les énergies de la décomposition de la matière organique. Il s'agit de l'énergie solaire convertie par les usines de chlorophylle utilisées directement (bois de chauffage) ou après d'autres transformations chimiques (biogaz, biocarburant).

Le marché des énergies renouvelables est basé sur des promotions qui sont l'un des piliers de la politique énergétique et environnementale du pays. Parmi les objectifs fixés par les pouvoirs publics, le marché local devrait atteindre 6500 Mw en 2015 et l'électricité produite par les énergies renouvelables devrait atteindre 6% de l'électricité totale produite[1].

Dans ce premier chapitre, nous décrirons les différentes caractéristiques de l'énergie renouvelable étudiée dans cette thèse (le soleil).

1.2 Généralité sur les systèmes photovoltaïques(Pv)

1.2.1 Le soleil

Le soleil est une sphère avec une substance extrêmement chaude et gazeuse avec un diamètre de $1.39 \cdot 10^9$ m et une distance moyenne de $1.49 \cdot 10^{11}$ m de la terre. Vu de la

terre, le soleil tourne autour de son axe toutes les quatre semaines, mais pas comme un corps solide.

La rotation se fait tous les 27 jours dans l'équateur et tous les 30 jours dans les régions polaires. Il est considéré comme un corps noir avec une température effective de 5800K et il est principalement visible et rayonne dans le proche infrarouge (300 μ m à 1200 μ m) avec un maximum de 500 μ m[2].

L'énergie produite par les réactions de fusion au soleil est filtrée par l'atmosphère. Le rayonnement solaire apporte au monde une énergie de 2000 à 2500 kWh/m²par an, ce qui est supérieur à la somme des sources fossiles inexploitées. Malheureusement, la quantité d'énergie exploitable obtenue à partir de ces sources "non renouvelables" ne représente que 0,5% de ce que nous recevons chaque année avec le rayonnement solaire[1].

La figure 1.1 présente l'irradiation annuelle du monde.

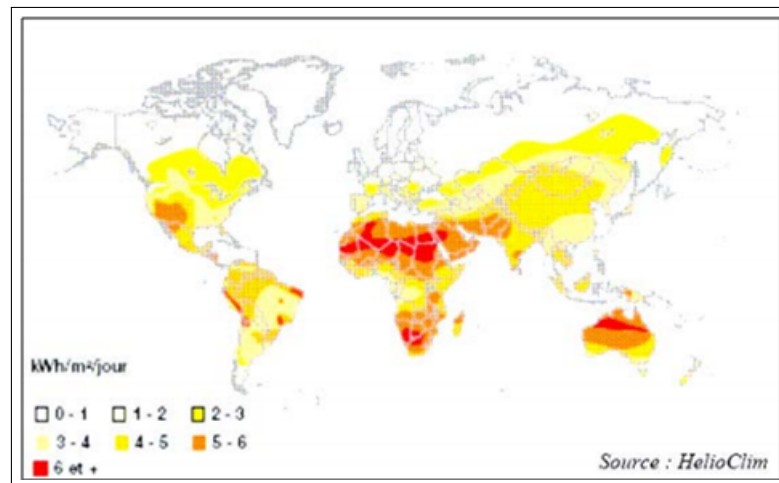


FIGURE 1.1: La carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle sur le plan horizontal[1].

1.2.1.1 Énergie solaire

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus abondante au monde. Elle est à l'origine de la majorité des énergies renouvelables, mais très atténuée comme le montre la figure1.2.

Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire de l'électricité directement à l'aide de semi-conducteurs photovoltaïques ou pour utiliser la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production d'électricité.

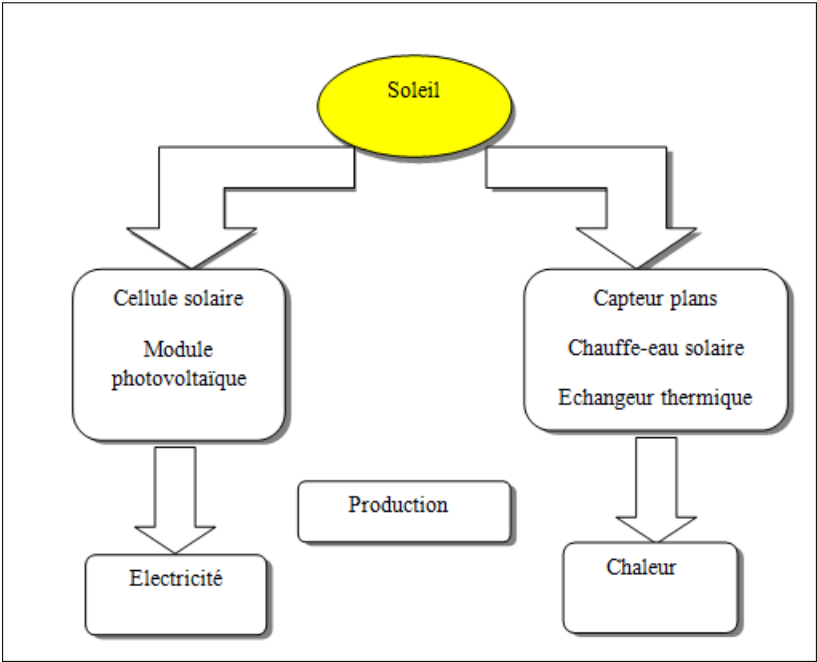


FIGURE 1.2: les deux types des énergies solaire

1.2.2 Système photovoltaïque

Le terme **photovoltaïque** fait référence au processus physique de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique en transférant l'énergie des photons aux électrons d'un matériau sensible aux longueurs d'onde visibles appelées cellules PV. La fusion de plusieurs cellules PV en série / parallèle crée un générateur photovoltaïque (GPV) avec une caractéristique de tension et courant non linéaire $I(V)$ et ayant un point de puissance maximale (PPM). Cette fonctionnalité dépend du niveau d'éclairage et de la température de la cellule et du vieillissement de l'ensemble. Par conséquent, le point de fonctionnement du GPV peut varier entre les points d'extrémité correspondant au courant de court-circuit I_{cc} et la tension en circuit ouvert V_{co} . La détermination du point de fonctionnement du GPV dépend de la charge à laquelle il est connecté. Il est plus ou moins éloigné du PPM caractérisé par le courant et la tension optimaux spécifiés (I_{opt}, V_{opt}) [2].

1.2.3 Cellules photovoltaïques

1.2.3.1 La conversion de l'énergie solaire

En frappant les cellules semi-conductrices à base de silicium (ou d'autres matériaux) qui composent le panneau solaire, les photons du rayonnement solaire font apparaître un courant électrique droit de plusieurs ampères avec une tension de plusieurs centaines de millivolts. La figure 1.3 montre une cellule photovoltaïque avec une constitution bien détaillée.

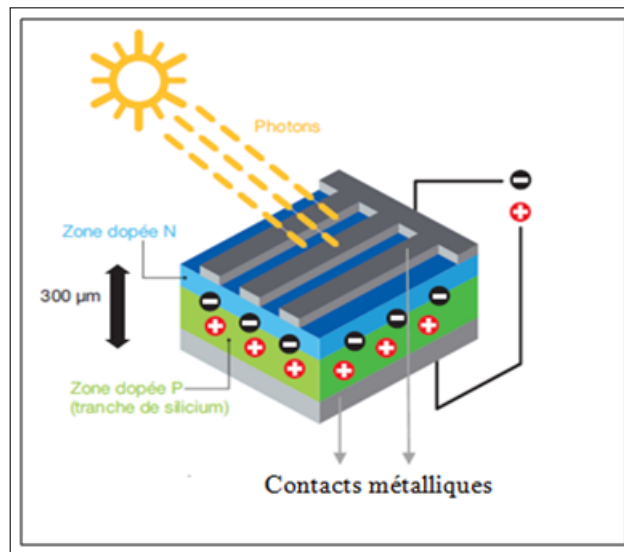


FIGURE 1.3: Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque[2].

Une cellule PV est constituée d'une couche de silicium dopé P (dopé au bore) revêtue d'une autre couche dopée N très mince (plée avec du phosphore), formant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. La figure 1.4 montre une coupe transversale d'une cellule solaire.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de jonction PN, de sorte que leurs électrons sont libérés et forment des électrons et des trous. Cela crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. La tension maximale des cellules pour les cellules nulles est d'environ 0,6 V. Cette tension est appelée tension en circuit ouvert (V_{co}).

Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, cela s'appelle le courant de court-circuit (I_{cc}) et dépend fortement du niveau d'éclairage.

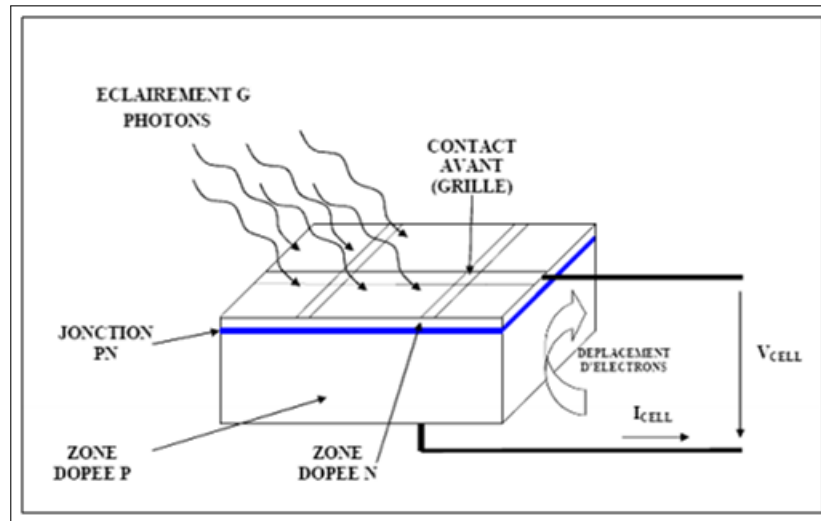


FIGURE 1.4: Une coupe transversale d'une cellule PV[1].

1.2.4 Principe du fonctionnement de PV

La cellule photovoltaïque est constituée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la convertit directement en courant électrique. Le régime photovoltaïque est un régime où aucun potentiel n'est appliqué mais une charge provoque la circulation d'un courant, le système développe donc une puissance électrique ce qui est bien illustrée sur la figure 1.5.

Principe de fonctionnement de la cellule aborde les propriétés du rayonnement et des semi-conducteurs. Elle nécessite la conversion de photons en électrons dans un matériau pouvant produire du courant électrique :

- Absorption de photons par le matériau (absorption optique) et création de porteurs charges.
- Des porteurs excités se rassemblant avant de continuer leur énergie initiale (relaxation).
- Une cellule photovoltaïque génère une tension de 0,5 v dans le circuit ouvert. L'intensité du courant fourni par cette cellule varie en fonction des conditions environnementales et de la charge[15].

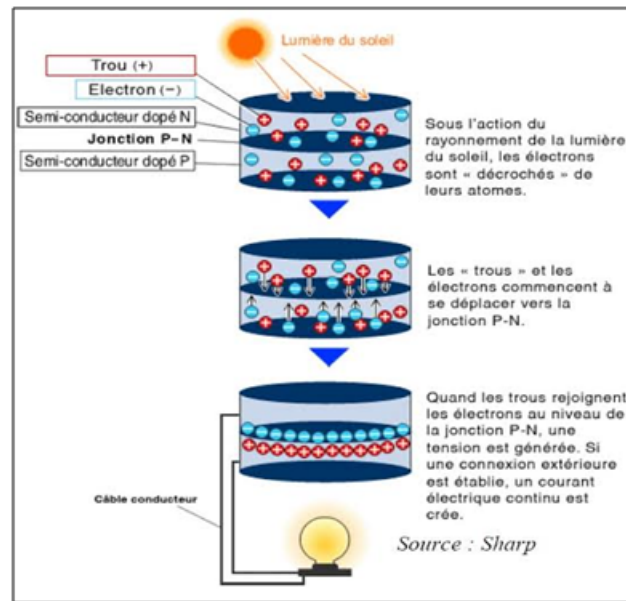


FIGURE 1.5: Principe de fonctionnement de photovoltaïque[1]

1.2.5 Association des cellules photovoltaïques

Pratiquement, une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts à environ 0,5 volt. Ainsi, les cellules sont combinées et forment un module pour produire plus de puissance[16], nous constatons que :

L'association série de plusieurs cellules donne un module, et une combinaison série et / ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque (figure 1.6).

Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série, protégé de l'humidité par un capsulage du verre et du plastique. L'ensemble est alors équipé d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique.

Le passage d'un sous-réseau de cellules du module vers un panneau se fait en ajoutant des diodes de protection, appelées diodes by-pass, elles interviennent dans le cas de déséquilibre, pour limiter la tension inverse sur un ensemble de cellules et minimiser la perte et garder la continuité de production correspondante.

Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour le même courant, tandis que le parallélisme augmente le courant tout en maintenant la tension. La

puissance crête obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module.

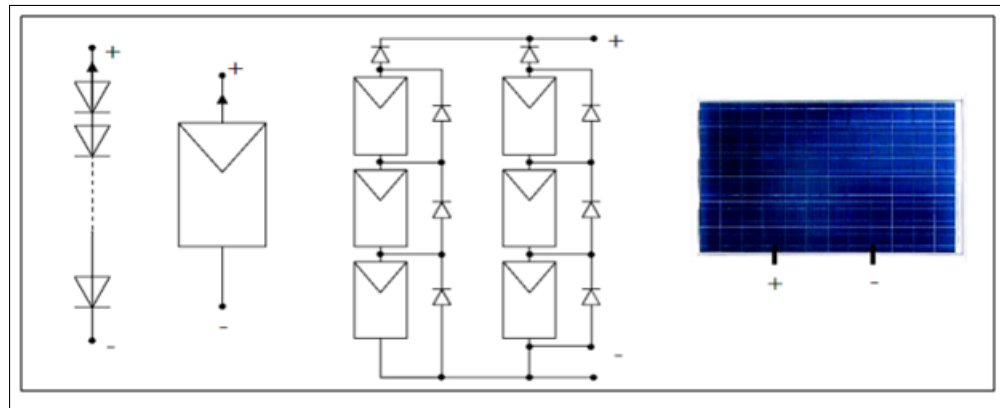


FIGURE 1.6: Diode de protection , cellule,module ,panneau photovoltaïque[3].

1.2.6 Différentes types des cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types des cellules photovoltaïques (solaires), sachant que chaque type est caractérisé par un rendement et un coût qui le définit. Cependant, quelque soit le type, l'efficacité est assez faible de 8 à 23% de l'énergie que les cellules reçoivent[16]. Nous avons actuellement trois principaux types de cellules :

1.2.6.1 Cellules mono-cristallines

Les cellules mono-cristallines(figure1.7) sont des cellules solaires de première génération, elles sont constituées d'un bloc de silicium cristallisé en un mono-cristal. Leur processus de production est long et énergivore, il est plus cher que le silicium poly-cristallin et plus efficace. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, nous obtenons un mono-cristal.

Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N,

dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le Wafer devient cellule[1].

Les cellules sont de forme ronde ou presque carrée et elles ont une couleur uniforme lorsqu'elles sont vues de près. Leur efficacité est de 12 à 18%[4], mais la méthode de production est laborieuse.

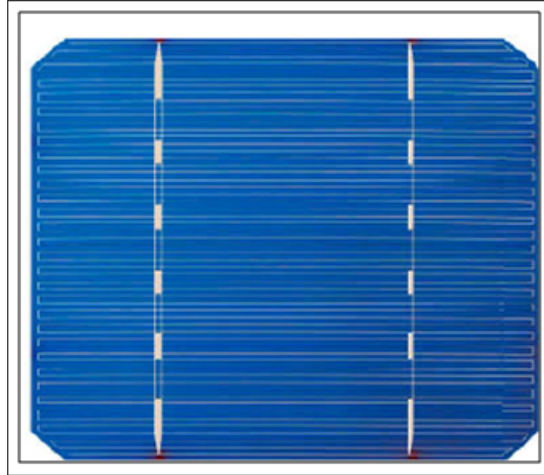


FIGURE 1.7: Cellules monocristallines[4].

1.2.6.2 Cellules poly-cristallines

Les cellules poly-cristallines(figure1.8) sont produites à partir d'un bloc de silicium cristallisé en plusieurs cristaux. Lorsque nous y regardons de près, nous pouvons voir les différents aspects des cristaux (différentes nuances), leur efficacité est de 11 à 15%[5], mais leurs coûts de production sont inférieurs à ceux des cellules mono-cristallines.

Ces cellules s'imposent désormais, grâce au potentiel d'augmentation de la productivité. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium mono-cristallin est qu'elles produisent moins de déchets de coupe et nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour les produire.

Le wafer est découpée sur une tige en silicone qui forme une structure poly-cristalline par refroidissement forcé. Durée de vie estimée est de 30 ans.

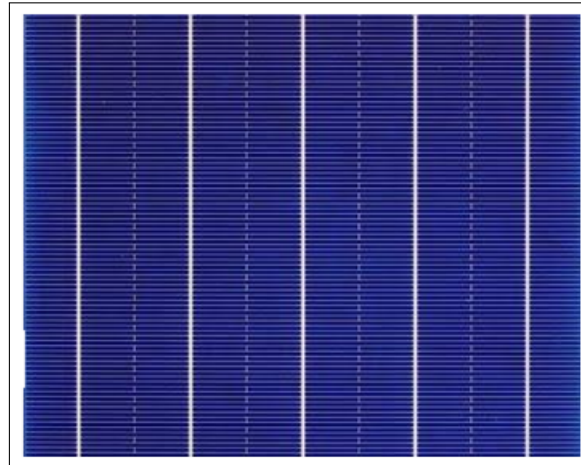


FIGURE 1.8: Cellules poly-cristallines[5].

1.2.6.3 Cellules amorphes

Les modules photovoltaïques amorphes(figure1.9) ont un coût de production beaucoup plus faible, mais malheureusement leur efficacité n'est actuellement que de 6 à 8%[6]. Cette technologie consiste en des couches de silicium très minces appliquées au verre, au plastique souple ou au métal par procédé d'évaporation sous vide. Les performances de ces panneaux sont moins bonnes que les technologies poly-cristallines ou mono-cristallines.

Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à faible coût en utilisant de petites matières premières.

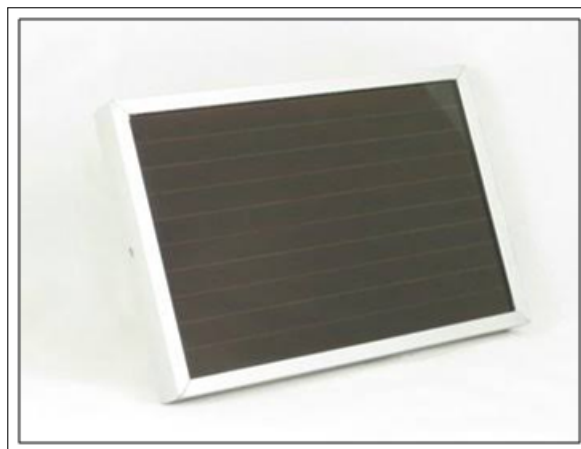


FIGURE 1.9: Cellules amorphe[6].

1.2.7 Comparaison entre les différentes technologies des cellules

Ce tableau donne une petite différence entre les types des cellules photovoltaïque, cette différence dépend de plusieurs paramètres le rendement, durée de vie (longévité), caractéristiques, et principales utilisations(Application) :

Type de Matériaux	Rendement	Durée de vie	Caractéristiques	Applications
Mono-cristallin	12 à 18%(24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	Très performant. La stabilité de la production. Méthode de la production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale, modules de toiture, façades.
Poly-cristallin	11 à 15%(19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	Adapté à une production à grande échelle. Stabilité de production. Plus de 50% du marché mondial.	Module de toiture. Façades. Générateur.
Amorphe	5 à 8%(13% en laboratoire) .		Fonctionner sous une lumière fluorescente. Travailler en basse lumière. Travailler par temps nuageux. Travail ombre partielle. La puissance de sortie change avec le temps. En début, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareil électronique (montres, calculatrices). Intégration dans les bâtiments.

TABLE 1.1: Tableaux de comparaison de types de cellules[1]

1.2.8 Utilisation optimale d'une cellule

D'après les caractéristiques courant-tension, nous pouvons déduire la caractéristique de la puissance électrique produite par la cellule en fonction de la tension aux bornes. Il a une valeur de photo-courant qui correspond à une tension où la puissance électrique produite est optimale. Ce point est appelé MPP (Maximum Power Point).

1.2.9 Les avantages et les inconvénients

1.2.9.1 Les avantages

- Haute fiabilité : Dans l'installation, il n'y a pas de pièces mobiles qui le rendent particulièrement adapté aux régions éloignées. La raison pour laquelle il est utilisé est le vaisseau spatial.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques peut être adapté à un montage simple et à différents besoins énergétiques. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications électriques de Milliwatt à Mégawatt.
- Les coûts d'exploitation sont très faibles compte tenu de la maintenance réduite et ne nécessitent pas de carburant, de transport ou de personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque a des qualités écologiques car le produit fini n'est pas polluant (électricité propre), il est silencieux et ne provoque pas de dégradation de l'environnement, s'il n'occupe pas d'espace pour de grandes installations.
- Travailler de manière rentable dans des régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.
- Flexibilité, nous pouvons élargir leur installation tout dépend le besoin électrique.
- Temps minimum de l'installation photovoltaïque.
- Longue durée de vie.
- Élimination des risques de transport liés aux combustibles fossiles.

1.2.9.2 Les inconvénients

- La production du module photovoltaïque est de haute technologie et nécessite des investissements coûteux.
- Le rendement de conversion réelle d'un module est d'environ 10 à 15%, avec une limite théorique pour une cellule de 28[17].
- Les générateurs photovoltaïques ne peuvent rivaliser avec les générateurs diesel que pour les faibles besoins énergétiques dans les zones isolées.
- La dépendance aux conditions météorologiques.
- Stockage d'énergie électrique dans des accumulateurs, principalement des batteries au plomb. Gardant à l'esprit que les batteries ne doivent pas décharger plus de 60% (maximum 70%)[17] de leur capacité maximale. De plus, la durée de vie de la batterie est courte (3 à 5 ans), ce qui entraîne des coûts d'exploitation supplémentaires.
- Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore disponible.

1.3 Les convertisseurs statiques dans les SEH

Dans un système de conversion d'énergie renouvelable, les convertisseurs sont utilisés pour charger les accumulateurs et convertir le courant continu en courant alternatif. Les trois types de convertisseur sont fréquemment rencontrés dans les énergies renouvelables : redresseurs, onduleurs et hacheurs.

- Les redresseurs effectuent une conversion AC / DC. Dans SEH, ils sont souvent utilisés pour charger les batteries à partir de la source AC. Ce sont des appareils relativement simples, peu coûteux et économiques.

- Les onduleurs convertissent le courant continu en courant alternatif, ils peuvent fonctionner indépendamment pour alimenter des charges en courant alternatif ou en parallèle avec des sources de courant alternatif. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils sont imposés à leur fréquence. Un onduleur non autonome nécessite une alimentation AC pour fonctionner.

- Les hacheurs, le troisième type de convertisseur, ils permettent d'effectuer une conversion DC / DC pour adapter la tension entre les deux sources.

1.4 La charge

Le système peut alimenter la charge et l'équipement électrique qui peuvent être de type continu, tels que des équipements de télécommunication, ou de type alternatif en cas d'utilisation domestique, dans ce cas nécessite un onduleur.

Les charges électriques rendent l'énergie électrique utile. Il existe deux charges résistives et inductives. Charges résistives comme les ampoules à incandescence, chauffe-eau, etc. Les appareils qui utilisent les machines électriques sont des charges résistives et inductives. Ils sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à courant continu ont aussi des composants inductifs, mais le seul effet qu'ils apportent est des changements transitoires de tension et de courant lors le changement de fonctionnement du système.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents concepts de l'énergie photovoltaïque. Aussi, nous avons discuté toutes les constructions fondamentales de deux systèmes photovoltaïques et leur principe de fonctionnement. Nous avons également cité différents types de convertisseurs de puissance qui peuvent être utilisés pour contrôler.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier la possibilité de modéliser et simuler un système d'énergie hybride.

Chapitre **2**

Présentation d'un système hybride

2.1 Introduction

Pour résoudre le problème d'utilisation des énergies renouvelables d'une manière correcte et utile dans l'environnement, notre besoin est généré une énergie électrique à partir d'une source renouvelable et autre non renouvelable, en utilisant un système hybride qui est la résolution du problème de la puissance produite variable et non garantie .

2.2 Définition d'un système hybride

Un système hybride utilisant des sources d'énergies renouvelables (SHSER) est un système électrique, il intervient plus de sources d'énergie, au moins une renouvelable, ce système est une installation qui associe plusieurs technologies d'une façon différentes pour générer une énergie électrique : source renouvelable, source conventionnelles, dans le but d'augmenter le rendement global et regrouper les bénéfices de chaque système.

Le système hybride peut comporter un système de stockage pour atteindre les besoins et être fiable. Un système qui contient deux sources d'énergies renouvelables comme : énergie photovoltaïque et éolienne, dont les quelles elles ne délivrent pas une puissance constante à cause de leurs natures aléatoire. La combinaison de ces sources d'énergies avec des autres permet d'obtenir une production électrique continue. la figure 2.1 présente un système hybride

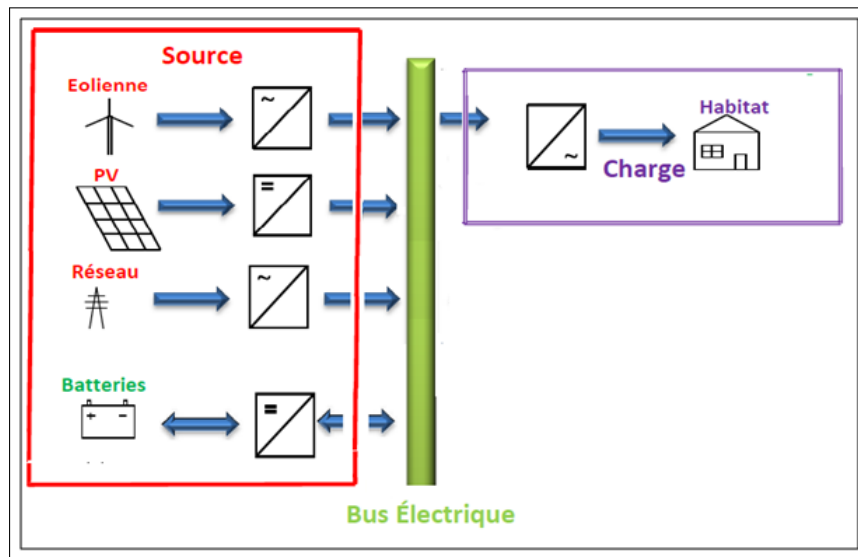


FIGURE 2.1: Schéma descriptif d'un système hybride étudié.

2.3 Classification

La classification de système hybride dépend de plusieurs critères, nous représentons par la suite les classifications les plus répandues :

2.3.1 Le régime de fonctionnement

Selon le fonctionnement des SH, ils sont divisés en deux familles :

2.3.1.1 Système d'énergie hybride connecté aux réseaux

Dans le but de satisfaire la charge sur la demande électrique dans le pays, l'interface entre les SHs et le réseau est caractérisée par un convertisseur statique « l'onduleur » afin d'assurer la conversion de puissance continue vers l'alternative (DC/AC). Aussi, la permission d'injecter le surplus de l'énergie produite par SHs vers le réseau.

Pour ce type de système, il n'est pas obligé d'utiliser un dispositif de stockage dans le cas d'incapacité du système hybride pour assurer la demande de la charge et l'intervention de réseaux pour garantir l'énergie nécessaire.

2.3.1.2 Système d'énergie hybride autonome

Le système en mode autonome ou en régime isolé, souvent utilisé pour répondre au besoin des consommateurs situés dans les sites éloignés du réseau électrique comme les villages isolés, refuges de montagne.

Autonomie dans ce contexte veut dire ;générer une énergie sans connexion au réseau électrique.

2.3.2 La structure de système

Nous distinguons trois critères pour le classement en fonctionnement de la structure de système :

Avec ou sans source d'énergie conventionnelle : l'énergie conventionnelle peut servir pour plusieurs études (un générateur diesel, micro turbine à gaz ou pour une étude du réseau électrique complet).

Avec ou sans dispositif de stockage : l'importance de stockage pour assurer une meilleure satisfaction d'une charge électrique pendant l'absence d'une ressource primaire a convertir en électricité, il y a plusieurs dispositif pour le stockage comme des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoir d'hydrogène, etc.

Type de source d'énergie renouvelable (système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison des sources) : est un critère important pour le choix de la source utilisée et le potentiel énergétique qui dépend de l'endroit de l'installation du système hybride, il est caractérisé par le consommateur alimenté qui détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle, etc.

Nous résumons la classification du système hybride dans la figure2.2.

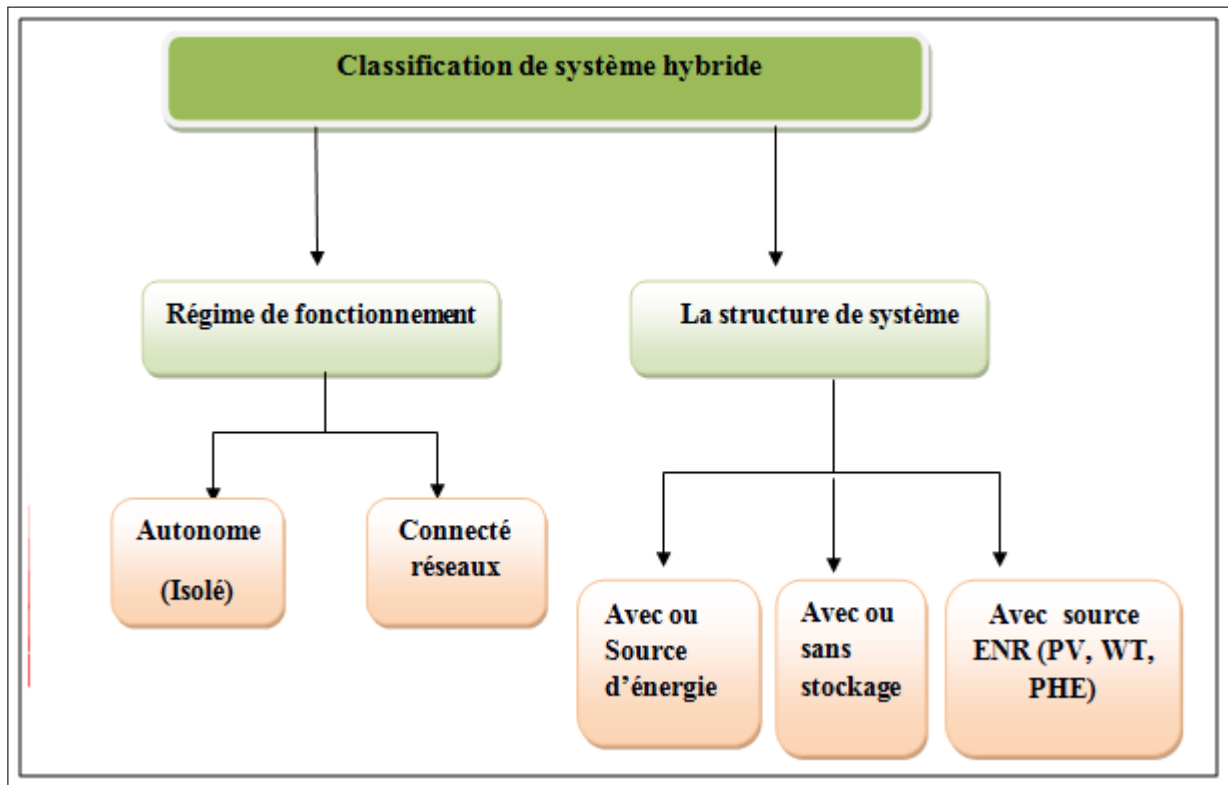


FIGURE 2.2: Classification de système hybride.

2.4 Étude des structures de systèmes hybrides

2.4.1 Configurations de bus dans les systèmes hybrides

Nous distinguons dans la structure du système hybride trois architectures ou configurations à bus :

2.4.1.1 Architecture à bus DC

Dans cette topologie, l'énergie fournie par chaque source de système alimente un bus continu (DC) en utilisant des convertisseurs DC/DC (hacheur) ou AC/DC (redresseur). Ce type d'assemblage est adapté pour les sites autonome (isolée), à charge continue ou alternative ou reliée au bus DC vers un l'onduleur.

L'avantage de cette architecture est de faciliter la demande par rapport aux autres configurations, nous représentons ce bus par la figure 2.3 :

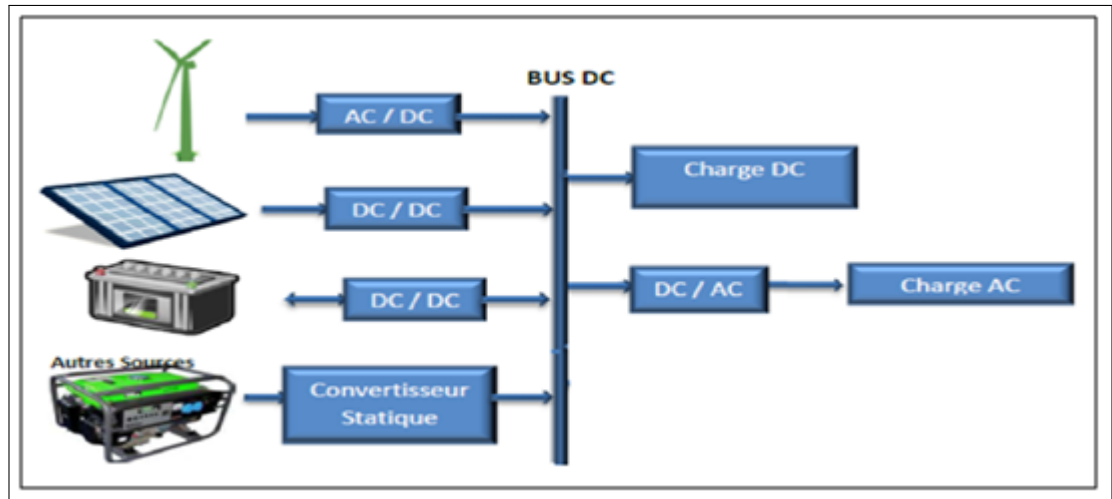


FIGURE 2.3: Structure à bus DC d'un système hybride[7].

2.4.1.2 Architecture à bus AC

Dans cette configuration, toutes les sources de production sont reliées au bus AC via des convertisseurs. Elle offre des performances supérieures par rapport à la configuration DC, puisque un découplage de différentes sources de production permettrait d'agir indépendamment les unes des autres. Cependant le rendement de l'ensemble du système est faible, à cause de la petite quantité d'énergie perdue à partir d'utilisation des convertisseurs statiques, ce type d'association met le système compliqué. Cette architecture est la plus adaptée à une génération distribuée[7], sa représentation est montrée dans la figure 2.4 :

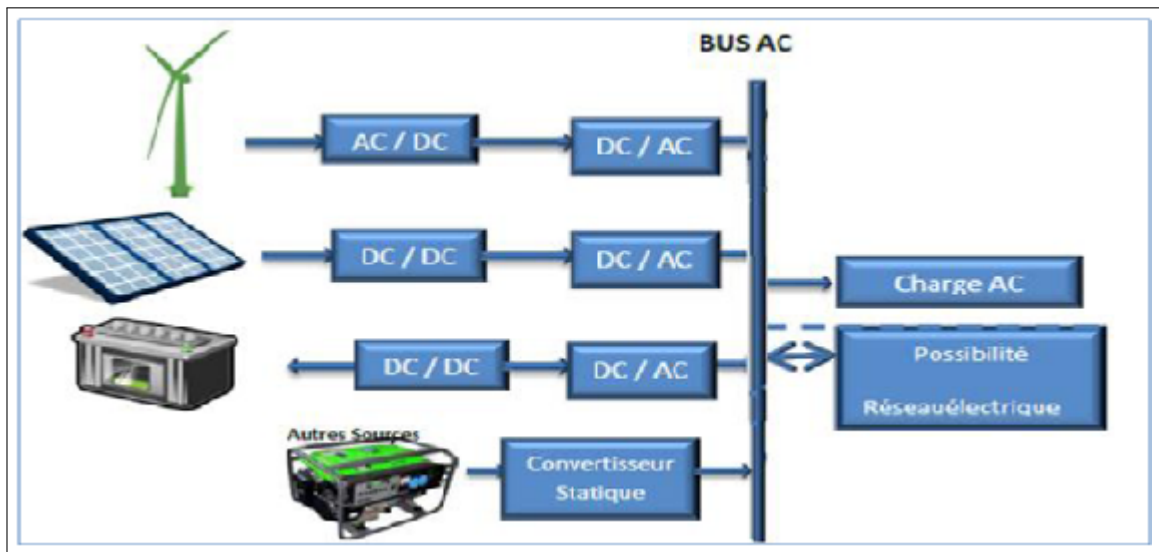


FIGURE 2.4: Structure à bus AC d'un système hybride[7].

2.4.1.3 Architecture mixte (DC& AC)

Dans cette architecture, les sources d'énergie peuvent alimenter une charge alternative AC ou une charge continue DC par un convertisseur bidirectionnel qui réalise la conversion continue-alternative et vice versa[7]. La représentation de cette configuration dans la figure2.5 :

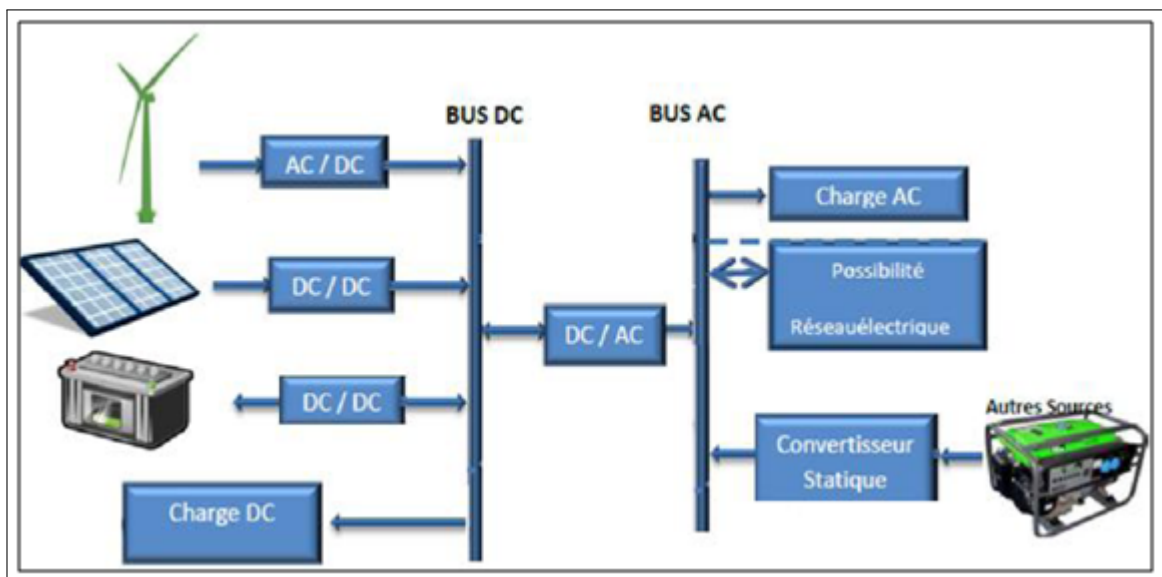


FIGURE 2.5: Structure à bus mixte(DC et AC)d'un système hybride[7].

2.5 Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides

Plusieurs technologies sont développées pour satisfaire les besoins énergétique, cependant, il s'avère très difficile de choisir un système énergétique optimal qui répond à toutes les exigences technico-économiques. C'est pour cela, il existe plusieurs études pour un bon choix de logiciel qui permet d'optimiser, modéliser et simuler un système énergétique. Nous avons plusieurs différents types de logiciel [18] :

•**Hybrid2** :

Ce logiciel effectue une analyse économique, la présentation des résultats peut être réalisée de deux manières : des résultats synthétisés ou des résultats détaillés avec variation dans le temps.

•**HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)** :

Ce logiciel modélise des systèmes hybrides qui travaillent en parallèle avec le réseau électrique, il permet de simuler, optimiser le fonctionnement d'un plusieurs systèmes à la fois et établit le bilan énergétique avec un pas allant d'une minute à une heure pour une période d'une année, il compare aussi la demande d'électricité et de la chaleur. HOMER calcule le rendement énergétique, le cout du système et le pourcentage d'émission de gaz à effet de serre pour chaque configuration.

•**RAPSIM (Remote Area Power Supply Simulator)** :

Ce logiciel est utilisé pour le dimensionnement d'installations photovoltaïques, des générateurs éoliens et diesel dans des systèmes hybrides isolés.

De plus, il faut dire que l'utilisation de ces logiciels a plusieurs inconvénients comme la limitation des modifications de l'utilisateur et l'empêchement d'une analyse approfondie des systèmes hybrides à cause du code protégé.

2.6 Conclusion

Ce chapitre présente une description générale du système hybride avec ces concepts principaux rattachés à la technologie utilisée. Il se compose une définition des systèmes hybrides et leurs classifications, les différents types d'architectures existants et les logiciels pour l'étude des systèmes hybrides. Tous les composants qui nous avons introduit et les différentes configurations c'est pour assurer une bonne compréhension du fonctionnement du système, le chapitre suivant sera consacrée à la modélisation du système hybride.

Chapitre **3**

Modélisation des éléments du système hybride

3.1 Introduction

La modélisation est un outil qui vise à représenter une fonction ou un processus technologique sous une forme mathématique. Son objectif est d'examiner théoriquement le comportement de certains paramètres et de les optimiser en respectant une contrainte particulière.

Pour déterminer une stratégie de gestion adéquate, il est nécessaire de connaître le comportement du système en fonction des données d'entrée. Ces informations passent par la modélisation et la simulation. Le système proposé dans cette étude est un système hybride multi-source, il se compose de : un générateur photovoltaïque, réseau électrique et des convertisseurs statiques raccordés avec une charge bien déterminer. Nous avons utilisés le logiciel MATLAB/Simulink pour contrôler la puissance, ainsi que la modélisation et la simulation. Dans la suite, nous présentons les modèles mathématiques de chacun des éléments qui composent ce système.

3.2 L'outil Matlab/Simulink

MATLAB est un logiciel de calcul de matrice de syntaxe simple. Avec ses fonctions spéciales, MATLAB peut également être considéré comme un langage de programmation adapté aux problèmes scientifiques. MATLAB est un traducteur : les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne. Ce logiciel a plusieurs domaines de fonctionnalités comme : Xwindows, Windows, Macintosh[8]. Il existe deux modes de fonctionnement :

- **Mode interactif** : MATLAB exécute les instructions données par l'utilisateur.
- **Mode administrateur** : MATLAB exécute un "fichier M" ligne par ligne (programme en langage MATLAB).

La figure3.1 représente l'environnement du MATLAB, tel que :

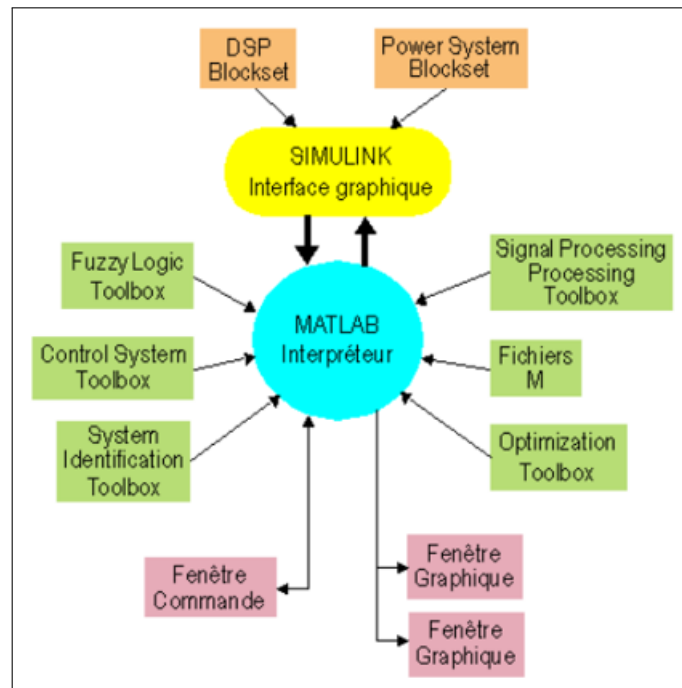


FIGURE 3.1: L'environnement du logiciel Matlab[8].

- **Fenêtre de commande** : Dans cette fenêtre, l'utilisateur donne des instructions et MATLAB renvoie les résultats.
- **Fenêtres graphiques** : MATLAB trace des graphiques sur ces fenêtres.
- **Fichiers M** : Il s'agit de programmes en langage MATLAB (écrits par l'utilisateur).
- **Toolboxes** : Il s'agit de collections de fichiers M développées pour des domaines d'application spécifiques (Boîte à outils de traitement du signal, Boîte à outils d'identification du système, Boîte à outils du système de contrôle, Boîte à outils u-Synthesis and Analysis, Boîte à outils de contrôle robuste, Boîte à outils d'optimisation, Neural Network Toolbox, Spline Toolbox, Chemometry Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox etc.)
- **Simulink** : C'est l'extension graphique qui permet à MATLAB de travailler avec des diagrammes de blocs. la figure 3.2 présente l'interface de bibliothèque Simulink.
- **Blocksets** : Il s'agit de collections de blocs Simulink développées pour des domaines d'application spécifiques (ensemble de blocs DSP, ensemble de blocs du système d'alimentation, etc)[8].

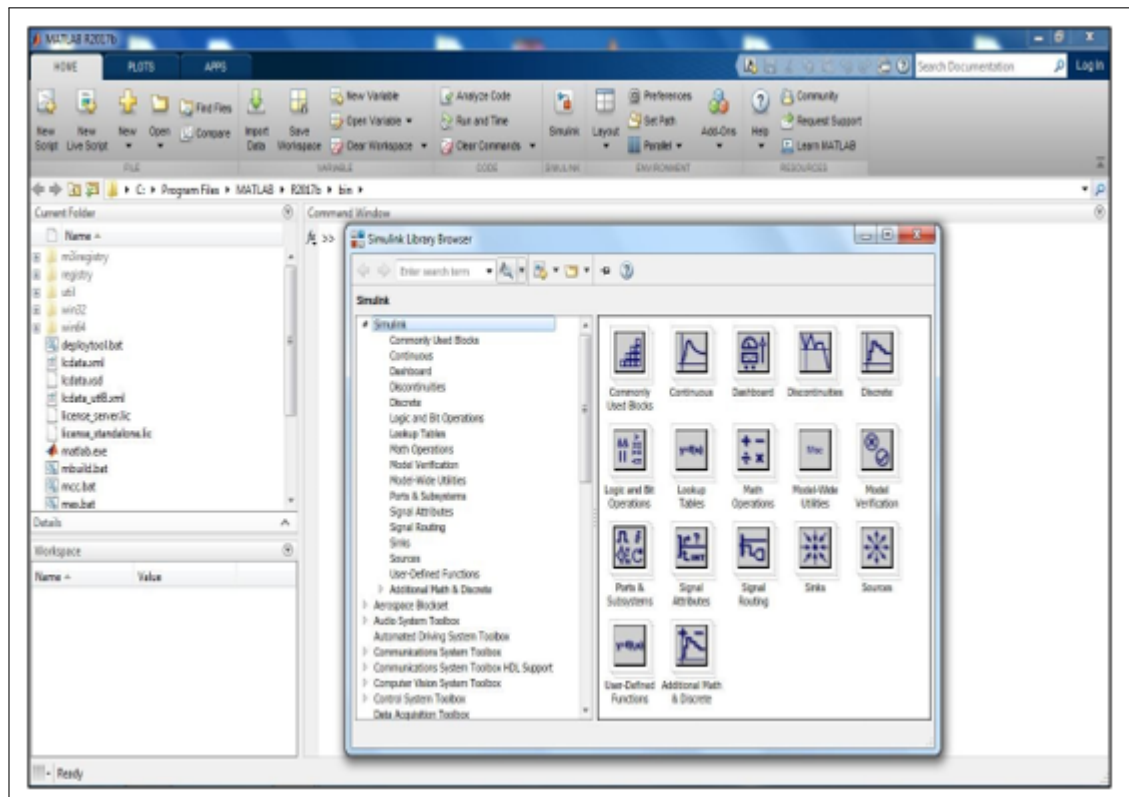


FIGURE 3.2: Bibliothèque SIMULINK.

3.3 Description du notre système

L'architecture complète du système multi-source examinée dans cette étude est illustrée sur la figure3.3, le système d'énergie hybride proposé consiste a une combinaison de deux sources d'énergie : photovoltaïque,le réseau électrique ainsi que les convertisseurs statiques. Tous ces éléments sont connectés à un bus DC pour alimenter une charge en passant par un convertisseur triphasé relie la charge AC à un bus DC. Nous avons :

- Un système PV se compose d'un champ des panneaux photovoltaïques connectés au bus CC et un hacheur type Boost qui fournit une puissance maximale du GPV à l'aide d'un algorithme MPPT.
- Un réseau électrique avec un redresseur AC/DC pour convertir le courant alternatif au courant continue afin de faciliter la combinaison des deux sources en DC.

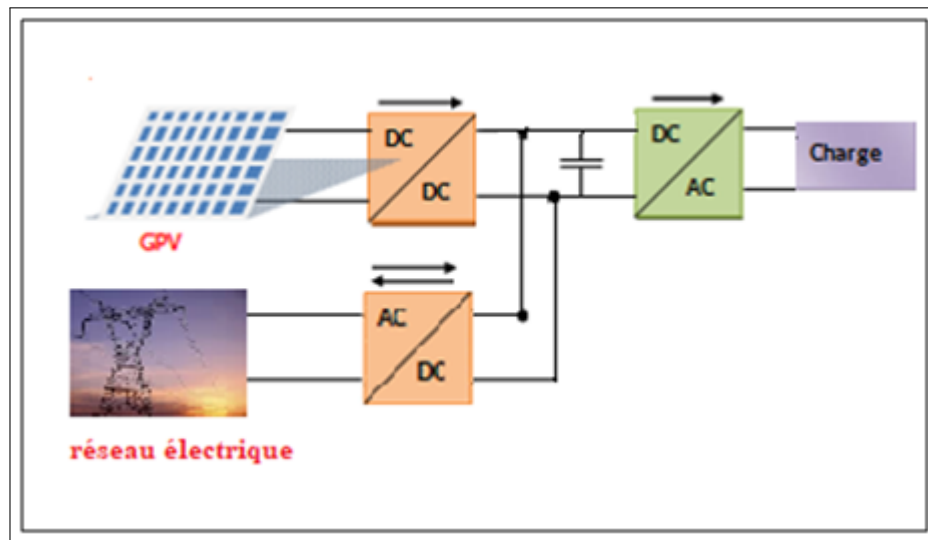


FIGURE 3.3: Architecture du système d'énergie hybride.

3.4 La modélisation d'un système PV

Le but de cette section est de décrire les modèles mathématiques des composants du système de conversion photovoltaïque. Le schéma bloc de la chaîne de conversion photovoltaïque est présenté sur la figure 3.4. Il s'agit d'un convertisseur DC / DC raccordé à un générateur photovoltaïque et d'un contrôle MPPT pour maximiser l'énergie photovoltaïque.

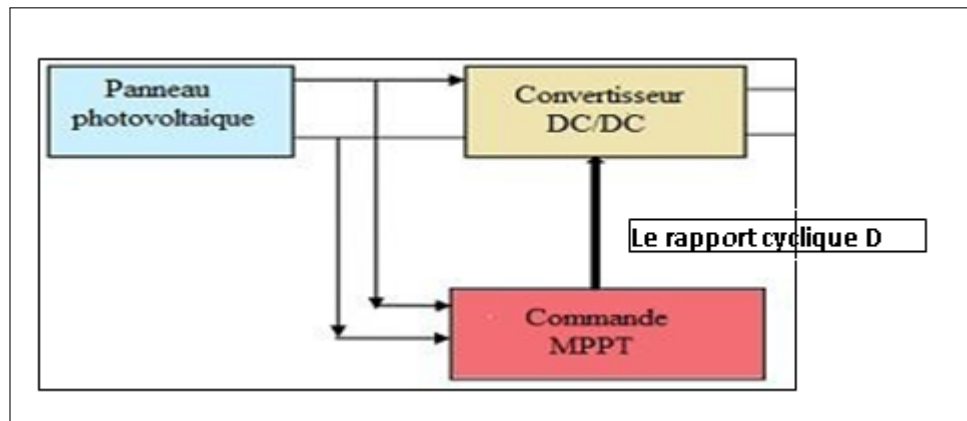


FIGURE 3.4: Schéma d'une chaîne de conversion photovoltaïque avec MPPT.

3.5 Modélisation du générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque convertit l'énergie solaire en énergie électrique. Il est réalisé en reliant en série et en parallèle à des modules (ensemble de cellules de base). La puissance totale du générateur est égale à la somme des puissances des modules qui composent le second, la figure 3.5 présente les composants du générateur du PV :

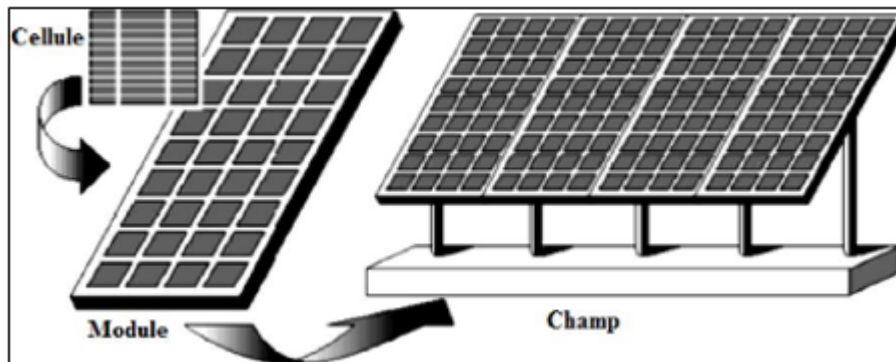


FIGURE 3.5: Les composants du générateur photovoltaïque[9].

La modélisation du générateur photovoltaïque est très importante, afin d'avoir le point optimal correspondant au point de puissance maximale. Parmi ces modèles, nous avons trouvé :

- Le modèle idéalisé : c'est le modèle le plus simplifié, la valeur de la résistance R_{sh} étant généralement très grande, elle est donc souvent supposée infinie (et donc négligée), la valeur de la résistance R_s étant petite elle est donc supposée nulle.
- Le modèle à diode unique : pour tenir compte des chutes de tension dans les régions P et N, il faut ajouter une résistance série R_s dans le modèle idéalisé et une résistance parallèle R_{sh} pour le courant de fuite.
- Le modèle à deux de diodes : une diode supplémentaire placée en parallèle de la diode du modèle précédent permet de reproduire les effets chimiques de la recombinaison d'électrons.

Parmi ces modèles, nous avons choisi le modèle mono-diode et cinq paramètres les plus classiques et les plus utilisés. Ce modèle est supporté par une source de courant produisant un courant I_{ph} proportionnel à l'éclairement, une diode pour le phénomène de polarisation de la cellule traversée par le courant I_d , une résistance série R_s , et une autre R_{sh} parallèle pour les pertes[9].

La figure 3.6 montre un schéma similaire d'une cellule photovoltaïque réelle pour un flux incident et une température constante.

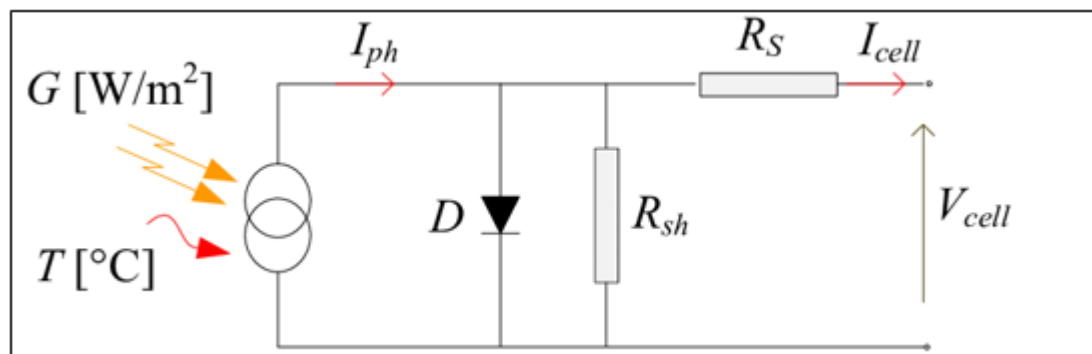


FIGURE 3.6: Schéma équivalent d'une cellule PV[9].

Nous pouvons tirer d'après la loi de Kirchhoff, le courant transmis par la cellule PV est donné sous l'équation(3.1) :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.1)$$

Aussi nous avons L'intensité du photo-courant qui dépend du rayonnement solaire "S", de la température ambiante "T".

$$I_{ph} = (I_{cc} + K_i(T - T_{ref})) \frac{S}{S_{ref}} \quad (3.2)$$

Tel que :

S : Ensoleillement dans le plan des panneaux [$\frac{W}{m^2}$].

S_{ref} :Ensoleillement de référence 1000 [$\frac{W}{m^2}$].

T_{ref} :Température de référence 25 ° C.

T :Température ambiante [° C].

I_{ph} : L'intensité du photo-courant.

I_{cc} :courant de court-circuit .

K_i :la constante de Boltzmann.

Nous remarquons que le courant I_{sh} traversant R_{sh} sera très faible si R_{sh} est trop grand, indépendamment de la tension :

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{ch}} = \frac{V + R_s x I}{R_{ch}} \quad (3.3)$$

Avec :

$$V_d = R_{sh} x I_{sh} = V + R_s x I \quad (3.4)$$

Tel que :

R_s : Résistance en série.

R_{sh} Résistance en parallèle.

I_d :courant de diode.

A : facteur d'idéalité de la cellule.

q : la charge électrique de l'électron. Le courant de diode I_d a le même ordre de grandeur que I_{rp} pour les basses tensions et devient très grand autour du V_{co} , écrit sous l'équation(3.5) :

$$I_d = I_0(e^{\frac{q \cdot V_d}{A \cdot K \cdot T}} - 1) \quad (3.5)$$

Nous remplaçons les équations(3.3),(3.5), dans l'équation(3.1) et nous obtenons l'équation caractéristique comme suit :

$$I = I_{ph} - I_0(e^{\frac{qV_d}{AKT}} - 1) - \frac{V + R_s * I}{R_{ch}} \quad (3.6)$$

3.5.0.1 Caractéristiques I(V) et P(V)

La caractéristique principale de la cellule solaire est la caractéristique I-V, sa valeur indique que comment une cellule solaire réagira à toutes les charges possibles dans un ensemble donné de conditions d'ensoleillement et de température. Nous expliquons les trois points importants dans la courbe de la figure3.7 :

- Le point de fonctionnement optimal auquel la cellule fournit sa puissance maximale (point 5).
- Point où la tension est nulle et le courant est maximal (courant de court-circuit, point 4).
- Le point où le courant est égal à zéro et la tension est en maximum (tension de circuit ouvert, point 1).

De plus, la caractéristique I-V peut être divisée en deux plages :

- La plage (1-2) dans laquelle la cellule est considérée comme la source de tension.
- La plage (3-4) à laquelle la cellule est considérée comme la source de courant[10].

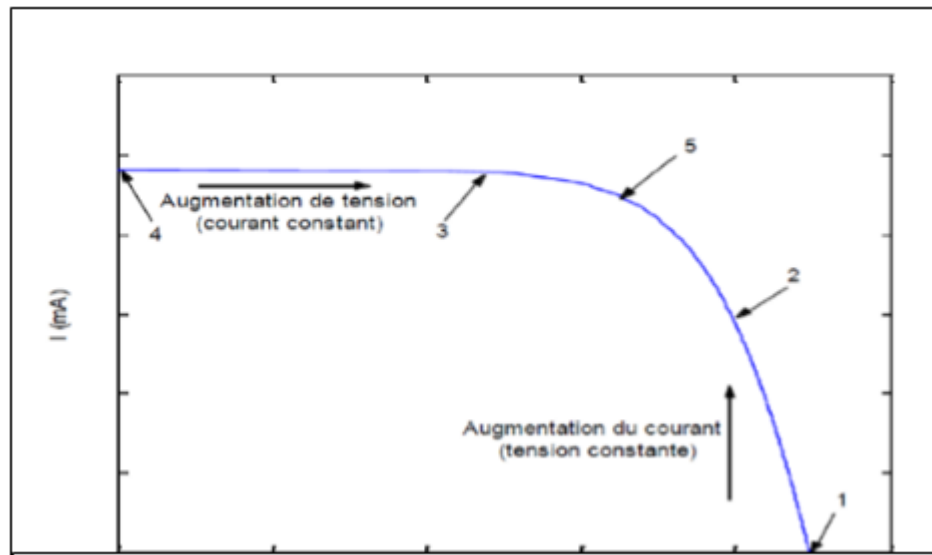


FIGURE 3.7: Caractéristique typique I-V d'une cellule solaire [10]

Pour cette partie, nous utilisons les caractéristiques des panneaux existants au sein de l'école ESSAT (Ecole supérieure de science appliquée Tlemcen), ils sont à base du semi-conducteur le silicium mono-cristallin. Chaque panneau est constitué de 72 cellules et une cellule individuelle ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3W. Le tableau 3.1 présente les paramètres nécessaires pour le panneau photovoltaïque choisi :

constructeur	Puissance nominale	Tension nominal	Tension à vide (Vco)	Courant nominal
JIawei EUROPE	210 W	37,20 V	45,90 V	5,65 A

TABLE 3.1: Caractéristique du panneau PV utilisé.

Chapitre3 : Modélisation des éléments du système hybride

En générale, nous pouvons présentés les caractéristiques d'une cellule PV dans les figure3.8et 3.9 avec les conditions de référence de température et d'irradiation (25°C et $1000\text{W} / \text{m}^2$) du panneau solaire.

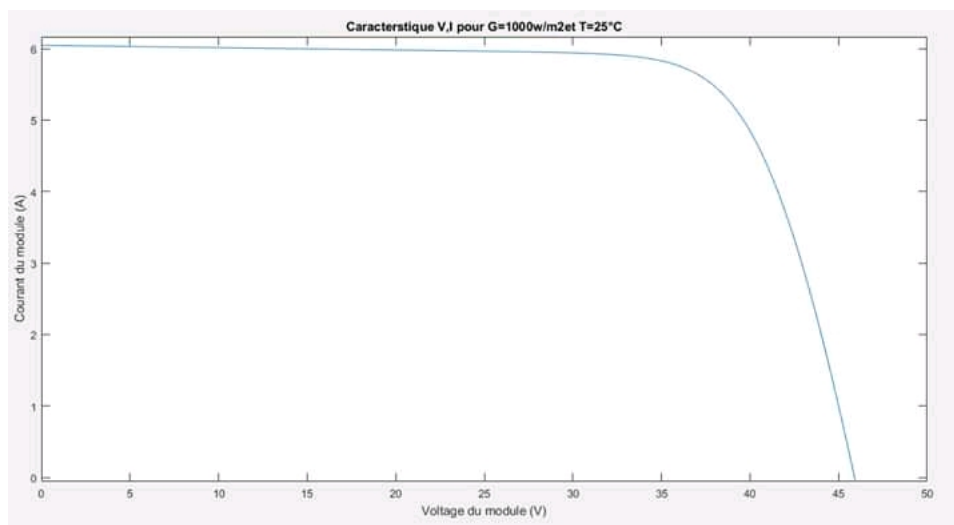


FIGURE 3.8: Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque.

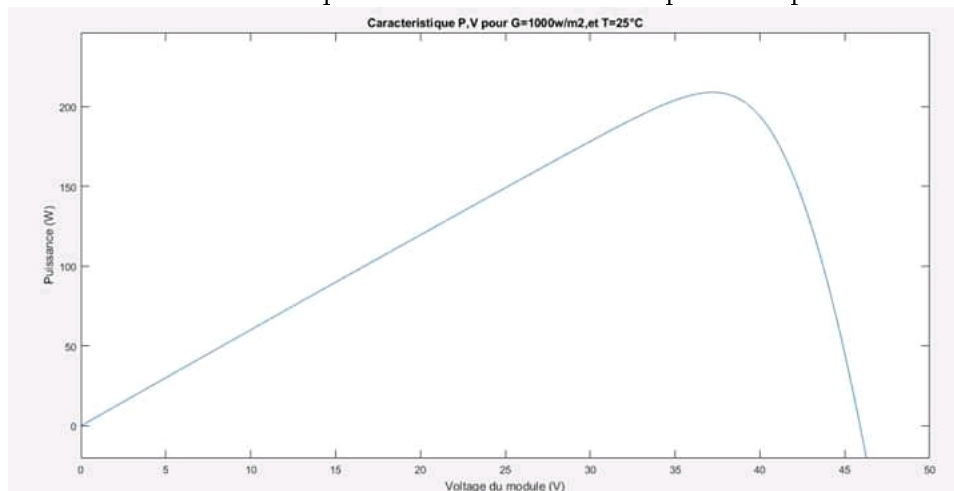


FIGURE 3.9: Caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque.

Nous pouvons définir :

Puissance maximale : La puissance maximale fournie par le panneau photovoltaïque est le produit entre la tension de sortie de panneau photovoltaïque V_{op} et le courant de sortie de panneau photovoltaïque I_{op} comme indiqué dans la formule(3.7) :

$$P_{max} = V_{op} * I_{op} \quad (3.7)$$

Puissance crête : La puissance électrique produite par un module est variée en fonction du rayonnement solaire, la puissance crête d'un module est la puissance donnée sous un éclairage de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ et pour la température de référence de 25°C de la cellule.

Rendement : le rendement passe par le point de puissance maximum et il dépend des conditions de fonctionnement électrique (courant, tension) des cellules. Il existe des principaux facteurs qui influencent directement sur le rendement de la cellule photovoltaïque, comme[11] :

- Absorption incomplète des photons : seuls les photons avec une énergie E tel que ($E=hv$) supérieure à E_g (E_g : largeur de la bande interdite) sont absorbés. Par exemple, il représente l'énergie spatiale.

Avec :

E : l'énergie du photon.

h : la constante de Planck, $h = 6,63 * 10^{-34}[\text{J.s}]$.

v : la fréquence (en hertz).

- Excès d'énergie : l'excès d'énergie des photons absorbés ($hv-E_g$) n'est pas utilisé pour former des paires électron-trou. disparaît sous forme de chaleur.
- Réflexion sur la surface : seule une partie du flux entrant est absorbée dans le matériau. L'autre partie réfléchi par la surface est souvent perdue. Cette perte due au semi-conducteur peut être réduite par des traitements de surface pour forcer le rayonnement dans le semi-conducteur.

Caractéristique courant-tension d'un module : Le courant produit par un module varie en fonction des schémas courant / tension et puissance / tension. Cela dépend de la lumière du soleil et de la température des cellules.

3.5.0.2 Influence de la température sur le générateur PV

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules photovoltaïques. Les figures 3.10 et 3.11 montrent l'effet de la température sur les propriétés de la cellule PV. En changeant la température de 0 °C à 75 °C, les caractéristiques I-V et P-V sont données dans les figures suivantes :

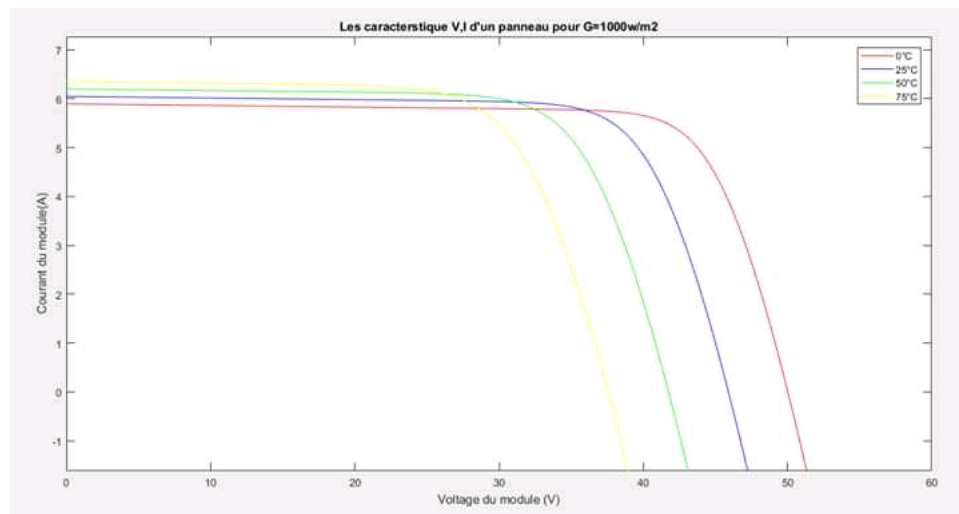


FIGURE 3.10: Influence de la température sur la caractéristique I(V).

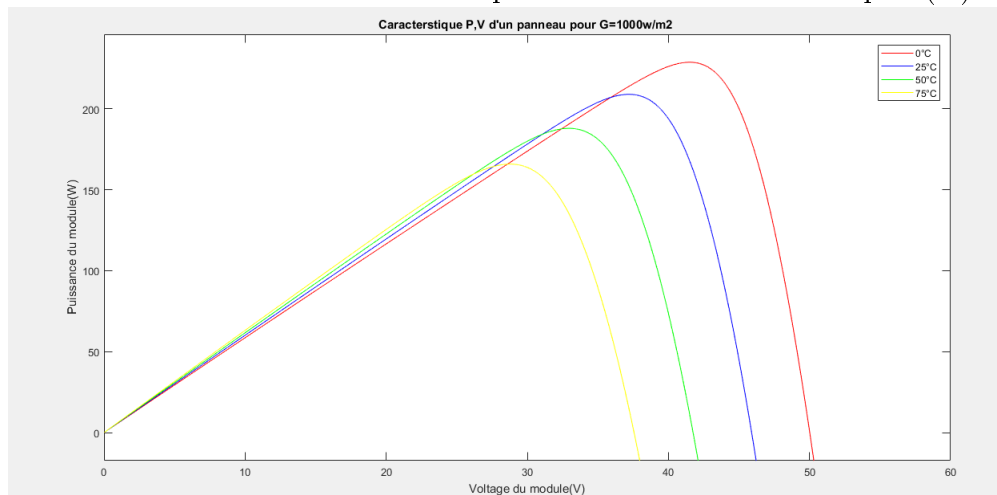


FIGURE 3.11: Influence de la température sur la caractéristique P(V).

Commentaire

Nous remarquons que la température a un effet négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. D'autre part, à mesure que la température augmente, la tension en circuit ouvert chute suffisamment, d'où la puissance délivrée par la cellule diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, le changement de température sur site doit être pris en compte.

3.5.0.3 Influence de l'irradiation sur le générateur PV

Les figures 3.12 et 3.13 illustrent l'éclairement sur le panneau à une température $T = 25^\circ\text{C}$. En changeant l'éclairage entre 200 w / m^2 et 1000 w / m^2 .

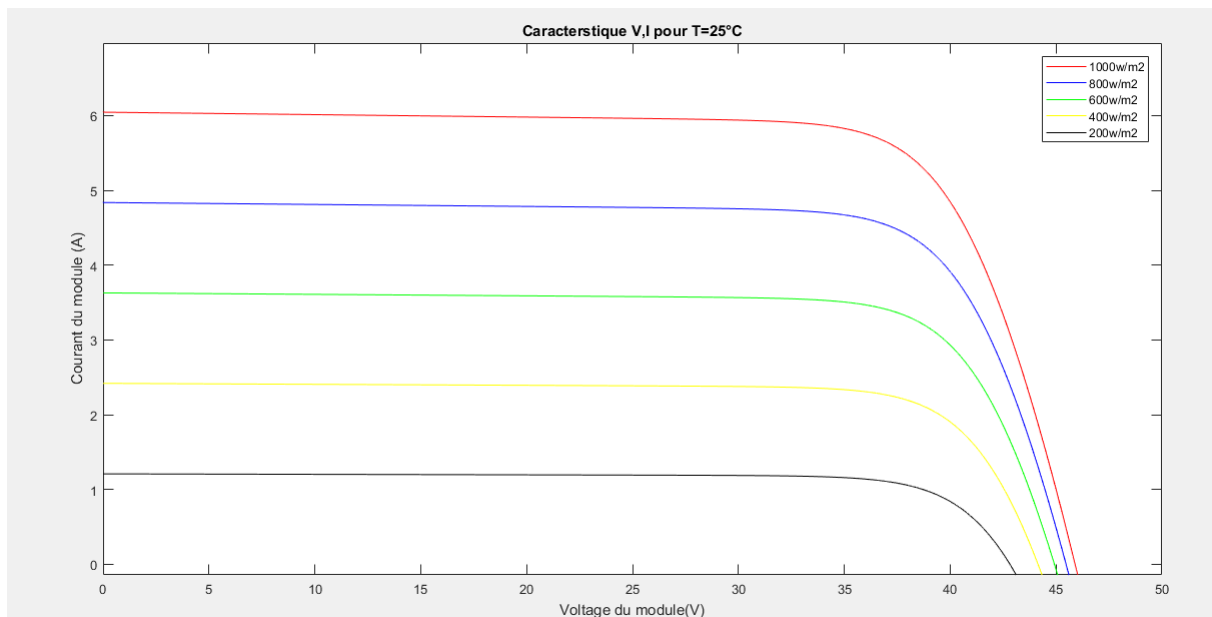


FIGURE 3.12: Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique I(V).

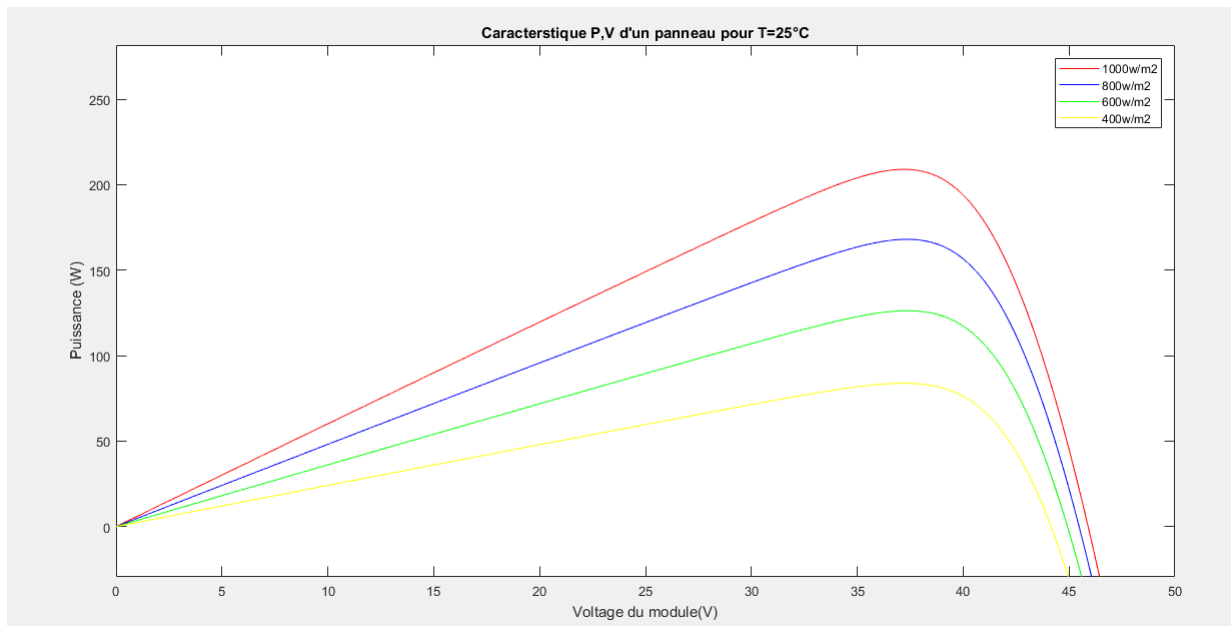


FIGURE 3.13: Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique P(V).

Commentaire

Nous remarquons que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert reste constante en faible éclairage. Alors, nous pouvons noter que quand l'ensoleillement augmente, la tension et le courant augmente aussi si bien que la puissance augmente. Enfin, nous constatons qu'il serait plus intéressant d'avoir une irradiation importante à basse température pour obtenir une grande puissance.

3.5.0.4 Influence de l'association série / parallèle des cellules PV

La cellule génère très peu d'énergie avec moins d'un volt. Pour générer plus de puissance, les cellules PV peuvent être combinés en série (tension croissante) et en parallèle (courant croissant) pour former un GPV (ou champ PV)[10].

Influence de l'association série des cellules PV La figure 3.14 montre une combinaison en série de cellules fournit une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule.

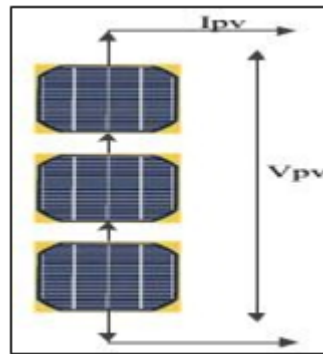


FIGURE 3.14: Association des modules solaires en série[10].

L'équation(3.8)indique la combinaison en série de la cellule PV :

$$\begin{cases} I_{cc} = I_{scc} \\ V_{sco} = V_{co} * N_s \end{cases} \quad (3.8)$$

Nous montrons dans les figures3.15 et 3.16 la caractéristique résultante (I_{scc}, V_{sco}) obtenue en associant en série (indice s) N_s cellules identiques (I_{cc}, V_{co}) :

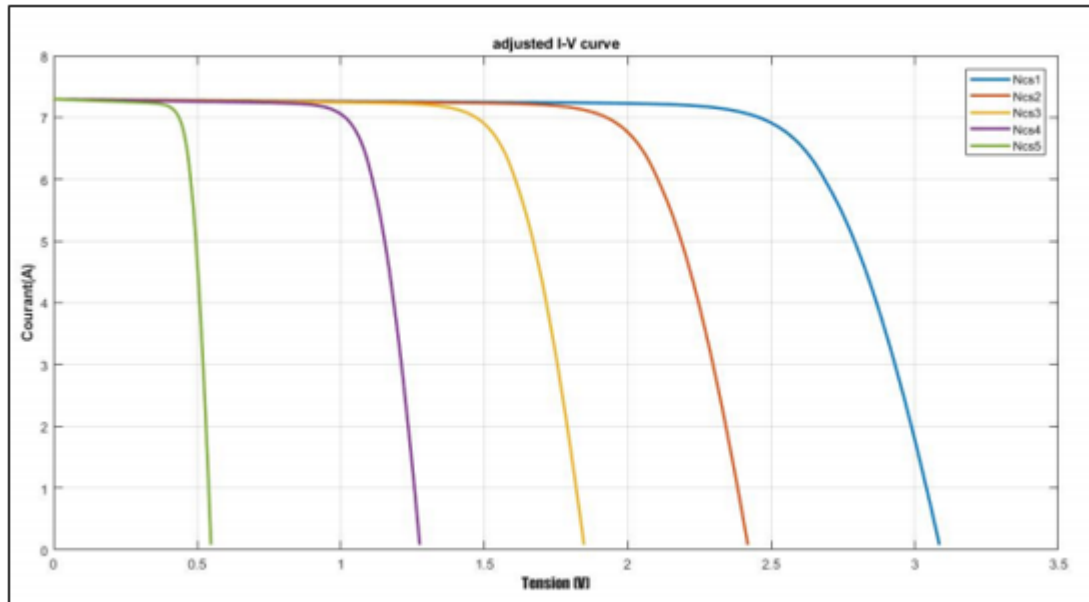


FIGURE 3.15: Caractéristique I-V des cellules photovoltaïques raccordées en série pour différent Ns[10].

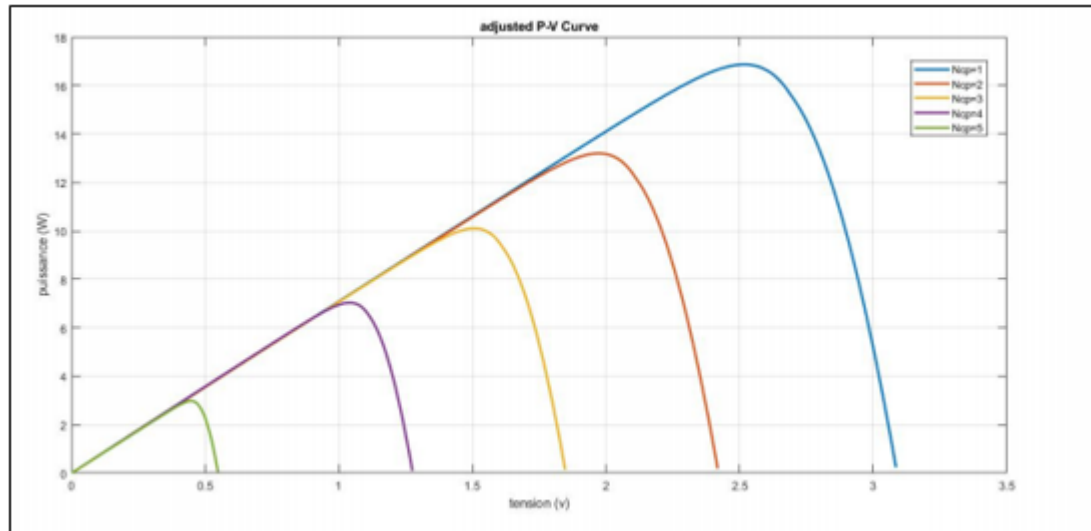


FIGURE 3.16: Caractéristique P-V des cellules photovoltaïques raccordées en série pour différent Ns[10]

Commentaire

D'après les résultats obtenus, nous remarquons lorsque le nombre des cellules en série augmente, la tension de circuit ouvert augmente alors la puissance augmente, sachant que l'association série des cellules Pv n'influe pas sur la valeur du courant de court-circuit.

Influence de l'association parallèle des cellules PV L'association parallèle de cellules solaires fournit un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celle d'une seule cellule(figure3.17).

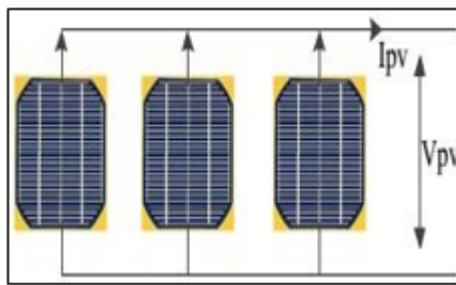


FIGURE 3.17: Association de N_p modules solaires en parallèle[10].

Et alors, l'équation(3.9) indique cette le courant et la tension l'association parallèle :

$$\begin{cases} I_{PCC} = N_p \cdot I_{cc} \\ V_{PCO} = V_{CO} \end{cases} \quad (3.9)$$

Nous montrons dans les figures3.18 et 3.19 les caractéristiques obtenues par l'association des N_p cellules PV en parallèle :

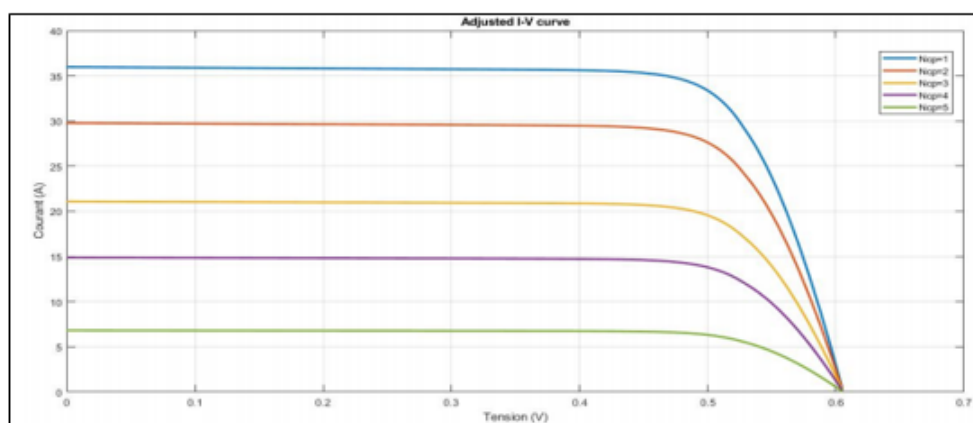


FIGURE 3.18: Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en parallèle[10].

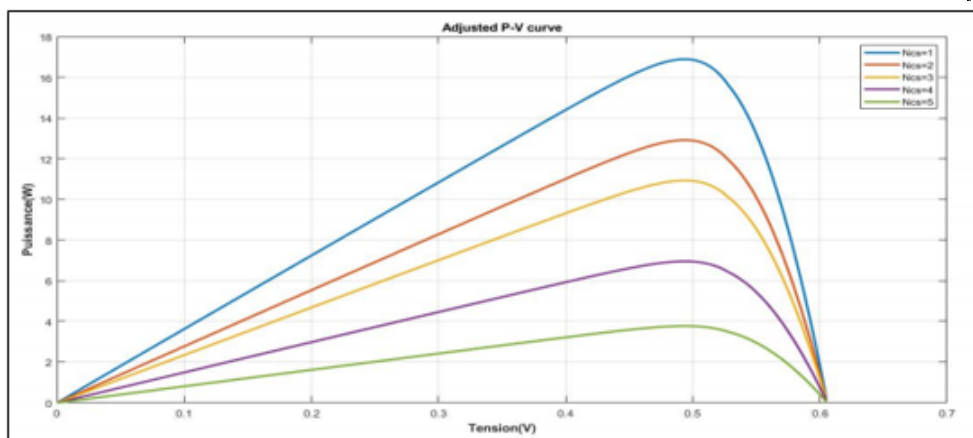


FIGURE 3.19: Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en parallèle[10].

Commentaire

Le courant de court-circuit et la puissance augmentent en fonction du nombre de cellules connectées en parallèle, par contre il n'influe pas sur la valeur de la tension de circuit ouvert

Influence de l'association mixte (Série et Parallèle) des cellules PV

Les figures 3.20 et 3.21 illustrent les caractéristiques (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en série/parallèle :

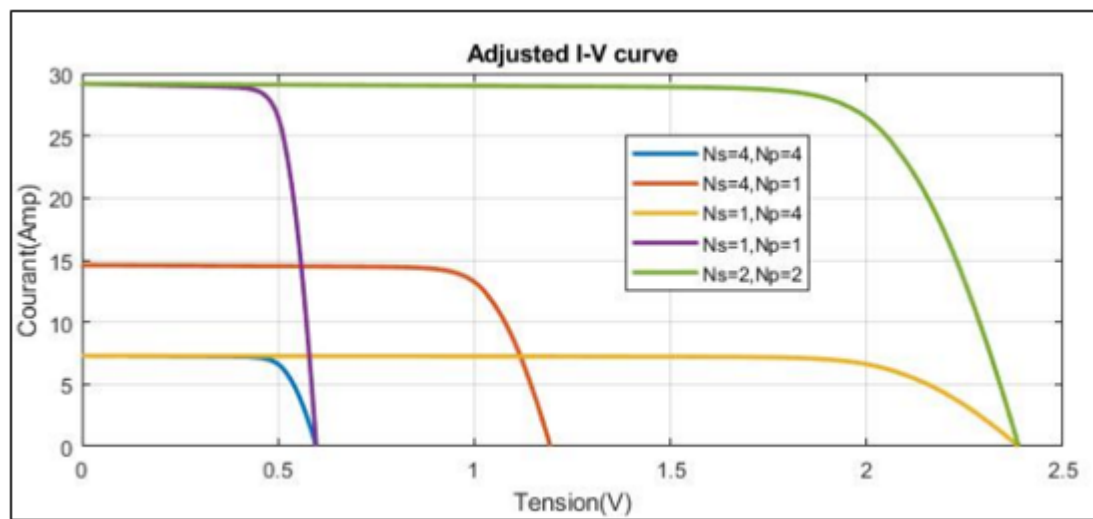


FIGURE 3.20: Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle $I=f(V)$.

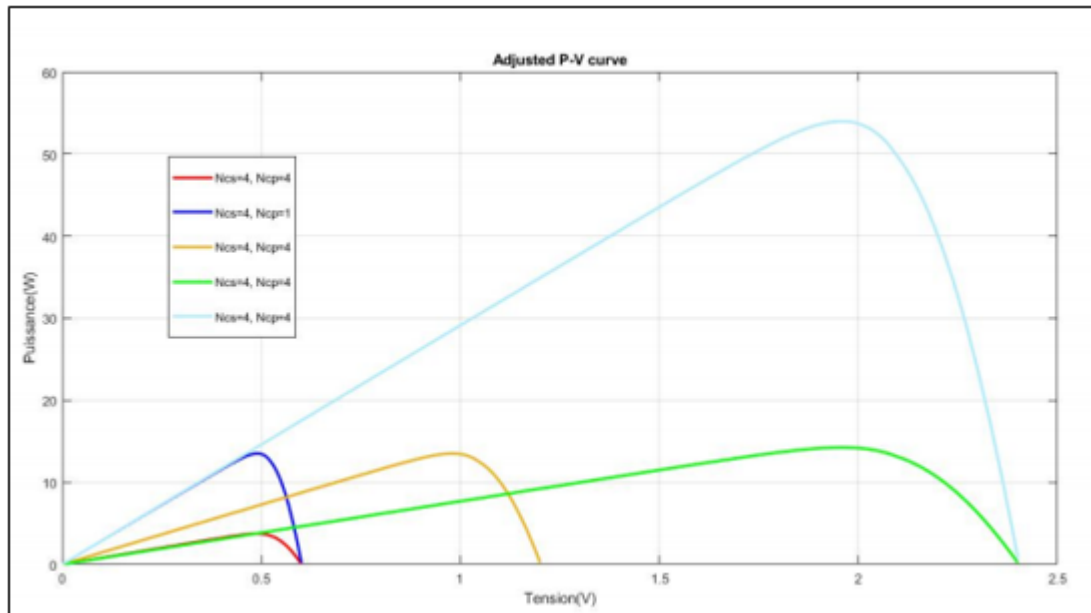


FIGURE 3.21: Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle $P=f(V)$ [10].

Commentaire

Nous remarquons que le courant de court-circuit et la tension de circuit ouvert augmentent proportionnellement avec le nombre de cellules série / parallèle, donc la puissance augment.

3.6 Les convertisseurs BOOST/BUCK

3.6.1 Convertisseur abaisseur (BUCK)

Un convertisseur abaisseur ou un hacheur en série est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur inférieure. Les composants clés sont l'inductance (L), le commutateur (transistor) (Q), la diode (D) et le condensateur (C) comme la figure 3.22 montre. Il est chargé par l'interrupteur (Q), qui maintient la tension sur ces bornes jusqu'à ce qu'il s'ouvre, provoquant la décharge de son énergie à travers la diode sur la charge pendant un cycle de service.

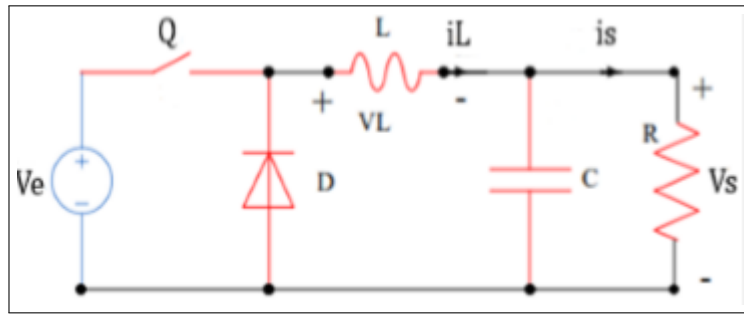


FIGURE 3.22: Schéma de convertisseur élévateur «BUCK»[11].

3.6.1.1 Principe de fonctionnement

Lorsque le point de fonctionnement du couplage direct se trouve sur le côté gauche du MPP, ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur de source de charge. Donc pour les deux modes de fonctionnement, nous avons :

Si T_{on} (Q fermé) Si le commutateur Q est activé à l'instant t_0 , le courant circulera dans le circuit, mais comme sa polarité est inversée, la diode D ne circulera pas comme la figure 3.23 montre.

Le courant i_L n'augmente pas immédiatement, mais augmente linéairement avec l'augmentation de l'inductance. Pendant ce temps, l'inducteur stocke l'énergie sous forme magnétique. L'équation (3.10) présente le courant de l'inductance et la tension de la sortie :

$$\begin{cases} \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_e - V_s}{L} \\ \frac{dV_s(t)}{dt} = \frac{I_L - I_s}{C} \end{cases} \quad (3.10)$$

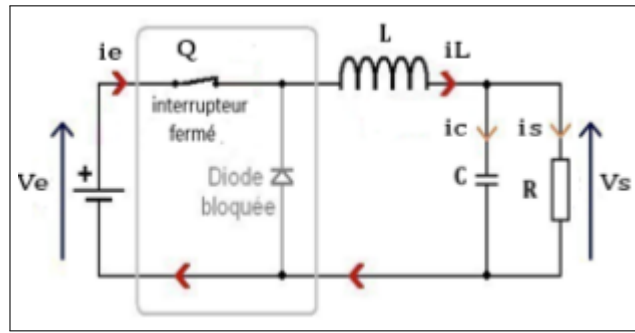


FIGURE 3.23: Circuit équivalent d'un convertisseur BUCK pour T_{on} [11].

Si T_{off} (**Q ouvert**) La figure 3.24 présente un circuit équivalent d'un convertisseur abaisseur à l'état ouvert de l'interrupteur, si Q est désactivé après $t = t_1$, la charge déconnecte de son alimentation. Cependant, le courant est maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers une diode D, appelée diode de roue libre (equation 3.11).

$$\begin{cases} \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{-V_s}{L} \\ \frac{dV_s(t)}{dt} = \frac{I_s - I_L}{C} \end{cases} \quad (3.11)$$

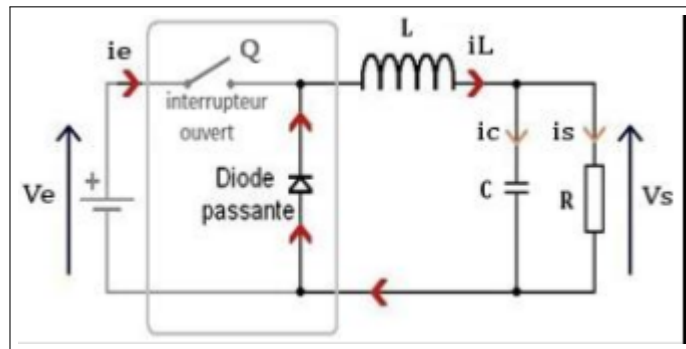


FIGURE 3.24: Circuit équivalent d'un convertisseur BUCK pour T_{off} [11].

La tension aux bornes de la charge est :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_s = \frac{T_{on}}{T} \cdot V_e \\ \text{Alors} \\ V_s = DV_e \end{array} \right. \quad (3.12)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{on} : \text{Le temps de conduction.} \\ T : \text{La période de découpage.} \end{array} \right.$$

La figure 3.25 représente la simulation des courants et tensions d'un convertisseur BUCK :

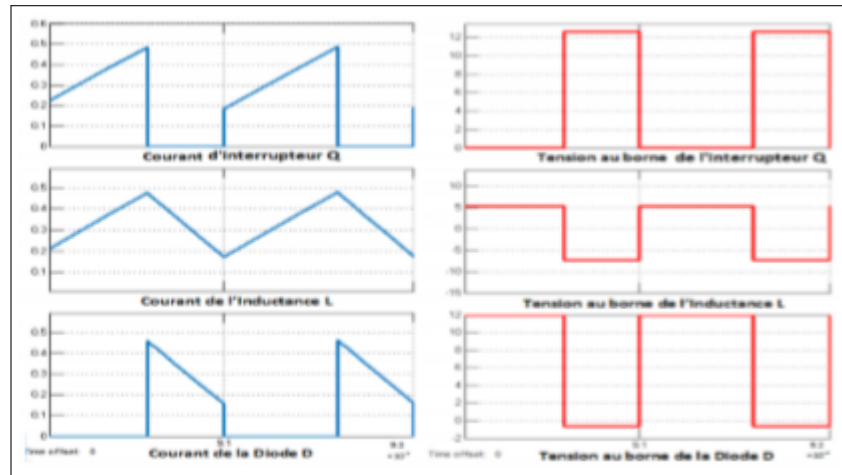


FIGURE 3.25: Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur BUCK[11].

3.6.2 Le convertisseur élévateur (BOOST)

Les convertisseurs BOOST ou hacheurs parallèles sont les convertisseurs les plus populaires dans les régulateurs de correction du facteur de puissance, la figure 3.26 illustre le schéma d'un convertisseur élévateur.

La caractéristique de ce convertisseur est que la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée.

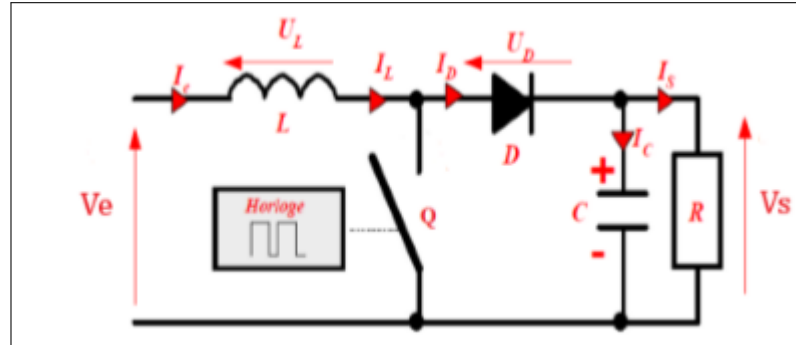


FIGURE 3.26: Schéma d'un convertisseur élévateur « BOOST »[11].

3.6.2.1 Principe de fonctionnement

Ce convertisseur peut fonctionner selon deux modes de fonctionnement en fonction de sa capacité de stockage d'énergie et de sa période de commutation H . Les deux modes de fonctionnement sont :

Mode continu : Dans ce cas, l'énergie stockée dans l'inductance L sera partiellement transférée, de sorte que le courant qui s'y trouve ne s'annulera pas.

Mode discontinu : Au contraire, dans ce cas, l'énergie stockée dans l'inductance L est complètement transférée, annulant ainsi le courant qui s'y trouve.

Dans notre étude, la recherche est basée sur le mode de conduction continue, et le travail du circuit peut être divisé en deux parties selon l'intervalle de commutation (T_{on} , T_{off}).

Si T_{on} (Q est fermé : $0 < t < DT$)

La figure 3.27 montre que , lorsque l'interrupteur est fermé, si le condensateur C est omis, la tension de la charge tombe immédiatement à zéro. Le courant du circuit i_L traverse l'inductance L et augmente, selon l'équation(3.13) :

$$\begin{cases} \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{-V_e}{L} \\ \frac{dV_s(t)}{dt} = \frac{-I_s}{C} \end{cases} \quad (3.13)$$

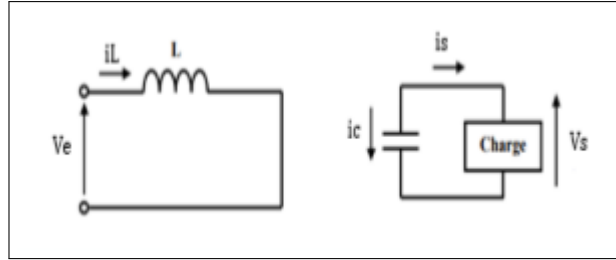


FIGURE 3.27: Circuit équivalent d'un convertisseur BOOST pour T_{on} [11].

Si T_{off} (Q est ouvert : $DT < t < T$)

La figure 3.28 présente un circuit équivalent de convertisseur BOOST pour T_{off} , tel que le courant I_L induit par l'inductance lorsque la diode D est passante. Par conséquent, l'énergie emmagasiné dans l'inductance est transférée vers le condensateur. Ensuite, le courant diminue progressivement car : $V_s > V_e$.

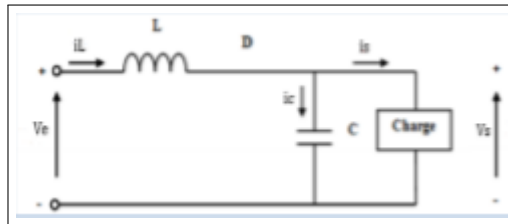


FIGURE 3.28: : Circuit équivalent d'un convertisseur BOOST pour T_{off} [11].

Après l'activation de l'interrupteur, la diode D empêche le condensateur C pour éviter son décharger. Nous supposons que le condensateur est suffisamment grand pour lisser la tension de la charge. La tension de charge est :

$$\left\{ V_s = \frac{V_e}{1-D} \right. \quad (3.14)$$

La figure3.29 représente la simulation des courants et tensions d'un convertisseur BOOST :

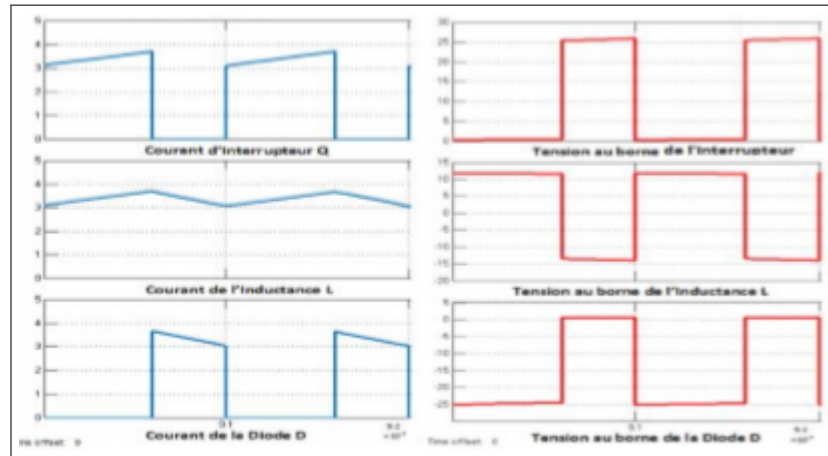


FIGURE 3.29: Formes d'onde des courants et tensions d'un convertisseur BOOST[11].

3.6.3 Modélisation du hacheur BOOST

Le modèle mathématique du hacheur parallèle est obtenu en appliquant les lois de Kirchhoff, son fonctionnement dépend à l'état de l'intercepteur S [11]. La figure3.30 représente le circuit équivalent d'un hacheur parallèle.

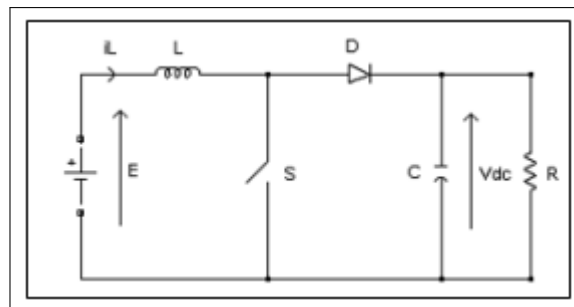


FIGURE 3.30: Schéma de principe d'un hacheur parallèle[11].

Nous savons que :

$$\begin{cases} I_L = I_e \\ I_s = (1 - D)i_L \\ V_e = (1 - D)V_{dc} \end{cases} \quad (3.15)$$

La valeur de sortie dans hacheur BOOST (I_s et V_s) est connectée à la valeur d'entrée (V_{pv} et I_{pv}) en fonction du rapport cyclique D du signal, et le signal commande le commutateur du convertisseur à travers le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} V_s = \frac{V_e}{1-D} = \frac{V_{pv}}{1-D} \\ I_s = (1 - D)I_e = (1 - D)I_{pv} \\ D = 1 - \frac{V_{pv}}{V_s} \\ R = \frac{(V_s)^2}{P_s} \\ I_L = \frac{V_s}{R(1-D)} \\ \Delta I_L = \left[\frac{I_L(D.T_s)}{2} \right] - I_L(0) \\ L = \frac{V_{pv}}{2.\Delta I_L.F} \cdot D \\ C = \frac{V_s}{2.\Delta V_s.R.F} \cdot D \end{cases} \quad (3.16)$$

Avec :

L : L'inductance de la bobine en [H].

C : La capacité du condensateur en [F].

R : La résistance de la charge en [Ω].

D : rapport cyclique.

ΔI_L :L'ondulation du courant.

F : La fréquence du découpage .

3.7 La commande MPPT

La connexion d'une charge à un générateur photovoltaïque est la méthode de combinaison la plus simple. Dans ce cas, le point de fonctionnement se situe à l'intersection de la ligne de charge et de la caractéristique I-V du générateur. Ce point ne peut pas correspondre au point de puissance maximum, il suit la perte de puissance maximum du système.

Ce problème peut être résolu en modifiant la configuration du générateur photovoltaïque ou en ajoutant un détecteur de point de puissance maximale placé entre le générateur et la charge pour obtenir une adaptation d'impédance. Une utilisation optimale de l'énergie électrique disponible aux bornes du générateur photovoltaïque peut contribuer à réduire le coût total du système. Il existe plusieurs techniques pour atteindre cet objectif. Un MPPT (Maximum Power Point Tracker), est un principe qui permet de suivre le point de puissance maximum d'un générateur électrique non linéaire. Les systèmes MPPT sont souvent associés à des générateurs photovoltaïques.

3.7.1 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque

Le suivi du point de puissance maximale (MPPT) est un élément essentiel des systèmes photovoltaïques. Depuis 1968, date à laquelle la première loi de contrôle de ce type a été publiée, diverses techniques ont été développées qui sont adaptées à une source d'énergie renouvelable comme le PV. Ces techniques diffèrent les unes des autres par leur complexité, le nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, le coût, l'efficacité et le domaine d'application[19].

3.7.2 Principe du MPPT

Par définition, une commande MPPT associée à une étape d'adaptation intermédiaire permet de faire fonctionner un GPV pour générer en continu sa puissance maximale. Par conséquent, quelles que soient les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du transducteur place le système au point de fonctionnement maximal (VPPM et IPPM). La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée grâce à un convertisseur statique (CS) piloté par un MPPT. Cela peut être illustré par le diagramme de la figure3.31.

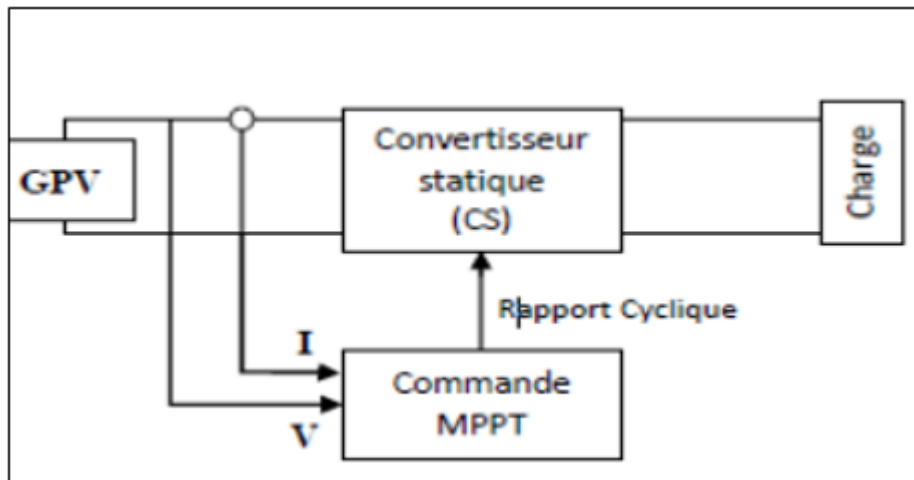


FIGURE 3.31: Chaîne de conversion d'énergie solaire d'un PV avec convertisseur commandé par MPPT[10].

La commande MPPT modifie le cycle de service du convertisseur statique (CS) en utilisant un signal électrique approprié pour obtenir la puissance maximale que le GPV peut fournir.

L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour trouver le MPP. En général, il est basé sur le changement du rapport cyclique du CS avec l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et donc la puissance du GPV) jusqu'à ce qu'il soit placé dans le MPP(voir annexe1).

Le premier système d'alimentation MPPT a été introduit pour un système spatial en 1968. Au fil des années, divers algorithmes (MPPT) ont été développés et largement adaptés pour déterminer la puissance maximale.

La littérature est riche en diverses techniques MPPT telles que la perturbation et l'observation (P&O), la conductivité incrémentale, les réseaux de neurones et la logique floue. Ces méthodes dépendent de leur complexité, des différentes topologie ,etc. Ça dépend. Cependant, le but de ces techniques est d'optimiser l'efficacité du système PV[13].

Dans notre étude, nous avons choisi la méthode Perturbation et Observation pour la recherche de point de puissance maximale.

3.7.3 Méthode de perturbation et d'observation (P&O)

Il s'agit de l'algorithme de suivi PPM le plus utilisé. Comme son nom l'indique, il est basé sur une panne du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} ou affectant directement le cycle de service du convertisseur DC-DC, puis en observant les effets sur ces distorsions c'est-à-dire la puissance de sortie du panneau. Si la valeur $P(k)$ de la puissance actuelle du panneau est supérieure à la valeur $P(k-1)$ précédente, donc il conserve la direction de décroissance précédente, sinon nous inversons la distorsion de la boucle précédente.

Nous pouvons dire que La méthode P&O fonctionne avec les perturbations de tension V_{pv} et en observant l'effet de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV, comme la figure 3.32 illustre :

La Figure3.33 montre l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O dans lequel le changement de puissance est analysé après chaque coupure de tension. Pour ce type de contrôle, deux capteurs (courant et tension GPV) sont nécessaires

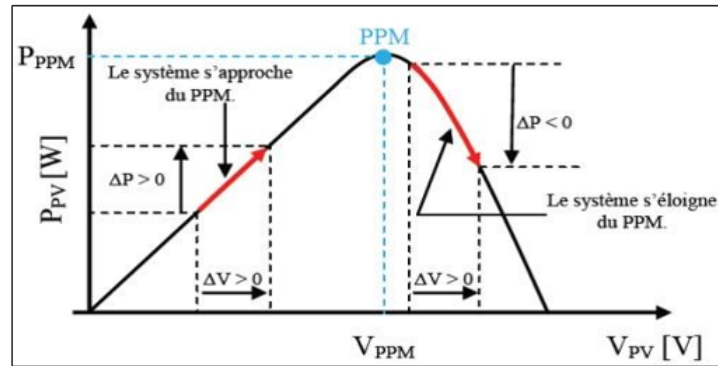


FIGURE 3.32: Caractéristique PPV (VPV) d'un panneau solaire[12].

pour déterminer la puissance PV à tout moment.

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée en raison de sa facilité de mise en œuvre, mais elle pose quelques problèmes avec les oscillations autour du PPM qu'elle génère à l'état stationnaire car la procédure de recherche PPM doit être répétée périodiquement et sollicite le système. Pour libérer définitivement lorsque PPM est atteinte.

Ces oscillations peuvent être minimisées en abaissant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une valeur d'augmentation faible ralentit la recherche PPM, il doit donc y avoir un compromis entre précision et vitesse. Cela rend difficile l'optimisation de cette commande.

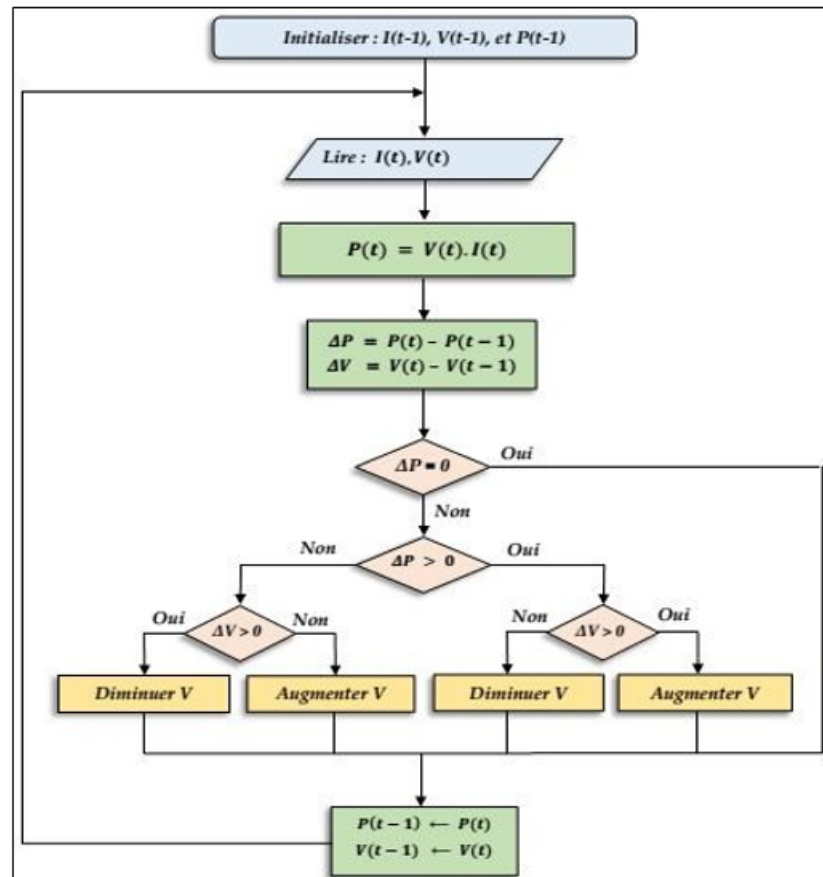


FIGURE 3.33: Organigramme de la méthode (P&O)[13].

3.8 Le redresseur Triphasé

La figure3.34 présente un redresseur triphasé qui se compose de six IGBT avec six diodes antiparallèles pour assurer la continuité du courant, et tous ces éléments sont considérés comme des commutateurs idéaux[20].

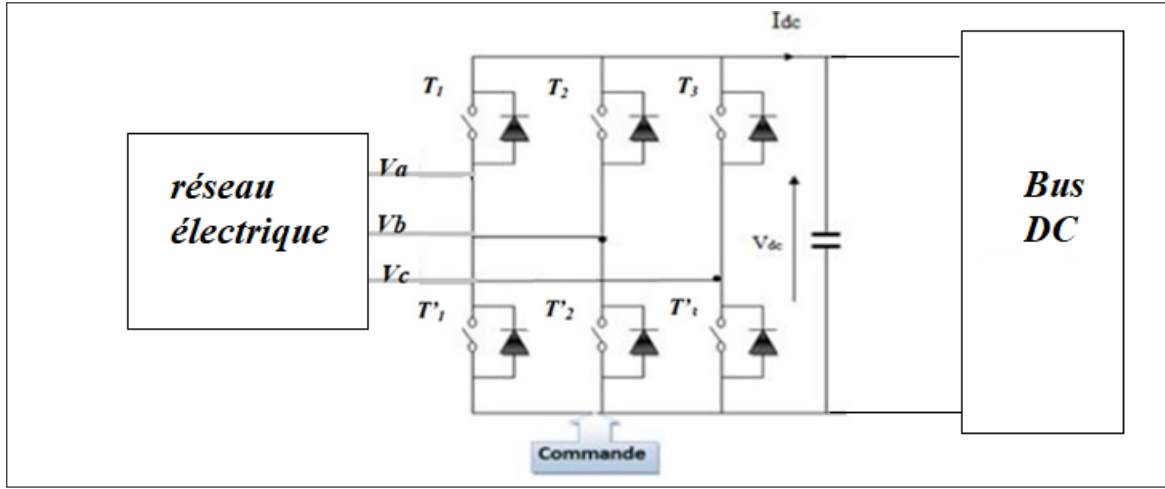


FIGURE 3.34: Schéma de l'association Redresseur triphasé raccordé avec une charge.

Premièrement, nous définissons la fonction logique de connexion comme la suite :

Si

$$\begin{cases} 1 & \text{si } T_i \text{ est ferme et } T'_i \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{si } T_i \text{ est ouvert et } T'_i \text{ est ferme} \end{cases}$$

Nous donnons les tensions entre les lignes par l'équation(3.17) :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{dc} \cdot (S_a - S_b) \\ V_{bc} = V_{dc} \cdot (S_b - S_c) \\ V_{ac} = V_{dc} \cdot (S_a - S_c) \end{cases} \quad (3.17)$$

La relations3.18 exprime les tensions simples V_{an} , V_{bn} , V_{cn} en connaissant l'état de chaque interrupteur :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Ainsi que le courant redressée est donné par :

$$I_{dc} = \begin{bmatrix} S_a & S_b & S_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Avec :

V_{an}, V_{bn}, V_{cn} : tension de référence [V].

V_{dc} : Tension de bus continu [V].

I_{dc} : Courant modulé par le redresseur [A].

S_a, S_b, S_c : Fonctions logiques correspondant à l'état de l'amorçage.

3.9 Modélisation du bus continu

L'association des deux chaînes de conversion, photovoltaïque et réseau électrique se fait avec un bus DC comme illustré la figure 3.35. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir un modèle mathématique de ce circuit.

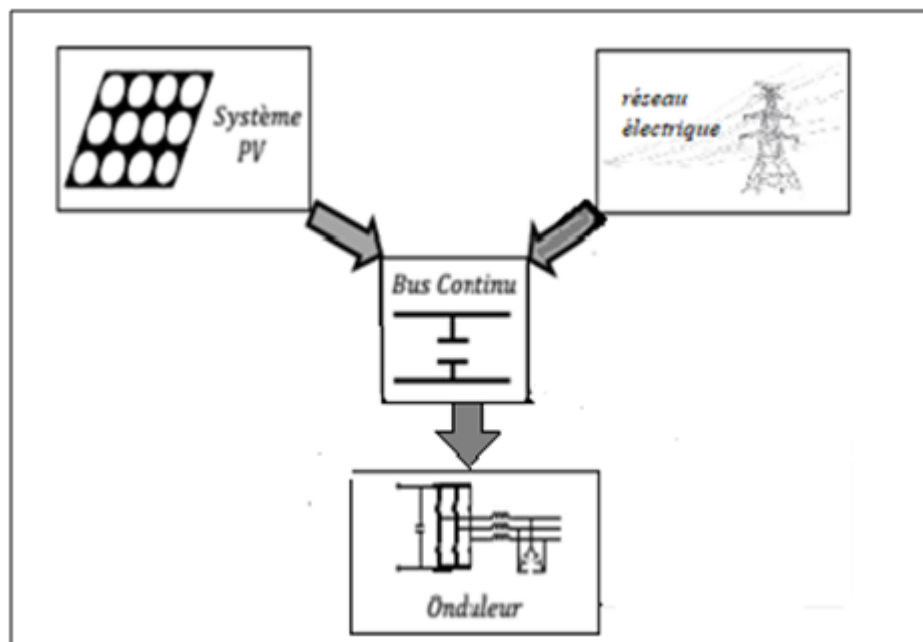


FIGURE 3.35: Couplage des systèmes photovoltaïque et réseau électrique par le bus continu.

Généralement, dans la modélisation, le bus DC est considéré comme un condensateur visant à redresser la tension. Une fois que tous les modèles de base ont été définis, nous avons effectué la connexion des sources selon la configuration du bus DC. La puissance fournie par chaque source est centralisée sur le bus de courant continu comme le montre la figure3.36. Le courant de bus DC I_{dc} est donnée par les relation(3.20 et 3.21) :

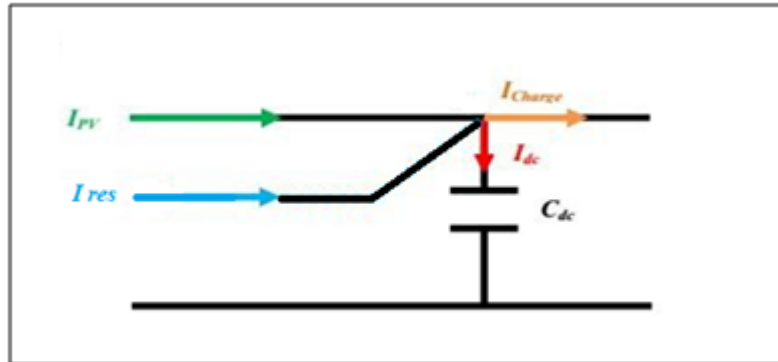


FIGURE 3.36: Modèle du bus continu.

$$I_{dc} = C \frac{dV_{dc}}{dt} \quad (3.20)$$

$$I_{dc} = I_{pv} + I_{res} \quad (3.21)$$

avec :

I_{pv} :le courant du système PV.

I_{res} :le courant de réseau électrique.

I_{charge} :le courant de la charge.

3.10 Modélisation de l'onduleur triphasé

La connexion entre le bus DC et la charge se fait à l'aide d'un convertisseur de tension triphasé comme la figure 3.37 illustre. Un filtre de sortie est nécessaire pour éliminer les harmoniques générées par l'onduleur en raison de la commutation.

Le convertisseur de tension à modulation de largeur d'impulsion (PWM) est un convertisseur statique DC-AC composé de cellules de commutation pour grandes puissances, généralement des transistors IGBT ou des thyristors GTO. Il contient trois paires avec deux interrupteurs pour chacun. Chaque interrupteur est monté en parallèle avec une diode de récupération pour assurer la continuité des courants.

Pour simplifier la modélisation et réduire le temps de simulation, l'onduleur est modélisé à l'aide d'une série d'interrupteurs idéaux : c'est-à-dire résistance nulle à l'état ouvert, résistance infinie à l'état fermé, contrôle de réponse instantanée aux signaux.

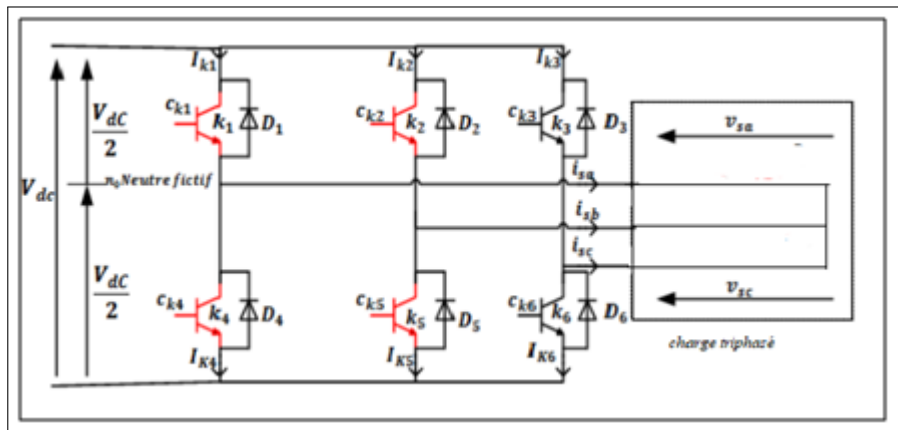


FIGURE 3.37: Schéma de l'onduleur de tension triphasée alimentant une charge triphasée.

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour modéliser l'onduleur[21] :

- La transition des transistors est instantanée.
- La chute de tension entre les interrupteurs est négligée.
- L'onduleur fournit une charge triphasée, équilibrée, connectée en étoile avec un neutre isolé.

Nous exprimons les tensions simples en fonction des tensions composés u_{sab} , u_{sbc} et u_{sca} par les relations (3.22) :

$$\begin{cases} V_{sa} = \frac{1}{3}(u_{scb} - u_{sca}) \\ V_{sb} = \frac{1}{3}(u_{sbc} - u_{sca}) \\ V_{sc} = \frac{1}{3}(u_{sca} - u_{sbc}) \end{cases} \quad (3.22)$$

Les diodes $D_i = 1, 2, 3, \dots, 6$ son utilisées pour protéger les transistors et assurer la récupération d'énergie.

De plus, diverses méthodes sont utilisées pour contrôler les commutateurs d'un onduleur. La stratégie la plus utilisée est la modulation de largeur d'impulsion (MLI), il existe plusieurs méthodes de cette stratégie mais dans notre cas nous utilisons MLI vectorielle. Les principes de la technique MLI sont les suivants :

- Le signal de référence est échantillonné sur les intervalles T (PWM normal).
- Pour chaque phase, période (MLI symétrique) sa valeur moyenne est égale à la valeur de la tension de référence dans le temps d'échantillonnage.
- Toutes les touches du même demi-point ont le même état au centre et au centre les deux fins de période.

L'avantage de ce type de PWM vectoriel est qu'il ne repose pas non plus sur des calculs pour chaque branche de l'onduleur, mais à la demande d'un vecteur de commande général elle est approximée sur un temps de modulation T_m .

Nous proposons C_{k1}, C_{k2}, C_{k3} les signaux logiques de commande des transistors k1, k2, k3 respectivement. Nous avons :

$$C_{k1} = 1 \text{ si } \begin{cases} \text{l'interepteur en haut d'un bras est ferme} \\ \text{l'interrepteur en bas est ouvert.} \end{cases}$$

$$C_{k1} = 0 \text{ si } \begin{cases} \text{l'interepteur en haut d'un bras est ouvert} \\ \text{l'interrepteur en bas est ferme} \end{cases}$$

Et alors :

$$V_{sabc} = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{k1} \\ C_{k2} \\ C_{k3} \end{bmatrix} = V_{dc}[T_s][C_k] \quad (3.23)$$

$$\text{Ou : } [C_k] = \begin{bmatrix} C_{k1} & C_{k2} & C_{k3} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [T_s] = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \text{ Pour contrôler les}$$

interrupteurs de l'onduleur, nous avons besoin de huit vecteurs dont six baies actives qui alimentant la charge. Ceux-ci définissent les six vecteurs de tension de sortie de l'onduleur, $V_i =_{1,2,\dots,6}$. Les deux séquences restantes sont des séquences en rotation libre et définissent deux vecteurs de tension nulle V_0 et V_7 .

Le but de la technique MLI vectorielle est de calculer la tension de commande par une combinaison de ces huit vecteurs de tension (V_0 à V_7) que l'onduleur peut offrir. À tout moment, le vecteur de la sortie peut être approximée par une combinaison linéaire de deux de ces six vecteurs non nuls.

3.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le logiciel utilisé dans la modélisation des composants du notre système hybride par établir les modèles mathématiques pour chaque composant.

Premièrement, nous avons commencé par la chaîne photovoltaïque et leur convertisseur (hacheur de type BOOST et BUCK) associée, nous avons aussi étudié l'influence des paramètres externes sur le comportement et le fonctionnement du système photovoltaïque.

Par la suite, nous avons modélisé deux convertisseurs statiques DC / DC et AC / DC en tenant compte la simplicité de la formulation offerte par la modélisation dans le logiciel MATLAB.

Et comme ces systèmes sont connectés via un bus DC, un modèle de ce dernier a été décrit. L'étude d'interface entre le bus DC et la charge est réalisée en modélisant l'onduleur.

Notre système hybride est conçu pour générer une puissance continue indépendamment des prises de courant intermittentes des alimentations photovoltaïque et réseau électrique. Le système photovoltaïque est contrôlé pour fonctionner à des points de puissance maximale dans différentes conditions.

Chapitre **4**

Simulation du système hybride

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus après avoir simulé les deux sous-systèmes : PV , réseau et les convertisseurs statiques puis simulé le système hybride, dans le but de gérer les puissances ,contrôlant ainsi la compensations entre les composants du système.

Le programme de simulation a été mis au point pour prédire le comportement du système. Cette simulation a été effectuée avec des données d'entrées nécessaires pour valider le bon fonctionnement qui sont :

- La charge.
- L'irradiation et la température ambiante.

4.2 Résultat de simulation

Pour prouver la conception du système hybride proposée. La simulation de ce système a été diviser en sous-systèmes :

- Simulation du convertisseur statique .
- Simulation du générateur PV.
- Simulation du réseau électriques .
- Simulation du système globale.

4.2.1 La simulation des convertisseurs statiques(BOOST,BUCK)

4.2.1.1 Simulation d'un hacheur élévateur(BOOST)

Pour montrer le rôle des convertisseurs élévateur(BOOST), nous avons utilisé le logiciel Matlab pour la simulation. La figure4.1 présente le schéma bloc d'un hacheur BOOST.

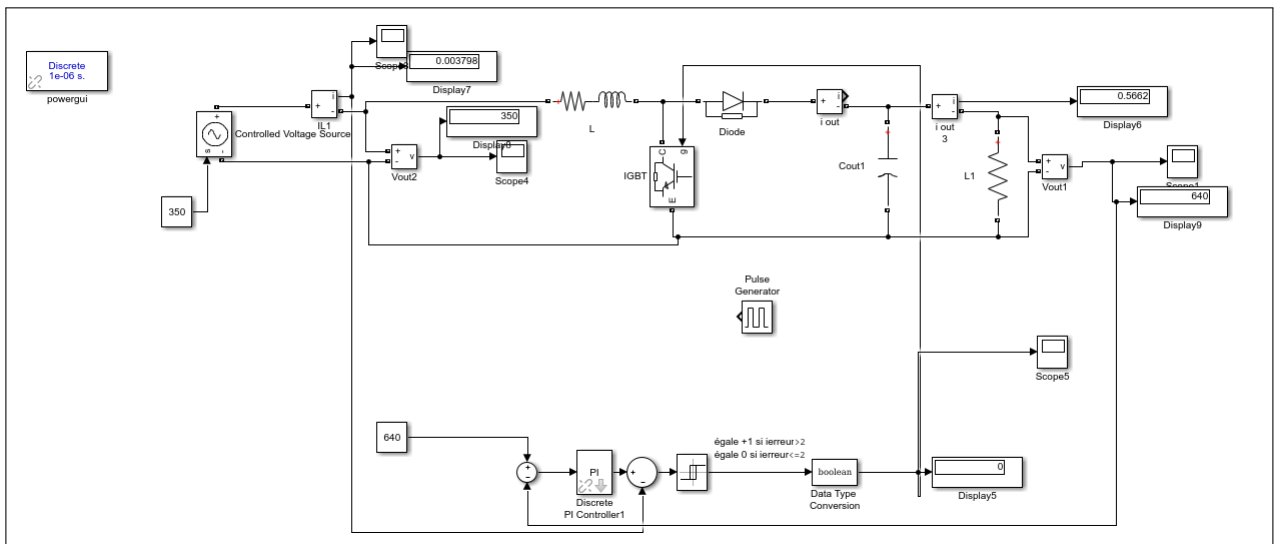


FIGURE 4.1: Schéma bloc d'un convertisseur élévateur.

La figure4.2 représente la tension d'entrée et de sortie de l'hacheur :

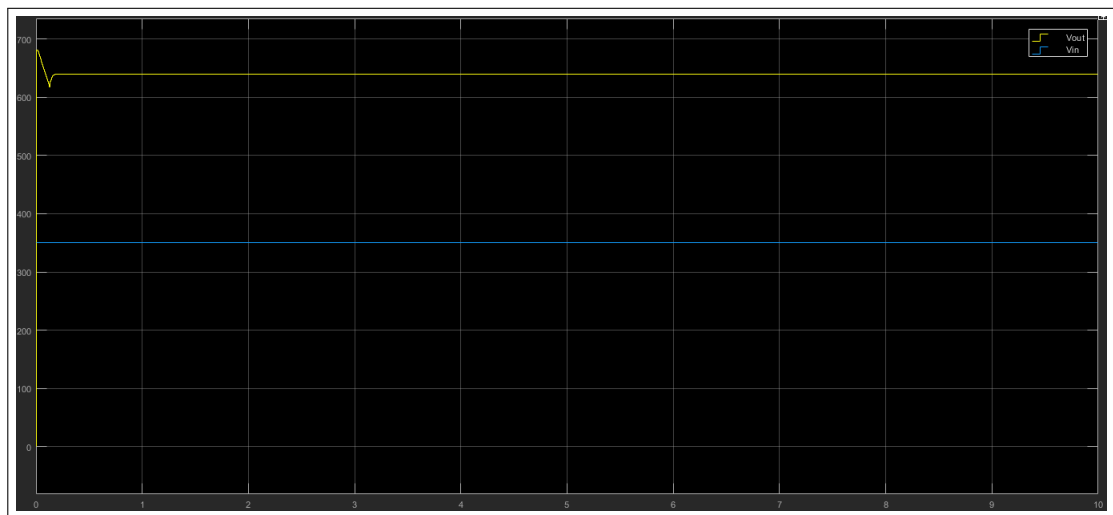


FIGURE 4.2: Caractéristique de la tension de sortie et d'entrée du hacheur BOOST.

Commentaire

La simulation montre que la tension de sortie d'hacheur élévateur (BOOST) est supérieure à celle d'entrée. Alors, il effectue correctement son rôle. La tension de sortie subit un régime transitoire oscillant puis se stabilise en régime permanent.

4.2.2 Simulation du convertisseur statique abaisseur(BUCK)

Le schéma bloc du convertisseur BUCK est représenté sur la figure 4.3 : La simu-

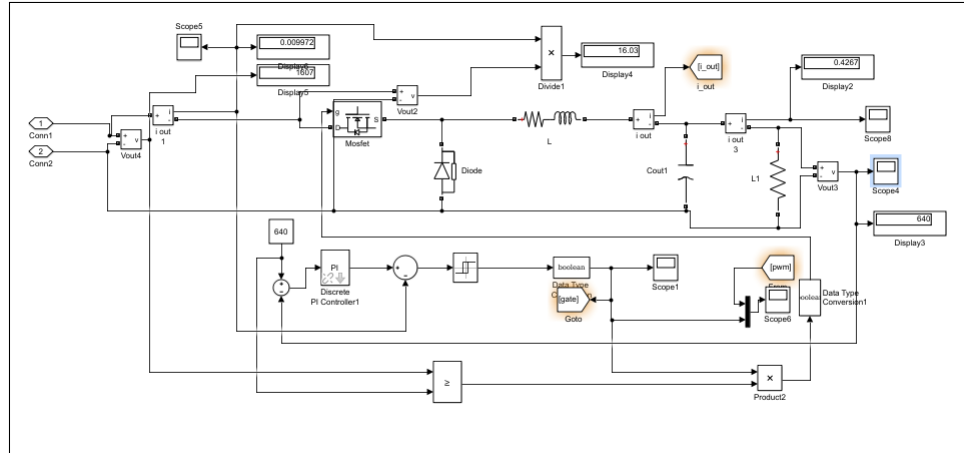


FIGURE 4.3: Le schéma de bloc du convertisseur abaisseur(BUCK).

lation de la tension de sortie et d'entrée de convertisseur est illustré dans la figure4.4.

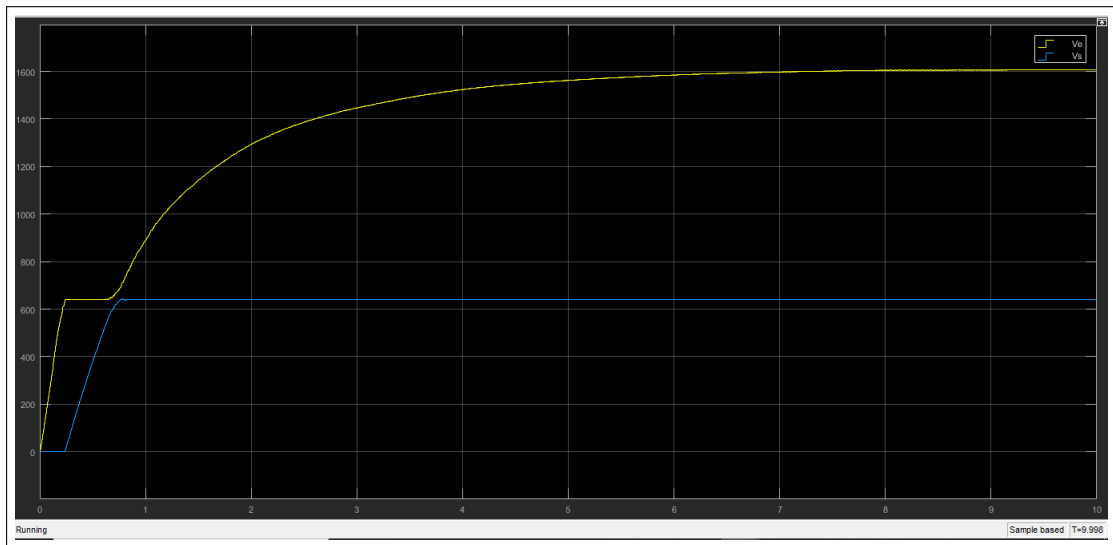


FIGURE 4.4: L'allure de tension d'entrée et du sortie de BUCK.

Commentaire

La figure montre que la tension de sortie d'hacheur abaisseur (BUCK) est inferieure à celle d'entrée. Alors, il effectue correctement son rôle.

4.3 Simulation du générateur PV

Pour ce faire, nous avons utilisé un profil d'ensoleillement varie entre 800 et 1000 W/m^2 et une température de 25 ° C comme le montre la figure4.5.

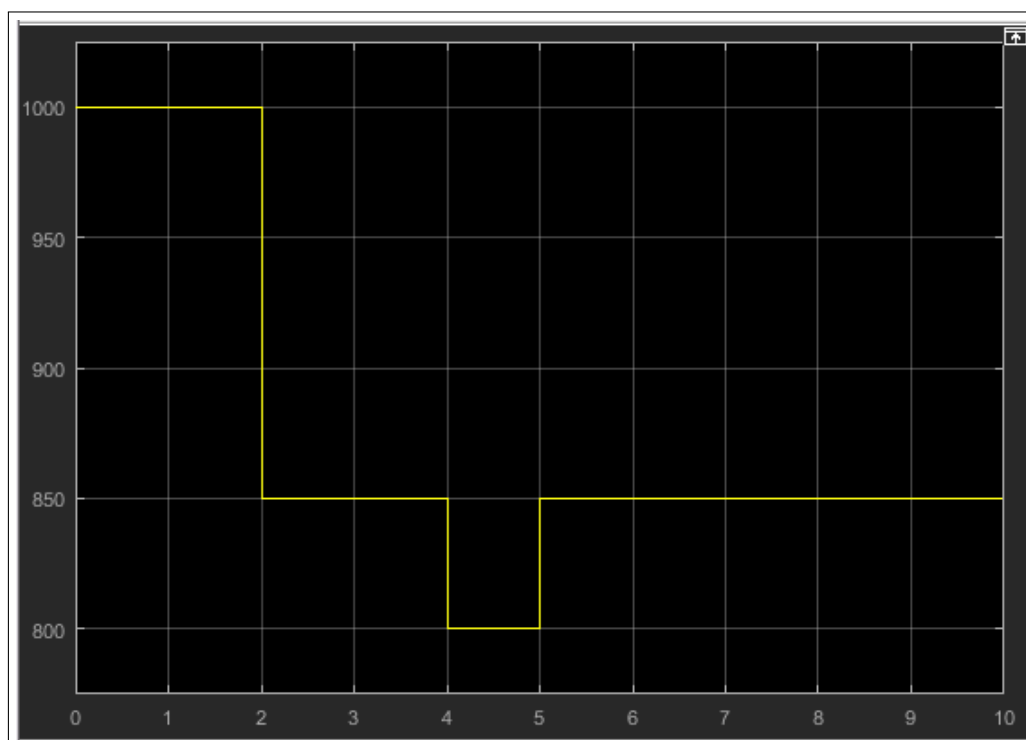


FIGURE 4.5: Rayonnement d'un panneau solaire.

Commentaire

Cette figure indiquée la variation de rayonnement solaire en fonction du temps :la température étant fixée à $T=25$ ° C, durant la 2 ème seconde, l'éclairement est rapidement diminué de 1000 à 850 W/m^2 , Puis , il est progressivement diminué de 850 à 800 W/m^2 à partir de la 4ème seconde a cause de l'effet d'ombrage ,ensuite , il augment à 850 W/m^2 à partir $t= 5s$.

4.3.1 La connexion directe entre PV et une charge

La figure4.6 présente la simulation d'un générateur PV avec une charge :

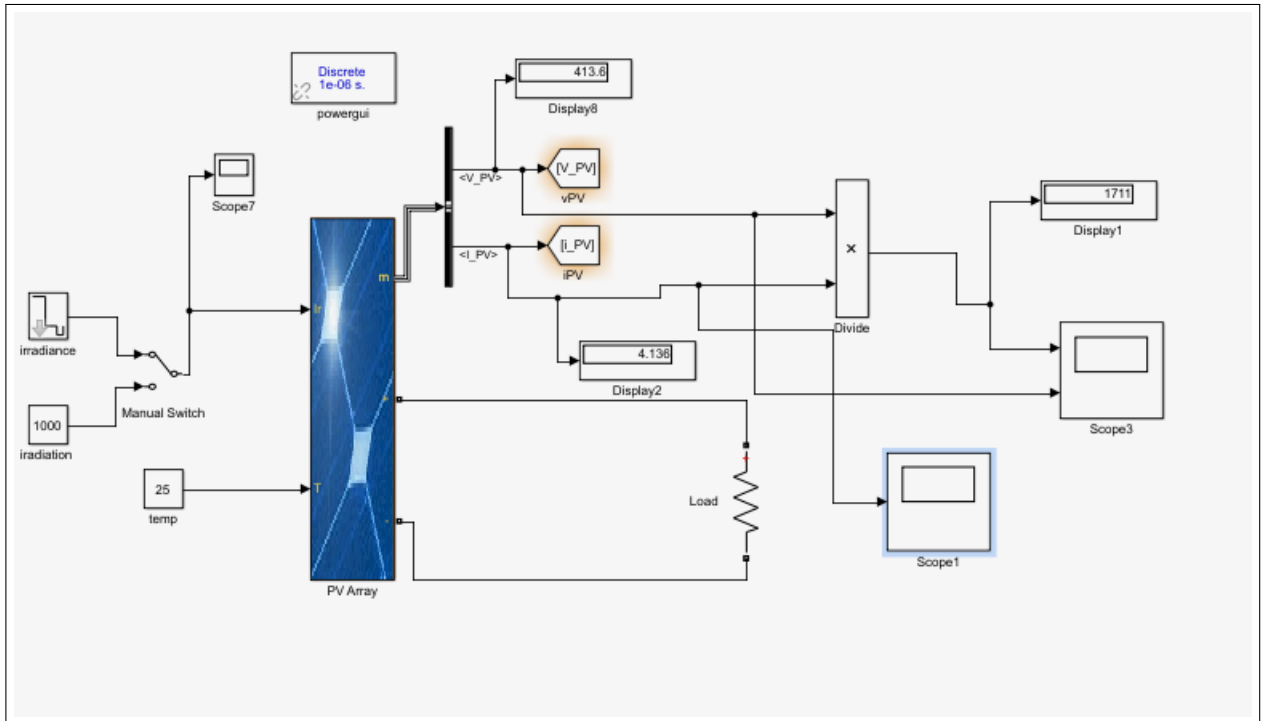


FIGURE 4.6: le schéma bloc d'un Pv connecté directement avec la charge.

Les résultats obtenues de cette simulation sont illustrés dans la figure4.7.

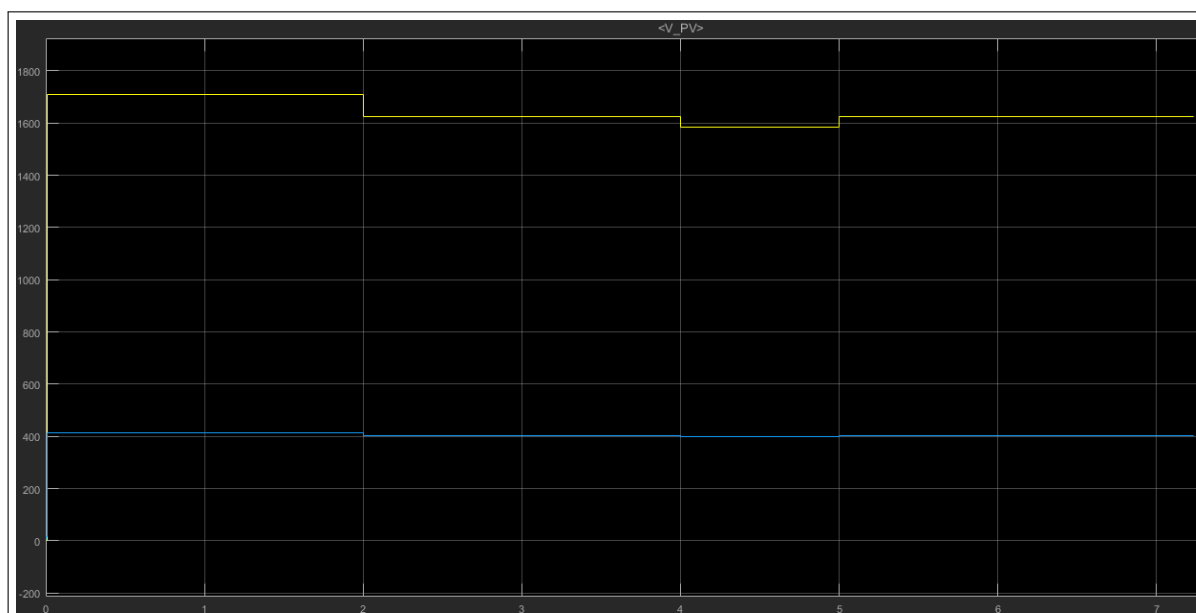


FIGURE 4.7: L'allure de la tension et la puissance de la charge.

Commentaire

Après la simulation du GPV, nous avons remarqué que, la puissance, le courant et la tension délivrés par le GPV sont non réglable, nous pouvons constater que le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté, donc le GPV est mal exploité.

De plus , selon les caractéristiques de la charge où le GPV débite ,nous pouvons trouver un grand écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférer à la charge en mode connexion directe, la différence étant perdue sous forme de chaleur dissipé dans le générateur.

4.3.2 Simulation du générateur PV sans la commande MPPT

La figure4.8 présente la simulation d'un générateur PV raccordé avec un hacheur boost non commandé, dans le but d'avoir l'intérêt de la commande MPPT.

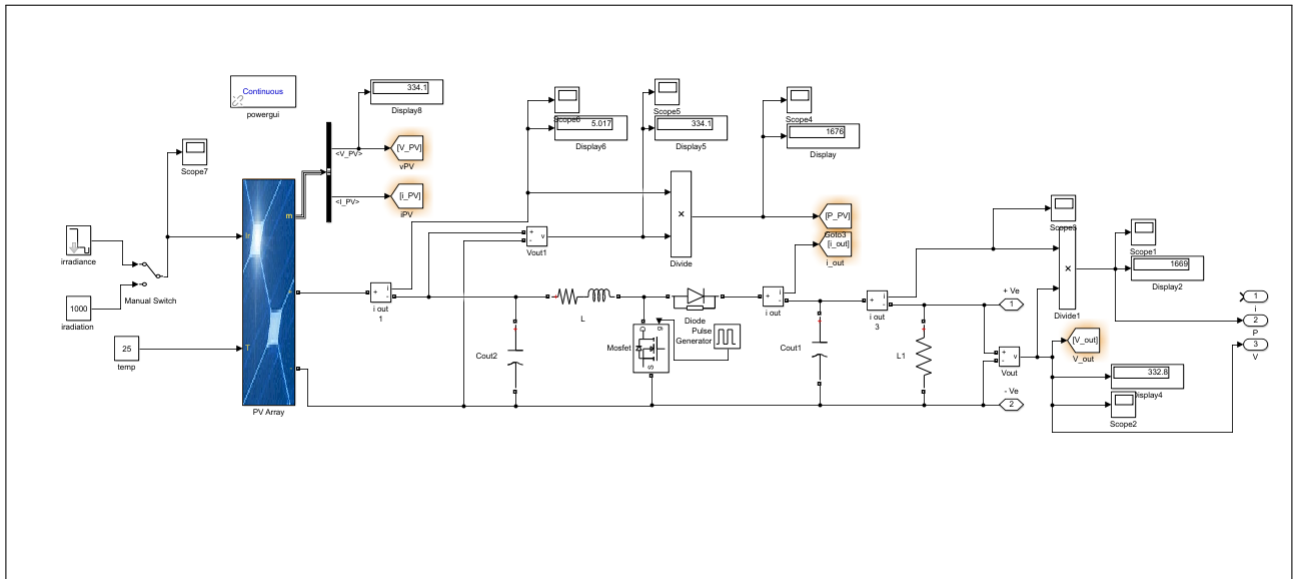


FIGURE 4.8: Le schéma bloc de PV raccordée avec BOOST sans commande MPPT.

La figure 4.9 et la figure4.10 montre les résultats de la simulation.

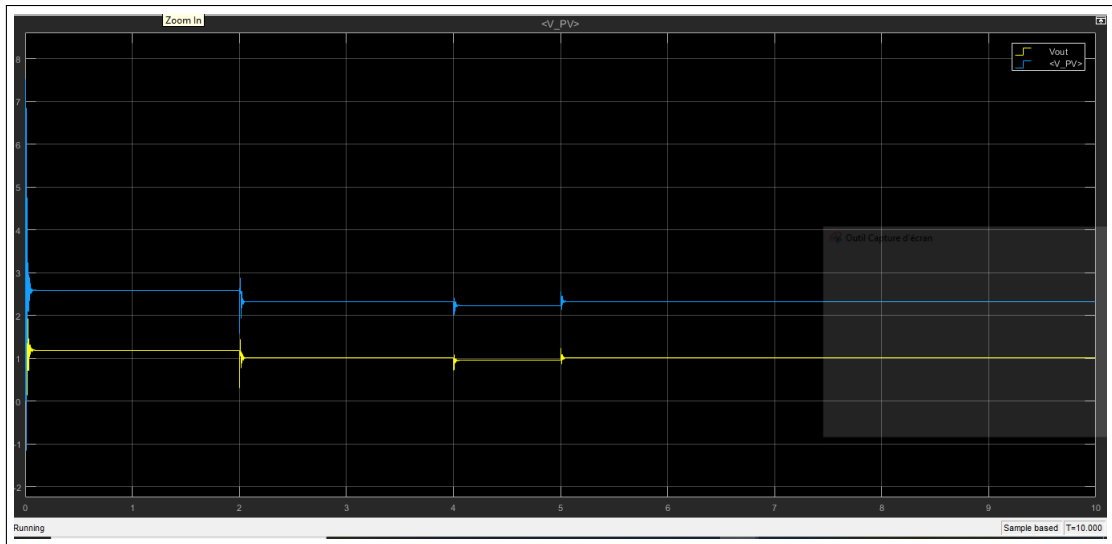


FIGURE 4.9: l'allure de tension d'entrée et sortie du BOOST sans MPPT

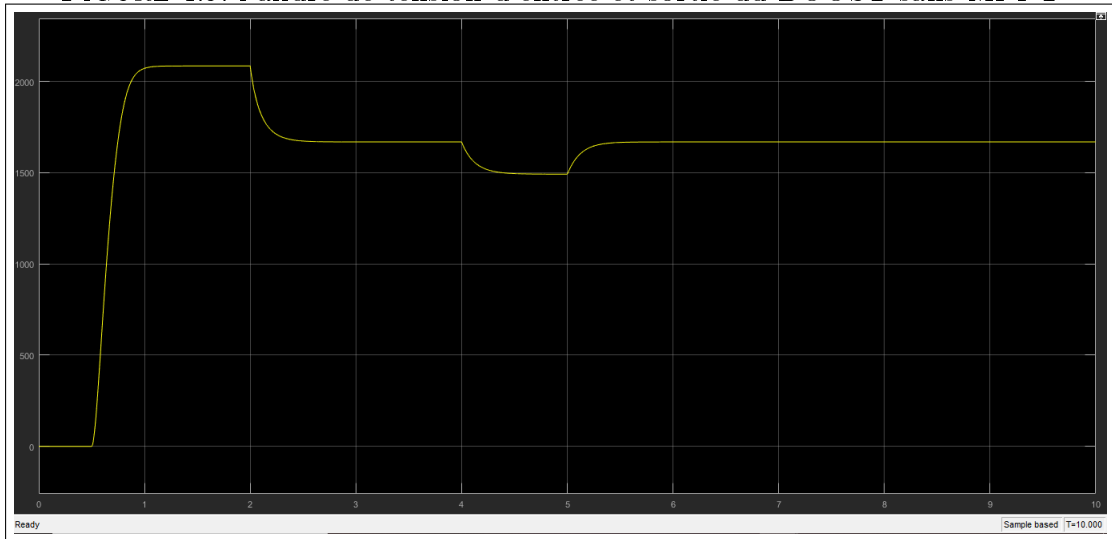


FIGURE 4.10: l'allure de puissance sans MPPT.

Commentaire

- D’après les allures ,nous observons que la puissance et la tension varient proportionnellement avec la variation du rayonnement solaire.
- La tension de sortie est supérieure à celle d’entrée, donc l’hacheur élévateur (boost) effectue correctement son rôle avec un rapport cyclique non commandé, ce qui donne une puissance non réglable.

4.3.3 Simulation du générateur PV avec MPPT

Pour cette partie, nous allons appliquée l’algorithme de MPP : Perturbation & Observation le plus utilisé, pour atteindre un maximum de puissance, le schéma bloc est montré sur la figure 4.12.

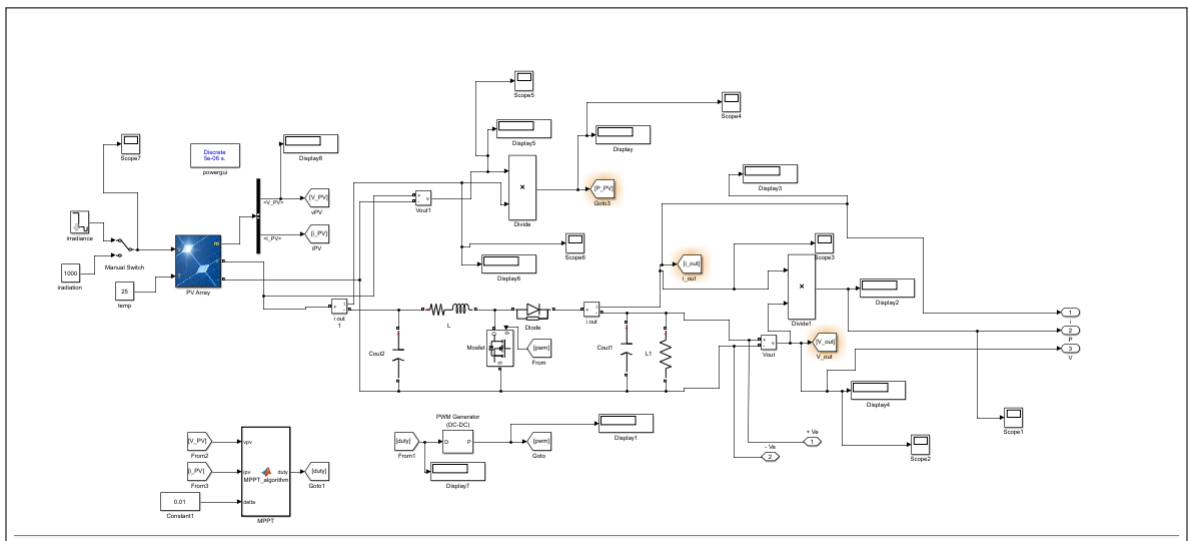


FIGURE 4.11: Le schéma bloc du PV et BOOST avec commande MPPT.

Les résultats de simulation sont représentés respectivement, la tension(figure4.12) ,courant(figure4.13) et la puissance(figure4.14) délivré par le GPV

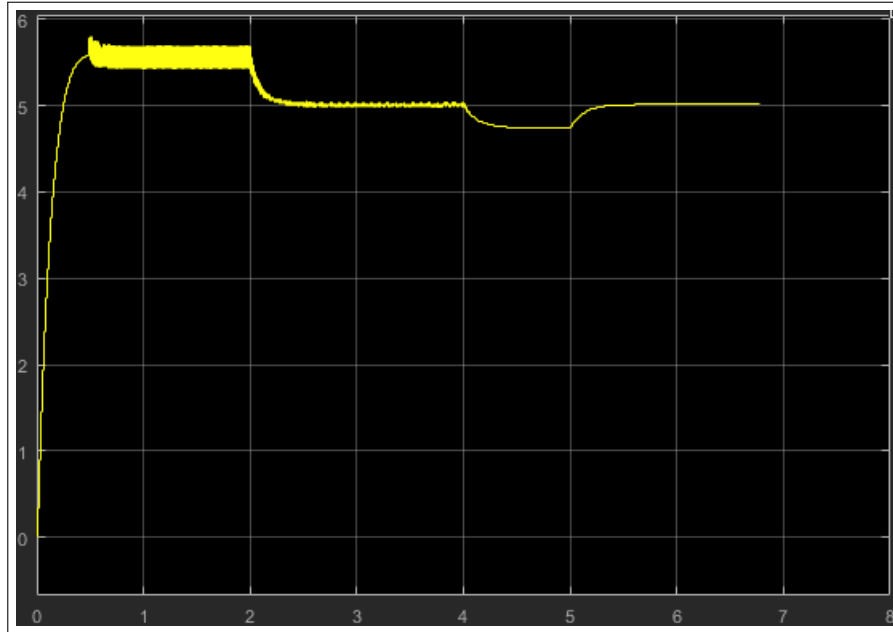


FIGURE 4.12: L'allure du courant avec la commande MPPT.

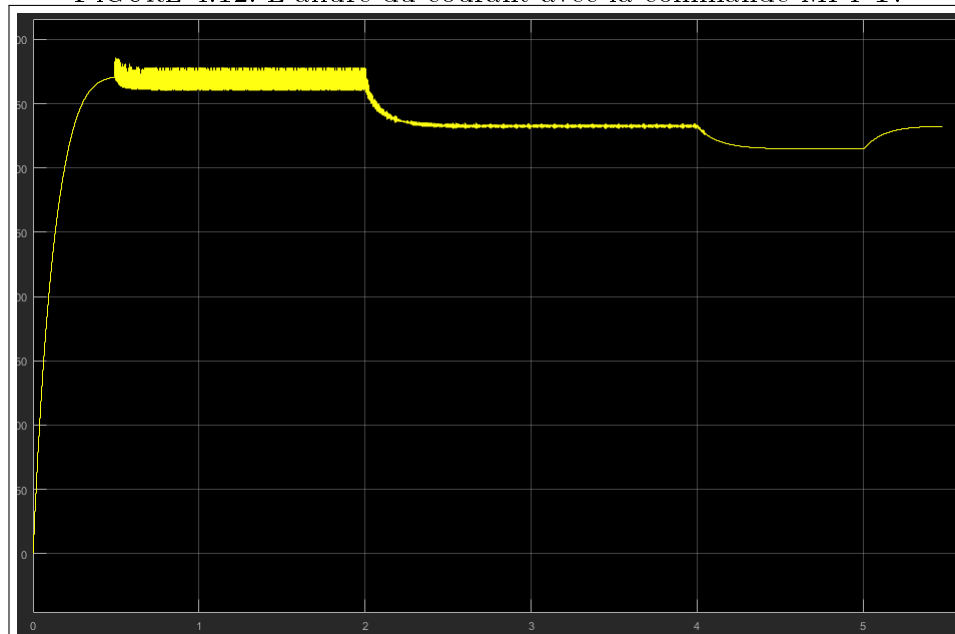


FIGURE 4.13: L'allure de la tension avec la commande MPPT.

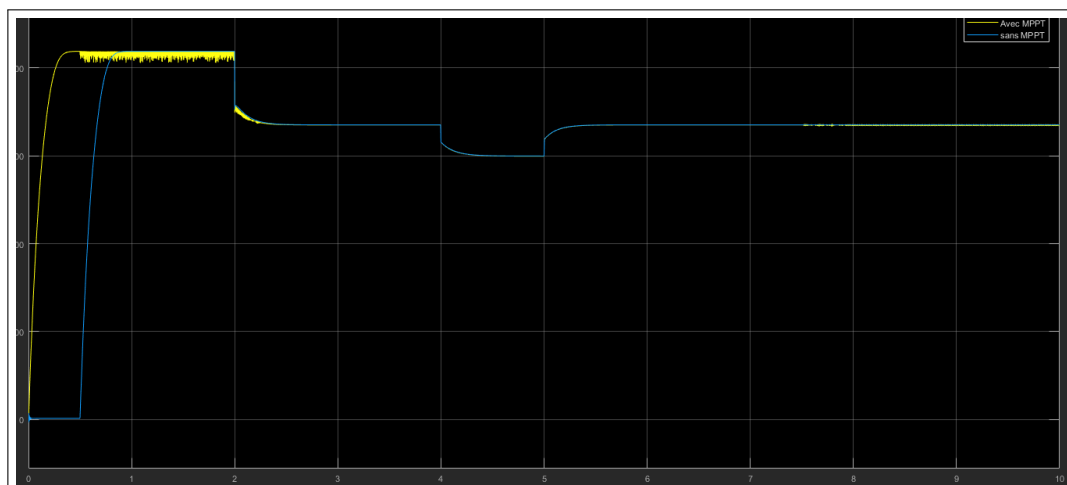


FIGURE 4.14: L'allure de la puissance avec/sans la commande MPPT.

Commentaire

Les résultats obtenus d'après la simulation, toutes les grandeurs mesurées (courant, tension et la puissance) convergent vers une valeur de référence après certains temps de réponse d'environ 0.01s.

[0,5s] : le courant varie entre 5.65A et 4.7A ainsi que la variation de tension entre 372 V et 310, la puissance délivrée par le GPV varie entre 2.1 KW et 1,4 KW.

Après 5s, le courant se stabilise jusqu'à 5 A, avec une puissance de 1.6 kW et une tension de 335 V. Nous constatons que :

- Le système Pv fonctionne à leur point maximum de puissance.
- les variations de la puissance, la tension et du courant sont dépends de la variation du rayonnement solaire.
- La commande MPPT adapte le générateur PV à la charge : transfert de la puissance maximale fournie par le générateur PV.

4.4 Simulation du réseau électrique

La figure 4.15 représente le schéma bloc d'un redresseur raccordé avec un réseau BT (400 V/100 VAR) avec une fréquence de 50 Hz, un filtre de lissage de tension(Condensateur de $200\mu\text{F}$) et une diode anti-retour de courant.

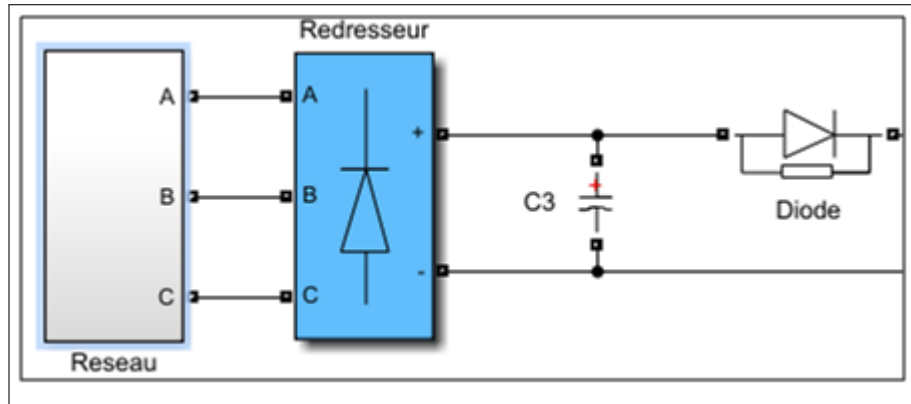


FIGURE 4.15: Le schéma bloc de réseau raccordé avec redresseur triphasé.

Nous avons converti le courant alternatif en courant continue comme les figures(4.16et4.17) montrent, dans le but de faciliter le couplage des deux sources électriques dans le bus DC.

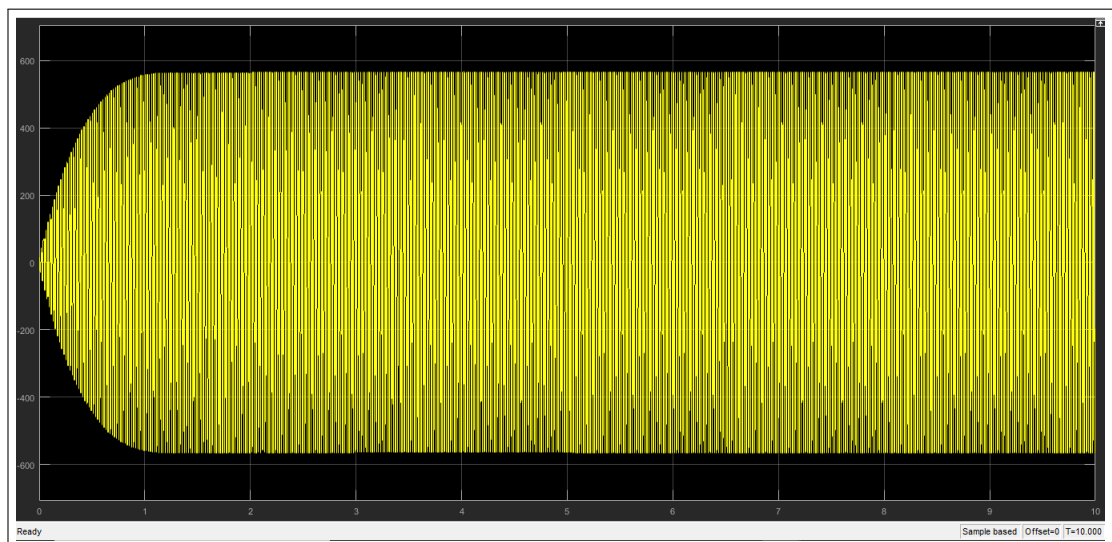


FIGURE 4.16: L'allure de la tension du réseau avant le redressement.

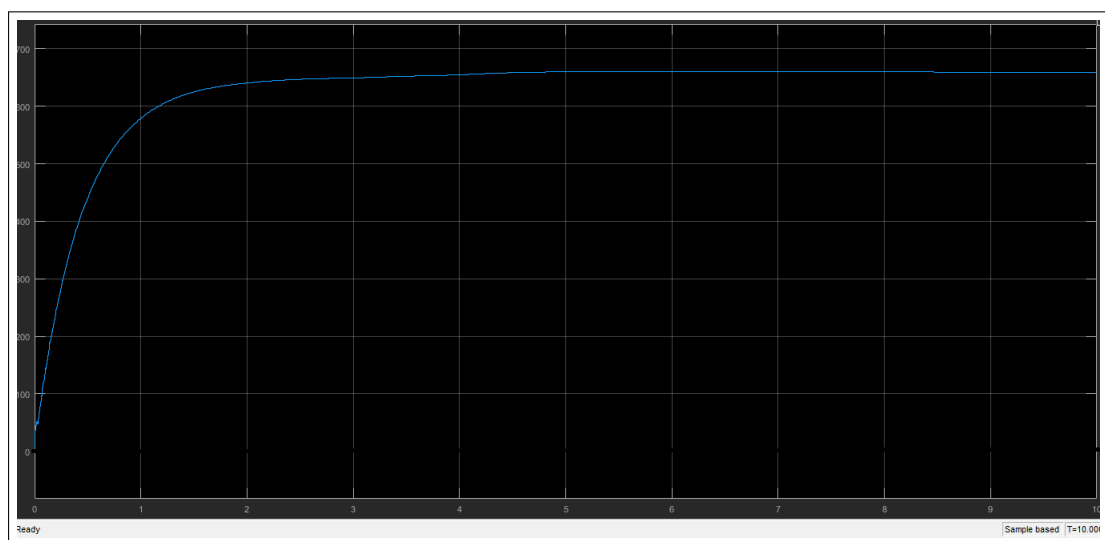


FIGURE 4.17: L'allure de la tension du réseau après le redressement.

4.5 Supervision et simulation du système hybride

Le système d'énergie hybride proposé, est une combinaison de deux sources d'énergies : photovoltaïque et réseau, cette combinaison est assurée la compensation entre ces deux. Tous ces éléments sont connectés à un bus DC, afin d'alimenter la charge. Un onduleur triphasé assure l'interface de la charge AC avec le bus DC.

Le système PV se compose de plusieurs panneaux photovoltaïques (10 panneaux solaires ayant les mêmes paramètres et les mêmes caractéristiques). Avant de proposer la technique de supervision, nous considérons que :

- Le système Pv est une source principale.
- le réseau électrique est une source secondaire.
- La charge est de type active/réactive. La gestion d'énergie entre les différentes sources constituant notre système hybride est assurée par une technique de compensation. Elle a été conçue en tenant compte de tous les scénarios de fonctionnement de l'ensemble SEH.

Le principe de fonctionnement de la stratégie de gestion de l'énergie proposé est représenté par l'organigramme de la figure4.18

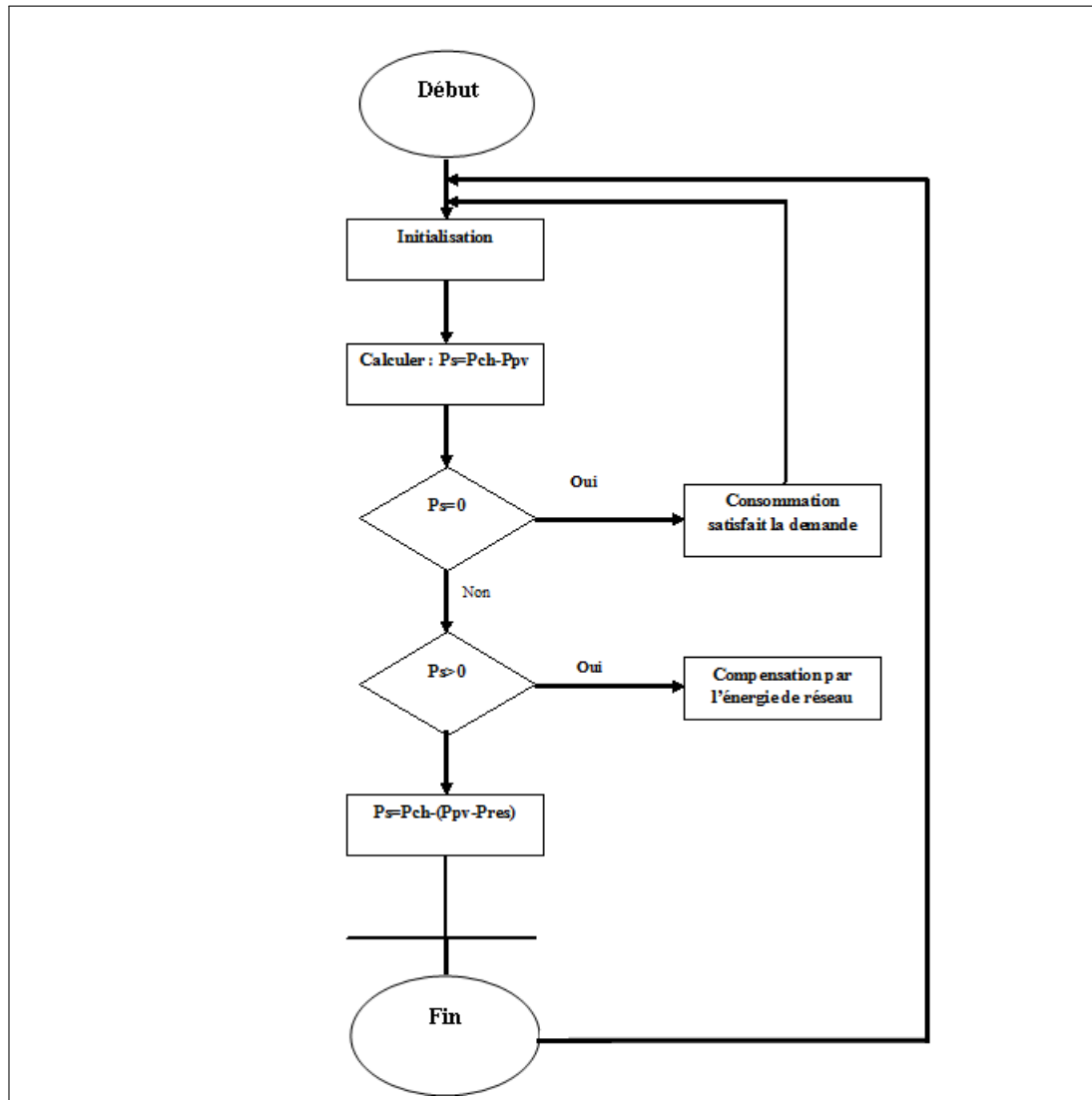


FIGURE 4.18: Organigramme de supervision de gestion.

4.6 Simulation de système hybride

Afin d'évaluer les performances de stratégie de la gestion d'énergie du système multi-sources, le système d'énergie hybride doit être implémenté dans le logiciel Matlab, nous simulons notre système avec une charge précise. Nous résumons le déroulement de notre système en deux scénarios :

- $P_{pv} \geq P_{ch}$, la consommation satisfait la demande.
- $P_{pv} \ll P_{ch}$, l'intervention du réseau (compensation).

La figure4.19 représente le schéma bloc de système globale.

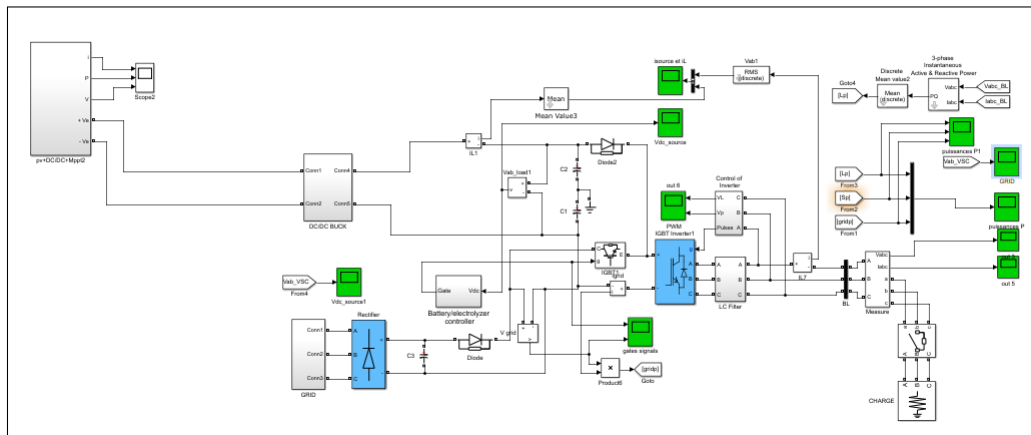


FIGURE 4.19: Schéma globale de la simulation du SEH.

4.6.1 Discussion et analyse des résultats

La figure 4.20 représente la variation des puissance (P_v , reseau et charge) en fonction du temps

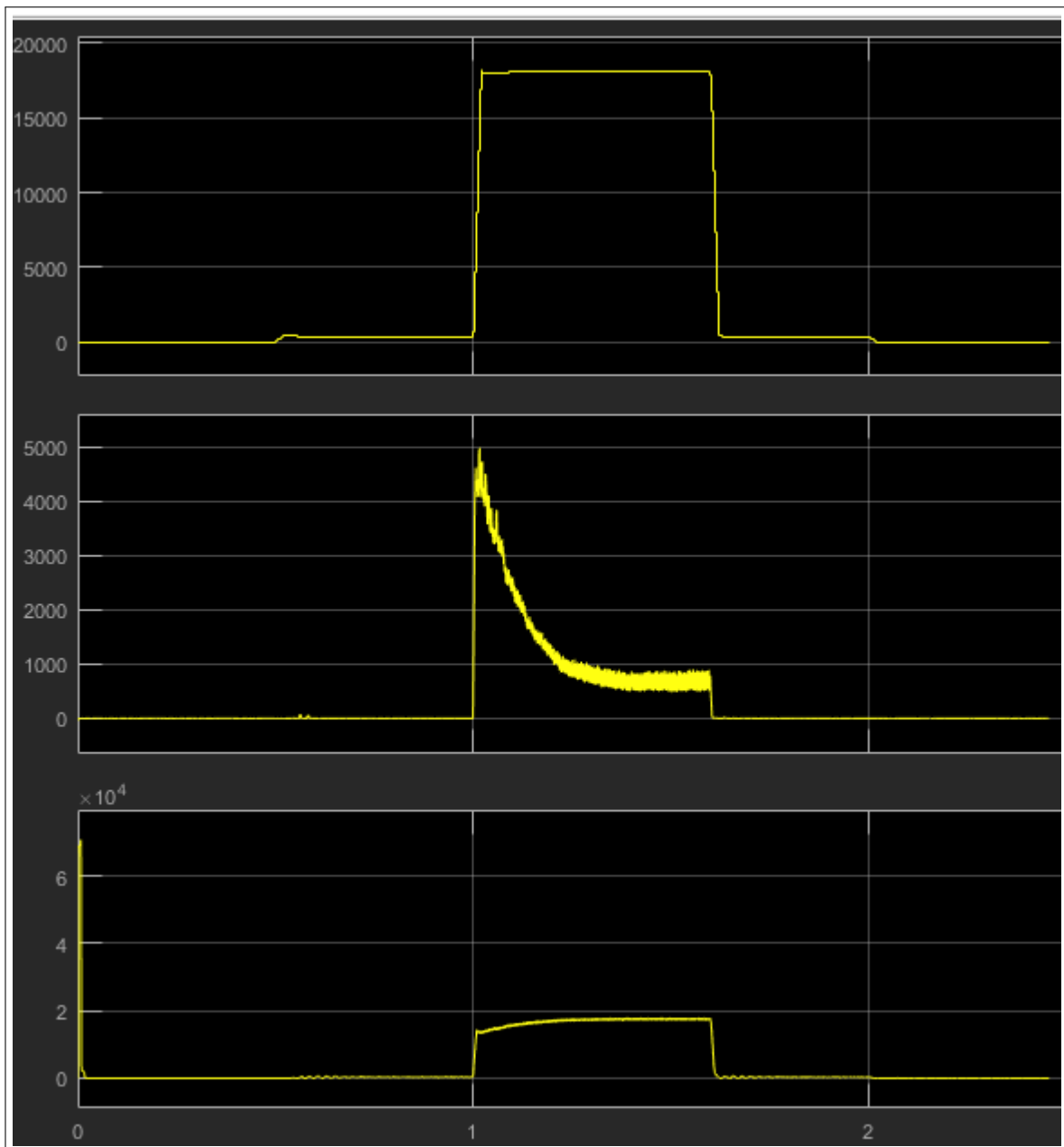


FIGURE 4.20: Simulation du système globale.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons :

- Pendant le temps où la puissance de SEH est supérieure ou égale la puissance de la charge, le système PV fonctionne à leur point maximum de puissance, cela veut dire, il assure totalement la demande de la charge (suffisante).
- Au contraire, pendant le temps où la puissance de SEH est inférieure à la puis-

sance nominal de la charge, la puissance délivrée par le GPV n'est pas suffisante pour répondre à la demande de la charge .Ce qui donne, l'intervention du réseau pour compléter le moins d'énergie .

Les résultats de la simulation montrent que :

- Le système PV fonctionne à leur point maximum.
- Les convertisseurs DC-DC sont très efficaces dans le suivi de la puissance maximale de GPV.
- L'intervention de réseau valide la technique de la compensation du SEH, grâce à la gestion des conditions intégrées dans la gâchette.
- Le système est capable de fournir une puissance minimale importante à la charge même dans les mauvaises conditions climatiques.

4.6.2 Les difficultés trouvées

Au cours de la simulation effectuée de chaque bloc, nous obtenons un bon fonctionnement, par contre la simulation du système globale ne donne pas un bon résultat, car la tension du sortie de convertisseur BUCK est chutée vers des petites valeurs, ce qui impose que la charge consomme directement une puissance délivrée par le réseau électrique. Nous avons proposé des préventions de ce problème , tel que :

- Le fonctionnement du convertisseur BUCK n'est pas fiable.
- Un mal raccordement entre bus DC et l'hacheur abaisseur(BUCK).

4.7 Conclusion

Les résultats de simulation ont montré un bon comportement face aux variations climatiques. Ces variations ont permis de mettre en évidence une bonne efficacité des systèmes de poursuite de puissance maximale du générateur PV. L'utilisation du réseau électrique est nécessaire pour atteindre le but de la technique étudiée. La stratégie proposée effectue la régulation de la tension du bus DC et le fonctionnement de l'onduleur en fonction des besoins de la charge.

Ce chapitre montre que le système hybride est capable de fournir l'électricité totalement ou partiellement à la charge, cela permet la supervision d'un système hybride à être plus efficaces dans des applications domestiques.

Conclusion générale

Les problèmes écologiques causés par les sources d'énergie traditionnelles sont très préoccupants ; car l'environnement est menacé par l'intensification de la pollution et de l'effet de serre. Par conséquent, la production d'électricité propre (non polluante) est devenue la première exigence pour satisfaire l'approvisionnement énergétique des générations futures.

Il est très intéressant de développer des sources d'énergie renouvelables pour aider à résoudre les problèmes énergétiques. La ressource d'énergie photovoltaïque mondiale est très importante et peut contribuer de manière significative à l'approvisionnement d'électricité dans le monde. Les études présentées dans ce mémoire visent à voir la compensation entre la ressource renouvelable et le réseau électrique. Les résultats montrent que ce système répond bien au problème posé par le contexte énergétique actuel. En fait, nous avons commencé cette étude de recherche par une introduction générale où nous avons identifié les problèmes rencontrés dans un SEH basé sur les ERs.

Tout d'abord, nous avons rappelé une généralité sur l'énergie solaire, en expliquant le mode de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et les types des panneaux existants. Ensuite, nous avons énuméré leurs avantages et les inconvénients. Enfin, nous avons fait une introduction sur les convertisseurs statiques. Par la suite, nous avons présenté la dernière technologie des systèmes de production d'électricité hybrides en général et donné une courte définition de ces derniers.

Ensuite, nous avons expliqué les différentes classifications des systèmes hybrides en fonction du mode de fonctionnement et de l'architecture de bus du système hybride. Enfin, Nous donnons une discussion générale des logiciels utilisés pour les systèmes hybrides, qui permettent de modéliser, simuler et optimiser le fonctionnement de plusieurs systèmes simultanément.

Dans la partie modélisation, nous avons introduit le logiciel utilisé pour modéliser les composants du système hybride en établissant un modèle mathématique de chaque composant. Nous avons également étudié les effets de l'ensoleillement et des changements

de la température sur la production d'énergie solaire. Nous avons également vu la nécessité d'une phase d'adaptation entre GPV et la charge, nous l'avons donc modélisée.

Et, comme ces systèmes sont connectés par un bus DC, ce dernier modèle a été décrit. La recherche sur l'interface entre le bus DC et la charge est réalisée par modélisation de l'onduleur. Enfin, dans le chapitre de la simulation, nous avons présenté un moyen d'intervenir dans la production et la gestion énergétique des systèmes hybrides. La simulation est réalisée dans l'environnement Matlab qui nous permet de traiter les résultats réels en fonction des contraintes de coûts et des changements des intrants métrologiques.

Les résultats obtenus soutiennent la génération de SH pour des charges mutuelles et nous donnent l'avantage de faire une étude approfondie du fonctionnement d'un SH qui répond à nos besoins énergétiques, mais cette étude a besoin une grande amélioration des donnée utilisé dans divers domaine (simulation, calcule des paramètres, etc), elle reste un thème de recherche.

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que grâce à une installation mixte et de bonnes stratégies de contrôle, nous pouvons atteindre les principaux objectifs suivants :

- L'assurances d'isoler la charge et la demande de puissance dans les régions éloignées.
- L'alimentation électrique doit être ininterrompue.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation de combustibles fossiles.
- Diminuer les factures d'électricité des consommateurs.
- Réduire la charge de la consommation d'électricité pour les producteurs d'électricité.
- La compensation se dirige vers l'application domestique en premier temps donc elle est fiable et robuste.
- Le majeur avantage pour ce type du système hybride est d'éliminer les problèmes des batteries comme : l'espace , le cout et la durée de vie, etc.

D'une manière générale, l'étude présentée dans cette note nous a permis de montrer l'intérêt suscité par les énergies renouvelables en Algérie. Cependant, tous ces résultats n'excluent pas des améliorations futures. Notre travail, comme tout travail humain, reste des perspectives parfaites, nous citons :

- Utiliser des techniques intelligentes comme les réseaux de neurones de suivi du point de puissance maximale, logique floue, etc.
- Examen des contrôles avancés pour la mise en œuvre de systèmes hybrides pour améliorer la qualité d'énergie.
- Utiliser des méthodes d'optimisation plus robustes.
- Utiliser plusieurs sources renouvelables à la fois pour garantir une meilleure performance et un bon rendement, nous pouvons intégrer par exemple l'énergie du vent en exploitant dans le domaine d'éolien.
- Augmenter l'efficacité du système énergétique hybride en introduisant d'autres sources d'énergie renouvelables comme l'hydrogène, qui peut être produit par électrolyse, puis stocké et finalement réutilisé par une pile à combustible pour l'énergie électrique verte.

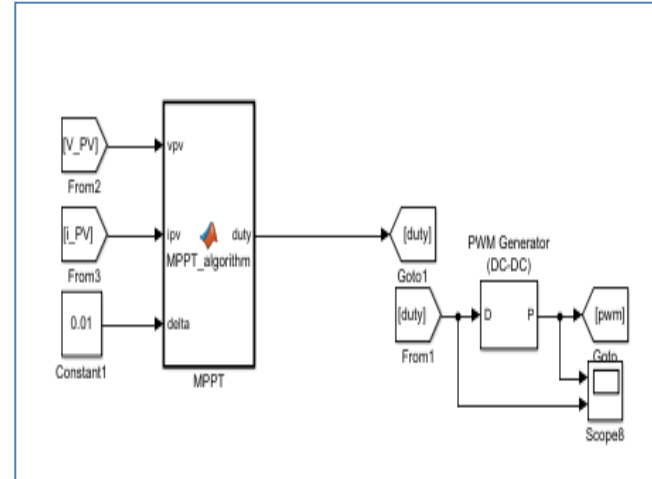
Annexes

Annexe 1 : L'algorithme de la commande MPPT

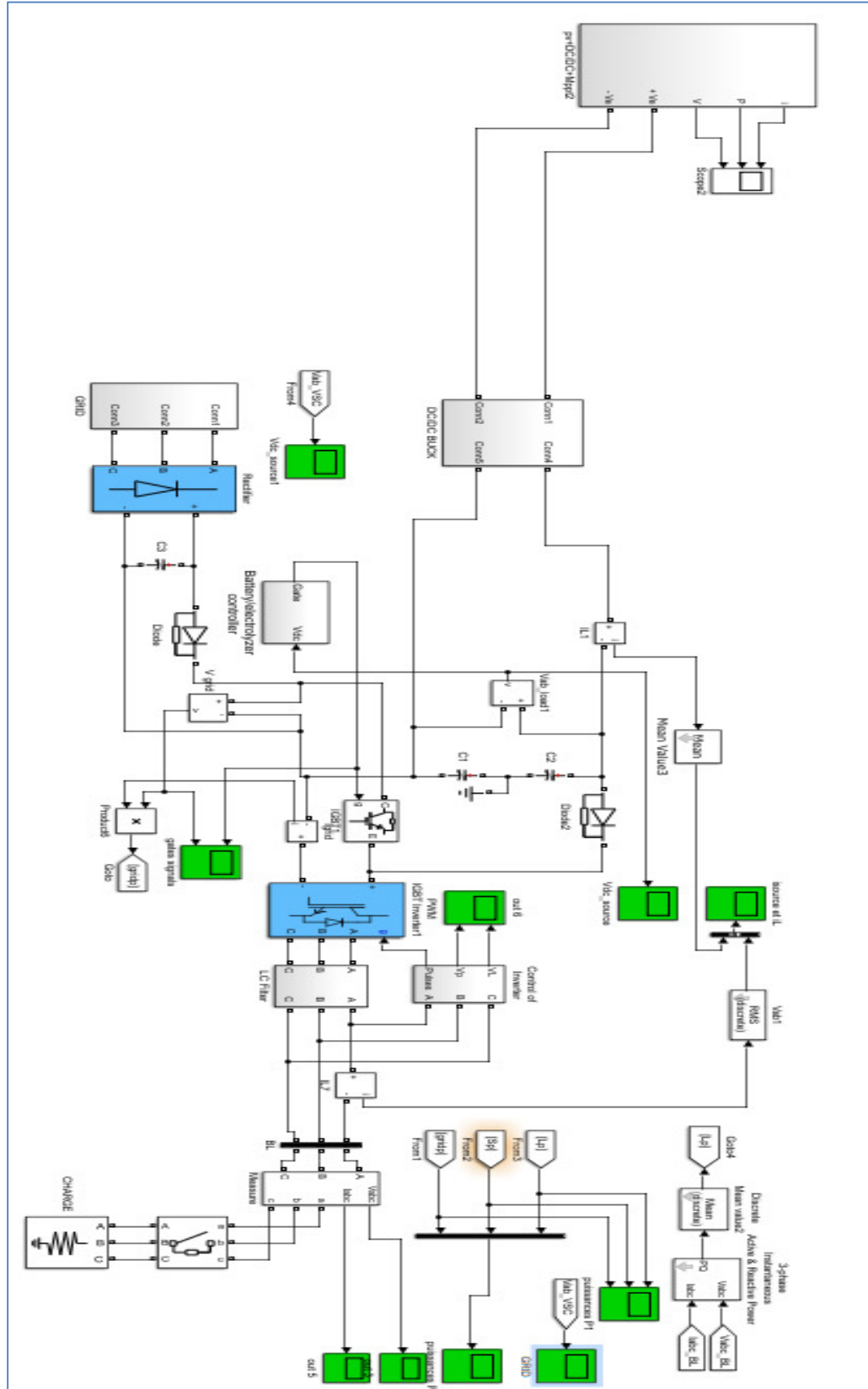
```

function duty = MPPT_algorithm(vpv,ipv,delta)
% I used the MPPT algorithm in the MATLAB examples
% I only modify somethings.
duty_init = 0.1;
% min and max value are used to limit duty between
% 0 and 0.85
duty_min=0;
duty_max=0.85;
persistent Vold Pold duty_old;
% persistent variable type can be store the data
% we need the old data by obtain difference
% between old and new value
if isempty(Vold)
    Vold=0;
    Pold=0;
    duty_old=duty_init;
end
P= vpv*ipv; % power
dV= vpv - Vold; % difference between old and new
voltage
dP= P - Pold;% difference between old and new power
% the algorithm in below search the dP/dV=0
%if the derivative equal to zero
% duty will not change
% if old and new power not equal
% &
% pv voltage bigger than 30V
% the algorithm will works
if dP ~= 0 && vpv>30
    if dP < 0
        if dV < 0
            duty = duty_old - delta;
        else
            duty = duty_old + delta;
        end
    else
        if dV < 0
            duty = duty_old + delta;
        else
            duty = duty_old - delta;
        end
    end
else
    duty = duty_old;
end
%the below if limits the duty between min and max
if duty >= duty_max
    duty=duty_max;
elseif duty<duty_min
    duty=duty_min;
end
% stored dat
duty_old=duty;
Vold=vpv;
Pold=P;

```



Annexe 2 : Schéma bloc du système global.



Bibliographie

- [1] Boumediene FELLAH.
Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. application aux sites de tlemcen et de bouzaréah.
2012.
- [2] Lars Broman, John A Duffie, and Eva Lindberg.
A concentrated course in solar thermal process engineering.
In *Proc of the ISES Solar World Congress, Denver, Colorado, Pergamon Press*, volume 1991, pages 3815–3820, 1991.
- [3] T Fogelman.
Système photovoltaïque pour les pays en déventement, manuel d'installation et d'utilisation.
Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie (AFME), 2010.
- [4] A Zerga, F Benyarou, and B Benyousef.
Optimisation du rendement d'une cellule solaire np au silicium monocristallin.
Revue des Energies Renouvelables, pages 95–100, 1998.
- [5] Soumia BELBACHIR.
Modélisation et simulation de l'influence de la résistance shunt sur les caractéristiques $I (V)$ et $P (V)$ d'une cellule photovoltaïque.
PhD thesis, 30-10-2017.
- [6] Sofiane Abada.
Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic.
2011.
- [7] Bouthaina Madaci, Rachid Chenni, and Kamel Eddine Hemsas.
Architectures intégrées de gestion de l'énergie pour les multisystèmes autonomes utilisant le stockage par accumulateurs.
PhD thesis, 2018.
- [8] Céline Bernard, Carolina Sebrao-Oliveira, Bernard Laval, and Clément Vaudouer.
Panneau photovoltaïque et algorithme mppt à base de logique floue.
rapport rédigé dans le cadre de l'UV BA04-Energie renouvelables, automne, 2009.

- [9] Souleyman FERDJANI, Omar MAATALLAH, Salim MAKHLOUFI, et al.
Etude et Réalisation d'un Hacheur Boost Commandé par le μC ARDUINO en vue d'Implémenter des Commandes MPPT.
 PhD thesis, Université Ahmed Draia-ADRAR, 2019.
- [10] Y Bakelli.
 Étude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur photovoltaïque» mémoire de magister.
Université de Boumerdes, 2005.
- [11] Messaoud Makhèouf.
 Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque. application au pompage.
 2006.
- [12] Mohamed Ghebbache.
Stratégies de commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique dans le but d'optimiser la qualité de l'énergie.
 PhD thesis, Université du Québec à Trois-Rivières, 2019.
- [13] Fateh Slama.
Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique.
 PhD thesis, 2018.
- [14] HOUDA BELGHITRI.
 Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque.
 2011.
- [15] Dalila Beriber and MS Boucherit.
Optimisation et gestion d'énergie de système de production photovoltaïque-Eolienne avec stockage.
 PhD thesis, 2010.
- [16] T Fogelman.
 Système photovoltaïque pour les pays en déventement, manuel d'installation et d'utilisation.
Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie (AFME), 2010.
- [17] Sofiane Abada.
 Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic.
 2011.
- [18] Chee-Mun et autres Ong.

Simulation dynamique de machines électriques : avec MATLAB / SIMULINK, volume 5.

- [19] Fateh Slama.
Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique.
PhD thesis, 2018.

- [20] A Toulait and R Aili.
Modélisation et simulation sous matlab/simulink d'un système pv adapté à la commande mppt.
Mémoire de Master, UMMTO, 2014.

- [21] Abdelouahab Bouafia.
Techniques de commande prédictive et floue pour les systèmes d'électronique de puissance : application aux redresseurs à MLI.
PhD thesis, 2014.