



République algérienne démocrate et populaire
Ministre de L'enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia



Faculté de technologie
Département de génie électrique
Spécialité d'énergie renouvelable

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour obtention du diplôme master
Domaine science et technologie
Filière électrotechnique
Spécialité Énergie Renouvelable

Étude d'un chargeur solaire

Présenté Par :

KOLLI Sami
KEBOUCHI Lydia

Encadré Par :

Mme REKIOUA Djamila

Co-encadré par :

Melle BELAID Saloua

REMERCIEMENTS

Le début de l'action de grâce à Dieu Tout-Puissant, à Lui est toute louange et grâce à Lui, c'est tout ce qu'Il nous a aidés et nous a inspiré de la patience avec les difficultés que nous avons affrontées pour accomplir cette humble œuvre, afin que nous en fassions une science qui en bénéficierait.

Le travail présenté dans ce Mémoire Fin d'Etude a été effectué dans le cadre du projet de Master, sous la direction de Mme : Rekioua Djamila et Mr : Rekioua Toufik, à qui nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements pour avoir dirigé cette étude.

Nous tenant à remercier notre co-encadrant, Melle Belaid Saloua, pour ses efforts et son aide dans notre projet. On tiens également à remercier tous les membres du jury.

Nos remerciements au département de Génie Electrique de l'université de Bejaïa, à tous les enseignants qui nous enseignés durant les années du cursus et le Laboratoire Tamayouz de Technologie industriel et de l'information.

Enfin nous remercions aussi toutes les nos familles et les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la rédaction de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mon cher papa et ma chère maman et mes frères

Takimnes, Amine et ma sœur Leticia.

Et bien sur sans oublier mes chers amis

Walid, Taher, Nasser, Koukous, Kamel, Salim,

Tekinas, Zaman, Hayat, Melissa, Samy, Adel. et

Didouche

Zui n'ont jamais cesse de me soutenir.

MERCI

Samir

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

À mon cher défunt papa et ma chère maman

Mes frères, sœurs et leurs enfants

*Katia, Mimin(Yasmina), Sihem et sa fille Fiziri, Nana
Wahiba avec ses enfants Samy, Malika et Yacine, Kamel,
Mon grand frère préfère Kherdine, Moussa et Khaled avec sa
femme Sofia, ses enfants Yani, Malika et Seghir*

Et bien sur sans oublier mes chers amis

*Kayat, Melissa, Lyna, Youssa, Samy, Adel, Walid, Taher,
Nasser, Koukous, Zaman, Kamel, Salim, Tekinas et Sami*

Qui n'ont jamais cesse de me soutenir.

MERCI

Didouche

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre I : LES CONVERTISSEURS DC/DC DANS LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

I.1 Introduction.....	2
I.2 Présentation du système globale étudié:	2
I.3 Caractéristiques d'un chargeur solaire	3
I.3.1 Compatibilité avec les Panneaux Solaires et les Batteries.....	3
I.3.2 Technologie de Charge	3
I.3.3 Capacité de Charge et Courant de Charge	3
I.3.4 Fonctionnalités de Protection et Sécurité	3
I.3.5 Efficacité et Performance.....	4
I.4 Énergie photovoltaïque.....	4
I.4.1 Générateur photovoltaïque.....	4
I.4.2 Les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	5
I.5 Systèmes de stockage	6
I.5.1 Principe de fonctionnement d'un accumulateur électrochimiques (Batterie).....	6
I.5.2 Composants d'un accumulateur électrochimique (Batteries).....	7
I.5.3 Les Différents Types de Batteries	7
I.5.3.1 L'accumulateur au plomb-acide	8
I.5.3.1.1 Les constituants essentiels d'une batterie sont:.....	9
I.5.3.2 L'accumulateur au Lithium ion (Li-ion)	10
I.5.3.2.1 Composantes et caractéristiques d'une batterie Lithium-ion.....	10
I.5.3.2.2 Évolution de la technologie et chimies du lithium-ion.....	12
I.5.4 Caractéristiques de fonctionnement de la batterie avec le GPV	12
I.6 Convertisseur DC-DC :	13
I.6.1. Introduction.....	13
I.6.2. Les différents types de convertisseur DC-DC.....	13
I.6.2.1. Hacheurs réversibles.....	14

I.6.2.2.Hacheurs non réversibles	15
I.6.2.2.2.Hacheur indirect :	18
I.6.3.Remarque	22
I.7 Conclusion	22

Chapitre II : ETUDE D'UN CHARGEUR SOLAIRE

II.1 Introduction	23
II.2 Représentation synoptique des principaux composants d'un chargeur solaire	23
II.3 Description et dimensionnement des différents blocs :	24
II.3.1 Le panneau photovoltaïque	24
II.3.1.1 Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode	24
II.3.1.2 Simulation du Panneau solaire	26
II.3.2 La Batterie :	28
II.3.2.1Caractéristiques d'un accumulateur au Plomb acide	29
II.3.3 La charge	31
II.3.4 Hacheur (circuit de puissance)	31
II.3.4.1 Hacheur élévateur de tension (Boost)	31
II.3.4.2 Hacheur dévolteur de tension (Buck) :	32
II.3.4.3 Dimensionnement des composantes d'un hacheur :	34
II.3.5 Circuit de commande :	40
II.3.5.1 Isolation galvanique	40
II.3.5.2 Driver De MOSFET	41
II.3.5.2 Circuit de régulation de tension	41
II.3.5.4La carte arduino UNO:	42
II.04 Conclusion :	46

Chapitre III : Tapez le titre du document

III.1 Introduction :	47
III.2 Circuit de puissance :	47
III.2.1 Convertisseur Boost (régulateur de tension) :	47
III.2.2 Convertisseur Buck (chargeur de batterie) :	48
III.2.3 Convertisseur Boost (compensation de puissance) :	48
III.3 Principe de fonctionnement :	49

III.3.1 Mode 01 :	49
III.3.2 Mode 02 :	50
III.4 Résultats du dimensionnement :	51
III.5 Simulation :	52
III.5.1 Interface de puissance :	52
III.5.1.1 Panneau Photovoltaïque/ Charge :	52
III.5.1.2 Panneau Photovoltaïque/ Batterie :	52
III.5.1.3 Batterie / Charge :	53
III.5.1.4 Schéma global du chargeur solaire (partie puissance) :	54
III.6 Interface de commande :	55
III.7 Conclusion.....	58

Chapitre IV : TAPEZ LE TITRE DU DOCUMENT

IV.1 Introduction	59
IV.2 Résultats Pratiques.....	59
IV.2.1 Partie Commande	59
IV.3 Logiciel KiCad	60
IV.4Circuit imprimé PCB	60
IV.4.1 Partie commande	60
IV.4.2 Partie adaptation des tensions	61
IV.4.3 Partie puissance	62
IV.5 Comparaison entre résultats pratique et simulation.....	63
IV.6 Conclusion	63
Conclusion général	64

Liste des figures

Chapitre I

<i>Figure I. 1: Schéma Global du système à étudier.</i>	2
<i>Figure I. 2: Générateur photovoltaïque.</i>	4
<i>Figure I. 3: Caractéristique résultante d'un groupement en série n_s et parallèle de N_p cellules identiques.</i>	5
<i>Figure I. 4: principe de fonctionnement d'un accumulateur électrochimique.</i>	6
<i>Figure I. 5: Vue en coupe d'un élément au plomb ouvert (batterie de démarrage).</i>	9
<i>Figure I. 6: Vue éclatée d'une batterie.</i>	10
<i>Figure I. 7: La structure d'un accumulateur lithium-ion.</i>	11
<i>Figure I. 8: Caractéristiques de différentes technologies de batterie lithium-ion.</i>	12
<i>Figure I. 9: Schéma du principe d'un convertisseur DC-DC.</i>	13
<i>Figure I. 10: Différents types de convertisseurs DC-DC.</i>	14
<i>Figure I. 11: Schéma des types d'hacheurs réversibles.</i>	15
<i>Figure I. 12: Schéma des types d'hacheurs réversibles.</i>	16
<i>Figure I. 13: Les formes d'ondes dans un convertisseur Buck.</i>	17
<i>Figure I. 14: Schéma électrique du hacheur boost.</i>	17
<i>Figure I. 15: formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Boost.</i>	18
<i>Figure I. 16: Schéma électrique du Convertisseur buck-boost indiquant le sens du courant.</i>	19
<i>Figure I. 17: Les Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur buckboost.</i>	19
<i>Figure I. 18: Schéma électrique du Convertisseur Cük.</i>	19
<i>Figure I. 19: Schéma électrique du Convertisseur SEPIC.</i>	21
<i>Figure I. 20: Schéma électrique du Convertisseur ZETA.</i>	21
<i>Figure I. 21: Représentation générale des hacheurs non réversibles.</i>	22

Chapitre II

<i>Figure II. 1: Schéma synoptique des principaux composants d'un chargeur solaire</i>	23
<i>Figure II. 2: Schéma d'une cellule photovoltaïque a une diode LM5P</i>	25
<i>Figure II. 3: Le model Matlab du panneau Suntech 80w</i>	26
<i>Figure II. 4: Simulation de l'influence de l'éclairement sur la puissance et le courant par rapport à la tension du PV sur Matlab</i>	26
<i>Figure II. 5: Simulation de l'influence de la température sur la puissance et le courant par rapport à la tension du PV sur Matlab</i>	27
<i>Figure II. 6: Simulation sur MATLAB des caractéristiques puissance-tension et courant-tension entre les résultats des essais et de la simulation</i>	28
<i>Figure II. 7: La batterie AGM-GEL VRLA CGB 12-100 de Condor</i>	28
<i>Figure II. 8: Tension de décharge d'une batterie</i>	29
<i>Figure II. 9: Tension de charge d'une batterie</i>	30
<i>Figure II. 10: Diagramme des réactions chimiques dans la batterie Plomb-acide</i>	29
<i>Figure II. 11: Schéma du principe de fonctionnement d'un hacheur Boost</i>	31

Figure II. 12: Schéma du principe de fonctionnement d'un hacheur buck	33
Figure II. 13: la structure d'une diode IN4007	38
Figure II. 14: Diagrammes courant-fréquence et tension-fréquence des composants	39
Figure II. 15: la structure interne et externe d'un MOSFET IRFZ44N	40
Figure II. 16: La structure interne et externe d'un optocoupleur HCPL-3120	40
Figure II. 17: La structure interne d'un driver IR2112.....	41
Figure II. 18: La structure d'un régulateur LM317T et son circuit d'application	42
Figure II. 19: La structure d'un régulateur LM7805 et son circuit d'application.....	42
Figure II. 20: Description d'une carte arduino UNO	43
Figure II. 21: Environnement de développement l'arduino	44
Figure II. 22: Structure du programme Arduino	45

Chapitre III

Figure III. 1: Schéma du Circuit de Puissance	46
Figure III. 2: Convertisseur élévateur de tension (Boost)	48
Figure III. 3: Convertisseur dévolteur de tension (Buck)	48
Figure III. 4: Convertisseur dévolteur de tension (Buck).....	49
Figure III. 5: Schéma du circuit équivalent pour chaque étape de fonctionnement du mode 01	50
Figure III. 6: Schéma du circuit équivalent pour chaque étape de fonctionnement du mode 02	51
Figure III. 7: Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Boost entre panneau photovoltaïque et la charge.....	52
Figure III. 8: Courbe de tension PV, charge et courant de charge par PSIM du hacheur Boost (PV/Charge).....	52
Figure III. 9: Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Buck entre panneau photovoltaïque et la batterie	53
Figure III. 10: Courbe de tension du panneau PV et de Batterie sur PSIM du hacheur Buck (PV/Batterie).....	53
Figure III. 11: Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Boost entre la batterie et la charge.....	54
Figure III. 12: Courbe de tension de Batterie et de charge sur PSIM du hacheur boost(Batterie/Charge)	54
Figure III. 13: Schéma global du chargeur avec PSIM.....	55
Figure III. 14: Courbe de tension du panneau PV, Batterie et charge sur PSIM du circuit de puissance	55
Figure III. 15: Circuit électrique du raccordement entre Driver 1221 et l'optocoupleur HCPL-3120 avec Proteus	56
Figure III. 16: Signal de commande des trois rapports cycliques du chargeur.....	56
Figure III. 17: Circuit électrique du raccordement entre système de régulation et la batterie avec Proteus	57
Figure III. 18: Circuit électrique de l'ensemble de la carte Arduino Uno, d'un écran LCD et d'un circuit d'adaptation.....	57

Chapitre IV

Figure IV. 1: Project Board du circuit de commande.	59
Figure IV. 2: Signal de commande avec $\alpha=0.65$	60
Figure IV. 3: Signal de commande avec $\alpha=0.73$	60
Figure IV. 4: Signal de commande avec $\alpha=0.8$	60
Figure IV. 5: PCB de la partie commande.	61
Figure IV. 6: Version 3D du PCB de la partie commande.	62
Figure IV. 7: PCB de la partie d'adaptation de tensions.	62
Figure IV. 8: Version 3D du PCB du circuit d'adaptation des tensions.	63
Figure IV. 9: PCB de la partie puissance.	64
Figure IV. 10: Version 3D du PCB de la partie de puissance.	64

Liste des tableaux

<i>Tableau I.1: Caractéristiques des principales technologies d'accumulateurs</i>	<i>8</i>
<i>Tableau II.1: Les caractéristiques du panneau STP0808S-12/Bb</i>	<i>31</i>
<i>Tableau II.2: Les valeurs de température et d'ensoleillement pour chaque essai réel et pour la simulation.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau II.3: les types d'hacheur utilisé</i>	<i>38</i>
<i>Tableau III.1: Résultats des calcul de dimensionnement.</i>	<i>51</i>

Liste abrégiation

DC : courant direct

AC : courant alternatif

PV : photovoltaïque

MPPT : point de puissance maximale

GPV : générateur photovoltaïque

MWc : méga watta crête

V : volte

A : amper

PFC : la correction du facteur de puissance

Pmax : Puissance maximale

Vmp : Tension maximale

Imax : Courant maximal

Icc : Courant de court-circuit

Vco : Tension de circuit ouvert

A : Coefficient de la température de la tension

β : Coefficient de la température de la puissance

Iph : Source de courant photovoltaïque

Vpv : Source de tension photovoltaïque

D : Diode idéale

Rsh : Résistance shunt

Rs : Résistance série

I : est le courant traversant la cellule,

V : est la tension aux bornes de la cellule,

I_{ph} : est le courant photovoltaïque généré,

I_s : est le courant de saturation de la diode,

R_d : est la résistance série,

R_{sh} : est la résistance shunt,

a : est le facteur d'idéalité de la diode,

V_t : est la tension thermique

V_s : tension de sortie

V_e : tension d'entre

MOSFET : Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

IGBT : Insulated-Gate Bipolar Transistor

Introduction général

Introduction Général

L'énergie photovoltaïque devient de plus en plus importante en raison de ses nombreux avantages, tels que la conversion directe de la lumière solaire en électricité, un faible besoin d'entretien, l'absence de pièces mobiles, l'absence de bruit et une production non polluante. Ces avantages ont suscité un intérêt croissant, et de nombreux travaux de recherche dans ce domaine ont récemment été publiés dans la littérature spécialisée [1].

Les chargeurs solaires sont des composants essentiels dans un système photovoltaïque. Ils jouent un rôle essentiel pour maximiser l'efficacité, la stabilité, et la fiabilité des systèmes photovoltaïques. En effet, ils régulent la tension et le courant provenant des panneaux solaires pour correspondre aux besoins des batteries, évitant ainsi la surcharge et la décharge profonde, deux conditions qui peuvent endommager les batteries. Aussi, Ils optimisent la charge des batteries en s'assurant que la tension et le courant de charge sont toujours dans les plages appropriées pour les batteries utilisées. Donc, ils jouent un rôle crucial dans la protection et la gestion des batteries, optimisant ainsi la performance globale du système tout en assurant une utilisation sécurisée et durable de l'énergie solaire.

Dans le cadre de cette étude, notre objectif est d'un chargeur solaire pour batteries en se basant sur la modélisation, la simulation, le dimensionnement ainsi que la réalisation pratique. Notre travail est structuré en quatre chapitres:

- Chapitre 1: Les hacheurs DC/DC dans les systèmes photovoltaïques
- Chapitre 2: Étude d'un chargeur solaire
- Chapitre 3: Conception et simulation du chargeur solaire (avec Proteus)
- Chapitre 4: Essais expérimentaux du circuit de commande.

Nous terminerons notre travail par une conclusion ainsi que des perspectives.

CHAPIRE I

**Les Hacheurs DC/DC Dans Les
Systèmes Photovoltaïques**

I.1 Introduction

Le chargeur solaire, souvent appelé contrôleur de charge solaire ou régulateur de charge, joue un rôle crucial dans un système photovoltaïque (PV). C'est un élément essentiel pour protéger les batteries, optimiser le processus de charge, gérer l'énergie dans le système photovoltaïque et garantir une performance stable et fiable de l'ensemble du système.

Ce premier chapitre vise à présenter les généralités des systèmes photovoltaïques, les batteries et les hacheurs.

I.2 Présentation du système globale étudié:

Notre projet consiste à réaliser un chargeur solaire autonome avec un système de compensation qui est un dispositif qui non seulement régule la charge des batteries à partir de panneaux solaires, mais qui également adapte et optimise le processus de charge en fonction de divers facteurs environnementaux et de charge. Dans ce cas, l'entrée va être un panneau photovoltaïque et la sortie une tension continue pour cela y aura l'obligation de l'intermédiaire d'un hacheur. Mais la source d'entrée est alimenté par l'énergie solaire qui est pas constante, et vu l'absence de connexion au réseau donc on aura besoin d'un système de compensation qui aura pour rôle de compenser la différence de puissance entre l'entrée et la sortie.

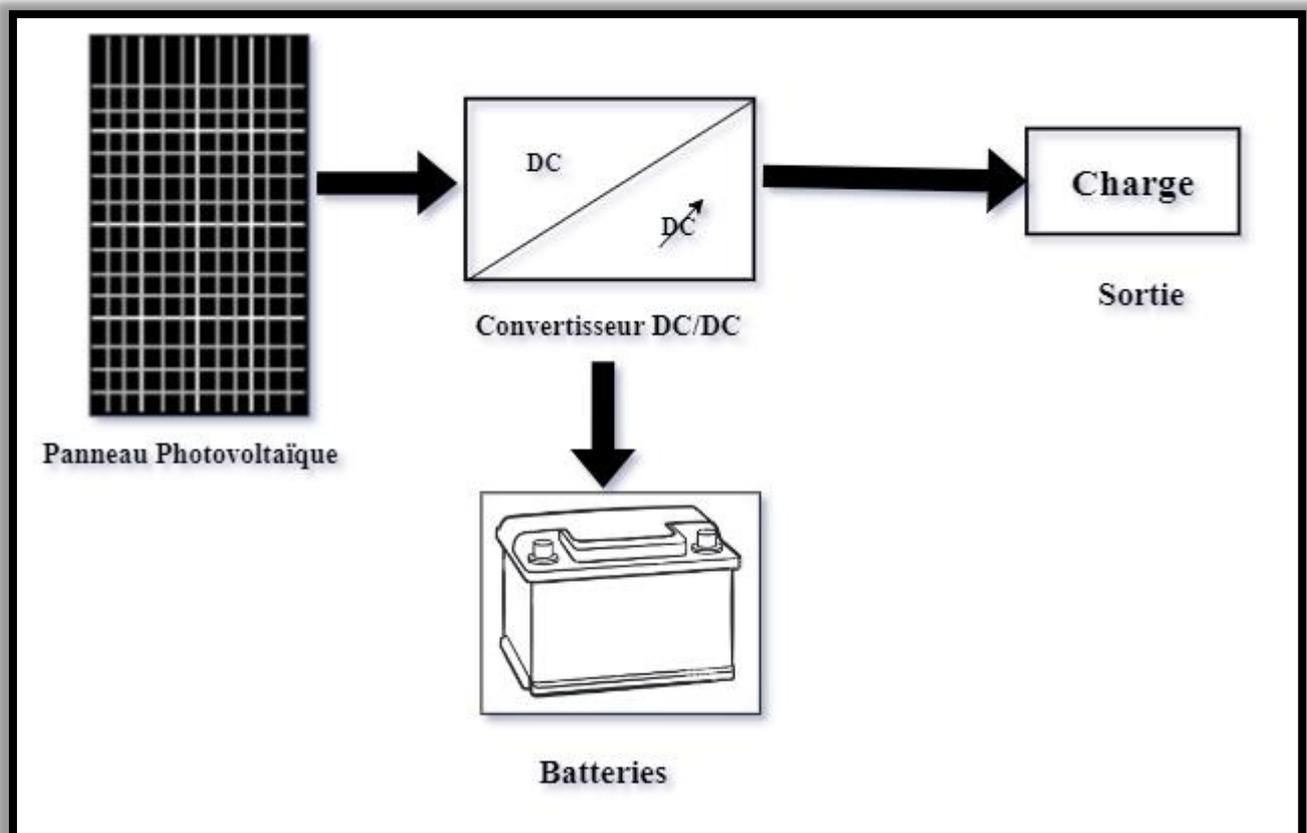


Figure I-1 Schéma Global du système à étudier

I.3 Caractéristiques d'un chargeur solaire

Un chargeur solaire autonome avec un système de compensation représente une solution avancée pour la gestion de l'énergie solaire.

les critères de choix d'un chargeur solaire autonome avec un système de compensation

Le choix d'un chargeur solaire autonome avec un système de compensation doit se baser sur plusieurs critères essentiels pour garantir une performance optimale et une compatibilité avec vos besoins spécifiques:

I.3.1 Compatibilité avec les Panneaux Solaires et les Batteries

- **Type et puissance des panneaux solaires :** Assurez-vous que le chargeur est compatible avec la tension et la puissance nominale des panneaux solaires que vous utilisez.
- **Type de batteries :** Vérifiez que le chargeur supporte le type de batteries que vous avez (plomb-acide, lithium-ion, gel, AGM, etc.).
- **Capacité de batterie :** Le chargeur doit être adapté à la capacité totale de la banque de batteries pour assurer une charge efficace.

I.3.2 Technologie de Charge

- **Algorithmes de charge :** Recherchez des chargeurs avec des algorithmes de charge en plusieurs étapes (bulk, absorption, float) et des modes de charge spécifiques à chaque type de batterie.
- **Compensation de température :** Un bon chargeur doit avoir une sonde de température pour ajuster la tension de charge en fonction de la température ambiante des batteries.

I.3.3 Capacité de Charge et Courant de Charge

- **Tension nominale :** Assurez-vous que le chargeur est compatible avec la tension nominale de votre système (12V, 24V, 48V, etc.).
- **Courant de charge maximal :** Le courant de charge maximal doit être adapté à la capacité de vos batteries pour éviter une surcharge ou une sous-charge.

I.3.4 Fonctionnalités de Protection et Sécurité

- **Protection contre les surtensions :** Le chargeur doit protéger le système contre les surtensions provenant des panneaux solaires.
- **Protection contre les courts-circuits :** Cette fonctionnalité protège le système contre des anomalies électriques.
- **Protection contre les décharges profondes :** Le chargeur doit empêcher les batteries de se décharger en dessous d'un certain niveau critique.
- **Protection contre la surchauffe :** Des mécanismes pour gérer la température et éviter la surchauffe des composants internes.
-

I.3.5 Efficacité et Performance

- **Efficacité de conversion** : Un chargeur avec une haute efficacité de conversion (généralement plus de 90%) est préférable pour minimiser les pertes énergétiques.
- **Suivi du point de puissance maximale (MPPT)** : Les chargeurs MPPT sont plus efficaces que les chargeurs PWM car ils optimisent la collecte d'énergie solaire en temps réel.

I.4 Énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque se démarque des autres sources d'énergie solaire en exploitant directement le rayonnement solaire plutôt que la chaleur. Les panneaux photovoltaïques, installés sur les toits des bâtiments, captent les photons solaires et les transforment en courant électrique [1].

Ces panneaux sont habituellement constitués de couches superposées de cellules, chacune étant chargée positivement ou négativement. Lorsque les photons traversent ces couches, ils déclenchent une réaction qui génère une tension électrique. Pour utiliser cette électricité, il suffit de connecter un fil à la borne positive et un autre à la borne négative. Ainsi, le processus de conversion directe de l'énergie solaire en électricité, caractéristique de l'énergie solaire photovoltaïque, peut être comparé au fonctionnement d'une pile [1].

I.4.1 Générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque, aussi nommé système photovoltaïque, est un dispositif qui transforme directement l'énergie lumineuse du soleil en électricité utilisable. Il se compose de multiples cellules photovoltaïques interconnectées pour former des panneaux solaires. Ces panneaux sont installés sur des structures telles que les toits des bâtiments ou des supports au sol, où ils captent la lumière solaire.

Ces générateurs sont largement employés pour produire de l'électricité dans divers contextes, allant des installations résidentielles modestes aux vastes parcs solaires commerciaux ou industriels. Ils représentent une solution respectueuse de l'environnement et durable, contribuant à diminuer la dépendance aux combustibles fossiles pour la production d'électricité [2].

Il est notable que, tout comme pour une cellule la caractéristique électrique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque (GPV) est non linéaire et présente un point de puissance maximal (P_{ppm}). Ce P_{ppm} est caractérisé par un courant et une tension spécifique, nommées respectivement I_{opt} et V_{opt} . Le fonctionnement optimal d'un GPV dépend de l'impédance de la charge qu'il alimente.

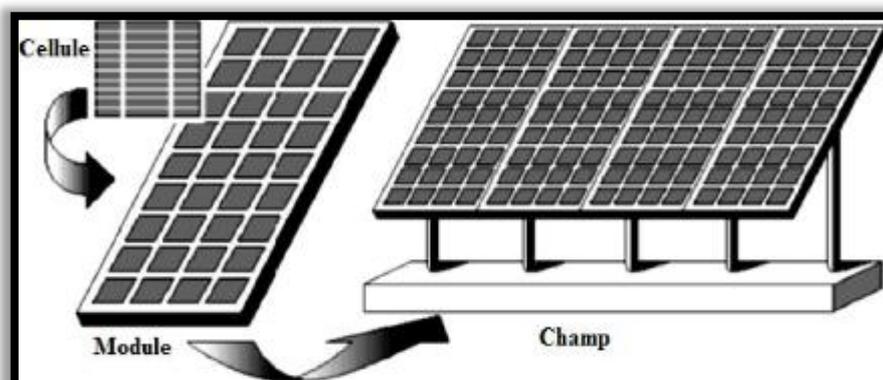


Figure II-2 : Générateur photovoltaïque

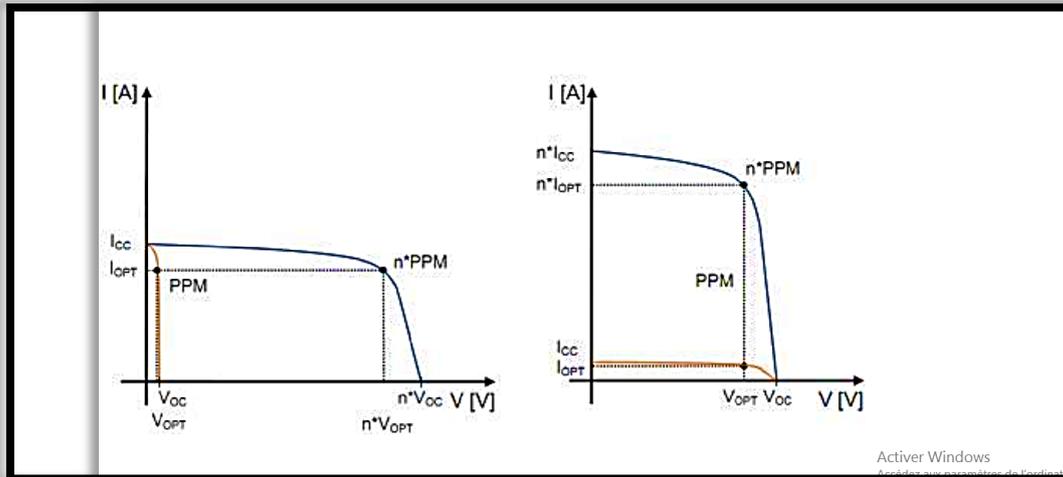


Figure I-3 : Caractéristique résultante d'un groupement en série n_s et parallèle de N_p cellules identiques

I.4.2 Les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque (PV) présente de nombreux avantages, mais aussi quelques inconvénients. Voici une liste des principaux :

Avantages

- Énergie renouvelable : L'énergie photovoltaïque provient de la lumière du soleil, une ressource renouvelable inépuisable. Elle contribue ainsi à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et aux émissions de gaz à effet de serre.
- Faible impact environnemental : La production d'électricité à partir de cellules photovoltaïques émet très peu de polluants atmosphériques et ne produit pas de déchets nocifs. Comparée à d'autres sources d'énergie, comme le charbon ou le pétrole, elle a un impact environnemental beaucoup plus faible.
- Les panneaux photovoltaïques se distinguent par leur caractère modulaire, ce qui permet un montage simple et adaptable à une gamme variée de besoins énergétiques.
- Leurs coûts de fonctionnement sont minimes, grâce à des besoins d'entretien réduits et à l'absence de nécessité de combustible, de transport ou de personnel hautement spécialisé [3].
- De plus, ces systèmes peuvent être conçus pour des puissances extrêmement variables, allant de 20Wc pour des applications telles que la signalisation routière à 1MWc pour des centrales connectées au réseau électrique [3].

Inconvénients

- Variabilité de l'énergie solaire : L'énergie solaire est une source intermittente, dépendante des conditions météorologiques et de la période de la journée. Ceci nécessite des solutions de stockage de l'énergie ou des sources d'énergie de secours pour assurer une alimentation stable en électricité.
- Coûts initiaux élevés : Bien que les coûts de l'énergie solaire aient considérablement diminué, les coûts initiaux d'installation d'un système photovoltaïque restent relativement élevés. Cela peut constituer un obstacle à l'adoption généralisée de cette technologie, en particulier dans les régions où les subventions ou les incitations financières sont limitées.

- Besoin d'espace : Bien que les panneaux solaires puissent être installés sur une grande variété de surfaces, ils nécessitent souvent une superficie importante pour générer une quantité significative d'électricité. Dans les zones urbaines densément peuplées, cela peut poser des défis en termes d'espace disponible [3].
- Pour assurer une efficacité optimale, les panneaux solaires doivent être orientés en direction de l'équateur, avec une inclinaison ajustée selon la saison d'utilisation la moins favorable [3].
- Lorsque le stockage de l'énergie sous forme chimique, tel que des batteries, est nécessaire, le coût du générateur augmente. Cependant, la fiabilité et les performances du système restent équivalentes, à condition que les batteries et les composants de régulation associés soient sélectionnés judicieusement [3].

I.5 Systèmes de stockage

I.5.1 Principe de fonctionnement d'un accumulateur électrochimiques (Batterie)

Les batteries se classent généralement en deux catégories principales : les accumulateurs primaires, qui ne sont pas rechargeables, et les accumulateurs secondaires, qui le sont. De plus, elles peuvent être classées selon leur structure ou leur utilisation spécifique.

Les accumulateurs secondaires sont des dispositifs électrochimiques constitués de deux électrodes, l'une positive et l'autre négative, généralement solides et toujours de natures différentes. Ils sont immergés dans un électrolyte, généralement liquide. Ces dispositifs peuvent fonctionner de deux manières : soit comme des générateurs, agissant comme une pile pour produire du courant électrique, soit comme des récepteurs de courant, où le courant électrique est injecté pour les recharger. Dans le premier cas, il y a décharge de la batterie, tandis que dans le second, il y a charge. Ces deux processus sont parfaitement réversibles, le courant de charge ramenant la batterie à son état initial de décharge. Ce cycle peut se répéter un grand nombre de fois. Il est à noter que le courant de charge est inverse au courant de décharge [4].

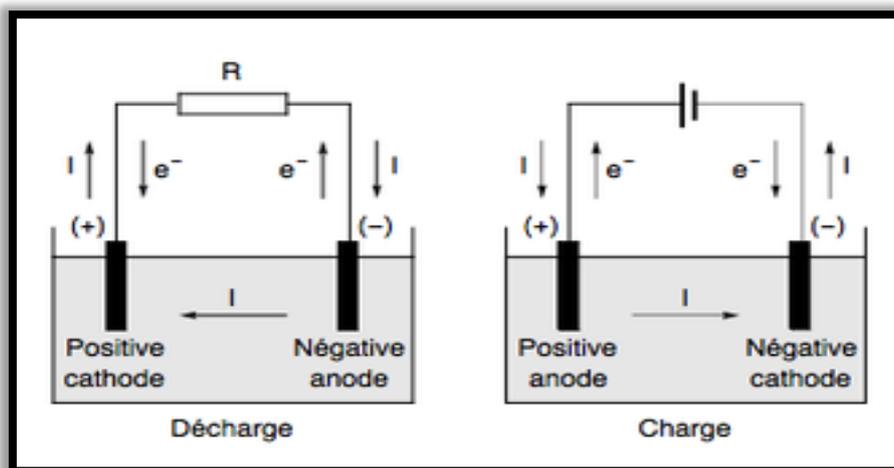


Figure I-4 : principe de fonctionnement d'un accumulateur électrochimique

Dans les systèmes photovoltaïques (PV), les batteries utilisées sont souvent appelées batteries stationnaires ou batteries à décharge profonde. Elles sont spécialement conçues pour fournir un courant stable sur de longues périodes de décharge tout en conservant leur capacité de recharge sur

un grand nombre de cycles. Ces batteries sont généralement divisées en deux types : les batteries ouvertes et les batteries étanches.

Les batteries ouvertes, comprenant les batteries à plaques classiques et à plaques tubulaires, nécessitent un entretien régulier du niveau d'électrolyte, avec de l'acide sulfurique dilué. Elles sont équipées de parois transparentes pour faciliter la vérification du niveau d'électrolyte.

En revanche, les batteries étanches n'ont pas besoin d'entretien du niveau d'électrolyte et sont plus pratiques pour le transport. Elles se déclinent en deux modèles : les batteries à électrolyte libre et les batteries à électrolyte gélifié. Ce dernier modèle présente l'avantage de mieux résister aux variations de température. Cependant, il peut présenter quelques inconvénients tels qu'un coût de fabrication légèrement plus élevé et un risque de séchage si la régulation n'est pas correctement adaptée, ce qui nécessite d'éviter les surcharges.

I.5.2 Composants d'un accumulateur électrochimique (Batteries)

Les accumulateurs fournissent une réserve d'énergie électrique autonome en utilisant une cellule élémentaire composée de deux électrodes plongées dans un électrolyte. L'énergie chimique produite par les réactions électrochimiques est convertie en énergie électrique lors de son utilisation. Contrairement aux piles, les accumulateurs sont réversibles et peuvent être rechargés. Le terme "batterie" est souvent utilisé pour décrire un ensemble de cellules élémentaires rechargeables.

Les électrodes sont désignées par les termes "pôle positif" (+) pour la cathode et "pôle négatif" (-) pour l'anode. Les cathodes sont constituées de matières actives qui se transforment électrochimiquement pour libérer de l'énergie électrique, comme le PbO_2 qui se réduit en PbSO_4 ou le MnO_2 en MnOOH . Les anodes peuvent être métalliques, telles que le zinc, le cadmium, le lithium, ou sous forme de composés comme le carbone-lithium ou les hydrures métalliques.

L'électrolyte est un conducteur ionique pur. Les types couramment utilisés dans les accumulateurs comprennent des solutions salines acides ou basiques dans un solvant liquide, des solutions de sels dans un solvant polymère, des céramiques conductrices d'anions ou de cations, des gels ou des sels fondus [4].

I.5.3 Les Différents Types de Batteries

L'histoire des batteries débute avec Alessandro Volta en 1800, qui découvre le phénomène électrochimique lorsqu'il place deux métaux et une solution ensemble, créant ainsi la première cellule primaire, également connue sous le nom de pile. En 1859, Gaston Planté invente la première batterie rechargeable, en utilisant des électrodes au plomb et une solution d'acide sulfurique, mettant en évidence les réactions chimiques et électriques réversibles lors du changement de direction du courant. Peu après, en 1899, Waldemar Junger crée la première batterie rechargeable au nickel-cadmium (NiCd), utilisant des électrodes en nickel et en cadmium avec de l'hydroxyde de potassium comme électrolyte. Bien que le NiCd offre une compacité supérieure au plomb, il souffre d'un effet mémoire prononcé. Les batteries nickel-hydrure métallique (Ni-MH) font leur apparition en 1990, offrant une densité énergétique accrue et une meilleure sécurité tout en éliminant le cadmium.

Cependant, leur faible densité énergétique spécifique les rend moins adaptées aux besoins croissants de l'électronique embarquée et de l'électrification des véhicules. Par conséquent, les

batteries lithium-ion, introduites par Sony en 1991, ont rapidement pris le dessus en raison de leurs performances supérieures [5].

Dans le monde moderne, les batteries jouent un rôle essentiel dans notre quotidien, alimentant une multitude d'appareils électroniques et fournissant une source d'énergie portable et pratique. Avec une diversité croissante de technologies disponibles, il est essentiel de comprendre les différents types de batteries et leurs caractéristiques uniques. De la fiabilité des batteries au plomb-acide traditionnelles aux performances avancées des batteries lithium-ion, chaque type de batterie présente ses propres caractéristiques comme montrer dans le tableau I-01.

Tableau I.1:Caractéristiques des principales technologies d'accumulateurs [13].

	<i>Li-ion</i>	<i>Ni-MH</i>	<i>Ni-CDd</i>	<i>Pb-Acide</i>
<i>Tension nominal</i>	3.7	1.2	1.2	2
<i>Densité d'énergie volumique (wh/l)</i>	200-600	140-435	60-150	50-80
<i>Densité d'énergie massique (wh/kg)</i>	75-250	30-110	50-75	30-50
<i>Densité de puissance (W/kg)</i>	100-5000	250-2000	150-230	75-30
<i>Cycle de vie</i>	1000-10,000	200-1500	1000-2500	500-1200
<i>Cout (\$/kwh)</i>	600-2500		800-1500	200-400

I.5.3.1 L'accumulateur au plomb-acide

Un accumulateur de 2V constitue l'unité fondamentale d'une batterie au plomb. Il est composé d'électrodes positives et négatives, d'un séparateur microporeux et d'un électrolyte. Dans un élément de batterie de démarrage, utilisant la technologie dite "plomb ouvert", les plaques positives (2) et négatives(1) sont agencées en alternance. La capacité de l'élément est déterminée par le nombre et la surface des plaques pour chaque polarité. Par exemple, une électrode positive peut comporter plusieurs plaques assemblées en parallèle, reliées par des connecteurs(4). Afin d'éviter tout court-circuit entre les plaques de polarité différente, un séparateur microporeux isolant est inséré entre elles lors de l'assemblage(3). Ces plaques sont ensuite regroupées en faisceaux (6) et immergées dans une solution d'acide sulfurique et d'eau distillée. Chaque faisceau constitue un élément de la batterie [4].

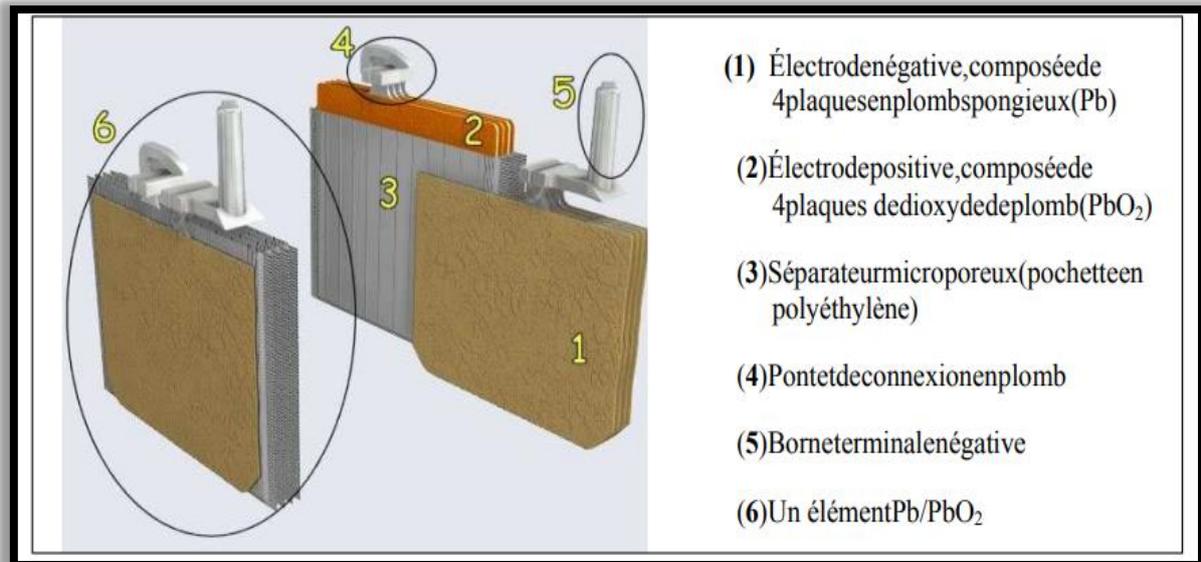


Figure I-5 Vue en coupe d'un élément au plomb ouvert (batterie de démarrage)

I.5.3.1.1 Les constituants essentiels d'une batterie sont:

Une batterie est composée de plusieurs éléments essentiels :

- **Cellule galvanique:** C'est le bloc électrochimique de base, comprenant des plaques positives et négatives séparées par des séparateurs, plongées dans une solution d'électrolyte et incluses dans un bac. Chaque cellule a une tension nominale, par exemple 2,1 volts pour une batterie au plomb.
- **Matières actives :** Elles forment les plaques positives et négatives. L'énergie libérée lors de leurs réactions chimiques permet la production d'énergie électrique. Dans une batterie au plomb, les matières actives sont le dioxyde de plomb dans les plaques positives et le plomb dans les plaques négatives.
- **Électrolyte:** Il s'agit du conducteur dans lequel sont immergées les plaques et qui permet les échanges ioniques entre elles. Dans une batterie au plomb-acide, l'électrolyte est une solution d'acide sulfurique.
- **Grilles:** Elles soutiennent la matière active dans les plaques et assurent la distribution du courant. Dans une batterie au plomb, les grilles sont généralement en alliage de plomb et d'antimoine ou de calcium pour renforcer leur structure.
- **Plaques:** Ce sont les éléments de base de la batterie, composés de grilles et de matière active.
- **Bouchons ou valves:** Ils permettent le remplissage de la batterie et l'évacuation des gaz formés pendant la charge, selon le type de batterie.
- **Séparateurs:** Feuilles microporeuses empêchant les courts-circuits entre les plaques de polarités opposées.
- **Bornes:** Elles relient la batterie au circuit extérieur.
- **Bac:** Fabriqué à partir de matériaux isolants résistants à l'acide, comme le plastique ou l'ébonite.
- **Commutateur PTC:** Une protection interne montée en série pour chaque cellule, limitant le courant en cas de décharge excessive. Sa résistance augmente brusquement en cas de surchauffe, limitant ainsi le courant. Cette technique est utilisée dans certaines cellules cylindriques comme les batteries Li-Ion, Ni-Cd et Ni-MH.

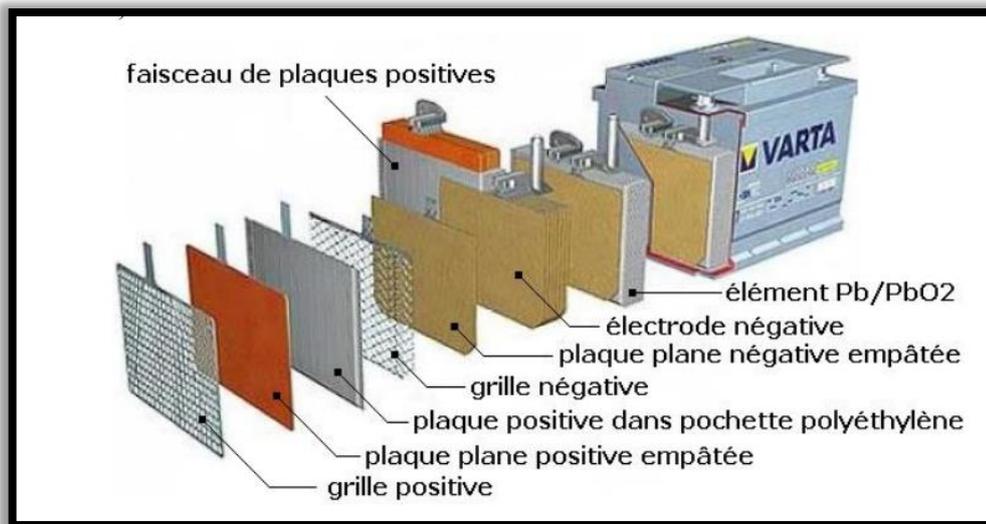


Figure I-6 Vue éclatée d'une batterie.

I.5.3.2 L'accumulateur au Lithium ion (Li-ion)

L'accumulateur au lithium-ion (Li-ion) est une batterie rechargeable utilisée dans de nombreux appareils électroniques, véhicules électriques et systèmes de stockage d'énergie. Il se distingue par son utilisation du lithium dans ses électrodes, offrant une densité énergétique élevée, une faible autodécharge et une longue durée de vie. Cependant, il peut présenter des risques liés à la surcharge et à la surchauffe. Malgré cela, sa performance élevée en fait un choix populaire pour une variété d'applications.

Les batteries lithium sont devenues une solution attrayante pour le stockage d'énergie en raison de leurs performances supérieures, notamment en termes d'énergie spécifique et de densité d'énergie. Dotées de la tension de fonctionnement la plus élevée (3.7V) et étant le métal le plus léger selon la classification périodique des éléments, avec une masse molaire atomique de 6.94g, les batteries lithium bénéficient d'un positionnement avantageux par rapport à d'autres technologies. Cette caractéristique explique leur adoption croissante sur divers marchés, notamment l'électronique portable, l'aéronautique, le transport terrestre et l'électronique domestique [5].

I.5.3.2.1 Composantes et caractéristiques d'une batterie Lithium-ion

Une batterie lithium-ion est composée de plusieurs éléments essentiels qui lui confèrent ses caractéristiques spécifiques :

➤ **Électrodes :**

- **Anode (électrode négative) :** Typiquement composée de graphite ou de carbone, elle est le siège de l'insertion de lithium pendant la charge.
- **Cathode (électrode positive) :** Composée de matériaux variés tels que le lithium cobalt (LiCoO_2), le phosphate de fer lithium (LiFePO_4) ou le manganèse lithium (LiMn_2O_4). La cathode détermine la capacité et la stabilité thermique de la batterie.

➤ **Électrolyte** : Il s'agit généralement d'un liquide organique contenant des sels de lithium qui facilitent le transport des ions lithium entre les électrodes lors des cycles de charge et de décharge. L'électrolyte est crucial pour la conductivité ionique et la performance de la batterie.

➤ **Séparateur** : Il s'agit d'une membrane poreuse placée entre les électrodes pour empêcher les courts-circuits tout en permettant le passage des ions lithium. Ce composant est essentiel pour garantir la sécurité et la stabilité de la batterie.

➤ **Boîtier et connecteurs** : Le boîtier de la batterie est généralement fabriqué à partir de matériaux robustes et résistants à la chaleur pour protéger les composants internes. Les connecteurs permettent de relier la batterie à l'appareil ou au système qu'elle alimente.

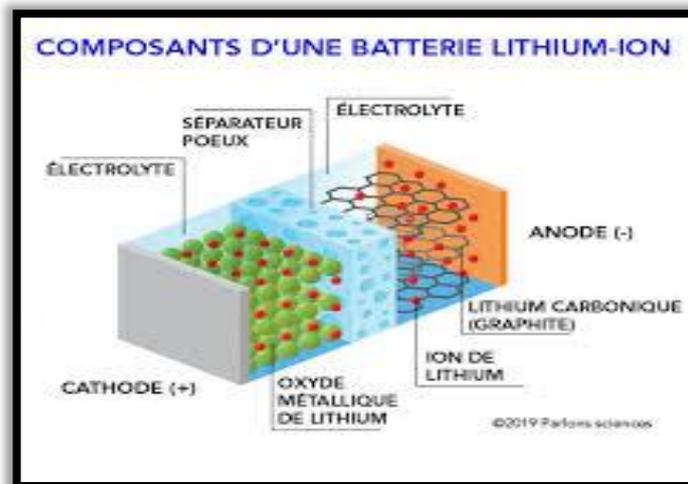


Figure I-07 La structure d'un accumulateur lithium-ion

Caractéristiques principales des batteries lithium-ion :

➤ **Tension nominale** : La tension nominale d'une batterie lithium-ion est généralement d'environ 3.7 volts par cellule.

➤ **Capacité** : La capacité d'une batterie est mesurée en ampères-heures (Ah) et représente la quantité d'énergie électrique qu'elle peut stocker. Les batteries lithium-ion ont une capacité spécifique élevée par rapport à leur poids et leur volume.

➤ **Taux de décharge** : Il s'agit de la vitesse à laquelle une batterie peut libérer son énergie. Les batteries lithium-ion ont généralement un taux de décharge élevé, ce qui les rend adaptées aux applications nécessitant une alimentation instantanée et robuste.

➤ **Cycle de vie** : Le cycle de vie d'une batterie lithium-ion fait référence au nombre de cycles de charge et de décharge qu'elle peut subir tout en conservant des performances acceptables. Les batteries lithium-ion ont tendance à avoir un nombre élevé de cycles de vie par rapport à d'autres technologies de batteries rechargeables.

➤ **Sécurité** : Les batteries lithium-ion sont conçues avec des systèmes de gestion de la batterie (BMS) pour surveiller et contrôler les paramètres tels que la température, la tension et le courant, assurant ainsi leur fonctionnement sûr et fiable.

I.5.3.2.2 Évolution de la technologie et chimies du lithium-ion

À ce jour, malgré les progrès constants dans le domaine des batteries, une solution idéale combinant faible coût, sécurité accrue, autonomie étendue, longue durée de vie et recyclabilité optimale reste à atteindre. Les technologies lithium-ion se distinguent par leur composition chimique, notamment au niveau de l'électrode positive, et chaque application peut bénéficier d'une chimie spécifique répondant à ses exigences.

Actuellement, trois types de cathodes dominent le marché des batteries lithium-ion. Le premier type, basé sur des dioxydes métalliques comme le LiCoO_2 , offre la densité d'énergie la plus élevée et reste privilégié dans les applications portables telles que les téléphones mobiles et les lecteurs MP3[14]. Cependant, en raison du coût élevé du cobalt et de sa stabilité précaire, d'autres alternatives comme les NCA et les NMC ont émergé, offrant une stabilité thermique améliorée et un coût moindre malgré une légère réduction de densité d'énergie.

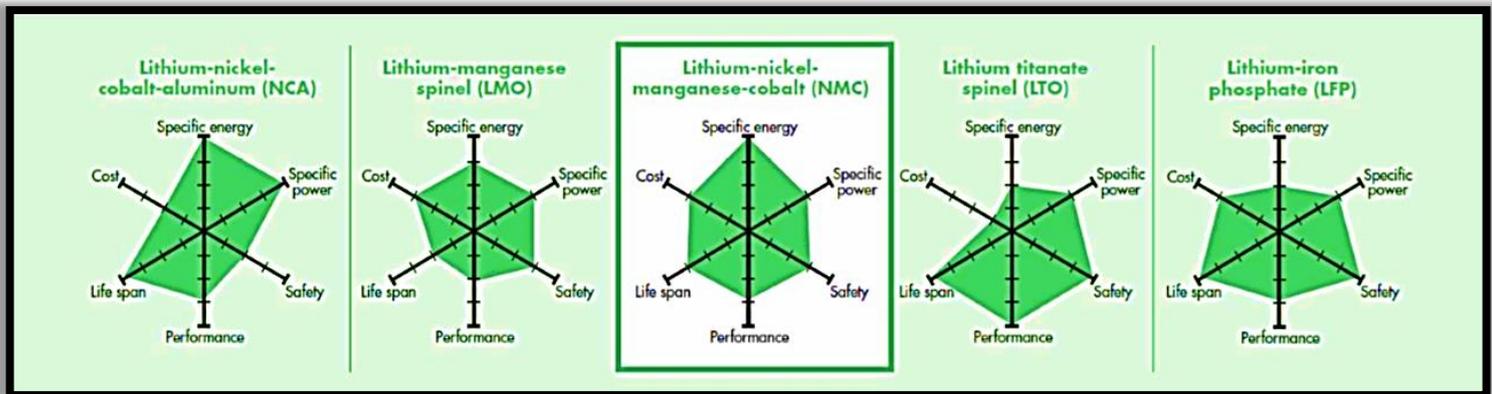


Figure I-08 Caractéristiques de différentes technologies de batterie lithium-ion

Les cathodes "spinelle" comme le LiMn_2O_4 , privilégiant le manganèse, ont également gagné en popularité, bien que les NMC présentent une densité d'énergie supérieure en raison de la présence de cobalt. Ensuite, les batteries LFP se sont imposées comme une alternative prometteuse, offrant une sécurité accrue et un coût réduit grâce à l'abondance de phosphate et de fer dans leur composition. Leur stabilité thermique jusqu'à 600°C les rend adaptées aux applications à forte intensité de courant. Cependant, leur faible densité d'énergie et la linéarité de leur courbe de tension par rapport à l'état de charge sont des inconvénients notables par rapport aux technologies basées sur le LiCoO_2 .

I.5.4 Caractéristiques de fonctionnement de la batterie avec le GPV

La courbe de charge d'une batterie alimentée par un module photovoltaïque (GPV) résulte de la superposition des caractéristiques courant-tension du module PV et de la batterie en cours de charge. En première approximation, la tension de charge de la batterie reste pratiquement constante en dehors des brefs instants en début et en fin de charge. Cette tension de la batterie, V_b , telle qu'elle est perçue par le module, dépend de deux paramètres principaux : la force contre électromotrice E_0 et la très faible résistance interne R_{bat} de la batterie.

I.6 Convertisseur DC-DC :

I.6.1. Introduction

Dans le contexte actuel de transition vers des sources d'énergie plus durables, les chargeurs solaires émergent comme une solution prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques tout en réduisant l'empreinte environnementale. Ces appareils exploitent l'abondance de l'énergie solaire pour fournir une alimentation électrique propre et renouvelable à une gamme variée d'appareils électroniques, offrant ainsi une mobilité sans compromis écologique. Cependant, au cœur de cette technologie se trouve un élément souvent négligé mais indispensable : les convertisseurs DC-DC. Ces composants ingénieux sont chargés de réguler et d'optimiser les tensions électriques, garantissant ainsi une conversion efficace de l'énergie solaire en une source d'alimentation stable et fiable. Dans cette partie, nous plongerons dans les différents types de convertisseurs DC-DC, en explorant leur fonctionnement, leurs avantages et leurs applications.

I.6.2. Les différents types de convertisseur DC-DC

Il existe deux catégories de convertisseurs continu-continu. La première catégorie, appelée "alimentations à découpage", utilise un transformateur isolé. Ce type est couramment utilisé pour les petites puissances dans les conversions DC/DC, qui permet d'assurer un isolement galvanique, comme dans les alimentations des ordinateurs personnels. Le deuxième type, non isolé, est simplement désigné comme "les hacheurs". Ces derniers sont généralement utilisés dans des applications nécessitant des puissances moyennes à élevées [6].

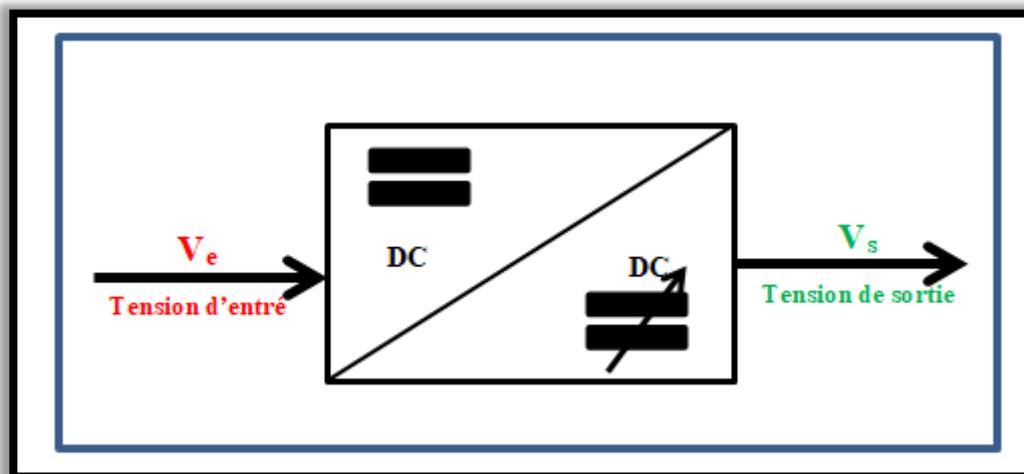


Figure I-09 Schéma du principe d'un convertisseur DC-DC.

Le mot "hacheur" vient du verbe "hacher", qui signifie couper ou fragmenter en petits morceaux. En électronique, un "hacheur" est un dispositif électronique qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur différente ; d'où le terme convertisseur DC-DC ; en utilisant généralement des techniques et appareils de commutation. Le terme "hacheur" est utilisé en français

pour désigner ces dispositifs en raison de leur fonctionnement qui découpe la tension d'entrée en segments pour obtenir la tension de sortie souhaitée.

Les hacheurs peuvent être classés en deux catégories distinctes. Les convertisseurs réversibles permettent l'inversion du courant ou de la tension, tandis que les non réversibles permettent le transfert de l'énergie électrique dans un sens unidirectionnel, c'est-à-dire de la source vers la charge. Les hacheurs réversibles trouvent une utilisation importante dans le domaine de la traction électrique à courant continu, notamment dans les engins de traction pour chemins de fer, tramways, métros, trolleybus et véhicules à batteries tels que les voitures électriques et les locomotives de mines [7].

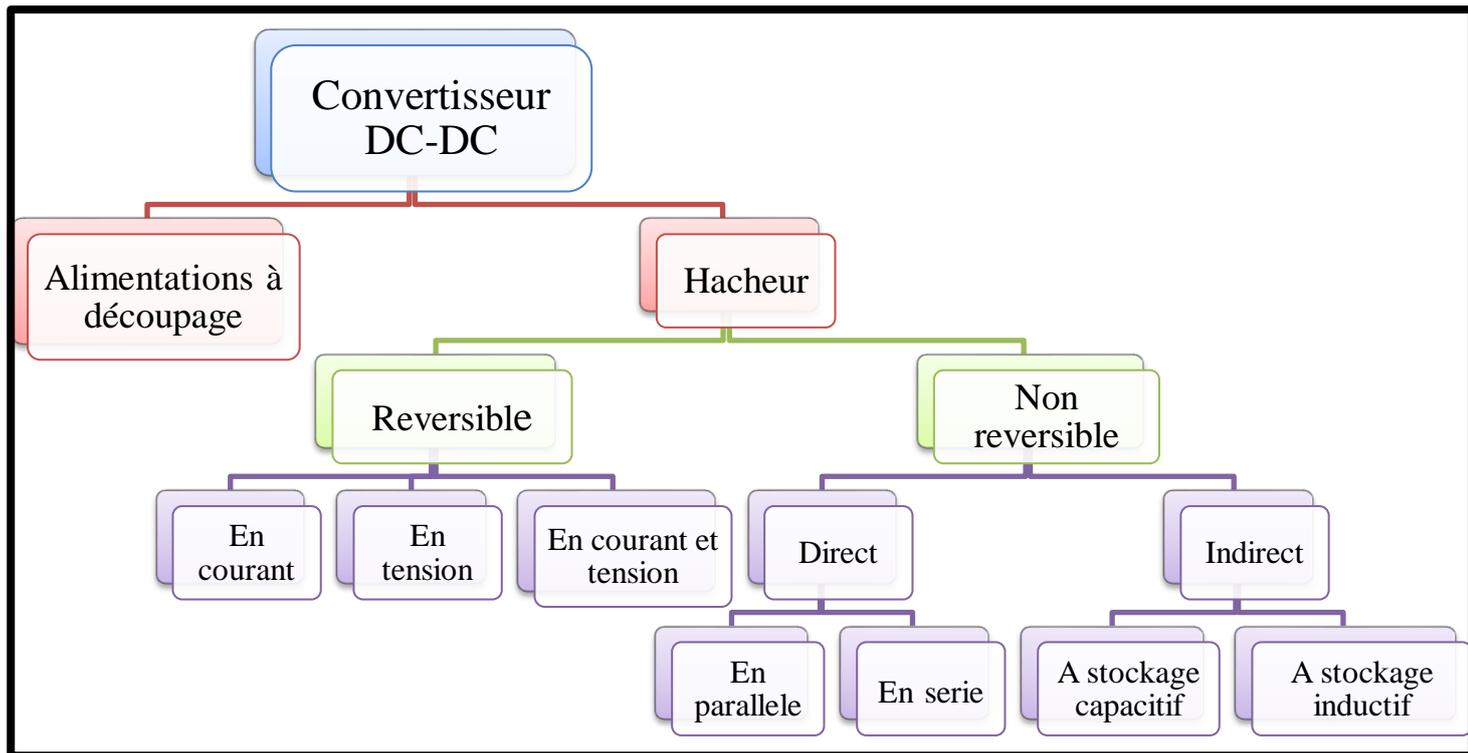


Figure I-10 Différents types de convertisseurs DC-DC

I.6.2.1. Hacheurs réversibles

Les hacheurs permettent une réversibilité tant en tension qu'en courant, offrant ainsi la possibilité d'inverser le sens de circulation de l'énergie. Par conséquent, une source peut fonctionner comme une charge et vice versa. Ce principe est couramment utilisé dans les systèmes d'entraînement électrique. Par exemple, un moteur alimenté par un hacheur agit en tant que charge. Cependant, lorsqu'on souhaite effectuer un freinage, le moteur se transforme en générateur, ce qui renvoie de l'énergie vers la source (offrant une meilleure efficacité qu'un simple freinage mécanique) [8].

Dans cette catégorie, on distingue trois types :

- hacheur réversible en tension
- hacheur réversible en courant

- hacheur réversible en courant et en tension

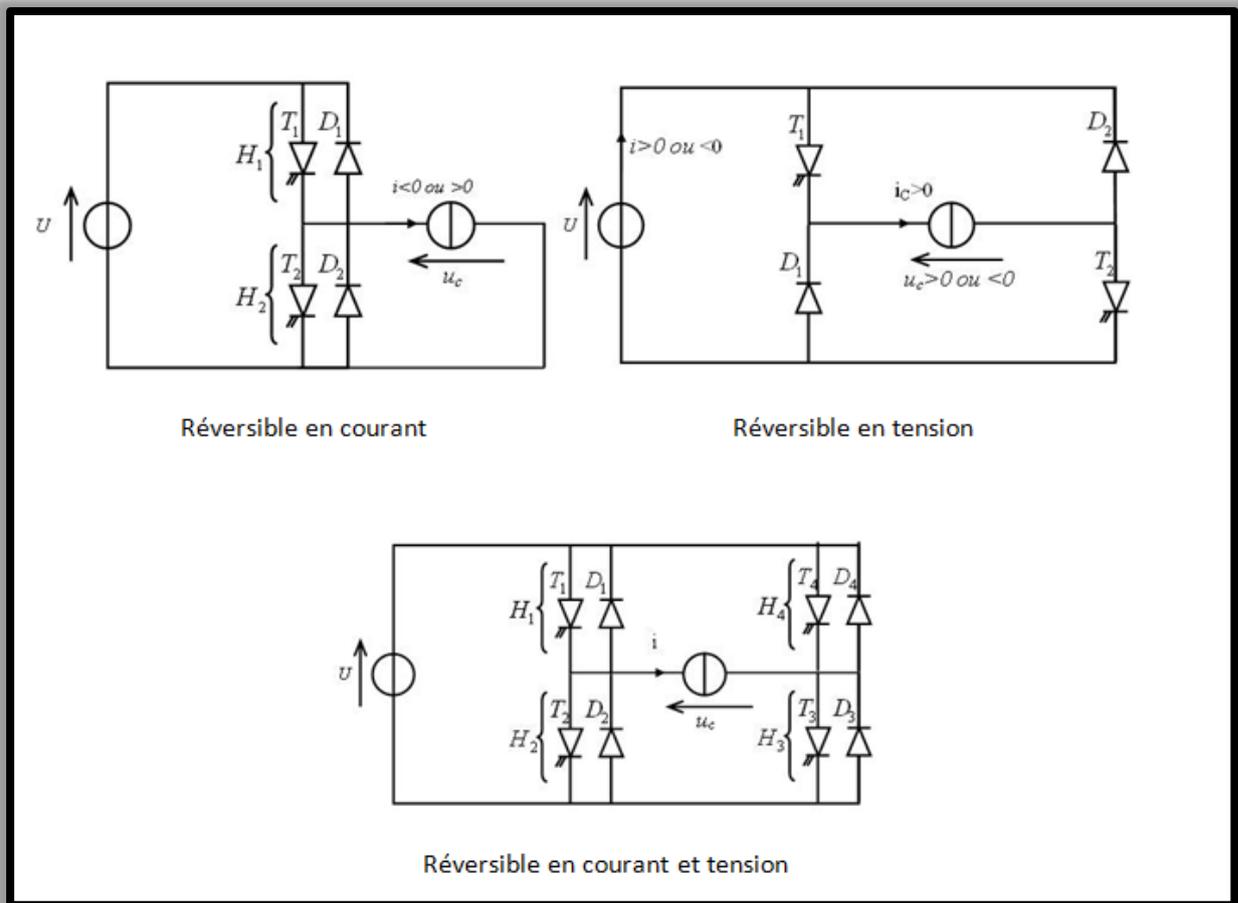


Figure I-11 Schéma des types d'hacheurs réversibles

I.6.2.2. Hacheurs non réversibles

Ces structures, contrairement aux hacheurs réversibles, ne permettent pas la réversibilité de la tension ou du courant. Ainsi, il s'agit donc de configurations unidirectionnelles où le flux d'énergie est toujours du côté de la source vers la charge. Celle-ci se compose de deux types :

- Les hacheurs à liaison directe qui lient deux sources de nature différentes :
- Le hacheur série ou hacheur dévolteur (buck converter).
- Le hacheur parallèle ou hacheur survolteur (boost converter).
- Les hacheurs à liaison indirecte ou à accumulation qui lient deux sources de même nature
- Le hacheur à stockage inductif ou parallèle -série (buck-boost converter).
- Le hacheur à stockage capacitif (Cük, SEPIC et Zeta).

I.6.2.2.1. Hacheur Direct :

Un hacheur direct est un dispositif électronique qui convertit une tension d'entrée continue en une tension de sortie continue de magnitude variable. Ils ne permettent pas le flux bidirectionnel de l'énergie entre la source et la charge. Ils sont souvent utilisés dans les applications où seul un contrôle unidirectionnel de la puissance est nécessaire, comme dans les systèmes de commande de moteurs à courant continu.

a) Hacheur dévolteur ou série (buckconverter)

Un hacheur dévolteur est un convertisseur de tension continu à continu qui abaisse la tension (la tension moyenne de sortie est inférieure à celle de l'entrée ($U_{smoy} < U_e$). Il agit comme un lien direct entre une source de tension continue et un récepteur de courant continu. Le circuit RC fonctionne comme un récepteur de tension, nécessitant l'ajout d'une inductance L en série pour transformer l'ensemble en récepteur de courant continu. L'inductance L et la capacité C forment un filtre du second ordre, ce qui assure un filtrage efficace de la tension de sortie U_s [7].

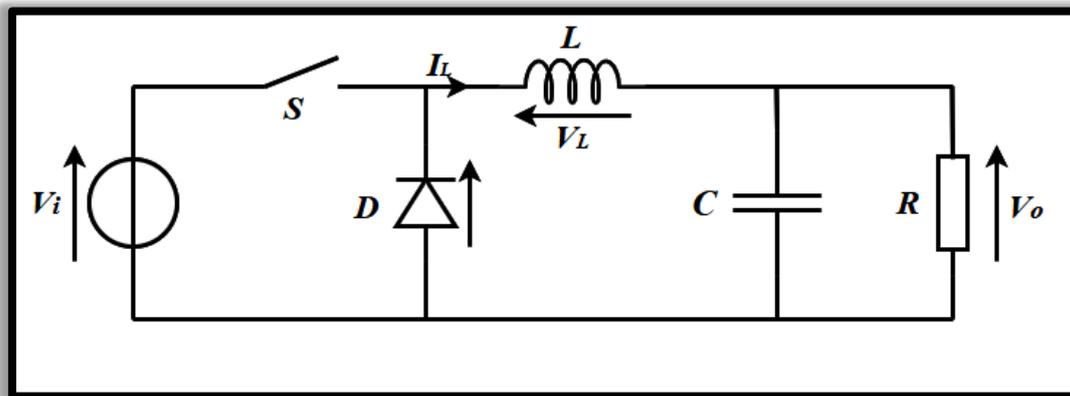


Figure I-12 Schéma électrique du hacheur buck

Principe de fonctionnement :

Le cycle de fonctionnement, d'une période de hachage T , se divise en deux étapes distinctes :

- Pendant la première étape, l'interrupteur est fermé et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. Durant cette phase, qui s'étend de 0 à αT (α étant compris entre 0 et 1 et souvent appelé rapport cyclique), la source VPV alimente à la fois la charge et l'inductance en énergie.
- Dans la seconde étape, l'interrupteur est ouvert. La diode devient conductrice car l'énergie stockée dans l'inductance dirige le courant à travers la diode de roue libre D . Cette phase dure de αT à T [9].

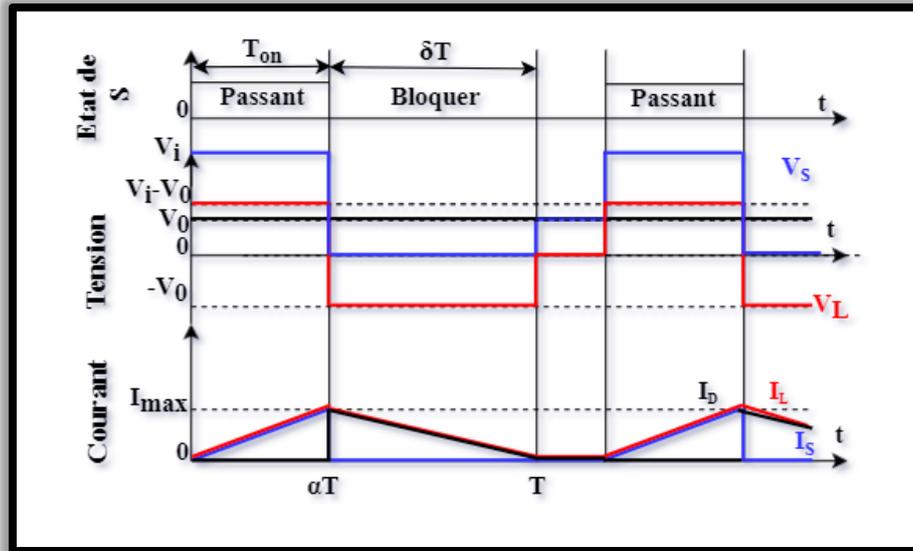


Figure I-13 Les formes d'ondes dans un convertisseur Buck

b) Hacheur survolteur ou parallèle (boost convertter)

Le hacheur parallèle est un convertisseur direct de tension continu à tension continu qui élève la tension. La source d'entrée est un courant continu (comprenant une inductance en série avec une source de tension), tandis que la charge de sortie est une tension continue (avec un condensateur en parallèle avec la charge résistive).

La résistance R et le condensateur de filtrage C, agissant comme le récepteur propre du système et montés en parallèle, fournissent le comportement de source de tension nécessaire au fonctionnement du convertisseur. Cependant, pour adapter l'alimentation en tension V_e en une source de courant, il est nécessaire d'introduire une bobine d'inductance L en série avec cette alimentation [8].

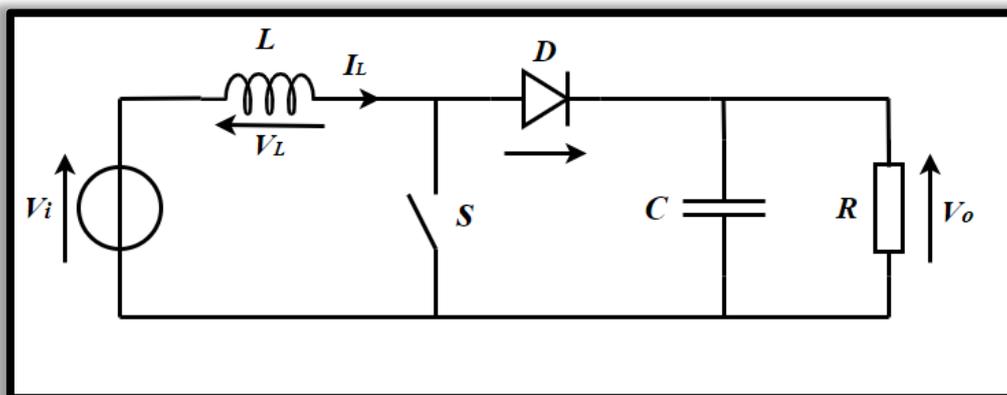


Figure I-14 Schéma électrique du hacheur boost

Principe de fonctionnement :

- Durant la phase qui s'étend de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé, ce qui maintient la tension à ses bornes à zéro. Pendant cette période, la source et la charge ne sont pas connectées. La diode est bloquée, tandis que le courant dans l'inductance augmente de manière linéaire.
- Pour la seconde phase, de αT à T , l'interrupteur commandé est ouvert, permettant à l'énergie stockée dans l'inductance de diriger le courant à travers la diode, qui devient conductrice [9].

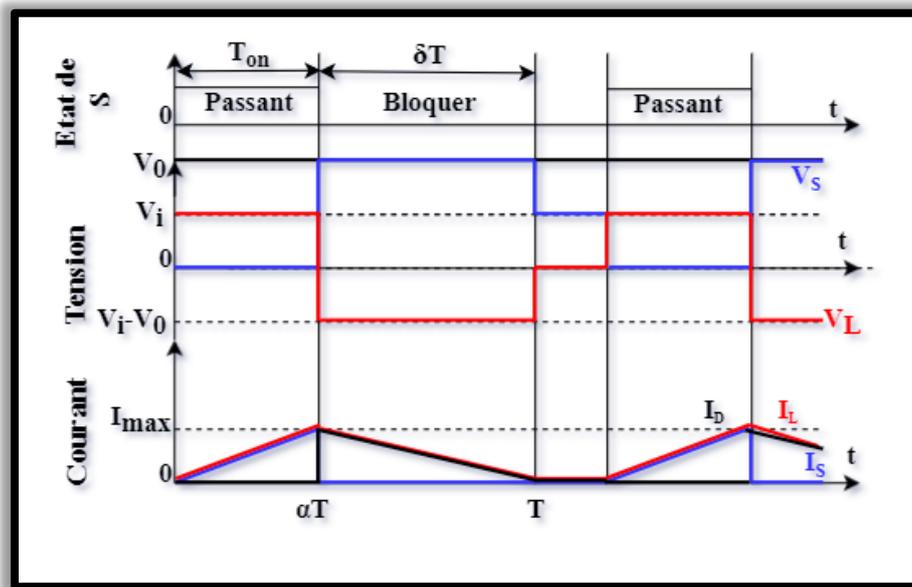


Figure I-15 Les formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Boost

I.6.2.2.2. Hacheur indirect :

Les hacheurs à liaison directe sont conçus pour ajuster le transfert d'énergie uniquement entre des sources de natures différentes, telles qu'une tension et un courant. Pour réguler le transfert d'énergie entre deux sources de même nature, un convertisseur indirect est nécessaire. Ce type de convertisseur inclut un étage intermédiaire équipé d'un élément de stockage d'énergie, comme une inductance ou un condensateur. Les hacheurs à liaison directe sont rarement utilisés pour des applications de moyenne et forte puissance. Leur utilisation principale se trouve dans les alimentations à découpage de faible puissance, fonctionnant à des fréquences ultrasonores [8].

a) Le hacheur à stockage inductif ou parallèle-série (buck-boost converter)

Le hacheur à stockage inductif autrement nommé parallèle-série ou survolteur-dévolteur, en anglais buck-boost, est une combinaison entre les propriétés des deux convertisseurs directs par conséquent il peut jouer les deux rôles tant qu'abaisseur ou élévateur de tension. Il relie entre deux sources de tension continue (DC) indirectement par l'intermédiaire d'une source de courant

continu (bobine). De plus c'est un montage inverseur de tension (tension de sortie négative par rapport à la référence de la source d'entrée).

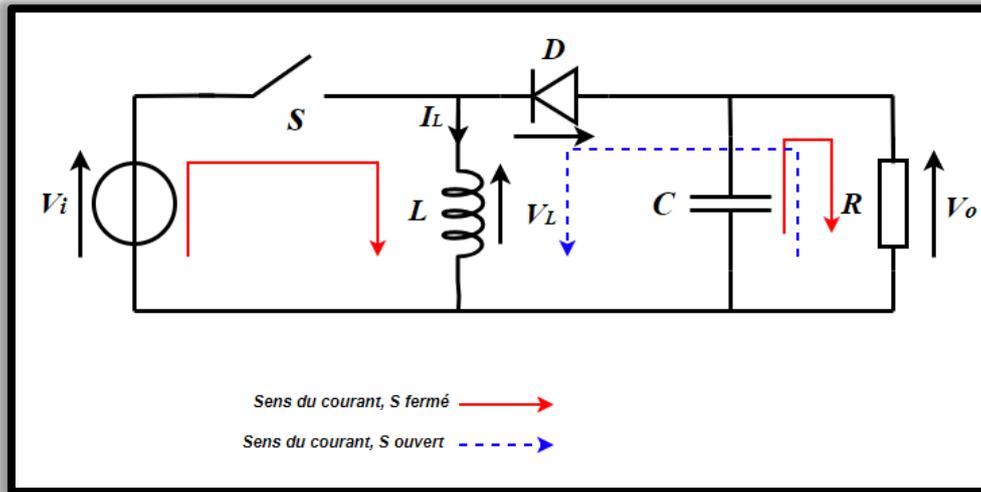


Figure I-16 Schéma électrique du Convertisseur buck-boost indiquant le sens du courant

Ce convertisseur est essentiellement utilisé pour les appareils électroniques portatifs, et permet d'optimiser la durée d'autonomie de la batterie tout en protégeant le système [10].

Principe de fonctionnement :

Ce dispositif de conversion statique permet de générer une tension continue variable qui peut être soit supérieure, soit inférieure à la tension d'entrée, laquelle demeure constante.

- Pendant la première phase de conduction, de 0 à αT , l'interrupteur commandé est activé, la diode reste bloquée, et l'inductance accumule l'énergie fournie par la source d'entrée.
- Lors de la seconde phase, de αT à T , l'interrupteur commandé est ouvert et la diode devient conductrice, permettant à l'inductance de transférer son énergie à la charge [9].

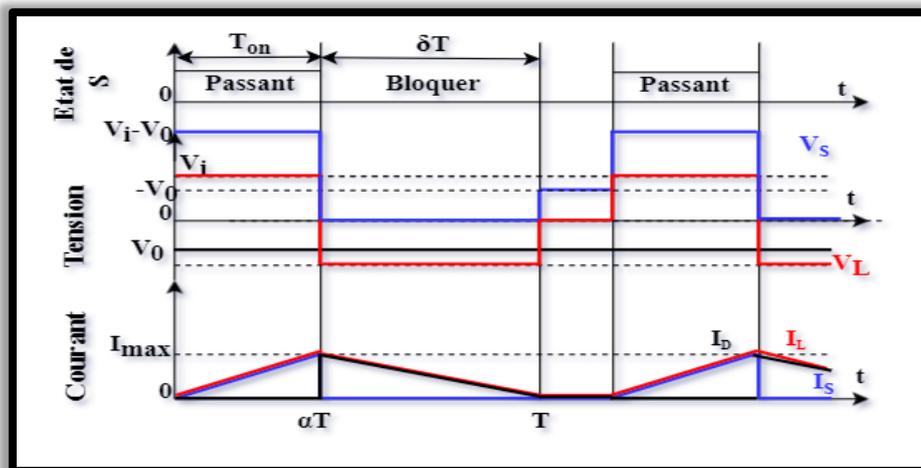


Figure I-17 Les Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur buckboost

b) Le hacheur à stockage capacitif (Cük, SEPIC et Zeta)

1) Hacheur Cük :

Ce dispositif est essentiellement un circuit convertisseur capable de modifier la tension électrique fournie par une source de courant continu. Il agit comme un intermédiaire entre deux sources de courant continu en utilisant une source de tension continue, généralement un condensateur, pour stocker et redistribuer l'énergie fournie par le générateur vers le récepteur. En d'autres termes, il permet de réguler, d'abaisser, d'élever ou d'inverser la tension électrique selon les besoins du système [7].

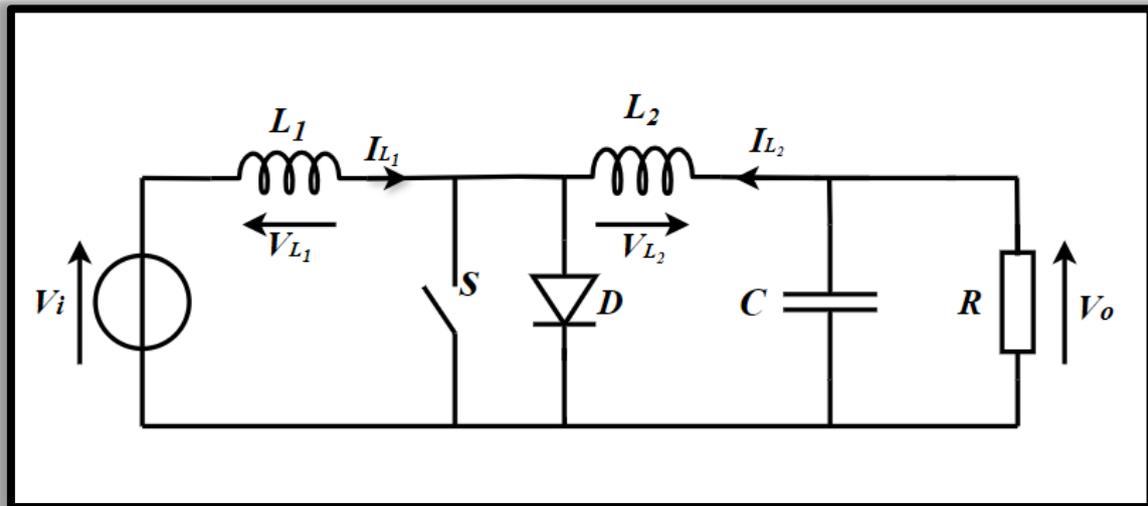


Figure I-18 Schéma électrique du Convertisseur Cük

2) Hacheur SEPIC :

La conception du hacheur SEPIC est basée sur celle du hacheur à stockage capacitif, mais elle diffère en permutant la position de la diode de sortie et de l'inductance de sortie par rapport à cette dernière. Contrairement au hacheur Cuk, le hacheur SEPIC n'effectue pas d'inversion de tension, bien qu'il partage certaines caractéristiques similaires avec ce dernier [8].

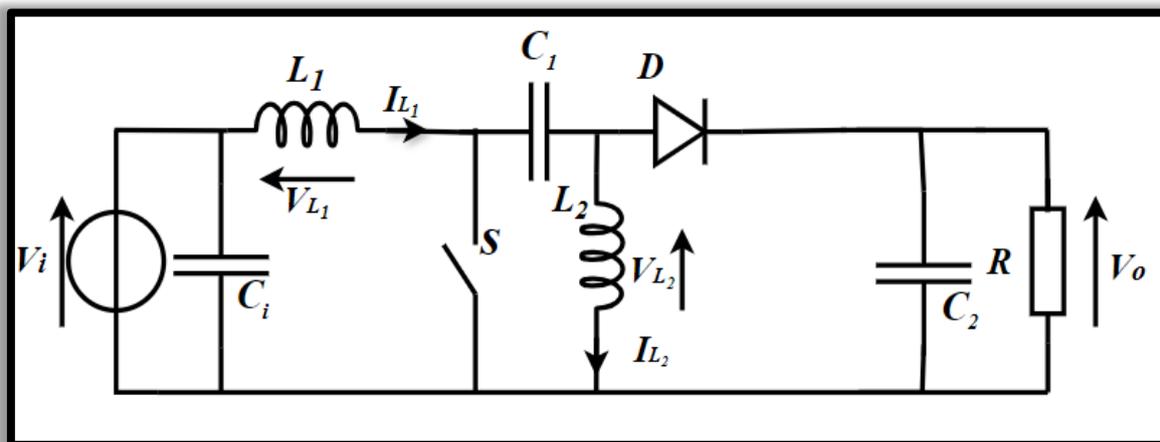


Figure I-19 Schéma électrique du Convertisseur SEPIC

3) Hacheur ZETA :

Tout comme le convertisseur Cuk, le convertisseur ZETA est une évolution qui partage des similitudes avec son prédécesseur. Il conserve certaines caractéristiques similaires tout en étant également non inverseur de tension. De plus, il offre la possibilité de coupler les bobines sur le même circuit magnétique pour garantir un isolement galvanique, ce qui est une fonctionnalité notable.

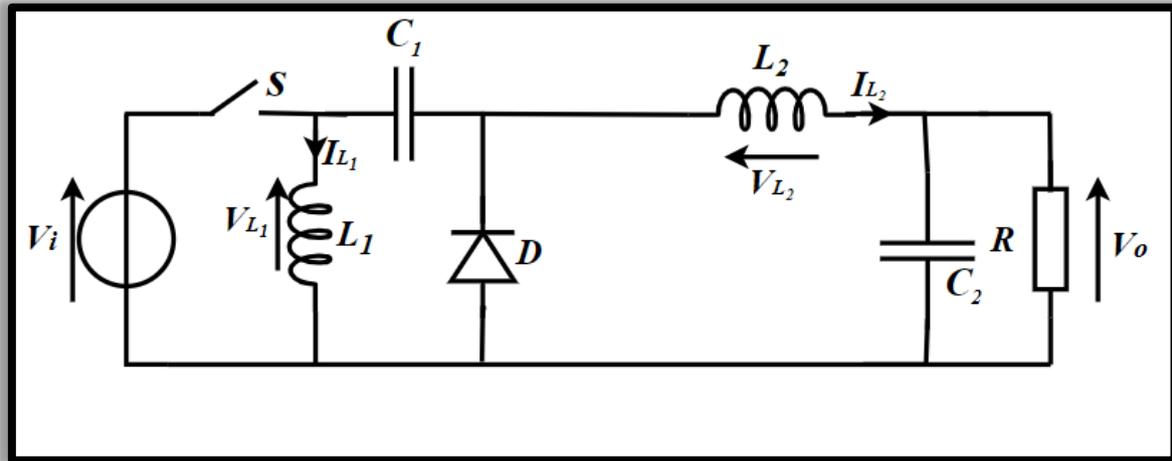


Figure I-20 Schéma électrique du Convertisseur ZETA

Le schéma synoptique qui résume les liaisons entre une source entrée (alimentation) et une source de sortie (charge) que ce soient des sources de courant ou de tension représenté dans la figure ci-dessous.

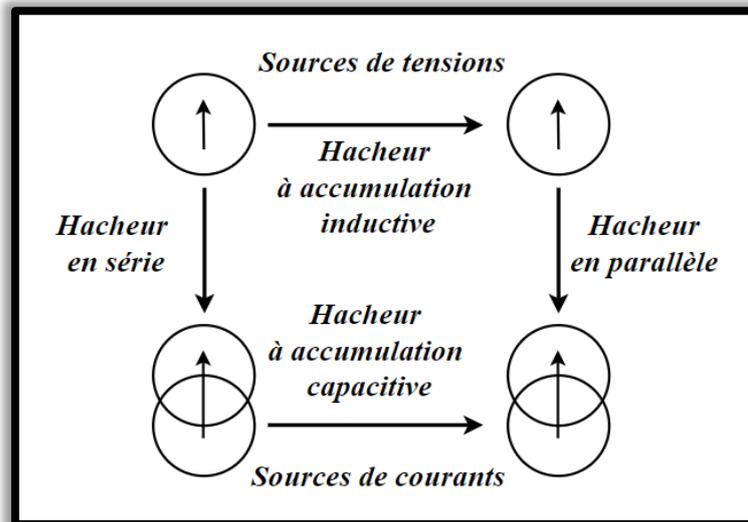


Figure I-21 Représentation générale des hacheurs non réversibles

I.6.3.Remarque

La topologie Buck est souvent utilisée pour les faibles tensions. Dans le domaine des applications photovoltaïques, le convertisseur Buck est couramment utilisé comme chargeur de batteries et dans les systèmes de pompage d'eau. En revanche, la topologie Boost est employée pour augmenter la tension.

Dans les systèmes de production d'énergie, un convertisseur Boost est souvent utilisé pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur. De plus, il existe des topologies capables d'ajuster à la fois la tension à la hausse et à la baisse, comme le Buck-Boost, le Cuk et le SEPIC.

Les convertisseurs DC-DC peuvent être envisagés comme des transformateurs DC-DC, adaptant la tension selon les besoins spécifiques de l'application [11].

Le convertisseur SEPIC trouve son utilité dans diverses applications telles que la charge de batteries et la correction du facteur de puissance (PFC) pour les convertisseurs AC-DC. Son avantage réside notamment dans l'usage de l'inductance en série avec la source d'entrée, ce qui le rend particulièrement adapté à ces applications [10].

Ce genre de convertisseur à stockage capacitif offre divers avantages, notamment une réduction notable de l'ondulation du courant prélevé sur la source d'alimentation [12].

I.7 Conclusion

Un chargeur solaire autonome avec un système de compensation représente une solution avancée pour la gestion de l'énergie solaire. Il offre une optimisation dynamique du processus de charge, des protections améliorées et une adaptabilité accrue aux conditions variables, assurant ainsi une efficacité et une fiabilité maximales pour les systèmes photovoltaïques. Dans le prochain chapitre, on va accorder une attention particulière sur les composantes spécifiques qui vont être utilisés dans la modélisation et la réalisation du chargeur solaire.

CHAPIRE II

**Etude D'un Chargeur
Solaire**

II.1 Introduction

Les chargeurs solaires représentent une innovation écologique et pratique dans le domaine de la recharge des appareils électroniques. Ils exploitent l'énergie solaire, une ressource renouvelable abondante, pour alimenter une grande variété d'appareils, des téléphones portables aux ordinateurs portables en passant par les lampes de camping. Ce système repose sur des composants essentiels, tels que les panneaux solaires, les hacheurs et les batteries, qui travaillent en synergie grâce à une commande pour capturer, convertir et stocker l'énergie solaire de manière efficace. Dans ce processus, les batteries agissent comme un système de compensation, permettant de stocker l'énergie excédentaire pour une utilisation ultérieure, assurant ainsi un approvisionnement constant en électricité, même lorsque les conditions météorologiques sont défavorables.

Ce chapitre explorera plus en détail ces composants présents dans le chargeur solaire et leur rôle afin de pouvoir adapter nos circuits et les dimensionner.

II.2 Représentation synoptique des principaux composants d'un chargeur solaire

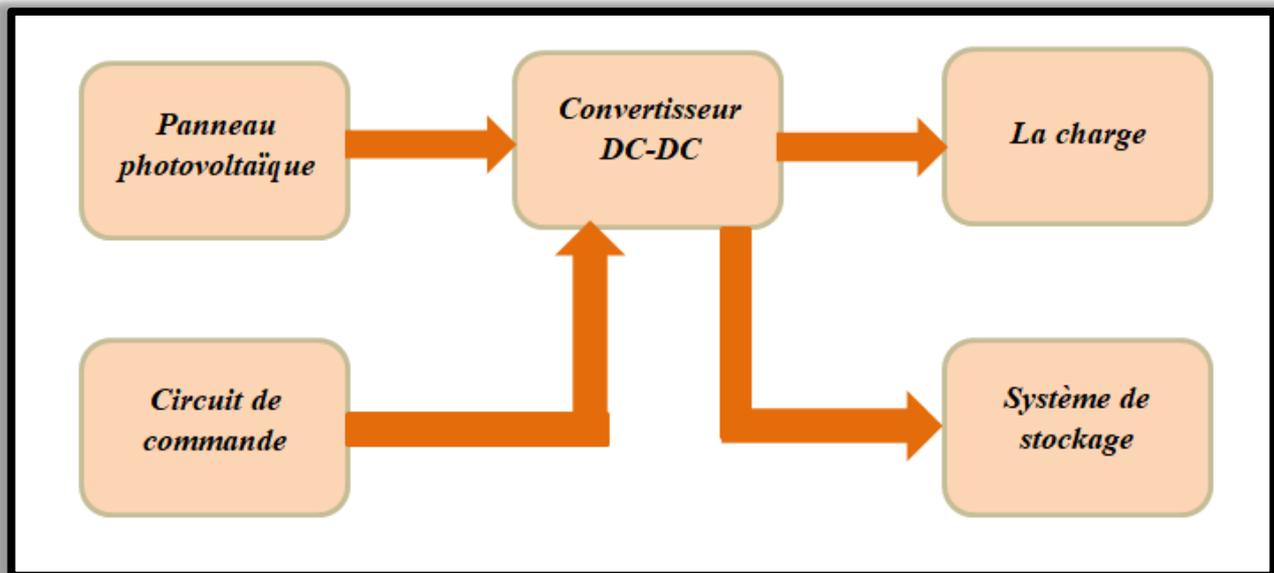


Figure II-1 : schéma synoptique des principaux composants d'un chargeur solaire

Le système global de notre chargeur a pour composants 5 blocs principaux :

- Le panneau photovoltaïque tant que source d'entrée
- La charge
- Le hacheur (circuit de puissance)
- Les batteries
- Circuit de commande (arduino-uno, circuit d'adaptation, régulateur)

II.3 Description et dimensionnement des différents blocs :

II.3.1 Le panneau photovoltaïque

Dans notre cas la source d'entrée est un seul panneau photovoltaïque de la marque Suntech plus précisément le model « STP080S-12/Bb » avec les caractéristiques sous les conditions standards (1000 W/m², Température de cellule : 25 °C) suivante :

Tableau II-01 : Les caractéristiques du panneau STP080S-12/Bb

Grandeur	Symbole	Valeur
Puissance maximale	P_{max}	80W
Tension maximale	V_{mp}	17.2V
Courant maximal	I_{max}	4.65A
Courant de court-circuit	I_{cc}	5A
Tension de circuit ouvert	V_{co}	21.6V
Coefficient de la température de la tension	α	-035%/°C
Coefficient de la température de la puissance	β	-0.45%/°C

Les panneaux photovoltaïques sont des assemblages de cellules photovoltaïques. Donc ils sont constitués de ces cellules photovoltaïques reliées entre elles de manière à former un réseau qui peut collecter et acheminer l'électricité produite par chaque cellule individuelle. Cette disposition en série ou en parallèle des cellules dans un panneau détermine la tension et le courant de sortie du panneau. Ainsi, les panneaux photovoltaïques représentent l'unité macroscopique de production d'électricité à partir de l'énergie solaire, tandis que les cellules photovoltaïques en sont les composants de base.

La modélisation des cellules photovoltaïques repose fondamentalement sur la sélection appropriée des circuits électriques équivalents. Pour élaborer un circuit équivalent reflétant fidèlement le comportement réel d'une cellule photovoltaïque, il est impératif de comprendre la configuration physique de ses composants ainsi que les caractéristiques électriques de chacun d'eux. Par conséquent, de nombreux modèles mathématiques sont développés pour reproduire un comportement fortement non linéaire, similaire à celui des jonctions semi-conductrices qui sous-tendent leur fonctionnement [15].

Dans notre cas nous allons utiliser et simuler le model à une diode à 5 paramètres (L5P) qui est considéré comme le model le plus proche de l'expérimentale.

II.3.1.1 Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode

Le modèle à une diode est une simplification du comportement électrique d'une cellule photovoltaïque. Il repose sur l'utilisation d'une seule diode pour représenter les caractéristiques électriques de la cellule. Ce modèle est largement utilisé dans l'industrie photovoltaïque en raison de sa simplicité et de sa précision suffisante pour de nombreuses applications.

Voici les principales composantes du modèle à une diode :

- **Source de courant photovoltaïque (I_{ph}):** Représente le courant généré par la cellule en réponse à l'éclairement solaire. Ce courant dépend de l'intensité lumineuse incidente et des caractéristiques de la cellule.
- **Diode idéale (D) :** Modélise la diode semi-conductrice présente dans la cellule. Elle est caractérisée par son courant de saturation (I_s) et son facteur d'idéalité (a).
- **Résistance série (R_s) :** Représente la résistance interne de la cellule, y compris les résistances des contacts, des fils et des matériaux semi-conducteurs. Elle limite le courant circulant dans la cellule.
- **Résistance shunt (R_{sh}):** Modélise les fuites de courant parallèles à la diode, généralement dues à des défauts dans le matériau semi-conducteur. Elle est généralement très élevée dans les cellules de qualité.

En utilisant ce modèle, les caractéristiques courant-tension (I-V) de la cellule peuvent être décrites à l'aide de l'équation :

$$I = I_{ph} \left(e^{\frac{V+IR_s}{aV_t}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (01)$$

D'où:

I : est le courant traversant la cellule,

V : est la tension aux bornes de la cellule,

I_{ph} : est le courant photovoltaïque généré,

I_s : est le courant de saturation de la diode,

R_d : est la résistance série,

R_{sh} : est la résistance shunt,

a : est le facteur d'idéalité de la diode,

V_t : est la tension thermique (kT/q, où k est la constante de Boltzmann, T est la température absolue, et q est la charge élémentaire

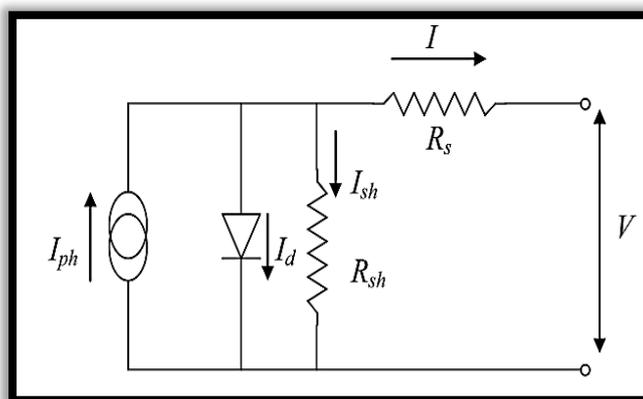


Figure II-2 : Schéma d'une cellule photovoltaïque a une diode LM5P

II.3.1.2 Simulation du Panneau solaire

Pour pouvoir étudier les caractéristiques du panneau utilisé, on modélise notre panneau avec Matlab en créant le bloc suivant :

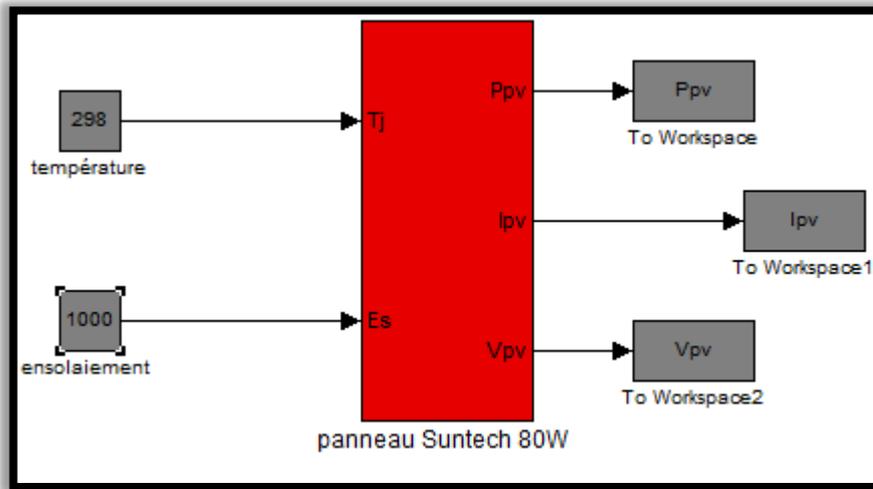


Figure II-3 Le model Matlab du panneau Suntech 80W

II.3.1.2.2. Influence des paramètres extérieurs sur les performances d'un PV

a) Effets de la variation de l'éclairement :

La figure (II-4) montre les résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension du module photovoltaïque Suntech 80W_c pour plusieurs intensités de rayonnement solaire à une température constante de 25°C, montrent des tendances importantes. L'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire se traduit généralement par une augmentation du courant de sortie du module tels que ils sont directement proportionnel entre eux par contre la tension varie peu, ce qui entraîne une augmentation de la puissance de sortie maximale. Le point de puissance maximale (MPP) du module se déplace le long de la courbe P-V en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Ces résultats soulignent l'importance de comprendre comment la luminosité affecte les performances des panneaux solaires pour optimiser leur utilisation dans diverses conditions d'éclairement.

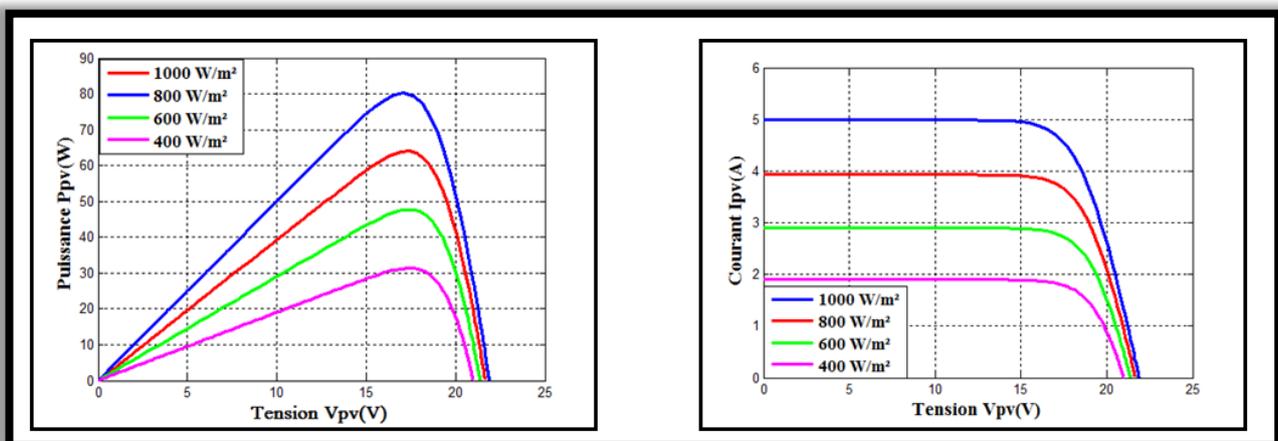


Figure II-4: Simulation de l'influence de l'éclairement sur la puissance et le courant par rapport à la tension du PV sur Matlab

b) Effets de la variation de la température :

La figure (II-5) montre les résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension du module photovoltaïque Suntech 80W_c pour plusieurs variations de température à une intensité de rayonnement solaire constante de 1000 W/m², démontrent des tendances importantes. La diminution de la tension de sortie du module avec l'augmentation de la température est observée, conformément aux standards des panneaux solaires, tandis que le courant de sortie augmente légèrement. Cela se traduit par une diminution de la puissance de sortie maximale du module, principalement due à la réduction de la tension de sortie. Le déplacement du point de puissance maximale (MPP) vers des tensions plus basses à mesure que la température augmente est également noté. Ces résultats sont cruciaux pour les concepteurs de systèmes solaires, car ils fournissent des données essentielles pour optimiser les performances des installations photovoltaïques et prendre en compte les variations de température dans leur conception et leur fonctionnement.

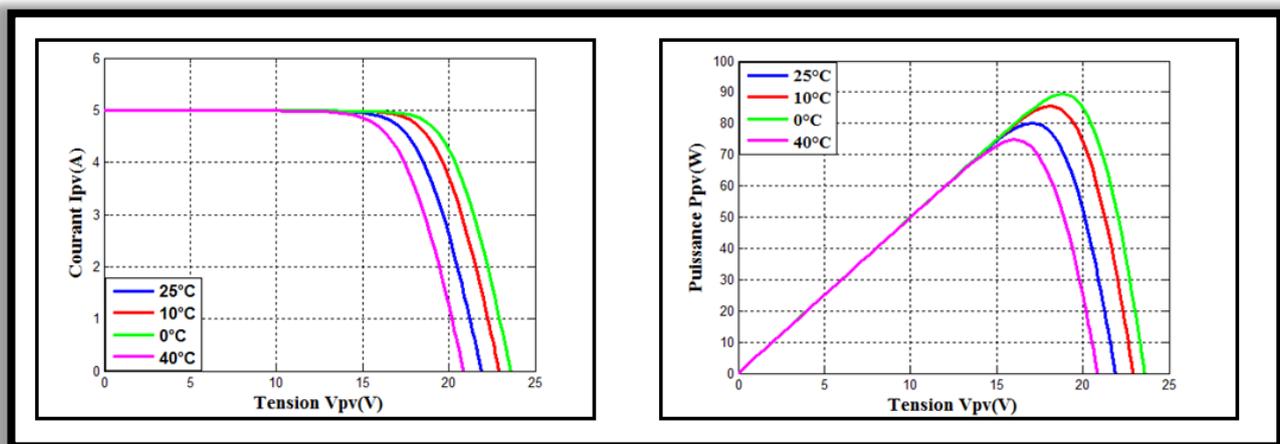


Figure II-5 : Simulation de l'influence de la température sur la puissance et le courant par rapport à la tension du PV sur Matlab

c) Comparaison entre les données réelles du PV et les données de la simulation :

Dans un premier temps, on a pris notre panneau afin de voir ses caractéristiques réel c'est à dire on prend une résistance en série avec le panneau et un ampèremètre, puis le voltmètre en parallèle afin de noter l'effet du changement de la résistance sur les performances du PV. En deuxième lieu, on a fait trois essais après avoir noté l'ensoleillement et la température (Tableau II-02) afin de simuler avec Matlab les résultats théoriques et faire une comparaison entre l'expérimental et le théorique (figure II-06). La simulation sur MATLAB des caractéristiques puissance-tension et courant-tension permet de comparer les résultats obtenus lors des essais réels avec ceux de la simulation. Cette comparaison est essentielle pour valider le modèle théorique et évaluer la précision de la simulation. Les divergences observées peuvent indiquer des aspects du système réel non capturés par le modèle, des approximations faites dans le processus de modélisation, ou des erreurs humaines survenues lors des essais ou de la saisie des données. En revanche, une bonne concordance entre les résultats réels et simulés confirme la fiabilité du modèle et de la méthode de simulation utilisée.

Tableau II-02 Les valeurs de température et d'ensoleillement pour chaque essai réel et pour la simulation

	Essai 01	Essai 02	Essai 03	Simulation
Ensoleillement (W/m ²)	320	410	280	330
Température (°C)	29	31	34	30

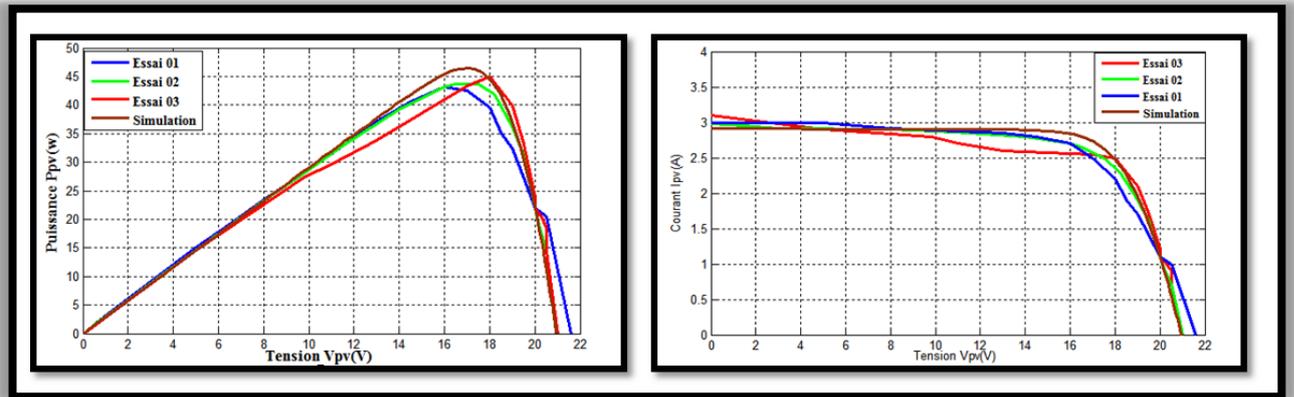


Figure II-6 Simulation sur MATLAB des caractéristiques puissance-tension et courant-tension entre les résultats des essais et de la simulation

II.3.2 La Batterie :

Dans notre travail, on va utiliser la batterie à plomb acide de marque condor AGM-GEL CGB 12-100 qui utilise la charge à tension constante avec des paramètres spécifiques pour le cyclage (14.4 - 14.7 volts) et pour le mode veille (13.2 - 13.8 volts), avec un courant initial limité à moins de 30 ampères, assurant ainsi une recharge efficace et une durée de vie prolongée.

La batterie AGM-GEL VRLA CGB 12-100 de Condor offre une durée de vie prolongée et une sécurité renforcée grâce à sa conception AGM-GEL et VRLA. Sans entretien, elle convient à une variété d'applications telles que les systèmes solaires, les onduleurs et les véhicules électriques. Sa polyvalence, sa fiabilité et sa faible maintenance en font un choix optimal pour une alimentation sûre et durable.



Figure II-7 La batterie AGM-GEL VRLA CGB 12-100 de Condor

II.3.2.1 Caractéristiques d'un accumulateur au Plomb acide

La technologie des batteries au plomb est bien maîtrisée et presque entièrement recyclable. Elle se distingue par son prix de revient le plus bas parmi tous les types de batteries connus, ce qui en fait un étalon pour évaluer les caractéristiques des autres batteries. Son fonctionnement repose sur la réaction d'oxydoréduction suivante :

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb se situe généralement autour de 2V, mais peut varier entre 1,7V et 2,4V en fonction de son état de charge normal.

➤ Phase de décharge :

Lors de la décharge, le plomb de l'anode s'oxyde en perdant deux électrons, tandis que celui de la cathode en gagne deux lors de sa réduction. L'hydrogène produit à l'anode et l'oxygène à la cathode se recombinaient en eau. Ces réactions sont résumées par les équations suivantes :



La décharge implique la transformation des matériaux actifs (PbO₂ et Pb) en PbSO₄, accompagnée d'une absorption d'acide de l'électrolyte. La tension diminue progressivement pendant la décharge, restant autour de 2V pendant une durée d'utilisation prolongée. À partir d'un certain point, noté N, la tension diminue brusquement, atteignant environ 1,8V. Une décharge profonde peut entraîner la formation de grands cristaux de sulfate, bloquant le passage du courant et réduisant la capacité de la batterie.

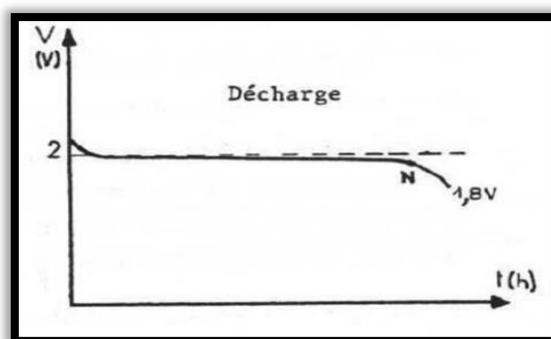


Figure II-08-A: Tension de décharge d'une batterie

➤ Phase de charge :

Lors de la charge, les réactions inverses se produisent, car elles sont réversibles. L'eau est alors décomposée à chaque électrode :



Pendant la charge, la batterie agit comme un récepteur. Graphiquement, la tension aux bornes atteint environ 2,2V après un court régime transitoire. En fin de charge, notée par le point M, la tension augmente rapidement alors que les plaques deviennent complètement polarisées, ne retenant plus l'oxygène et l'hydrogène dégagés. La fin de la charge est atteinte à une tension entre 2,6V et

2,7V en cas de charge cyclique. Une surcharge peut entraîner une perte d'eau, nécessitant un remplacement, et des dommages irréversibles si les plaques ne sont pas entièrement immergées.

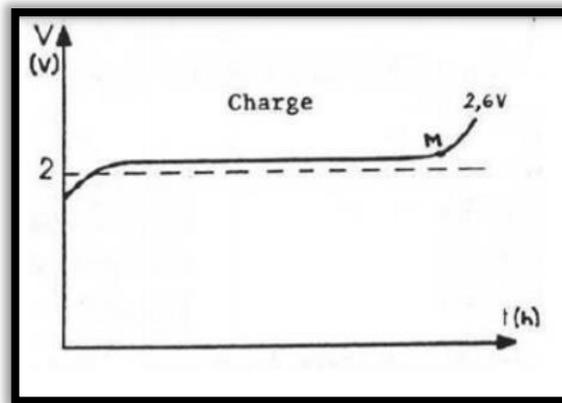


Figure II-08-B: Tension de charge d'une batterie

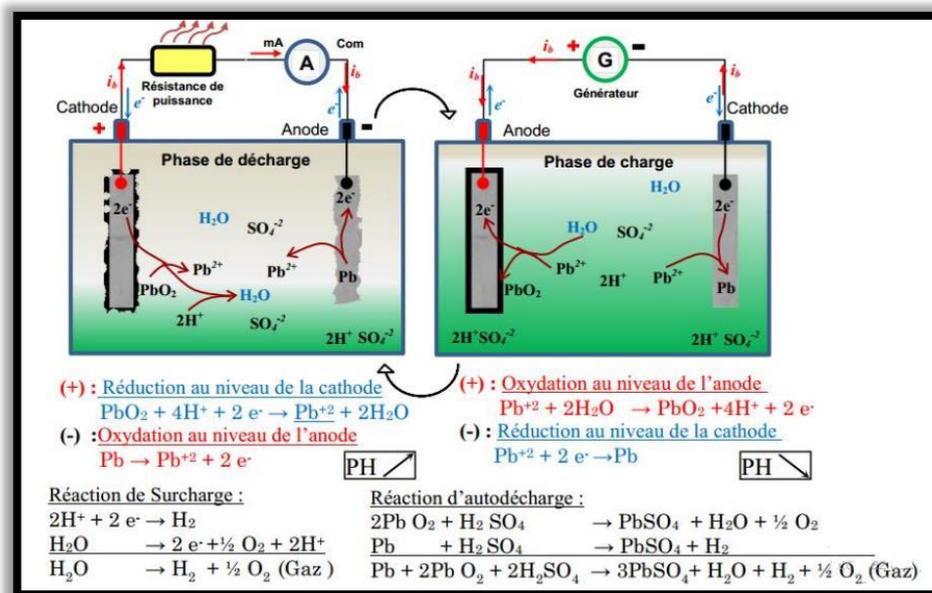


Figure II-09: Diagramme des réactions chimiques dans la batterie Plomb-acide

➤ **Rendements :**

Le rendement faradique, représentant le rapport entre l'électricité débitée lors de la décharge et celle fournie pendant la charge, est généralement supérieur à 90% pour les batteries au plomb. Le rendement énergétique, le produit du rendement faradique par le rendement de tension, est d'environ 70 à 80%.

➤ **Autodécharge :**

Le taux d'autodécharge représente la perte moyenne de capacité par mois et par température donnée. Il varie typiquement entre 3% et 15% par mois pour les batteries au plomb, augmentant avec l'âge et la température.

➤ **Durée de vie :**

La profondeur de décharge influence grandement la durée de vie de la batterie. Pour les applications solaires, où la profondeur de décharge ne dépasse généralement pas 40%, les

accumulateurs sont souvent surdimensionnés pour prolonger leur durée de vie. La durée de vie des accumulateurs au plomb est estimée à environ 6 ou 7 ans.

II.3.3 La charge

Dans notre travail, notre sortie est résistive et a limité la tension à la valeur de 50v.

II.3.4 Hacheur (circuit de puissance)

Dans notre cas on ne peut pas utiliser qu'un seul type d'hacheur dû au fait que pour chaque cas on utilise un hacheur différent chacun comme montré dans le tableau suivant :

Tableau II-2 les types d'hacheur utilisé

Entré	Sortie	Tension d'entrée et sortie	Type d'hacheur	Rapport cyclique α
Panneau photovoltaïque	Charge	$V_e=17.2V$ $V_s=50V$	BOOST	$\frac{V_s-V_e}{V_s}$
Panneau photovoltaïque	Batterie	$V_e=17.2V$ $V_s=13.5V$	BUCK	$\frac{V_s}{V_e}$
Batterie	Charge	$V_e=13.5V$ $V_s=50V$	BOOST	$\frac{V_s-V_e}{V_s}$

II.3.4.1 Hacheur élévateur de tension (Boost)

Le hacheur Boost ou survolteur en français est un convertisseur dc-dc non réversible et direct appelé aussi hacheur parallèle, son rôle consiste a augmenté la tension de sortie par rapport a celle d'entré afin de obtenir la tension de sortie désiré. Son schéma de principe est le suivant :

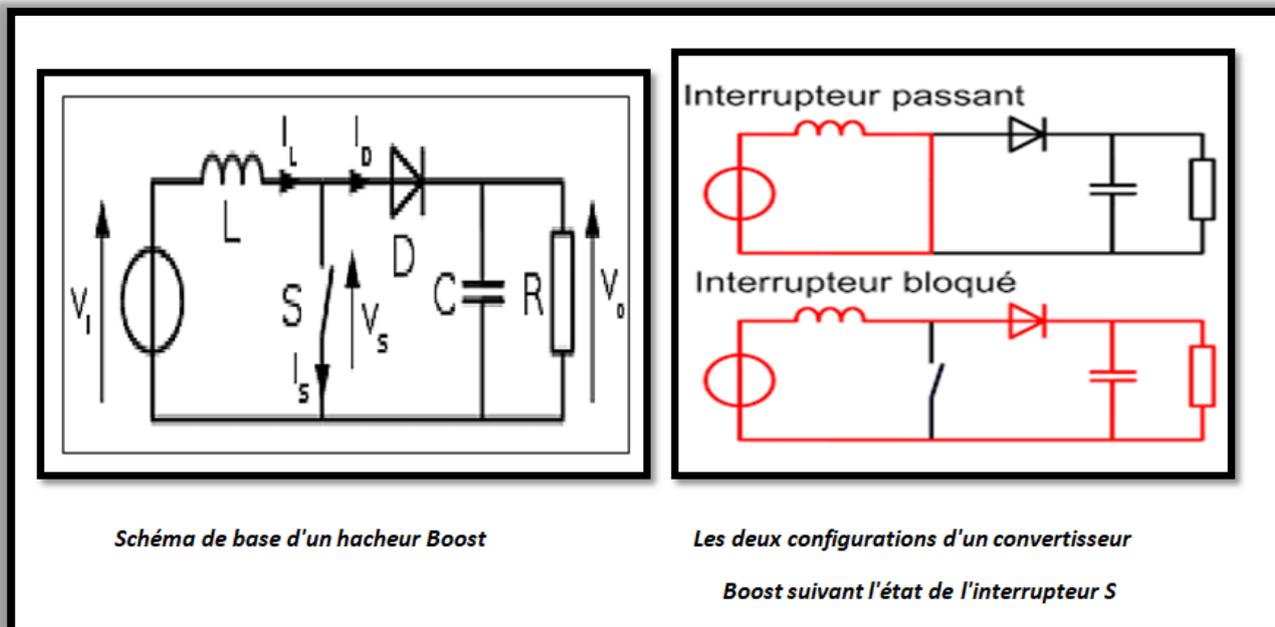


Figure II-10 : Schéma du principe de fonctionnement d'un hacheur Boost

Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes en fonction de l'état de l'interrupteur S :

- Lorsque l'interrupteur S est fermé, le courant dans l'inductance augmente, ce qui entraîne le stockage d'énergie sous forme magnétique. Pendant cette phase, la diode D est bloquée, et la charge est déconnectée de l'alimentation.
- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance est en série avec le générateur, et sa force électromotrice s'additionne à celle du générateur, produisant un effet de surtension. Le courant qui circule dans l'inductance passe alors à travers la diode D, le condensateur C et la charge R, permettant ainsi le transfert de l'énergie stockée dans l'inductance vers le condensateur.

Durant l'état passant, lorsque l'interrupteur S est fermé, le courant dans l'inductance augmente selon la relation : $V_i = L \frac{dI_L}{dt}$ (06)

À la fin de cette phase, le courant I_L a augmenté $\Delta I_{L\text{on}} = \frac{V_i \times \alpha}{L}$ (07)

Où α représente le rapport cyclique, indiquant la fraction de la période pendant laquelle l'interrupteur S est conducteur.

Pendant l'état bloqué, lorsque l'interrupteur S est ouvert, le courant traverse la charge. Si l'on considère une chute de tension nulle aux bornes de la diode et un condensateur suffisamment grand pour maintenir sa tension constante, la variation du courant I_L est donnée par :

$$\Delta I_{L\text{off}} = \frac{(V_i - V_o)(1 - \alpha) \cdot T}{L} \quad (08)$$

Si le convertisseur est en régime permanent, l'énergie stockée dans l'inductance reste constante d'un cycle à l'autre. Ainsi, la somme des variations de courant pendant l'état passant et l'état bloqué est nulle : $\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0$ En substituant les expressions des variations de courant, on obtient : $\frac{V_i \times \alpha}{L} + \frac{(V_i - V_o)(1 - \alpha) \cdot T}{L} = 0$ (09)

Cette équation révèle que le rapport de tension de sortie sur tension d'entrée est $\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \alpha}$. Ainsi, la tension de sortie est toujours supérieure à la tension d'entrée, et elle augmente avec l'augmentation du rapport cyclique α , atteignant théoriquement l'infini lorsque α approche 1. C'est pourquoi on qualifie ce système de survolteur.

II.3.4.2 Hacheur dévolteur de tension (Buck) :

Le hacheur Buck ou dévolteur en français est un convertisseur dc-dc non réversible et direct appelé aussi hacheur série, son rôle consiste à diminuer la tension de sortie par rapport à celle d'entrée afin de obtenir la tension de sortie désiré. Son schéma de principe est le suivant :

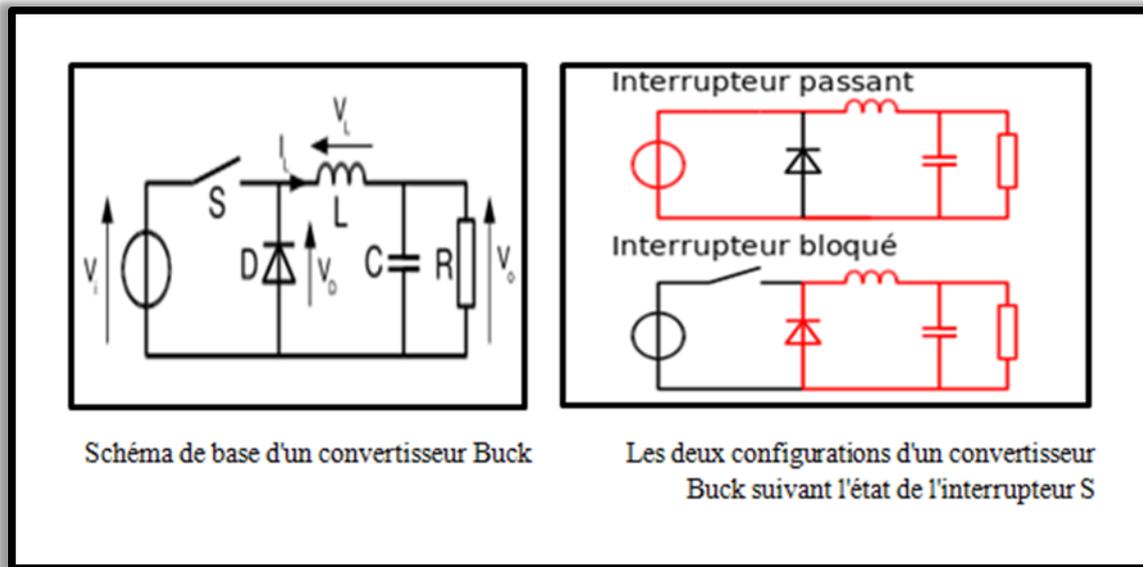


Figure II-11 : Schéma du principe de fonctionnement d'un hacheur buck

Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases en fonction de l'état de l'interrupteur commandable S :

- Lorsque l'interrupteur S est fermé, le courant fourni par le générateur, initialement nul, augmente linéairement et traverse l'inductance. L'inductance s'oppose à cette augmentation de courant, produisant une tension opposée et stockant l'énergie sous forme magnétique. La tension aux bornes de l'inductance est donnée par $V_L = V_i - V_o = L \frac{di_L}{dt}$. La diode étant polarisée en inverse par la tension V_i du générateur, aucun courant ne la traverse.
- Lorsque l'interrupteur S est ouvert, le générateur est mis hors circuit et aucun courant ne le traverse. La diode devient passante pour assurer la continuité du courant dans l'inductance. Le courant traversant l'inductance décroît, et l'inductance s'oppose à cette réduction de courant, produisant une tension qui la met en situation de source pour le circuit aval, utilisant l'énergie magnétique stockée lors de la phase précédente. La tension aux bornes de l'inductance est alors $V_L = V_o$.

Quand un convertisseur Buck fonctionne en mode de conduction continue, le courant I_L traversant l'inductance ne s'annule jamais. La figure 3 montre les formes d'ondes du courant et de la tension dans un convertisseur Buck.

Le taux d'accroissement de I_L est donné par :

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} \tag{10}$$

Pendant l'état passant, la tension V_L est égale à $V_i - V_o$, et durant l'état bloqué, elle est égale à $-V_o$. Par conséquent, l'augmentation de I_L pendant l'état passant est :

$$\Delta I_{L\text{on}} = \int_0^{\alpha T} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)\alpha T}{L} \tag{11}$$

De même, la diminution du courant dans l'inductance pendant l'état bloqué est :

$$\Delta I_{L\text{on}} = \int_{\alpha T}^T \frac{V_L}{L} dt = \frac{-V_o(T-\alpha T)}{L} \quad (12)$$

En régime permanent, l'énergie stockée dans chaque composant reste la même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. En particulier, l'énergie stockée dans l'inductance est donnée par :

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (3)$$

Ainsi, le courant I_L traversant l'inductance est le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation, ce qui s'écrit :

$$\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0 \quad (14)$$

En remplaçant (14) par leurs expressions, on obtient :

$$\int_0^{\alpha T} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)\alpha T}{L} + \int_{\alpha T}^T \frac{V_L}{L} dt = \frac{-V_o(T-\alpha T)}{L} = 0 \quad (15)$$

Ce qui peut se réécrire comme suit :

$$V_o = \alpha \cdot V_i \quad (16)$$

Cette équation montre que la tension de sortie varie linéairement avec le rapport cyclique α . Étant donné que α est compris entre 0 et 1, la tension de sortie V_o est toujours inférieure à la tension d'entrée V_i . C'est pourquoi on qualifie parfois ce type de convertisseur de dévolteur.

II.3.4.3 Dimensionnement des composantes d'un hacheur :

II.3.4.3.1 Dimensionnement de l'inductance :

Le dimensionnement de l'inductance dans un hacheur est crucial pour assurer une performance optimale du système. Une inductance correctement dimensionnée réduit les ondulations de courant, stabilise le circuit, améliore l'efficacité énergétique et diminue les interférences électromagnétiques (EMI). Cela protège les composants, assure la stabilité du fonctionnement et garantit la conformité aux normes électromagnétiques.

a) Calcul de l'inductance :

Le calcul de l'inductance dans un hacheur repose sur plusieurs paramètres du circuit, tels que la tension d'entrée, la tension de sortie, la fréquence de commutation, et le courant de sortie :

- *Hacheur Abaisseur (Buck Converter):*

Pour un hacheur abaisseur, l'inductance L est calculée de manière à limiter l'ondulation de courant ΔI_L

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta I_L \cdot f} \cdot \alpha \quad (17)$$

Où :

- V_{in} est la tension d'entrée,
 - V_{out} est la tension de sortie,
 - ΔI_L est l'ondulation de courant souhaitée,
 - f est la fréquence de commutation,
 - α est le rapport cyclique.
- *Hacheur Éleveur (Boost Converter) :*

Pour un hacheur éleveur, l'inductance est calculée de manière similaire, mais adaptée à l'augmentation de la tension. α

$$L = \frac{V_{in}(1-\alpha)}{\Delta I_L \cdot f} \quad (18)$$

Dans ces formules :

- V_{in} est la tension d'entrée,
- V_{out} est la tension de sortie,
- ΔI_L est l'ondulation de courant maximale acceptable dans l'inducteur,
- f est la fréquence de commutation,
- α est le rapport cyclique.

Ces formules permettent de dimensionner l'inductance afin d'optimiser les performances du hacheur tout en minimisant les pertes et les interférences.

b) Choix du tore :

Pour choisir le tore en fonction de l'inductance calculé, on suis ces étapes :

- ✓ **Matériau du Noyau :** Choisissir un matériau de noyau adapté en fonction de la fréquence de fonctionnement et des pertes magnétiques. La ferrite convient aux hautes fréquences, tandis que la poudre de fer est préférable pour les fréquences plus basses.
- ✓ **Taille du Tore :** Utiliser les spécifications du matériau pour déterminer la taille du tore en fonction de l'inductance requise. Assurez-vous que le tore peut accueillir le nombre de spires de la bobine sans saturation magnétique.
- ✓ **Fil de Bobinage:** Sélectionner un fil de cuivre approprié en fonction du courant nominal et des pertes de résistance. Une section plus importante réduit les pertes de résistance, mais cela peut nécessiter un tore plus grand pour accueillir le fil. Enrouler le fil autour du noyau selon le nombre de spires requis pour obtenir l'inductance désirée. Veillez à ce que les spires soient serrées et uniformes pour minimiser les pertes

c) *Calcul du nombre de tours :*

On a deux méthodes pour calculer le nombre de tours :

1er Méthode :

$$\text{On a : } L = N^2 \times AL \quad (19)$$

Avec : L = inductance en mH ; N = nombre de tours ; AL = inductance du tore par tours carrés en nH/tr²

2em Méthode :

$$\text{On a : } N = \sqrt{\frac{L \cdot 2\pi r}{S \cdot \mu}} \quad (20)$$

N: nombre de spires S : section du tore ; r : rayon moyen du tore ; μ : La perméabilité du matériau magnétique.

Mais comme en n'a pas le datasheet de notre tore donc en a calculé l'inductance à l'aide d'un RLC mètre Pour avoir cette inductance.

II.3.4.3.2 Dimensionnement du condensateur:

Pour dimensionner les condensateurs dans un hacheur, on suit ces étapes :

- ❖ *Détermination des Types de Condensateurs* : Identifier les condensateurs d'entrée et de sortie. Le condensateur d'entrée filtre les ondulations de la tension d'alimentation, tandis que le condensateur de sortie stabilise la tension de sortie (regarder tableau II-01 pour déterminé la sortie et l'entrée dans chaque cas).
- ❖ *Calcul du Condensateur d'Entrée* : La capacité dépend du courant de sortie, du rapport cyclique, de la fréquence de commutation et de la variation acceptable de la tension d'entrée.
- ❖ *Calcul du Condensateur de Sortie* : La capacité doit filtrer les ondulations de la tension de sortie, en fonction du courant de sortie, du rapport cyclique, de la fréquence de commutation et de la variation acceptable de la tension de sortie.
- ❖ *Considérations de Courant d'Ondulation* : Les condensateurs doivent supporter le courant d'ondulation sans surchauffer, calculé en fonction du courant de sortie et du rapport cyclique.
- ❖ *Sélection de la Tension de Service* : Choisissez des condensateurs avec une tension nominale supérieure à la tension maximale de fonctionnement, avec une marge de sécurité de 20-30%.

II.3.4.3.3 Calcul de la capacité :

Lorsque l'entrée d'un hacheur est un panneau photovoltaïque, les principes de calcul des condensateurs d'entrée et de sortie restent similaires à ceux d'un hacheur classique. Cependant, il est important de tenir compte des caractéristiques spécifiques du panneau photovoltaïque, notamment les variations de tension dues à l'irradiation solaire variable.

Hacheur Abaisseur (Buck Converter)

- Condensateur d'entrée C_{in}

$$C_{in} = \frac{I_{out} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{f \cdot \Delta V_{in}} \quad (21)$$

Où :

- I_{out} est le courant de sortie.
- α est le rapport cyclique
- f est la fréquence de commutation.
- ΔV_{in} est la variation acceptable de la tension d'entrée.
- Condensateur de sortie C_{out} :

$$C_{out} = \frac{I_{out} \cdot (1 - \alpha)}{f \cdot \Delta V_{out}} \quad (22)$$

Où :

- ΔV_{out} est la variation acceptable de la tension de sortie.

Hacheur Éleveur (Boost Converter)

- Condensateur d'entrée C_{in}

$$C_{in} = \frac{I_{in} \cdot \alpha}{f \cdot \Delta V_{in}} \quad (23)$$

Où :

- I_{in} est le courant d'entrée.
- α est le rapport cyclique.
- f est la fréquence de commutation.
- ΔV_{in} est la variation acceptable de la tension d'entrée.

- Condensateur de sortie C_{out} :

$$C_{out} = \frac{I_{out} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{f \cdot \Delta V_{out}} \quad (24)$$

Où :

- I_{out} est le courant de sortie.
- ΔV_{out} est la variation acceptable de la tension de sortie.

II.3.4.3.4 choix des semi-conducteurs :

Comme montrer dans les schémas des hacheurs les semi-conducteurs sont consisté de diodes et d'interrupteurs

II.3.4.3.4.1 Choix de diode :

Dans un hacheur, la diode joue un rôle essentiel en assurant la continuité du courant lorsque le transistor est éteint et en empêchant le retour de courant indésirable. Dans un hacheur abaisseur (Buck), la diode fournit un chemin pour le courant de l'inductance et protège le circuit contre le retour de courant de la charge vers l'inductance. Dans un hacheur élévateur (Boost), elle permet le transfert de l'énergie stockée dans l'inductance à la charge et bloque le courant inverse de la charge vers l'inductance. Les caractéristiques cruciales de la diode incluent une tension inverse maximale (V_R) suffisamment élevée pour supporter les pics de tension, un courant direct maximal (I_F) capable de supporter le courant nominal avec une marge de sécurité, un temps de récupération inverse (t_{rr}) court pour réduire les pertes de commutation, et une chute de tension directe (V_F) faible pour minimiser les pertes de conduction. Ces caractéristiques sont essentielles pour garantir le bon fonctionnement, la protection et l'efficacité du hacheur [16].

Dans notre cas, on choisit la diode IN4007 qui est une diode rectificatrice en silicium couramment utilisée dans de nombreuses applications électroniques. Elle est capable de supporter une tension inverse maximale de 1000 volts et un courant direct moyen de 1 ampère. De plus, elle peut tolérer des pics de courant de surcharge allant jusqu'à 30 ampères, avec une tension directe typique de 1,1 volts et un temps de récupération inverse d'environ 2 microsecondes. De plus, la diode IN4007 est facilement disponible et peu coûteuse, ce qui en fait un choix attractif pour une large gamme de projets électroniques, des simples circuits amateurs aux applications industrielles. Sa configuration simple et ses broches standardisées facilitent son intégration dans les circuits.

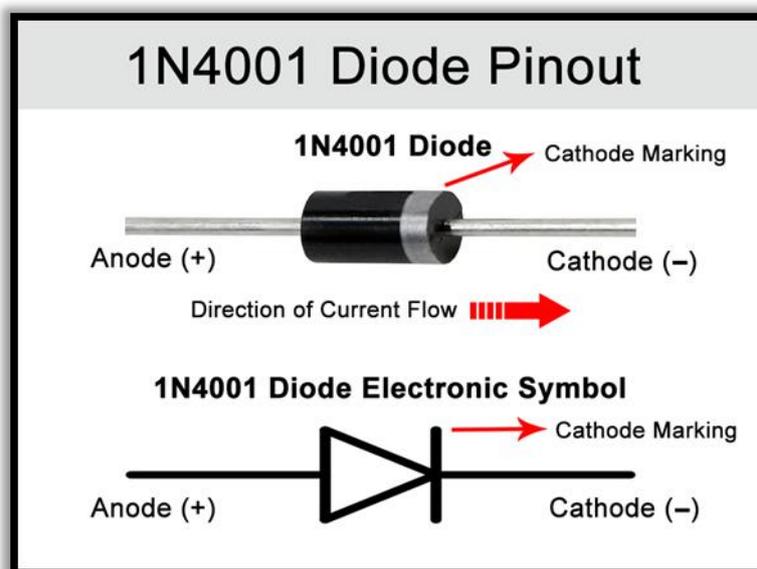


Figure II-12 la structure d'une diode IN4007

II.3.4.3.3.2 Choix d'interrupteur :

Le choix de l'interrupteur pour un hacheur dépend de plusieurs facteurs, notamment la tension et le courant de fonctionnement, la fréquence de commutation, la résistance à l'état passant, la rapidité de commutation, et la dissipation de puissance.

La Figure II- permet de choisir le type d'interrupteur à utiliser en fonction de la tension et courant nominale et la fréquence $f = 15 \text{ kHz}$ de commutation auxquelles est soumis le composant. Cette figure nous illustre que le transistor MOSFET est bien adapté pour les hacheurs basse/moyenne puissances fonctionnant avec une grande fréquence de commutation.

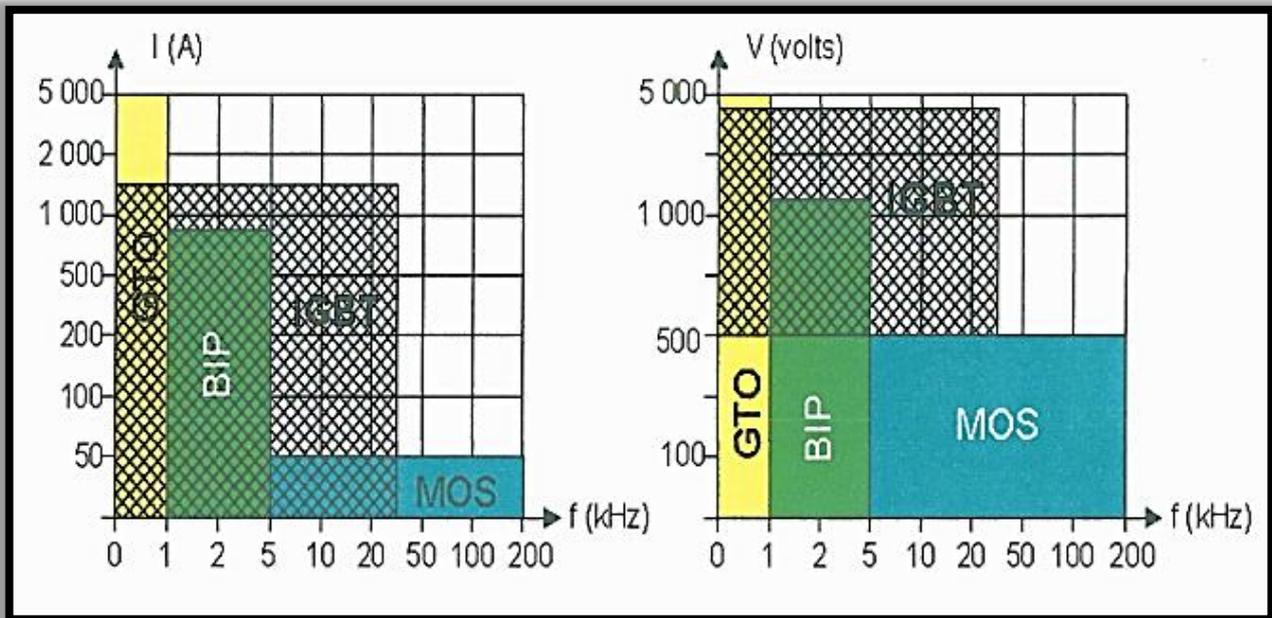


Figure II-13 Diagrammes courant-fréquence et tension-fréquence des composants

Les MOSFET sont souvent choisis comme interrupteurs dans les hacheurs en raison de leurs avantages. Leur faible résistance à l'état passant ($R_{DS(on)}$) réduit les pertes de conduction, tandis que leur rapidité de commutation permet des fréquences plus élevées et des pertes de commutation réduites. Ils sont faciles à contrôler par des signaux de tension, nécessitent peu de courant de commande, et sont compatibles avec les circuits logiques. De plus, leur sensibilité réduite aux températures les rend stables et fiables dans diverses conditions environnementales. Ces caractéristiques améliorent l'efficacité, les performances et la fiabilité des hacheurs où ils sont utilisés.

Le MOSFET utilisé va être le IRFZ44N qui est un transistor à effet de champ en métal-oxyde-semi-conducteur (MOSFET) de type N, reconnu pour ses performances élevées dans les applications de commutation et d'amplification. Il est capable de supporter une tension drain-source (V_{ds}) de 55 V et un courant de drain (I_d) allant jusqu'à 49 A. Sa faible résistance à l'état passant ($R_{ds(on)}$) de $17,5\Omega$ minimise les pertes de puissance, améliorant ainsi l'efficacité énergétique.

Avec une tension de seuil de grille ($V_{gs(th)}$) comprise entre 2 et 4 V, il est facilement activable avec des niveaux de tension plus faibles. Sa capacité de charge de grille (Q_g) est de 67nC, permettant une commutation rapide, ce qui le rend particulièrement adapté pour les alimentations à découpage et les convertisseurs DC-DC. De plus, le boîtier TO-220 du IRFZ44N offre une excellente gestion thermique, permettant une dissipation efficace de la chaleur.

En résumé, le MOSFET IRFZ44N se distingue par sa capacité à gérer des courants élevés, sa faible résistance à l'état passant, et sa rapidité de commutation. Ces caractéristiques en font un choix privilégié pour les applications nécessitant une haute efficacité énergétique et une gestion thermique optimale.

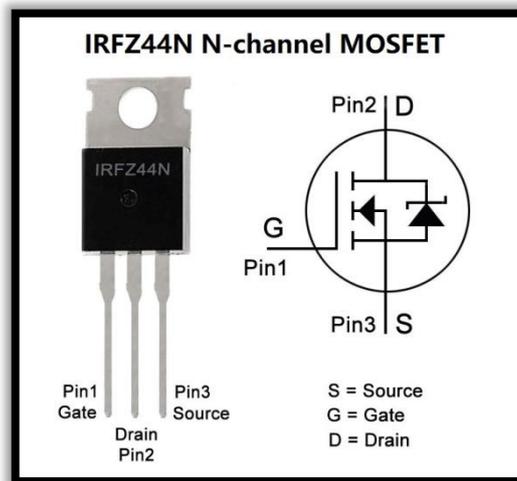


Figure II-14 la structure interne et externe d'un MOSFET IRFZ44N

II.3.5 Circuit de commande :

II.3.5.1 Isolation galvanique

Lors de la connexion directe entre le circuit de commande et le circuit de puissance, divers problèmes peuvent survenir, notamment les retours de masse, les interférences électriques et le risque de destruction du circuit de commande dû à des retours de courant de la charge. Les retours de masse peuvent provoquer des boucles de terre, entraînant des fluctuations et des bruits parasites dans le signal. Les interférences électriques peuvent perturber le fonctionnement du circuit de commande, causant des erreurs ou des dysfonctionnements. Le retour de courant de la charge peut endommager ou détruire les composants sensibles du circuit de commande. Pour prévenir ces problèmes, une isolation électrique entre le circuit de commande et le circuit de puissance est indispensable. Cette isolation est efficacement réalisée par un optocoupleur, qui permet la transmission du signal sans connexion électrique directe, assurant ainsi la protection et la fiabilité du système.

Le HCPL-3120 est un optocoupleur utilisé pour isoler des sections de circuits tout en permettant la transmission de signaux entre elles, protégeant ainsi les circuits sensibles contre les surtensions et les interférences électriques. Il est particulièrement adapté pour piloter des transistors de puissance comme les IGBT et les MOSFET grâce à sa capacité à fournir un courant de sortie élevé et à ses temps de propagation rapides. Avec une haute tension d'isolation allant jusqu'à 2500 VRMS, il est couramment utilisé dans des applications telles que les convertisseurs de puissance, les inverseurs, les alimentations à découpage et la commande de moteurs, garantissant sécurité et efficacité dans la transmission des signaux.

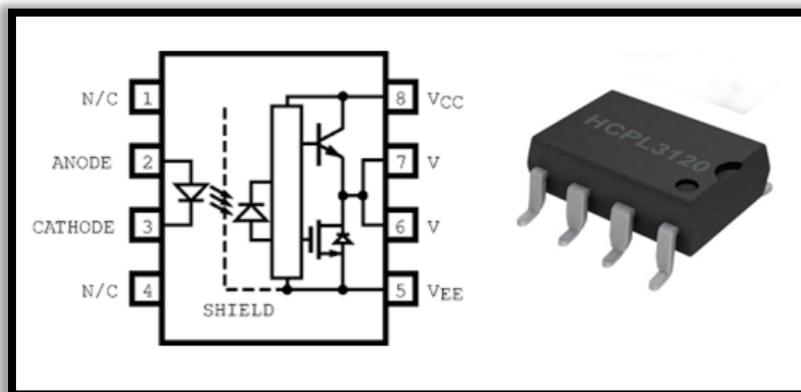


Figure II-15 La structure interne et externe d'un optocoupleur HCPL-3120

II.3.5.2 Driver De MOSFET

Le IR2112 est un circuit intégré pilote de grille conçu pour piloter des transistors MOSFET et IGBT dans des applications de commutation à haute fréquence, notamment les convertisseurs de puissance, les inverseurs, les alimentations à découpage et la commande de moteurs. Fonctionnant avec des tensions d'alimentation allant jusqu'à 600 V, il fournit une isolation efficace entre les circuits de commande et de puissance. Doté de deux canaux de sortie pour les transistors haute et basse tension, il intègre des protections contre les sous-tensions et des délais de verrouillage pour prévenir les courts-circuits. Avec un temps de propagation rapide et un courant de sortie élevé, le IR2112 assure une commutation rapide et fiable des transistors.

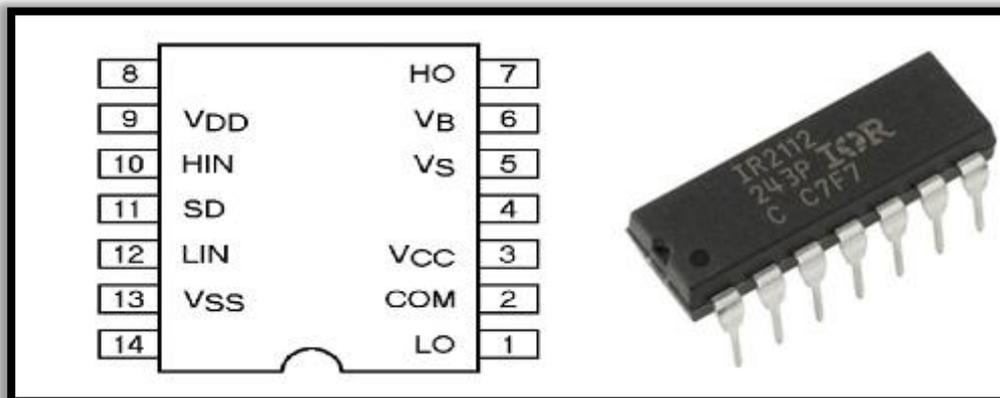


Figure II-16 La structure interne d'un driver IR2112

III.3.5.2 Circuit de régulation de tension

A) LM317T :

Pour alimenter notre circuit intégré et le driver, nous avons besoin d'un régulateur LM317T. Le LM317T est un régulateur de tension linéaire ajustable très populaire et polyvalent, permettant de régler la tension de sortie entre 1,25 V et 37 V à l'aide de deux résistances externes. Il peut fournir un courant de sortie allant jusqu'à 1,5 A, ce qui le rend adapté à une large gamme d'applications nécessitant une alimentation stable. Ce régulateur comprend des protections contre la surcharge, la surchauffe et les courts-circuits, garantissant une opération fiable et sûre. Il offre une régulation précise avec une faible variation de la tension de sortie malgré les fluctuations de la tension d'entrée et de la charge. Facile à utiliser grâce à sa conception simple et à la disponibilité de nombreuses ressources et schémas de circuits, le LM317T est couramment employé dans des applications telles que les alimentations stabilisées, les chargeurs de batterie, les convertisseurs de tension et les régulateurs de tension pour divers circuits électroniques. En résumé, le LM317T est capable de fournir une tension de sortie ajustable et fiable avec un courant allant jusqu'à 1,5 A, ce qui en fait un choix largement utilisé pour la régulation de tension précise et sécurisée.

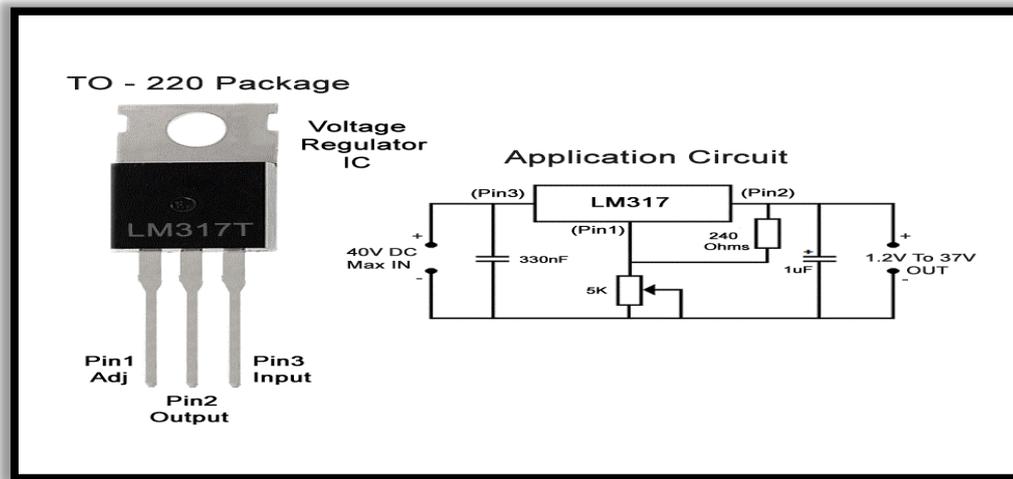


Figure II-17 La structure d'un régulateur LM317T et son circuit d'application

B) LM7805 :

Le LM7805 est un régulateur de tension linéaire qui fournit une sortie stable de 5 volts à partir d'une source d'alimentation plus élevée, typiquement entre 7V et 35V. Il peut délivrer jusqu'à 1.5 ampères de courant, souvent nécessitant un dissipateur thermique pour gérer la chaleur générée. Le LM7805 intègre des protections contre les courts-circuits, la surchauffe et la surcharge de courant, et nécessite généralement seulement deux condensateurs externes pour un fonctionnement stable. Ce régulateur est couramment utilisé pour alimenter des microcontrôleurs, des capteurs et d'autres composants électroniques nécessitant une tension de 5V.

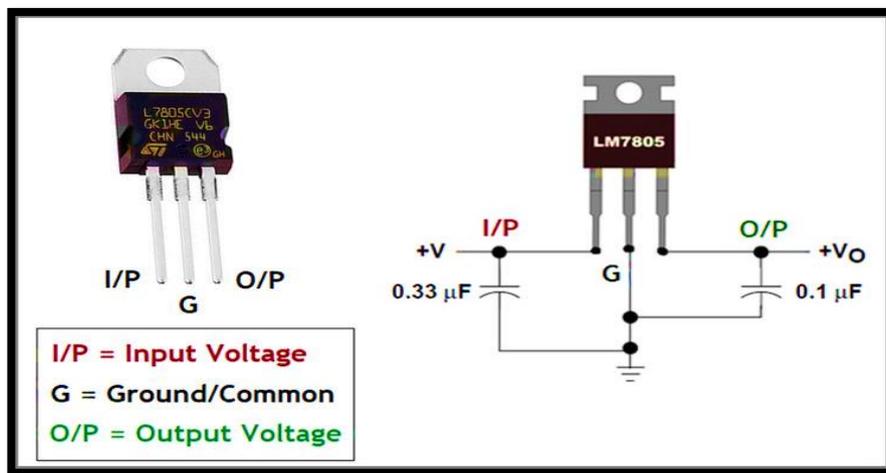


Figure II-18 La structure d'un régulateur LM7805 et son circuit d'application

II.3.5.4 La carte arduino UNO:

Arduino est une famille de cartes électroniques à microcontrôleur open-source créée en Italie en 2005. Ces cartes sont conçues avec une interface d'entrée/sortie simple et un environnement de développement basé sur le langage C. La carte Arduino Uno est la première version stable de cette gamme, offrant toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique avec une grande facilité d'utilisation. Elle est équipée d'un microcontrôleur ATmega328P cadencé à 16 MHz, dispose de 32 Ko de mémoire flash pour le stockage des programmes, 2 Ko de SRAM pour la mémoire vive, et 1 Ko d'EEPROM pour le stockage des données persistantes [17].

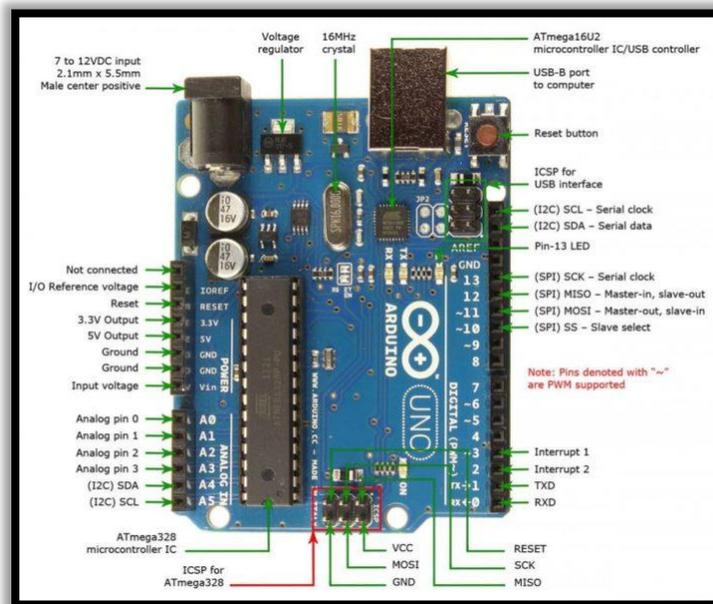


Figure II-19 Description d'une carte arduino UNO

II.3.5.4.1 Caractéristiques techniques :

- ❖ Microcontrôleur** : ATmega328P.
- ❖ Tension de fonctionnement** : 5V.
- ❖ Tension d'alimentation (recommandée)** : 7-12V.
- ❖ Tension d'alimentation (limites)** : 6-20V.
- ❖ Broches d'Entrée/Sortie Numériques** : 14 (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM).
- ❖ Broches d'Entrée Analogiques** : 6.
- ❖ Courant CC par broche I/O** : 20 mA.
- ❖ Courant CC pour la broche 3.3V** : 50 mA.
- ❖ Mémoire Flash** : 32 KB (dont 0.5 KB utilisés par le bootloader).
- ❖ SRAM** : 2 KB.
- ❖ EEPROM** : 1 KB.
- ❖ Fréquence d'Horloge** : 16 MHz.

II.3.5.4.2 Utilisation :

L'Arduino Uno est largement utilisé pour le prototypage électronique, l'éducation, et les projets de bricolage. Il est compatible avec une grande variété de capteurs, d'actionneurs, et de modules complémentaires (appelés shields) qui étendent ses fonctionnalités. La programmation de la carte se fait via l'environnement de développement Arduino (IDE), qui utilise un langage de programmation basé sur le C/C++.

II.3.5.4.3 Environnement de l'arduino

Le langage Arduino est basé sur le C/C++ et enrichi de fonctions et bibliothèques spécifiques à la gestion des entrées/sorties. Pour utiliser une carte Arduino, on la connecte au PC et on édite un programme, appelé "sketch", correspondant à l'application souhaitée. On vérifie ensuite l'absence d'erreurs de syntaxe ou autres, puis on transfère le programme sur la carte. L'environnement de développement Arduino s'ouvre sur le PC lorsqu'on clique sur l'icône Arduino, permettant d'éditer facilement le programme. Cette fenêtre d'édition se présente de la façon ci-dessous [18].

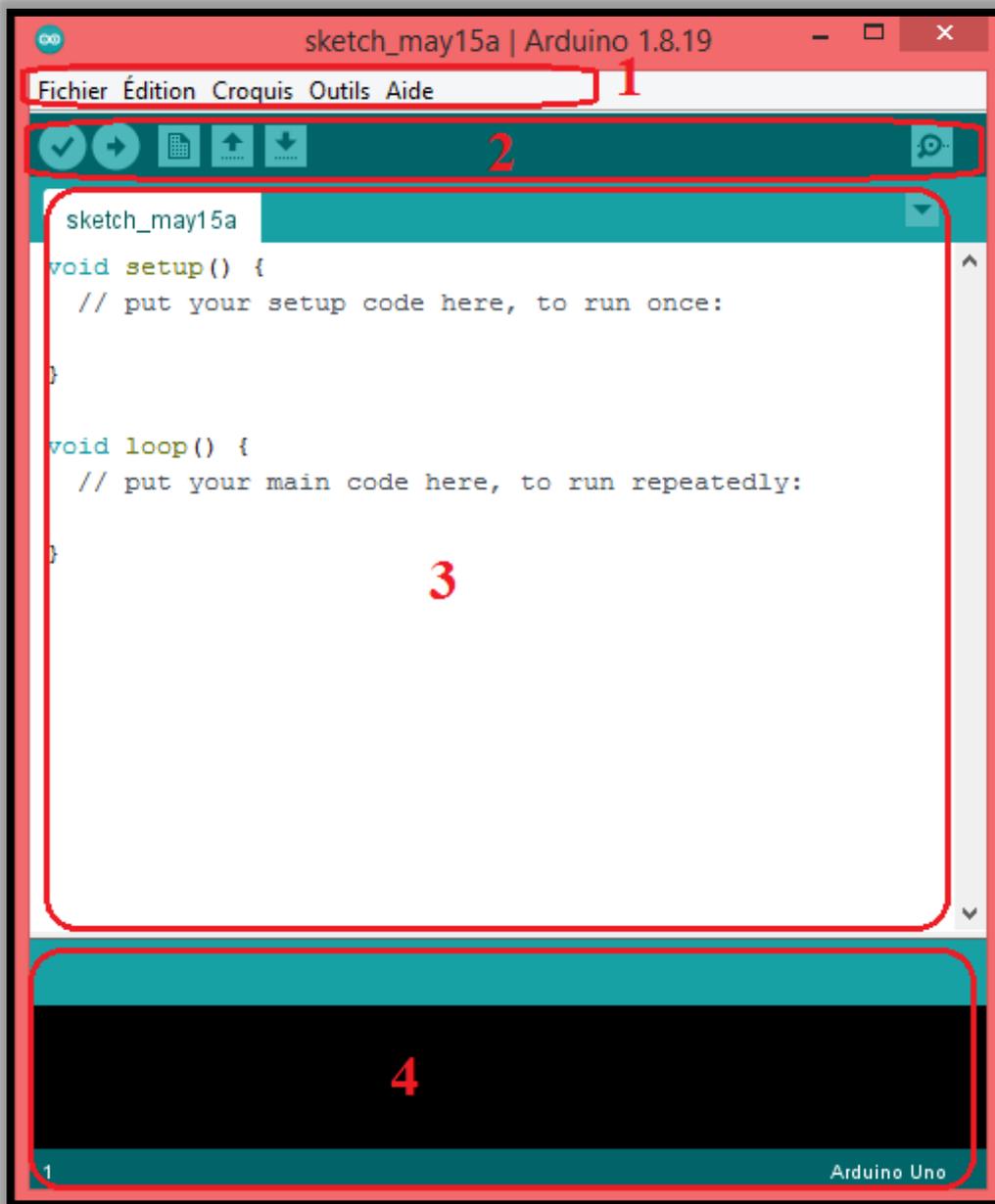


Figure II-20 : Environnement de développement l'arduino

La zone 1 : représente les options de configuration du logiciel.

La zone 2 : elle contient les boutons qui vont nous servir lorsqu'on va programmer des cartes.

La zone 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.

La zone 4 : celui-ci est importante, car elle va nous aider à corriger les erreurs dans notre programme (c'est le débogueur)

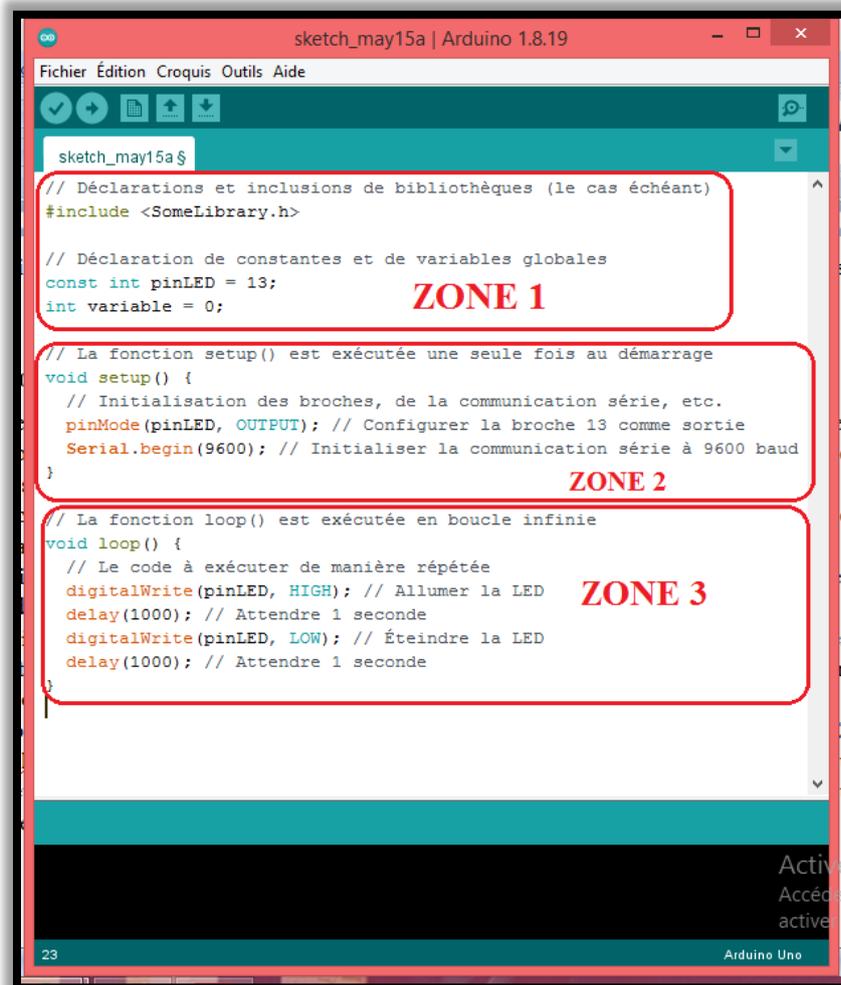
II.3.5.4.4 Structure du programme arduino

Un programme Arduino, ou "sketch", suit une structure de base composée de trois zones essentielles. Tout d'abord, on trouve la définition des variables et la déclaration des constantes, ainsi que l'inclusion des bibliothèques nécessaires (`#include`).

Ensuite, la fonction '`setup()`', appelée une seule fois au démarrage du programme, sert à initialiser les configurations de la carte, telles que la configuration des broches (via '`pinMode`') et l'initialisation de la communication série (via '`Serial.begin`'). Cette fonction est également appelée "fonction d'initialisation" car elle contient le code qui n'a besoin d'être exécuté qu'une seule fois.

Enfin, la fonction '`loop()`', qui constitue le cœur du programme, contient le code à exécuter de manière répétée. Cette fonction est appelée en boucle continue après l'exécution de '`setup()`', ce qui signifie qu'une fois terminée, elle est ré-exécutée indéfiniment.

Par exemple, pour faire clignoter une LED, on utilise '`digitalWrite`' pour allumer et éteindre la LED avec des délais ('`delay`') entre les deux. Des fonctions utilisateur supplémentaires peuvent être définies pour structurer le code, et des commentaires, sur une ligne (`//`) ou plusieurs lignes (`/* */`), sont utilisés pour documenter le code [18].



```
sketch_may15a | Arduino 1.8.19
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_may15a $
// Déclarations et inclusions de bibliothèques (le cas échéant)
#include <SomeLibrary.h>

// Déclaration de constantes et de variables globales
const int pinLED = 13;
int variable = 0;

// La fonction setup() est exécutée une seule fois au démarrage
void setup() {
  // Initialisation des broches, de la communication série, etc.
  pinMode(pinLED, OUTPUT); // Configurer la broche 13 comme sortie
  Serial.begin(9600); // Initialiser la communication série à 9600 baud
}

// La fonction loop() est exécutée en boucle infinie
void loop() {
  // Le code à exécuter de manière répétée
  digitalWrite(pinLED, HIGH); // Allumer la LED
  delay(1000); // Attendre 1 seconde
  digitalWrite(pinLED, LOW); // Éteindre la LED
  delay(1000); // Attendre 1 seconde
}
```

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The code editor displays a sketch named 'sketch_may15a'. The code is organized into three distinct sections, each enclosed in a red rectangular box and labeled with a red 'ZONE' number. Zone 1 (top) contains library inclusions and global variable declarations. Zone 2 (middle) contains the 'setup()' function, which is executed once at startup. Zone 3 (bottom) contains the 'loop()' function, which is executed repeatedly in an infinite loop. The IDE window title is 'sketch_may15a | Arduino 1.8.19'. The bottom status bar shows '23' and 'Arduino Uno'.

Figure II-21 Structure du programme Arduino

II.3.5.4.5 Pour quoi la carte Arduino Uno

L'Arduino Uno est une plateforme de développement électronique largement choisie pour sa simplicité d'utilisation, sa robustesse et sa polyvalence. Avec son microcontrôleur ATmega328P, elle offre une base solide pour le prototypage rapide de projets électroniques, grâce à son environnement de développement convivial et à sa grande communauté de soutien. Dotée de fonctionnalités telles que la facilité de programmation, la documentation abondante en ligne, et la compatibilité avec une variété de composants, elle permet aux utilisateurs, qu'ils soient débutants ou expérimentés, de concrétiser rapidement leurs idées en des projets fonctionnels [18].

II.04 Conclusion :

Dans ce chapitre, les composantes du chargeur solaire ont été détaillées, passant des caractéristiques aux simulations. Puis, pour concevoir un hacheur (Buck ou Boost), il faut calculer précisément les valeurs des composants principaux (inductances et condensateurs) en utilisant les formules appropriées, sélectionner les semi-conducteurs comme les diodes et MOSFET en fonction des besoins de tension et courant, et intégrer des composants de commande et protection comme l'optocoupleur et les drivers. Une carte Arduino Uno peut être utilisée pour contrôler le circuit grâce à sa simplicité d'utilisation et sa compatibilité avec de nombreux composants.

Dans le prochain chapitre, on va concevoir les circuits de puissance et commande à l'aide des logiciels PSIM et Proteus afin de simuler et visualiser les courbes requise.

CHAPIRE III

**Conception Et Simulation
Du Chargeur Solaire**

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons concevoir et simuler les circuits de puissance ainsi que les circuits de commande du chargeur solaire. Cette étude comprendra les simulations approfondies effectuées à l'aide des logiciels PSIM et Proteus avec les valeurs du dimensionnement calculé précédemment.

III.2 Circuit de puissance :

La représentation schématique ci-dessous (figure III-1) consiste d'un système de chargeur solaire, où les panneaux photovoltaïques (PV) sont au cœur de la transformation de la lumière solaire en énergie électrique. Ce circuit de puissance comprend deux convertisseurs DC-DC stratégiquement positionnés : l'un agissant comme abaisseur de tension (dévolteur), et l'autre comme élévateur de tension (survolteur). Ensemble, ces composants assurent une gestion efficace de l'énergie, permettant ainsi une utilisation optimale de la puissance solaire captée. Plongeons dans les détails de cette architecture électrique, où chaque élément joue un rôle crucial dans la conversion et la régulation de l'énergie solaire en une source d'alimentation fiable et durable.

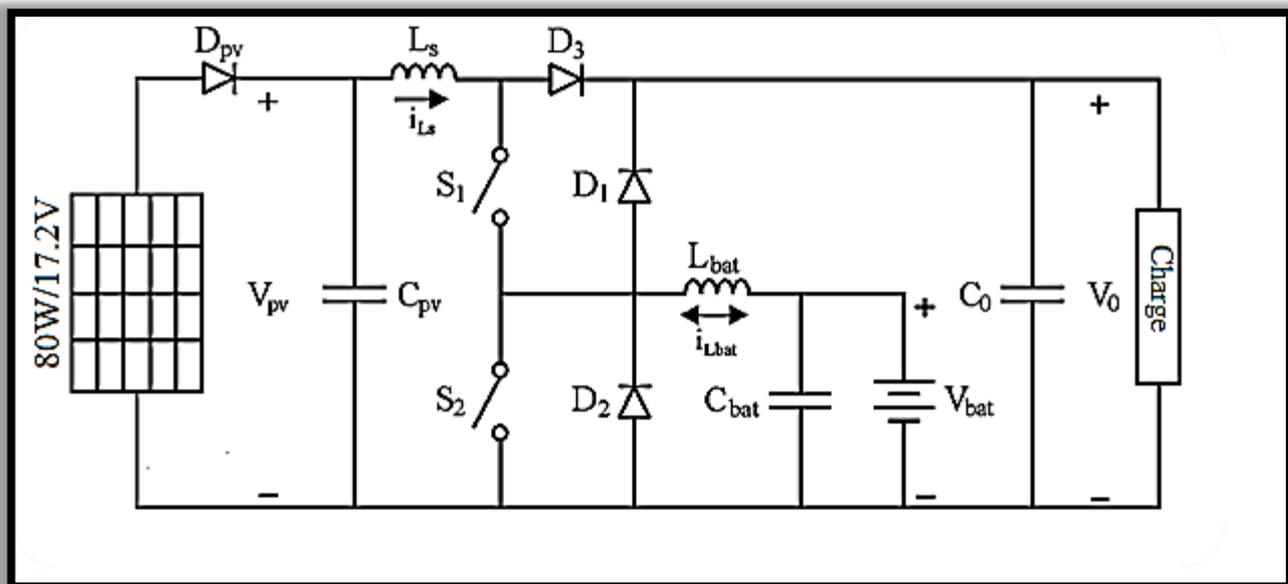


Figure III- 1 Schéma du Circuit de Puissance

On distingue trois types différents du fonctionnement de ce circuit :

III.2.1 Convertisseur Boost (régulateur de tension) :

Ce convertisseur a pour but d'élever la tension du panneau photovoltaïque pour avoir la tension de sortie voulue. Pour cela on a les composants qui sont constitués d'une diode D_{pv} pour la protection du panneau, deux interrupteurs S_1 et S_2 qui ont une commutation synchronisée, l'inductance de source L_s , les diodes D_1 , D_2 et D_3 , deux condensateurs de filtrages C_0 et C_{pv} et la charge. (Figure III-2)

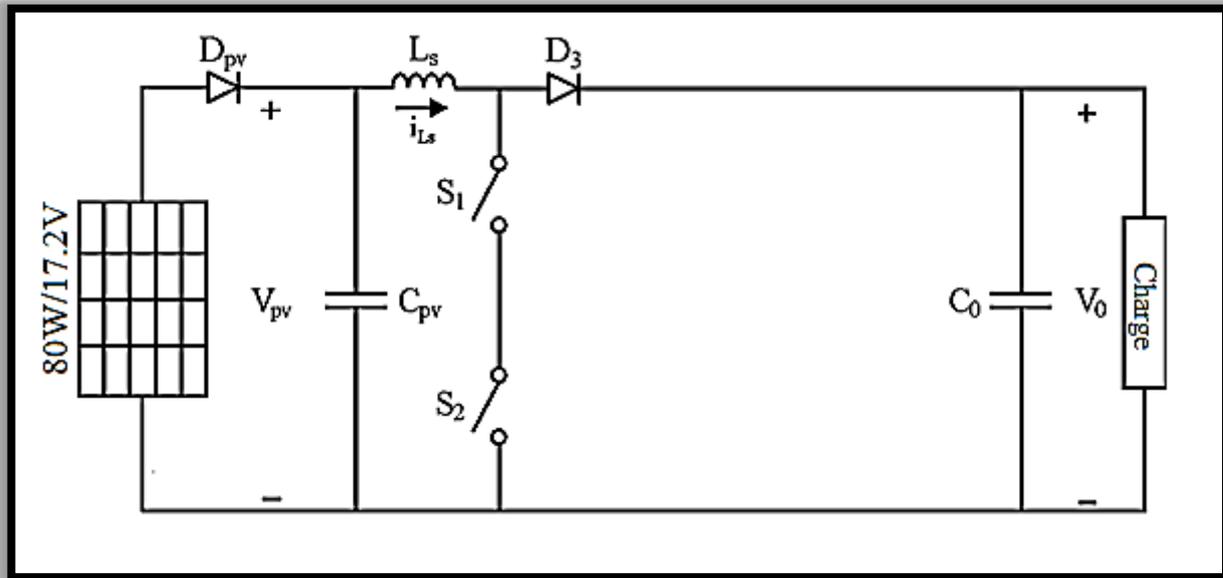


Figure III- 2 Convertisseur élévateur de tension (Boost)

III.2.2 Convertisseur Buck (chargeur de batterie) :

Il est constitué d'une source d'entrée photovoltaïque PV et une diode D_{pv} , une inductance de source L_s et d'une inductance de la batterie L_{bat} , l'interrupteur S_1 , une diode roue libre D_2 , les deux condensateurs de filtrages C_{bat} et C_{pv} et une batterie comme montré dans le schéma de la Figure III-3. Son rôle consiste à adapter la tension d'entrée (V_{pv}) à la tension de sortie (V_{bat}) qui est inférieur à celle précédente.

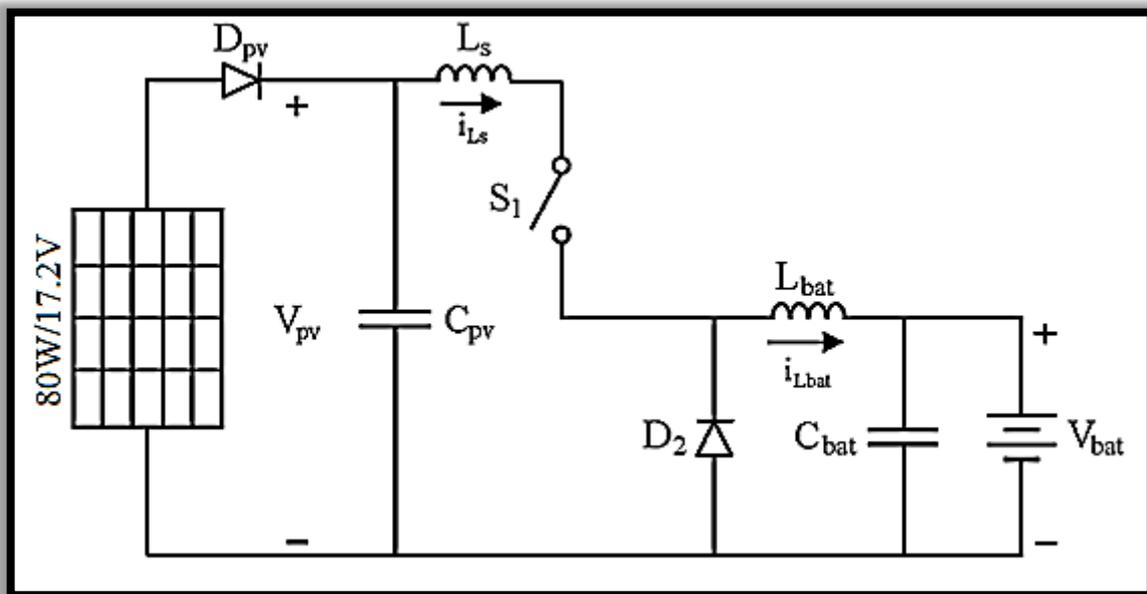


Figure III- 3 Convertisseur dévolteur de tension (Buck)

III.2.3 Convertisseur Boost (compensation de puissance) :

Ce convertisseur sert à compenser le manque de puissance entre le panneau photovoltaïque et la charge, telle qu'il se compose d'une batterie, deux condensateurs de filtrages C_{bat} et C_0 , la diode D_1 , l'inductance L_{bat} et l'interrupteur S_2 comme montre dans la Figure III-4 suivante :

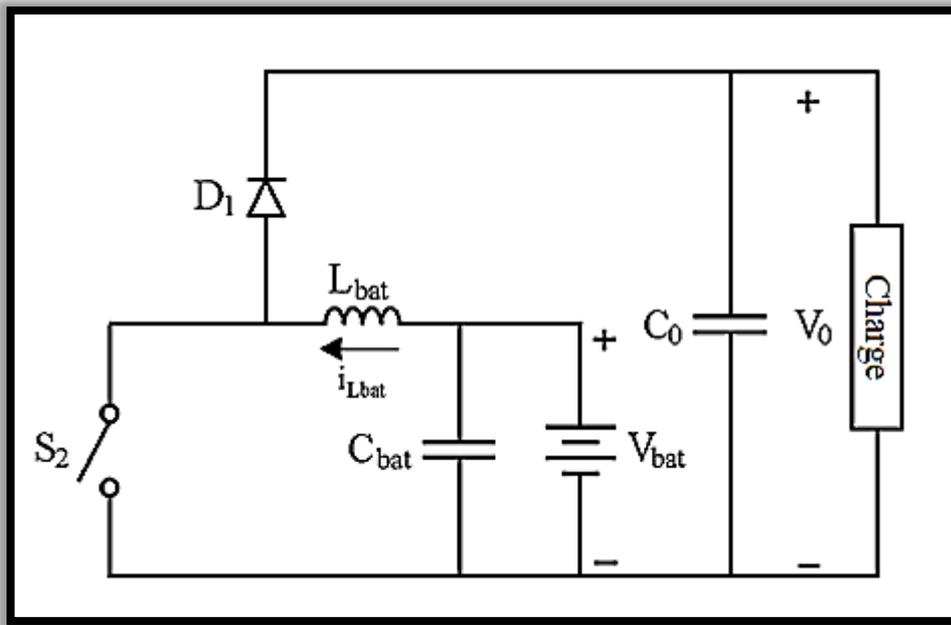


Figure III- 4 Convertisseur dévolteur de tension (Buck)

III.3 Principe de fonctionnement :

On distingue deux modes de fonctionnement du circuit de puissance, le mode est choisi par rapport à l'état de charge de la batterie et la puissance de sortie du panneau photovoltaïque.

- **Mode 1 (Charge de la batterie) :** Dans ce mode, le système photovoltaïque (PV) génère suffisamment d'énergie pour alimenter la charge et recharger la batterie.
- **Mode 2 (Compensation de puissance) :** Lorsque l'énergie disponible dans le système PV n'est pas suffisante pour alimenter la charge, la batterie fournit l'énergie complémentaire nécessaire. Une situation particulière dans ce mode se produit lorsqu'il n'y a pas d'énergie disponible dans le système PV. Dans ce cas, la batterie alimente entièrement la charge.

III.3.1 Mode 01 :

- Première étape $[0 - t_1]$:

Le cycle de commutation commence lorsque les interrupteurs S_1 et S_2 sont activés. Les diodes D_3 et D_2 sont polarisées en inverse. La tension à travers l'inductance L_s est $V_{Ls} = V_s$ et la tension à travers l'inductance L_{bat} est $V_{Lbat} = -V_{bat}$. Ces tensions provoquent une augmentation linéaire du courant dans l'inductance I_{Ls} et une diminution linéaire du courant dans l'inductance I_{Lbat} .

- Deuxième étape $[t_1 - t_2]$:

À t_1 , S_2 est désactivé, D_3 conduit le courant $I_{Ls} - I_{Lbat}$. Cela entraîne une tension négative $V_{Ls} = V_s - V_0$ à travers l'inductance L_s et une tension positive $V_{Lbat} = V_0 - V_{bat}$ à travers l'inductance L_{bat} . Maintenant, I_{Lbat} augmente linéairement.

- Troisième étape $[t_2 - t_3]$:

Cette étape commence lorsque l'interrupteur S_1 est désactivé. La charge reçoit de l'énergie de l'inductance L_s ainsi que du système PV. Le courant I_{Lbat} continue de circuler, cette fois à travers la

diode D_2 , en raison de l'énergie stockée dans l'inductance. La tension à travers l'inductance L_{bat} est $V_{Lbat} = -V_{bat}$.

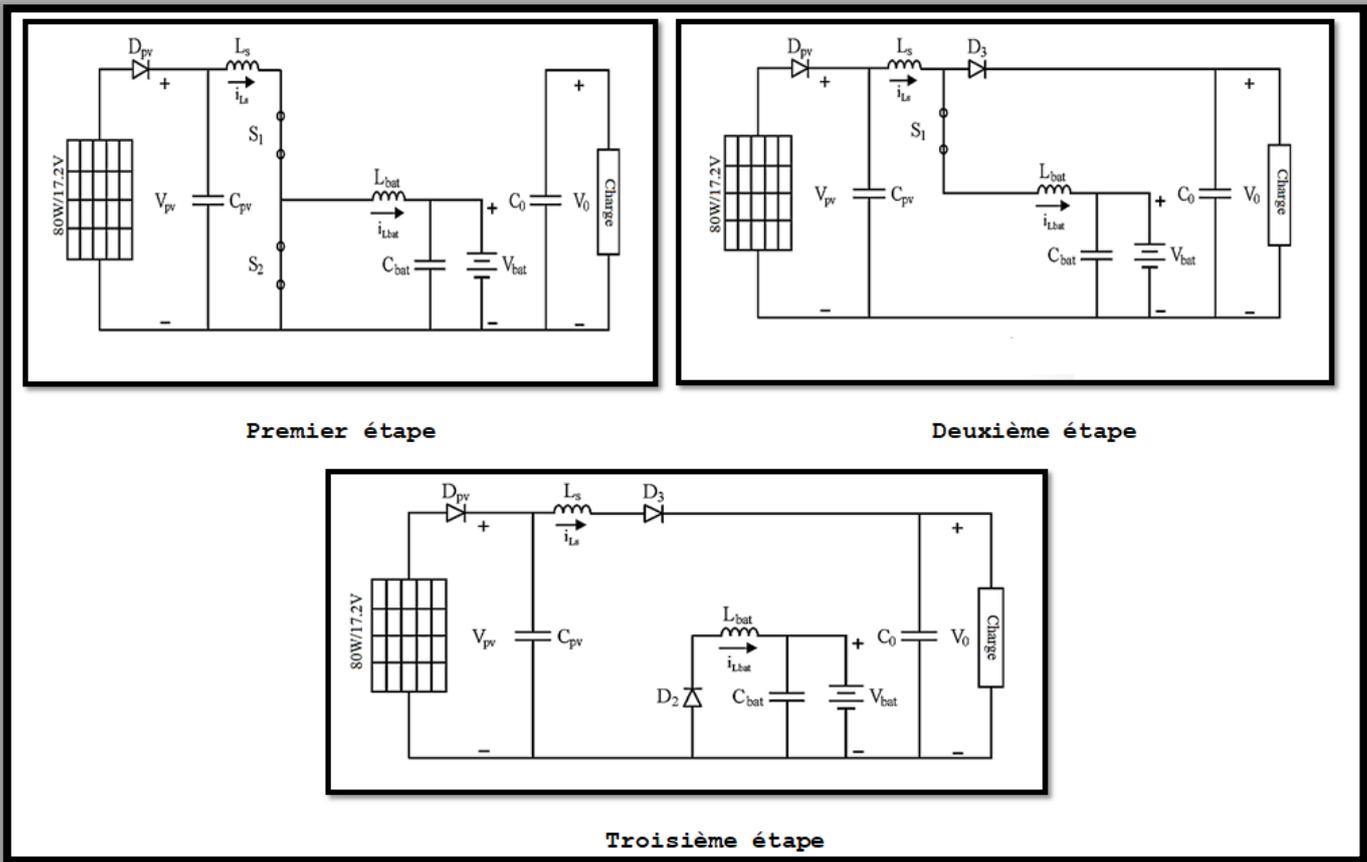


Figure III-05 Schéma du circuit équivalent pour chaque étape de fonctionnement du mode 01

III.3.2 Mode 02 :

- Première étape $[0 - t_1]$:

La période de commutation commence lorsque les interrupteurs S_1 et S_2 sont activés. Les diodes D_3 et D_1 sont polarisées en inverse, isolant ainsi la charge. Le système PV fournit de l'énergie à l'inductance L_s et la batterie fournit de l'énergie à l'inductance L_{bat} . Les tensions à travers les inductances L_s et L_{bat} sont respectivement $V_{Ls} = V_s$ et $V_{Lbat} = V_{bat}$. Ces tensions provoquent une augmentation linéaire des courants dans les inductances I_{Ls} et I_{Lbat} .

- Deuxième étape $[t_1 - t_2]$:

Lorsque l'interrupteur S_1 est désactivé, à $t = t_1$, la diode D_3 conduit, le système PV et l'inductance L_s alimentent la charge. Le banc de batteries alimente l'inductance L_{bat} via l'interrupteur S_2 .

- Troisième étape $[t_2 - t_3]$:

Cette étape commence lorsque l'interrupteur S_2 est désactivé. La charge reçoit toute l'énergie des inductances L_s et L_{bat} ainsi que du système PV et du banc de batteries.

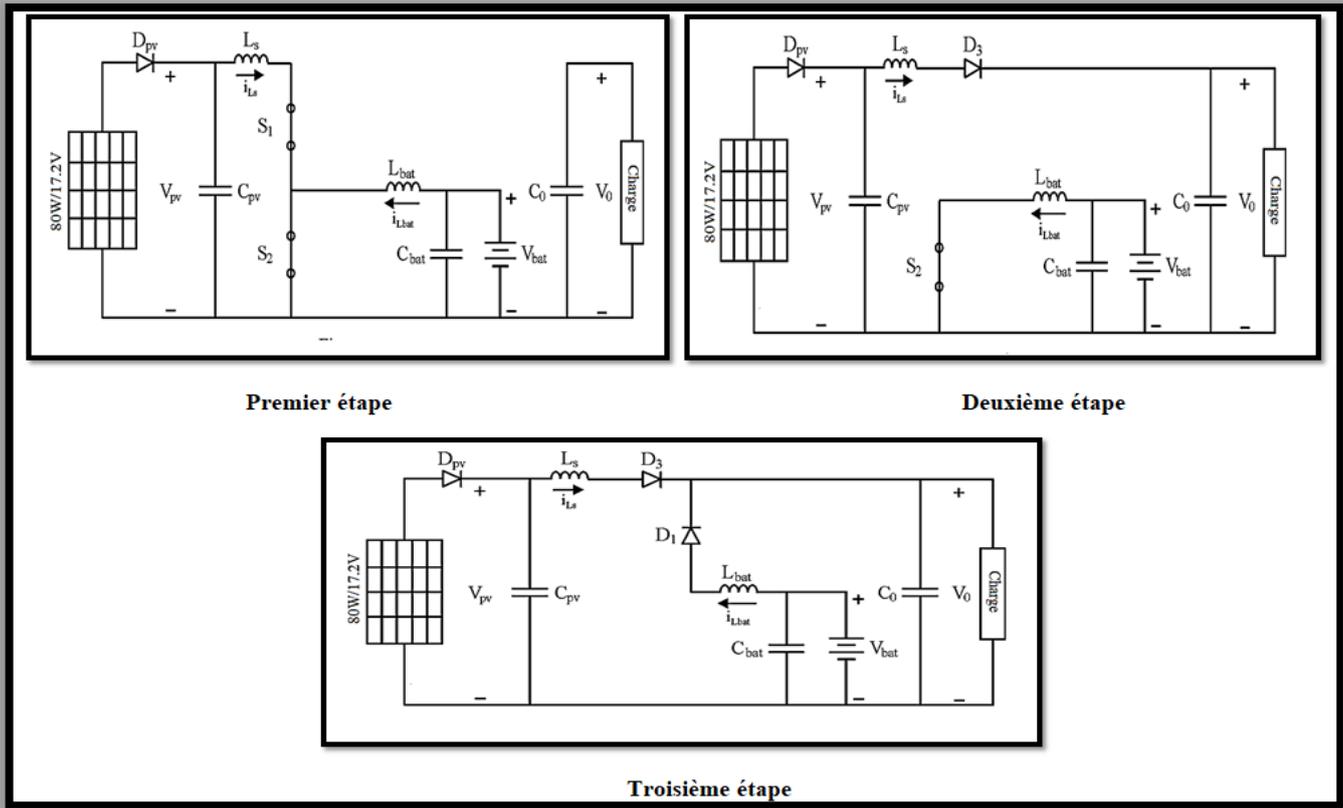


Figure III-06 Schémadu circuit équivalent pour chaque étape de fonctionnement du mode 02

III.4 Résultats du dimensionnement :

D’après les études théoriques du chapitre II sur le dimensionnement du chargeur solaire, les résultats des calculs sont notés dans le tableau II-01

Tableau III-01 Résultats des calcul de dimesionnement

Composant	Symbole	Valeur
Rapport cyclique α	α (panneau PV/charge)	0.65
	α (panneau PV/batterie)	0.80
	α (batterie/charge)	0.73
Fréquence	f	15 KHZ
Inductance	L_s	470 μ H
	L_{bat}	470 μ H
Condensateur	C_{pv}	1mF
	C_0	1mF
	C_{batt}	220 μ F
Resistance de charge	R	33.6 Ω

III.5 Simulation :

III.5.1 Interface de puissance :

Dans cette partie, on utilise le logiciel PSIM afin de simulé notre circuit de puissance et visualisé les tensions de charge V_{ch} , de sortie du panneau photovoltaïque V_{pv} et de la batterie V_{bat} pour chaque convertisseurs qui assemble notre chargeur.

III.5.1.1 Panneau Photovoltaïque/ Charge :

Entre le panneau photovoltaïque et la charge, comme constaté dans le chapitre passé, il s'agit d'un convertisseur Boost (élévateur de tension) que on va simuler avec le logiciel PSIM et visualiser la tension et le courant de charge et la tension du panneau.

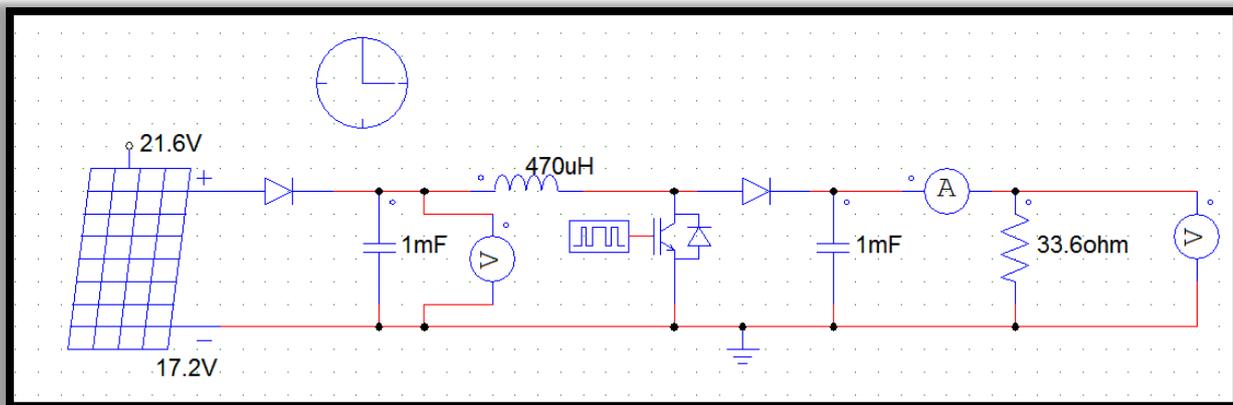


Figure III- 07 Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Boost entre panneau photovoltaïque et la charge

Résultat de la simulation avec $\alpha=0.65$, $f=15KHZ$

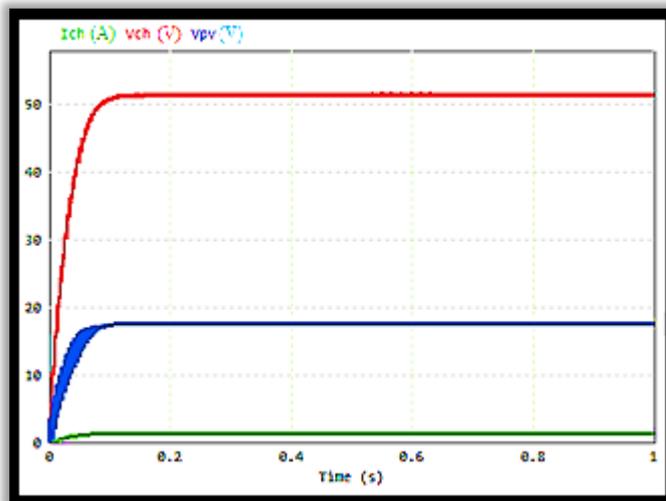


Figure III- 08 Courbe destensionsdu hacheur Boostet courant de charge par PSIM (PV/Charge)

III.5.1.2 Panneau Photovoltaïque/ Batterie :

Il se trouve un convertisseur Buck (abaisseur de tension), entre le panneau photovoltaïque et la batterie que nous allons simuler à l'aide du logiciel PSIM et visualiser les tensions de charge et batterie.

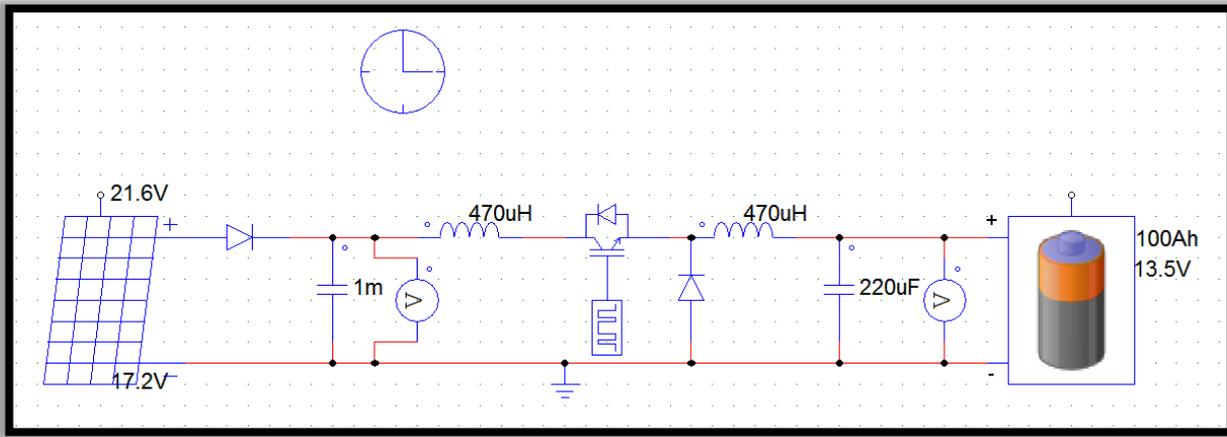


Figure III- 09 Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Buck entre panneau photovoltaïque et la batterie

Résultat de la simulation avec $\alpha = 0.8$, $f = 15\text{KHZ}$

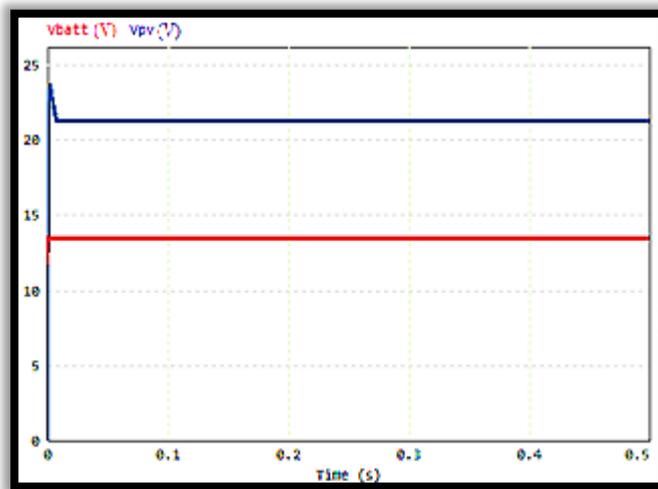


Figure III- 10 Courbe des tensions du hacheur Buck sur PSIM (PV/Batterie)

III.5.1.3 Batterie / Charge :

Entre la batterie et la charge, comme expliqué dans le chapitre précédent, se trouve un convertisseur Boost (élevateur de tension) qui peut également servir comme compensateur de puissance. Nous allons simuler ce convertisseur avec le logiciel PSIM pour visualiser la tension de la charge et la tension de la batterie.

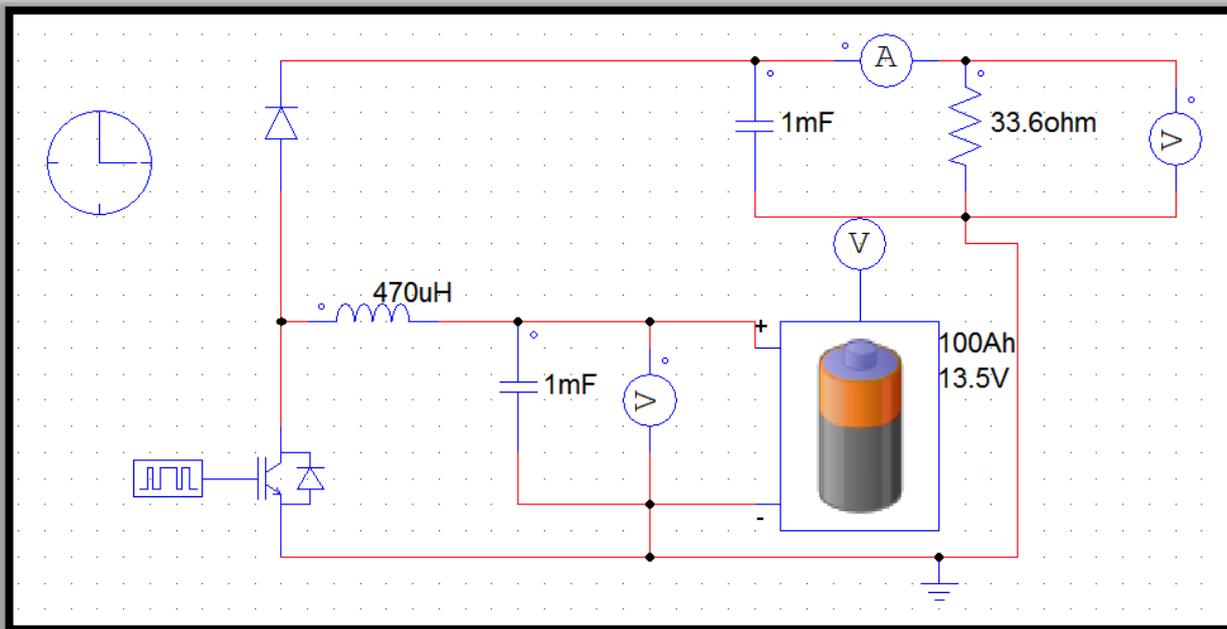


Figure III- 11 Schéma électrique avec PSIM d'un hacheur Boost entre la batterie et la charge

Résultat de la simulation avec $\alpha = 0.73$ et $f = 15\text{kHz}$

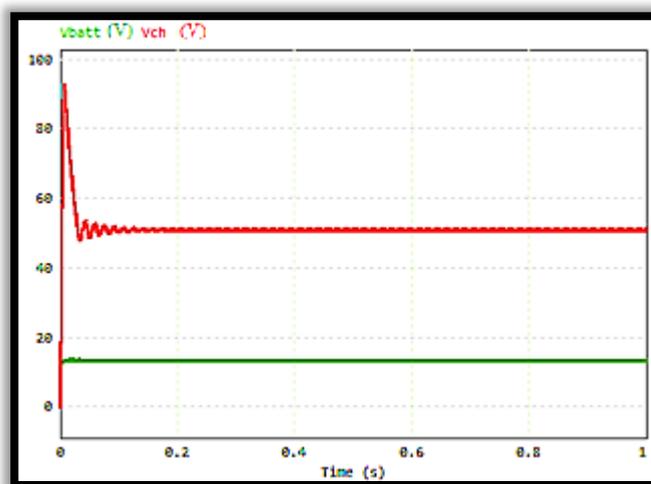


Figure III- 12 Courbe des tensions du hacheur boost sur PSIM (Batterie/Charge)

III.5.1.4 Schéma global du chargeur solaire (partie puissance) :

La figure III-10 illustre l'assemblage des trois convertisseurs précédemment décrits, formant ainsi le chargeur. La simulation permet de visualiser les principales tensions (V_{ch} , V_{pv} , V_{batt}).

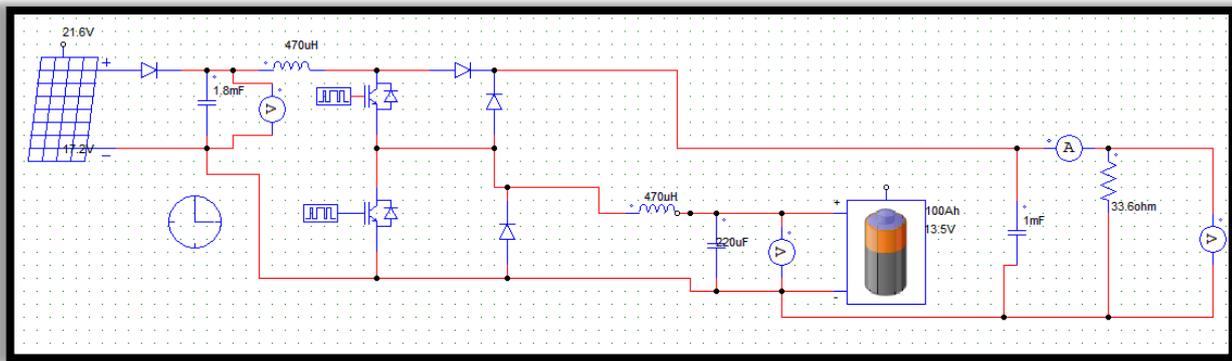


Figure III-13 Schéma global du chargeur avec PSIM

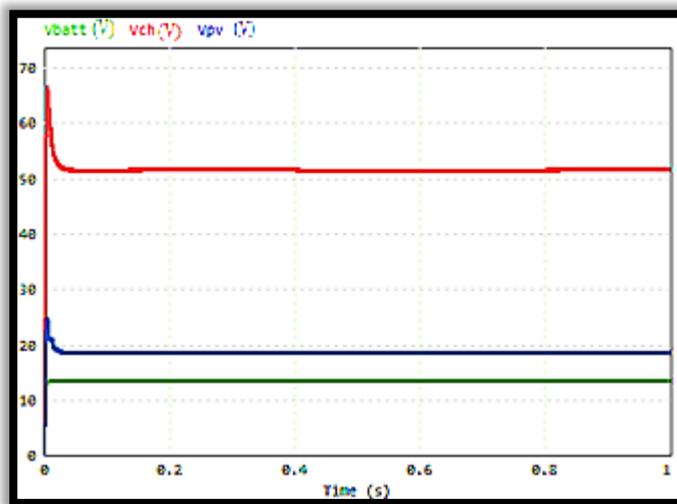


Figure III- 14 Courbe des tensions du circuit de puissance globale sur PSIM

III.6 Interface de commande :

Dans notre circuit de puissance, il faudra une commande qui va servir à fermer et ouvrir nos MOSFET selon le rapport cyclique de chaque convertisseur. Pour cela on va concevoir un circuit de commande composé d'un driver pour piloter l'interrupteur et un optocoupleur pour assurer l'isolation galvanique afin d'assurer la protection et sécurité entre les deux circuits de commande et puissance. Avant de passer au côté pratique et réel, le logiciel Proteus sera l'outil qui nous permettra de simuler et visualiser chaque composante.

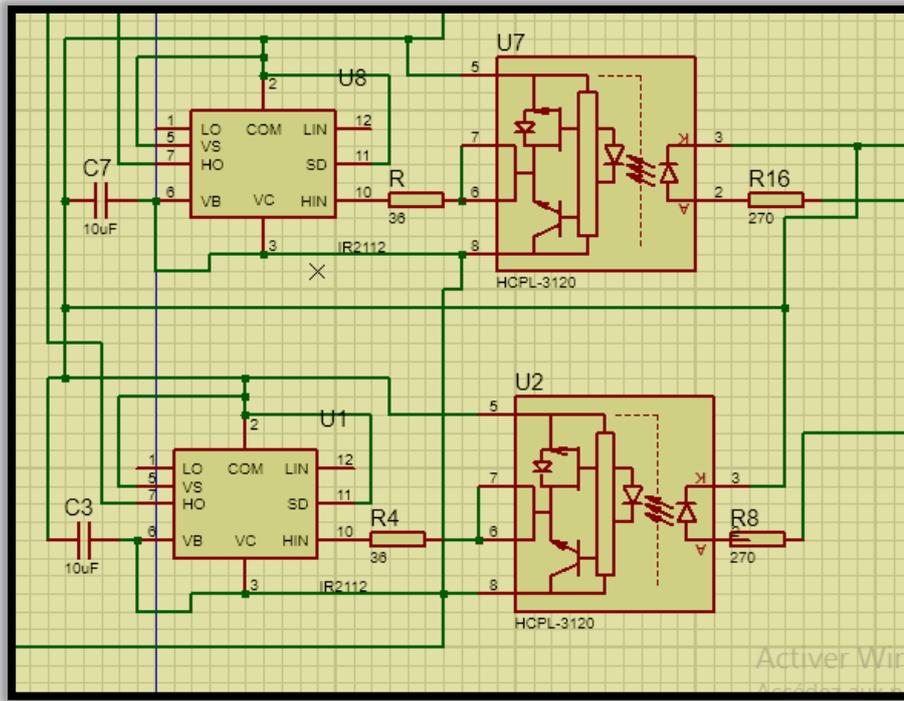


Figure III- 15 Circuit électrique du raccordement entre Driver 1221 et l’optocoupleur HCPL-3120 avec Proteus

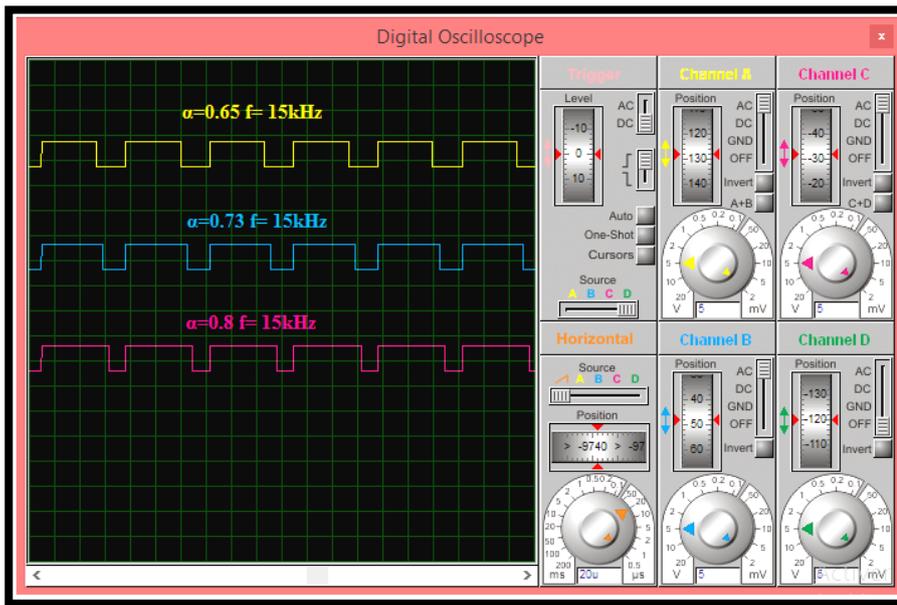


Figure III- 16 Signal de commande des trois rapports cycliques du chargeur

Mais afin d'utiliser le driver et l'optocoupleur faut les alimenté avec une entrée de 12V, que dans notre cas va être fournis d'une batterie de 12V qui est elle-même charger à travers le panneau par l'interlocuteur d'un système de régulation de tension composer du régulateur LM317T , résistance et condensateur.

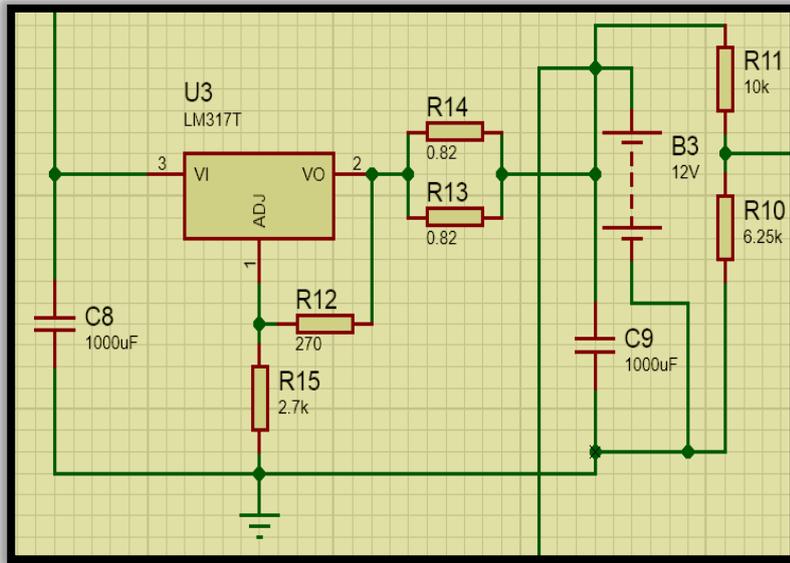


Figure III- 17 Circuit électrique du raccordement entre système de régulation et la batterie avec Proteus

Comme mentionné précédemment, notre driver pilotera les interrupteurs et nécessitera un signal de commande fourni par la carte Arduino Uno. Ce signal sera généré par un programme préalablement conçu, en utilisant les connaissances acquises sur les généralités de l'Arduino Uno, le dimensionnement (rapport cyclique) et les données d'entrée telles que la tension du panneau, de la batterie et de la charge ($V_{pv} = 17.2V$, $V_{batt} = 12V$, et $V_{ch} = 50V$). Comme indiqué dans les généralités, notre carte accepte des entrées de 5V. Par conséquent, pour capter les données d'entrée, un circuit d'adaptation sera nécessaire. De plus, comme les autres composants, la carte Arduino nécessite une alimentation de 5V, fournie par la sortie du régulateur LM7805, lui-même alimenté par la batterie de 12V. Enfin, l'état de la batterie, ainsi que les tensions du panneau et de la charge, seront affichés sur un écran LCD pour être facilement observés.

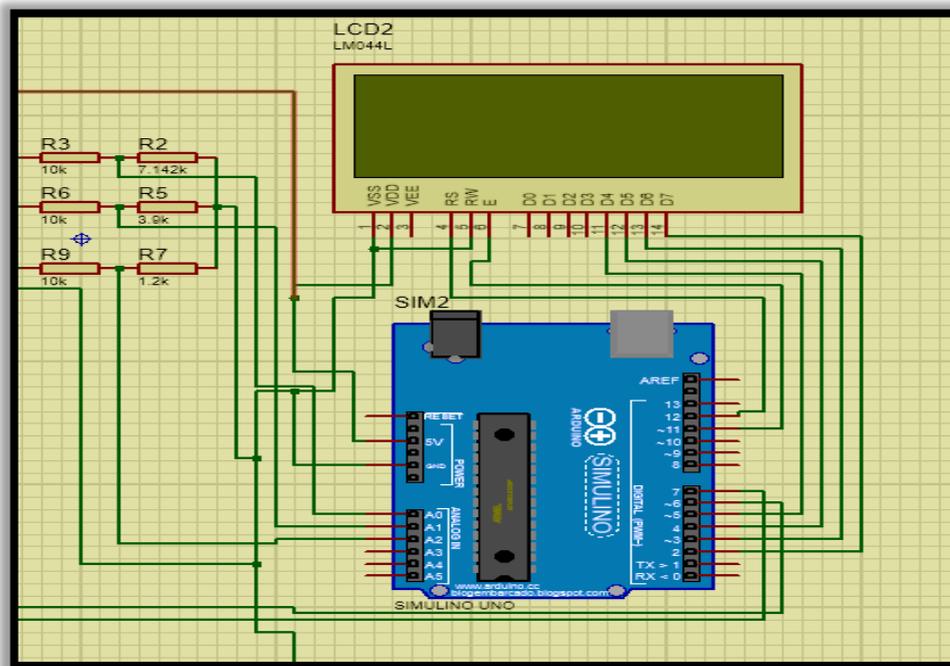


Figure III- 18 Circuit électrique de l'ensemble de la carte ArduinoUno, d'un écran LCD et d'un circuit d'adaptation

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé les circuits de puissance et de commande du chargeur solaire, en utilisant les outils de simulation PSIM et Proteus. Nous avons d'abord détaillé le circuit de puissance comprenant deux convertisseurs DC-DC (Boost et Buck), chacun jouant un rôle crucial dans la gestion et la régulation de l'énergie solaire captée. Ensuite, nous avons exploré les modes de fonctionnement du circuit en fonction de l'état de charge de la batterie et de la puissance disponible des panneaux photovoltaïques. Nous avons également présenté les résultats des simulations de chaque convertisseur, confirmant ainsi les performances et l'efficacité de notre conception. Puis, nous avons abordé la conception de l'interface de commande, incluant les drivers, optocoupleur et le régulateur de tension LM7805, pour piloter les interrupteurs MOSFET et assurer une isolation galvanique entre les circuits de commande et de puissance. L'ensemble de ces travaux nous permet concevoir un chargeur solaire fiable et performant, prêt à être mis en œuvre dans des applications pratiques.

Dans le prochain chapitre, nous allons faire des essais pratiques du circuit de commande.

CHAPIRE IV

**Essais expérimentaux
de circuit de commande**

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer les essais pratiques du circuit de commande afin de voir les résultats expérimentaux de la maquette, puis concevoir les PCB des circuits de commande et puissance avec le logiciel KiCad.

IV.2 Résultats Pratiques

IV.2.1 Partie Commande

Après la simulation du circuit de commande, on va entamer les essais expérimentaux et pour cela on assemble les composantes du circuit sur la maquette comme montrer dans la Figure IV-1. Comme alimentation d'entrée pour l'expérimentation, on va utiliser un générateur de tension continue qui va nous donner une tension de $V_e=17.2V$. Puis, afin d'alimenter l'arduino UNO qui a pour tension d'entrée de 5V et les drivers avec une tension de 12V, on va utiliser deux circuits d'adaptation composés principalement des régulateurs (LM317T et LM7805). L'arduino UNO est une carte de commande laquelle génère un signal qui contrôle les deux MOSFET et affiche le niveau de la batterie, la tension du panneau et la tension sur un écran LCD.

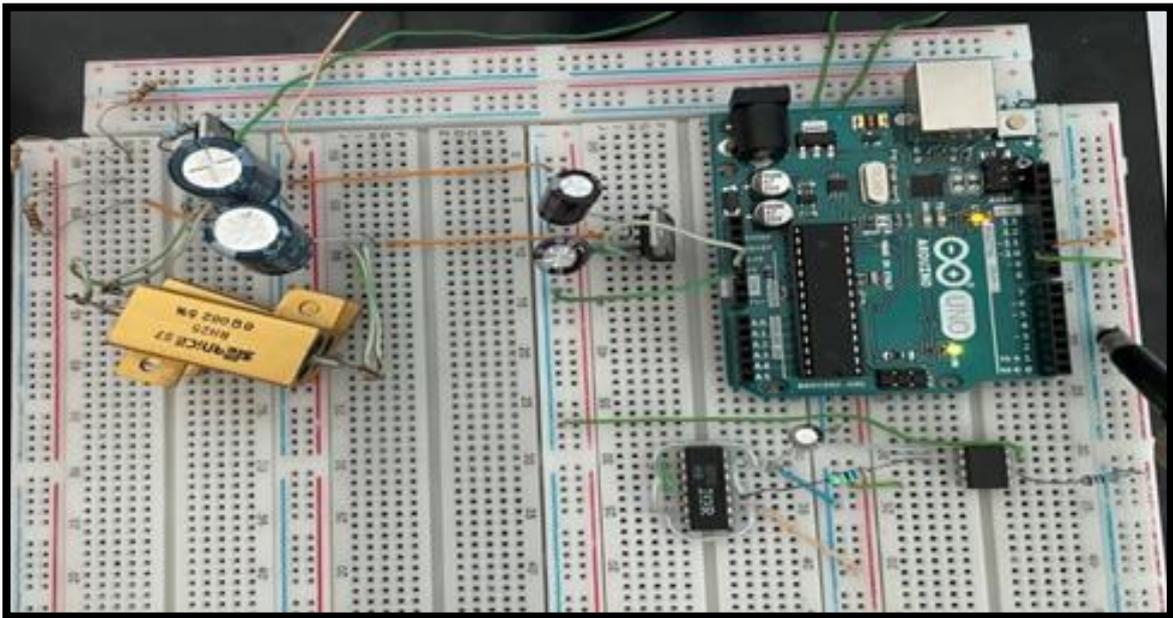


Figure IV. 1: Maquette d'essai du circuit de commande.

On a utilisé un oscilloscope, pour visualiser le signal de commande à la sortie de l'arduino UNO.

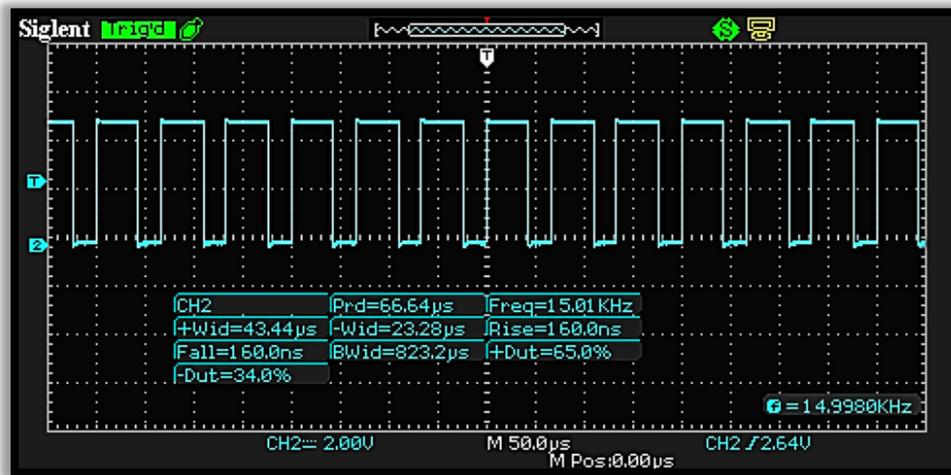


Figure IV. 2: Signal de commande avec $\alpha=0.65$.

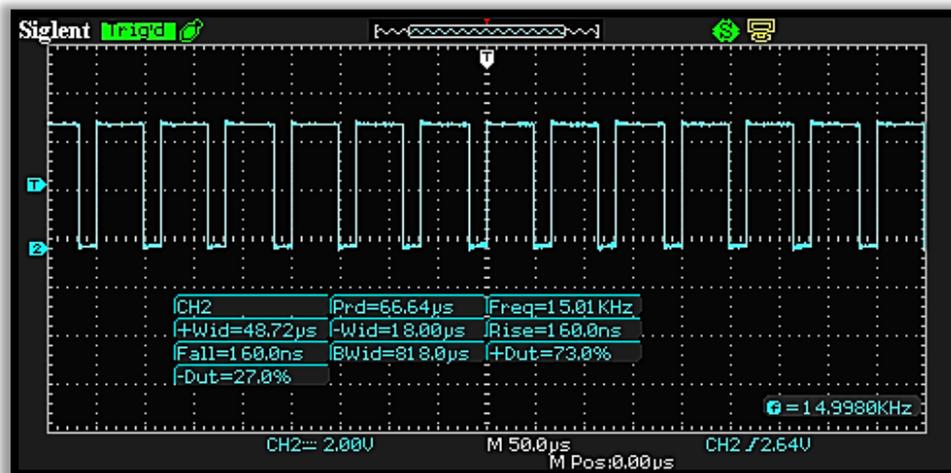


Figure IV. 3: Signal de commande avec $\alpha=0.73$.

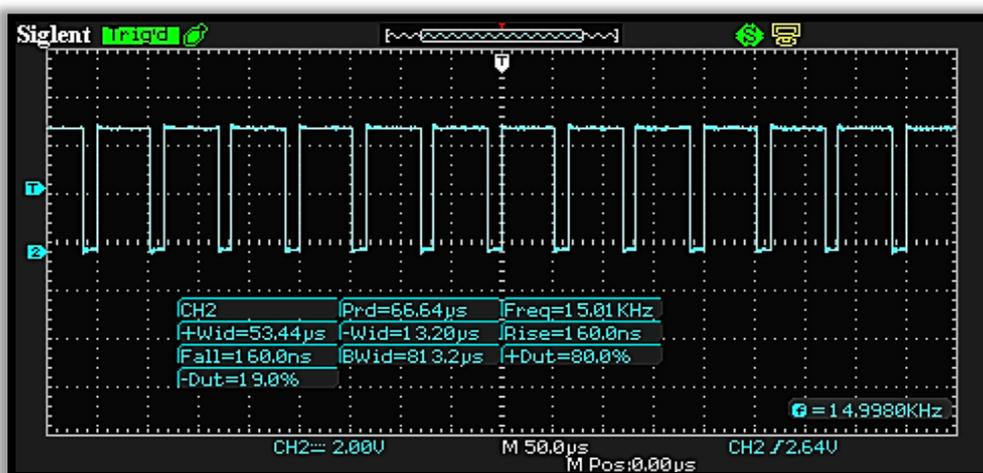


Figure IV. 4: Signal de commande avec $\alpha=0.8$.

IV.3 Logiciel KiCad

KiCad est un logiciel de conception de circuits imprimés (PCB) et de schémas électroniques, développé initialement en 1992 par Jean-Pierre Charras. Il offre un éditeur de schémas, permettant de dessiner des circuits électroniques avec une interface intuitive et des outils puissants pour la création et la gestion des composants. Pour la conception de PCB, l'éditeur Pcbnew permet de placer et router les composants sur plusieurs couches, avec des capacités avancées de vérification de règles de conception (DRC) et de gestion des contraintes. La visualisation en 3D des cartes PCB permet une inspection détaillée et une meilleure compréhension de l'assemblage final.

Le logiciel comprend des outils pour créer, modifier et gérer des bibliothèques de symboles et de modèles de composants, facilitant le partage et la réutilisation des composants. KiCad est entièrement gratuit et sans frais de licence, ce qui le rend accessible à un large public, y compris les amateurs, les étudiants et les professionnels. En tant que logiciel open source, il permet aux utilisateurs de modifier le code source pour répondre à des besoins spécifiques et contribue à l'évolution rapide du logiciel.

IV.4 Circuit imprimé PCB

IV.4.1 Partie commande

Nous avons conçu le PCB du circuit de commande et visualiser la version 3D en tant que prototype afin d'avoir un aperçu du circuit réel.

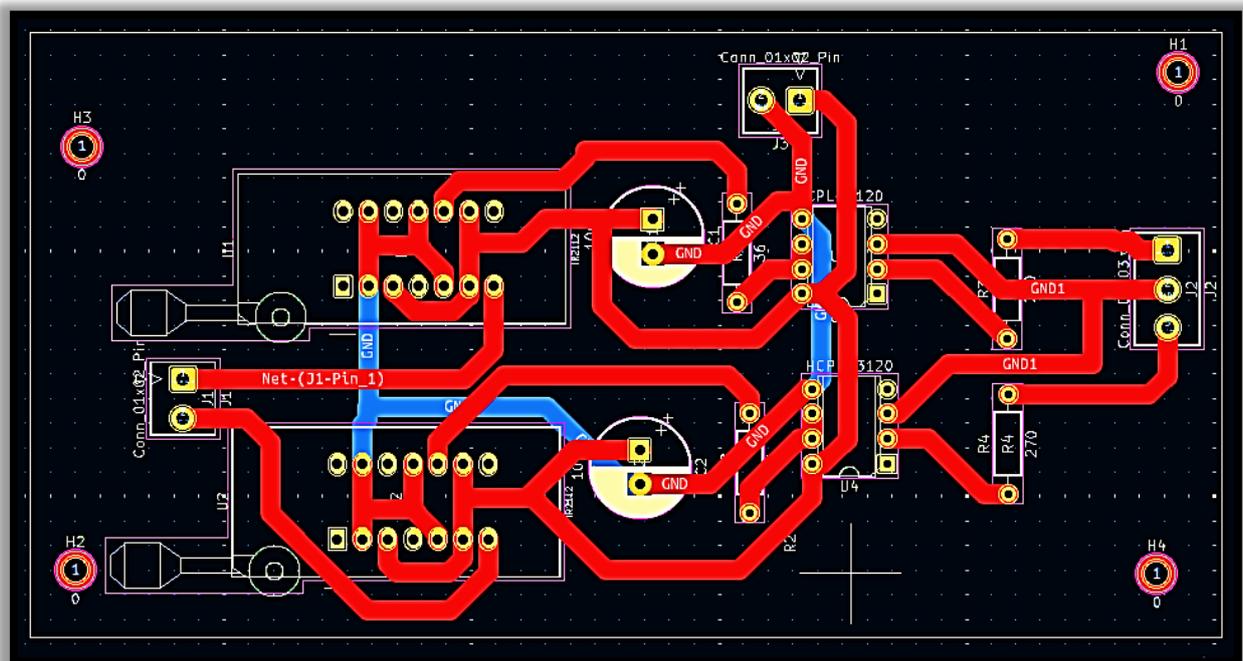


Figure IV. 5: PCB de la partie commande.

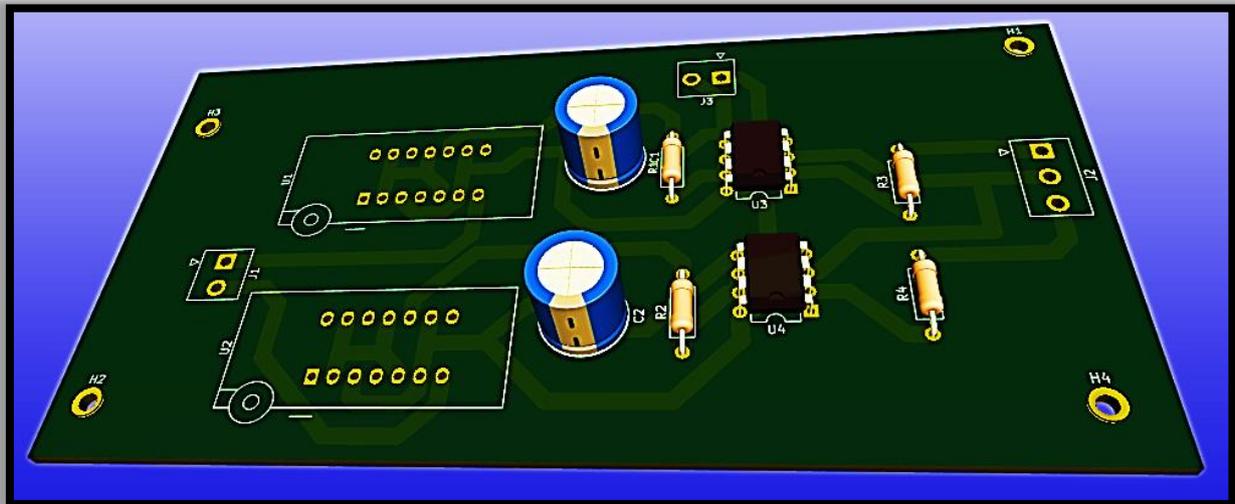


Figure IV. 6: Version 3D du PCB de la partie commande.

IV.4.2 Partie adaptation des tensions

Nous avons conçu le PCB du circuit d'adaptation des tensions et visualiser la version 3D en tant que prototype afin d'avoir un aperçu du circuit réel.

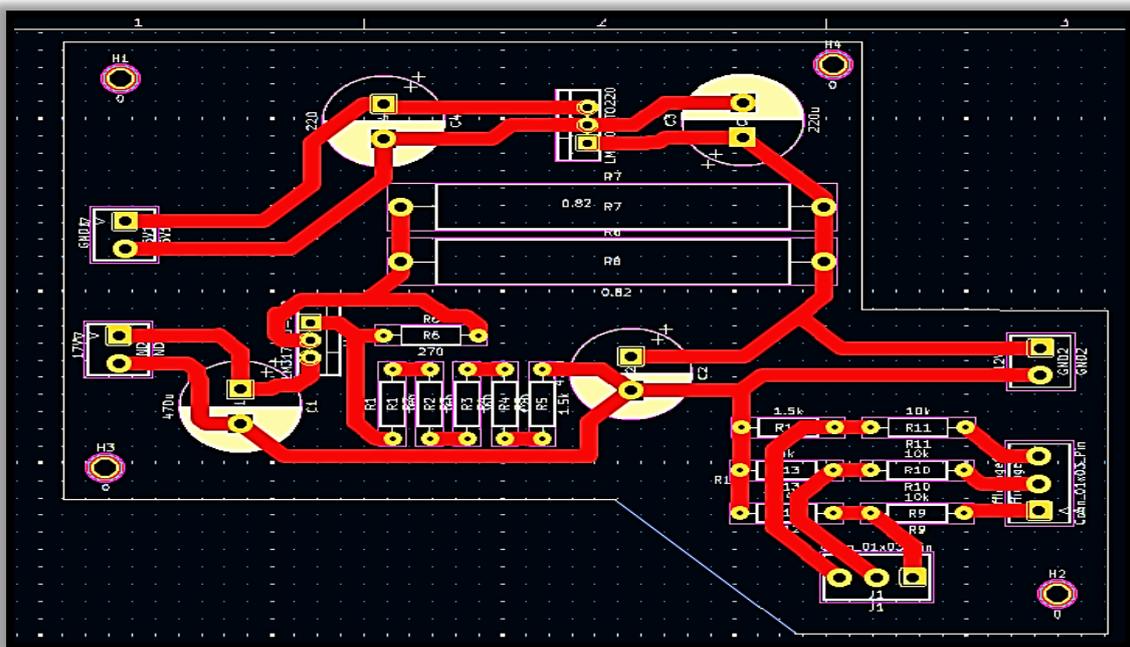


Figure IV. 7: PCB de la partie d'adaptation de tensions.

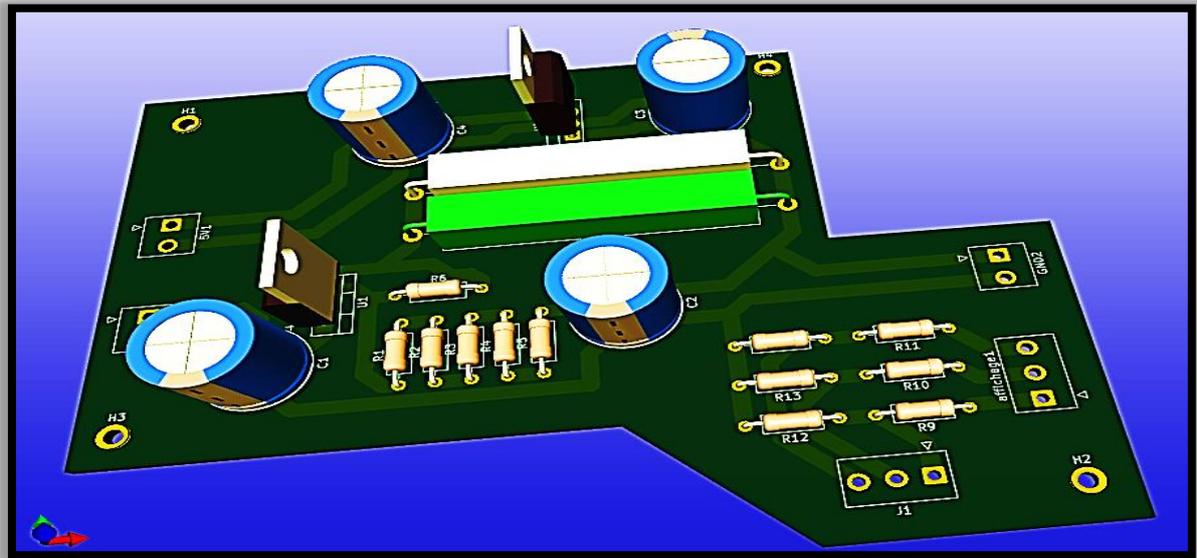


Figure IV. 8: Version 3D du PCB du circuit d'adaptation des tensions.

IV.4.3 Partie puissance

Nous avons conçu le PCB du circuit de puissance et visualisé la version 3D en tant que prototype afin d'avoir un aperçu du circuit réel.

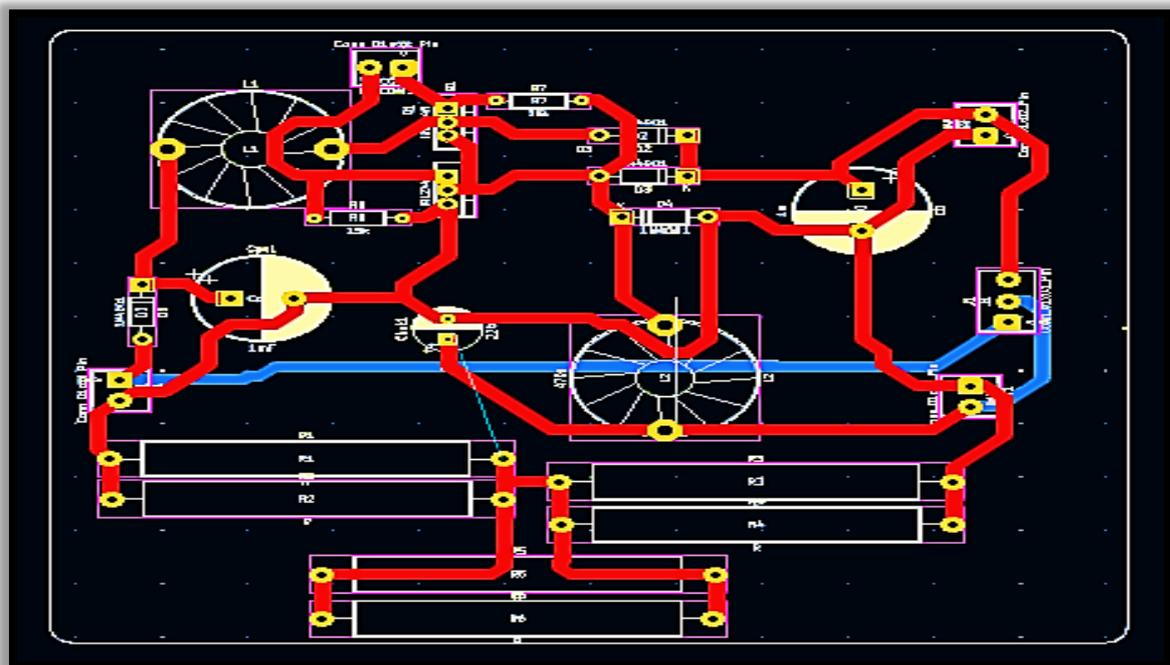


Figure IV. 9: PCB de la partie puissance.

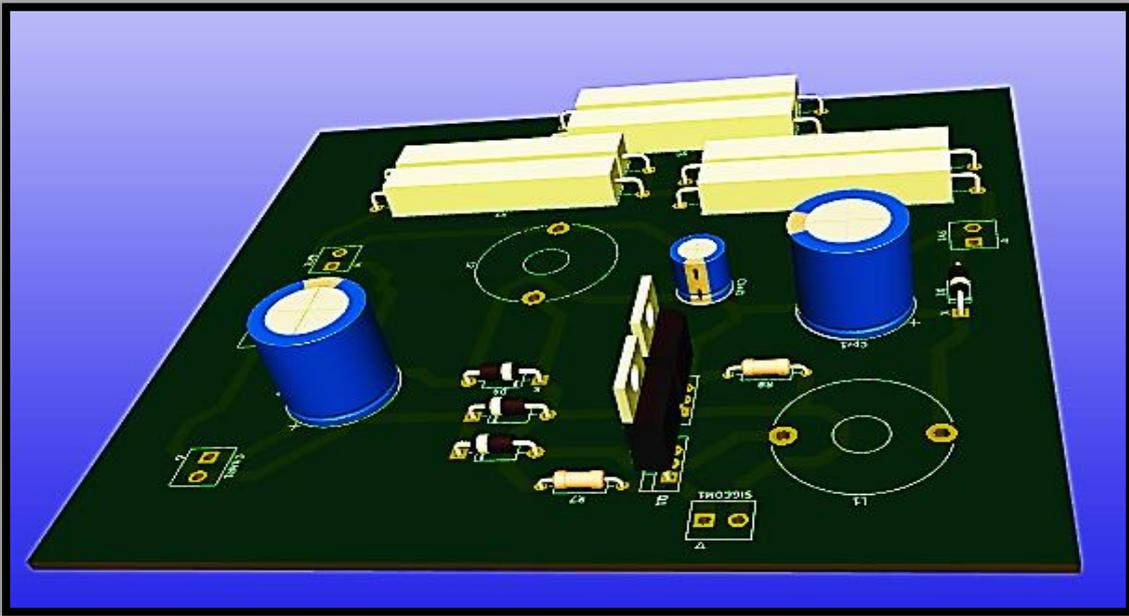


Figure IV. 10: Version 3D du PCB de la partie de puissance.

IV.5 Comparaison entre résultats pratique et simulation

La comparaison des résultats de simulation et des résultats réels des circuits de puissance et de commande est cruciale pour valider leur performance et leur fiabilité. Les simulations reposent sur des modèles théoriques et des logiciels qui peuvent ne pas capturer tous les comportements réels du circuit. De plus, les simulations se déroulent dans des conditions idéales, tandis que les circuits réels subissent des variations environnementales et des tolérances de fabrication.

Il est donc essentiel que les résultats de la simulation soient validés expérimentalement et ajustés pour réduire les écarts. Une bonne concordance entre simulations et résultats réels assure la fiabilité du circuit, tout en offrant des opportunités d'amélioration continue. En résumé, cette comparaison garantit que les circuits fonctionneront comme prévu dans des conditions réelles et permet d'améliorer les modèles de simulation et les conceptions futures.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons conclu les essais expérimentaux sur le circuit de commande en visualisant les signaux de commande. Par la suite, nous avons conçu les circuits imprimés (PCB) des différentes sections du chargeur solaire, comprenant la partie commande, la partie d'adaptation et la partie de puissance. Nous avons également conçu des versions 3D de ces PCB à l'aide du logiciel KiCad. Enfin, nous avons comparé les résultats obtenus en pratique avec ceux issus des simulations afin d'évaluer la précision et la fiabilité de notre conception

Conclusion général

Conclusion Général

Nous avons étudié les chargeurs solaires utilisés dans des systèmes photovoltaïques. Pour cela, nous avons d'abord revu certains concepts fondamentaux sur les principes de fonctionnement des panneaux photovoltaïques, des batteries et des hacheurs. Ensuite, nous avons décrit les différents composants du chargeur solaire, incluant un système de compensation pour améliorer l'efficacité de la charge. Nous sommes ensuite passés à la modélisation des panneaux photovoltaïques et des hacheurs avec des modèles mathématiques pour simuler le comportement des panneaux solaires et optimiser la conversion d'énergie.

Nous avons ensuite conçu et simulé les circuits de puissance et de commande en utilisant les logiciels Proteus et PSIM. Nous avons vérifié les performances théoriques du chargeur solaire et identifié les ajustements nécessaires avant les tests pratiques.

La dernière partie de notre travail porte sur la réalisation d'essais expérimentaux sur des maquettes pour valider les résultats des simulations, ainsi que sur la conception des PCB des différentes parties du chargeur solaire avec le logiciel KiCad, incluant une visualisation 3D pour évaluer la réalisation pratique.

Plusieurs perspectives d'amélioration de ce travail se dessinent :

- Finaliser la réalisation.
- Application dans un système photovoltaïque.
- Réaliser une analyse du coût de la réalisation.

Liste bibliographique

- [1] : <https://www.sirenergies.com/article/histoire-energie-solaire/> (consulté le 23/02/2024)
- [2]: B. Benyoucef A. Hamidat. Mathematic models of photovoltaic motorpump systems. Renewable Energy, 2011.
- [3] : M. Salhi, B. Metidji, « Étude et réalisation d'un hacheur série et parallèle pour le stockage d'énergie », mémoire de fin d'étude Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2004.
- [4] : ZERAIBI, MEGUELLATI « les sources d'énergie miniatures», mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2013.
- [5]: A. EDDAHECH, « Modélisation du vieillissement et détermination de l'état de santé de batteries lithium-ion pour application véhicule électrique et hybride » thèse de doctorat, école doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur, 2013.
- [6] : A. TOUATI « Commende pare mode glissent des convertisseurs DC /DC Buck », mémoire de fin d'étude, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj 2022.
- [7] : I. Dehiri « Etude d'un convertisseur DC-DC de type SEPIC », mémoire de fin d'étude, Université Larbi Ben M'hidin, Oum El-Bouaghi 2017.
- [8] : I. Bouzghaya « Etude d'un Hacheur à Stockage Capacitif », mémoire de fin d'étude, Université Larbi Ben M'hidin, Oum El-Bouaghi 2014.
- [9] : W. Chouikhi « Réalisation d'une commande buck-boost pour PV », mémoire de fin d'étude Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen 2018.
- [10] : Professeur Marcel Jufer, Cours d'électronique de puissance « Conversion DC/DC », Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [11] : M. Khemliche, S. Djeriou, S. Latreche, « Diagnostic de Défauts dans le Système Photovoltaïque par les Réseaux », Neurones Artificiels Laboratoire d'Automatique, Département d'Electrotechnique, Université de Sétif Cité Maabouda, Route de Bejaia, 19000 Sétif, Algérie

[12] : Polytech' Clermont Ferrand «Dimensionnement des composants pour convertisseur SEPIC», Université Clermont Auvergne, Janvier 2013.

[13] :H. L. Ferreira, R. Garde, G. Fulli, W. Kling and J. P. Lopes, “Characterisation of electrical energy storage technologies”, Energy, vol. 53, pp. 288-298, 2013.

[14]:G. Mulder, N. Omar, S. Pauwels, M. Meeus, F. Leemans, B. Verbrugge, W. De Nijs , P. Van den Bossche, D. Six and J. Van Mierlo, “Comparison of commercial battery cells in relation to material properties”, ElectrochimicaActa, vol. 87, pp. 473-488, 2013.

[15] :KHEZZARR , ZEREG « Comparaison entre les différents modèles électrique et déterminations des paramètres de la caractéristique I-V d'un module photovoltaïque » Revue des énergie renouvelable vol 13 N° 3 ,pp379-385,2010

[16] : Muhammad H. Rashid «Power Electronics Handbook», livre publier en 2001, Université de Floride du Sud.

[17]Y. Kharfane, B. Kadri «Simulation et réalisation d'un système photovoltaïque à BASE d'une carte ARDUINO UNO » mémoire de master, université universite badji mokhtar annaba, Juin 2018

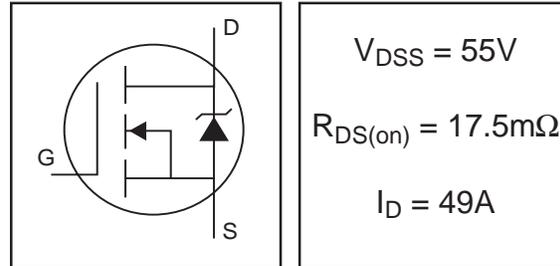
[18] : N.BOUDALI et S.GUEBLI « Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte arduino UNO » mémoire de master universite IBN khaldoun de tiaret, 2022/2023

annexes

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

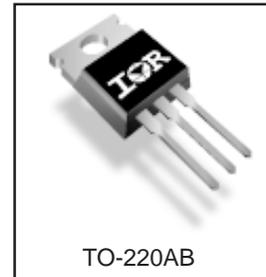
- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	49	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	35	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	160	
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

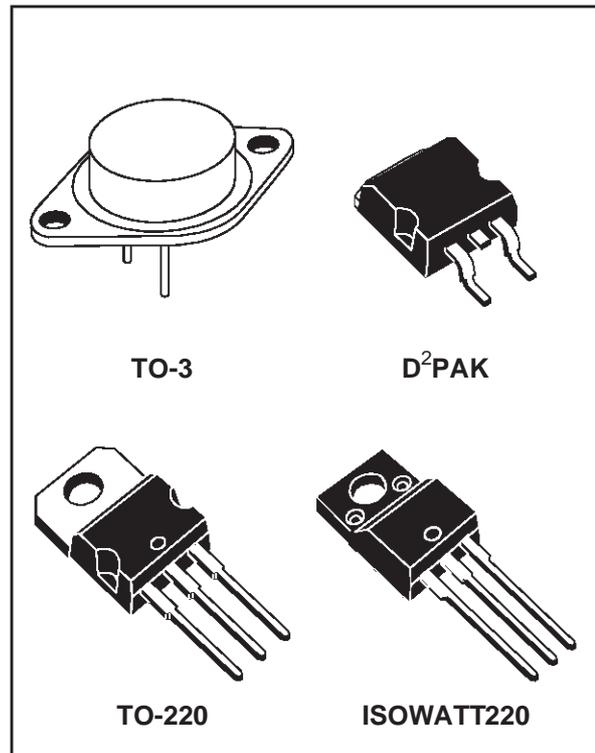
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D²PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{i-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I_o	Output Current	Internally Limited	
T_{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C °C °C
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	4	3	4	3	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	35	50	60	62.5	°C/W



3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

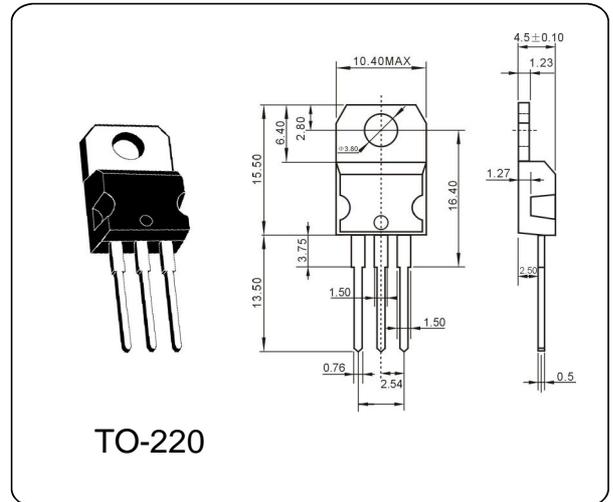
LM7805

GENERAL DESCRIPTION

The LM7805 series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25 °C)

Parameter	Symbol	Typ	Unit
Input Voltage	V_I	35	V
Output Voltage	V_O	5.0	V
Peak Current	I_{PK}	2.2	A
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0~125	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65~150	°C



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25 °C)

(Refer to test circuit, $I_o = 500mA$, $V_i = 10V$, $C_i = 0.33\mu F$, $C_o = 0.1\mu F$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$V_I = 8V$ to $20V$	4.85	5.0	5.15	V
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_O = 8V$ to $25V$		4.0	100	mV
		$V_I = 8V$ to $12V$		1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$I_o = 5.0mA$ to $1.5A$		9	100	mV
		$I_o = 250mA$ to $750mA$		4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25\text{ °C}$		5	8	mA
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$, $V_O = 8V$ to $18V$	62	73		dB
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_o = 1A$, $T_J = +25\text{ °C}$		2		V
Output Resistance	r_o	$f = 1KHz$		0.015		Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25\text{ °C}$		230		mA
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25\text{ °C}$		2.2		A

HCPL-3120/J312, HCNW3120

2.5 Amp Output Current IGBT Gate Drive Optocoupler



Data Sheet

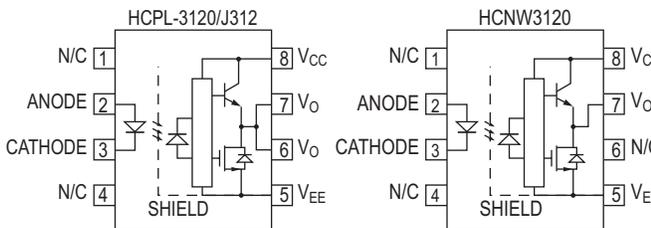
Lead (Pb) Free
RoHS 6 fully compliant

RoHS 6 fully compliant options available;
-xxxE denotes a lead-free product

Description

The HCPL-3120 contains a GaAsP LED while the HCPL-J312 and the HCNW3120 contain an AlGaAs LED. The LED is optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. These optocouplers are ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs used in motor control inverter applications. The high operating voltage range of the output stage provides the drive voltages required by gate controlled devices. The voltage and current supplied by these optocouplers make them ideally suited for directly driving IGBTs with ratings up to 1200 V/100 A. For IGBTs with higher ratings, the HCPL-3120 series can be used to drive a discrete power stage which drives the IGBT gate. The HCNW3120 has the highest insulation voltage of $V_{IORM} = 1414 V_{peak}$ in the IEC/EN/DIN EN 60747-5-2. The HCPL-J312 has an insulation voltage of $V_{IORM} = 891 V_{peak}$ and the $V_{IORM} = 630 V_{peak}$ is also available with the HCPL-3120 (Option 060).

Functional Diagram



TRUTH TABLE

LED	$V_{CC} - V_{EE}$ "POSITIVE GOING" (i.e., TURN-ON)	$V_{CC} - V_{EE}$ "NEGATIVE GOING" (i.e., TURN-OFF)	V_o
OFF	0 - 30 V	0 - 30 V	LOW
ON	0 - 11 V	0 - 9.5 V	LOW
ON	11 - 13.5 V	9.5 - 12 V	TRANSITION
ON	13.5 - 30 V	12 - 30 V	HIGH

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

Features

- 2.5 A maximum peak output current
- 2.0 A minimum peak output current
- 25 kV/ μs minimum Common Mode Rejection (CMR) at $V_{CM} = 1500 V$
- 0.5 V maximum low level output voltage (V_{OL}) Eliminates need for negative gate drive
- $I_{CC} = 5 mA$ maximum supply current
- Under Voltage Lock-Out protection (UVLO) with hysteresis
- Wide operating V_{CC} range: 15 to 30Volts
- 500 ns maximum switching speeds
- Industrial temperature range: $-40^{\circ}C$ to $100^{\circ}C$
- SafetyApproval:

UL Recognized

3750 Vrms for 1 min. for HCPL-3120/J312

5000 Vrms for 1 min. for HCNW3120

CSA Approval

IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Approved

$V_{IORM} = 630 V_{peak}$ for HCPL-3120 (Option 060)

$V_{IORM} = 891 V_{peak}$ for HCPL-J312

$V_{IORM} = 1414 V_{peak}$ for HCNW3120

Applications

- IGBT/MOSFET gate drive
- AC/Brushless DC motor drives
- Industrial inverters
- Switch mode power supplies

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.