

**R**épublique Algérienne **D**émocratique et **P**opulaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université A. MIRA de Béjaïa  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique



## ***Mémoire de fin d'études***

***En vue de l'obtention du diplôme de Master en  
Electrotechnique***

***Option: Energies Renouvelables***

*Thème*

***Conversion d'énergie dans l'éclairage  
Public***

**Réalisé par:**

 OURABAH Mohamed  
 MOKHTARI Ferhat

**Encadré par:**

 M. ARNAL Benoit  
 M. BENNOUCHEN Mustapha

**Promoteur:**

**M. ALKAMA Rezak**

***Année : 2018/2019***

# *Remerciements*

On remercie ALLAH le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage Qu'il nous a donnée pour l'achèvement de ce travail.

On adresse chaleureusement toute notre gratitude à notre promoteur **M. ALKAMA.R**, et aussi à **M. BENOIT Arnal** le gérant de l'entreprise INDIGO ENERGIE Algérie pour son aide précieuse.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tout les membres de  
nos

Famille, notamment nos chers parents qui nous ont aidé et pour leur soutien précieux plus qu'on ne peut le dire durant les longues années de ma formation, ce qui leur fait valoir ma grande reconnaissance.

On remercie l'établissement INDIGO ENERGIE Algérie, ainsi que tous les travailleurs qui nous ont aidés à passer ce stage dans les meilleures conditions, on remercie l'encadreur l'ingénieur Technico-commercial **M. BENOUCHE Mustapha**, on vous est profondément reconnaissants pour ce que vous avez fait pour nous.

Une chose est sûre :

{ On n'oubliera jamais }

Enfin, on remercie toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement et à l'accomplissement de ce travail, on vous remercie tous.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents*

*A mes très chers frères*

*Et à ma chère sœur*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis et collègues*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science*

*Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et*

*la prospérité de l'humanité.*

*MOKHTARI Ferhat*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents*

*A mon cher frère*

*Et à ma chère sœur*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis et collègues*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science*

*Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et*

*la prospérité de l'humanité.*

*OURABAH Mohamed*

# Sommaire

Introduction g énérale.....	1
<b>Pr ésentation de la SARL INDIGO ENERGIE Alg érie</b>	
Historique .....	2
Emplacement g éographique de la soci été.....	2
Organigramme de l'entreprise .....	3
Type de luminaires d'INDIGO ENERGIE Alg érie.....	3
Les diff érentes types d'alimentation des éclairages à LED.....	5
Les autres activit és assur és par INDIGO ENERGIE Alg érie .....	6
Les diff érents équipements pour les syst èmes autoconsommation.....	7
Les configurations de solution photovoltaïque disponibles.....	8

## Chapitre I

### *G énéralit és sur les convertisseurs statiques dans les éclairages publics*

I.1 Introduction.....	9
I.2 Les convertisseurs statiques .....	9
I.2.1 D éfinition .....	9
I.2.2 Fonctions de base et terminologie des convertisseurs statiques.....	9
I.3 G énéralit és sur les convertisseurs DC/DC «Hacheur ».....	10
I.3.1 Repr ésentation du convertisseur DC/DC .....	10
I.3.2 D éfinition d'un Hacheur.....	10
I.3.3 Fonction de base et terminologie des convertisseurs DC/DC [4] .....	11
I.4 Les type des convertisseurs de tension DC/DC .....	11
I.4.1 Convertisseur é levateur «BOOST ».....	11
I.4.1.1 Sch éma de convertisseur : .....	12
I.4.1.2 Principe de fonctionnement .....	12
I.4.1.3 Chronogrammes du convertisseur é levateur «Boost ».....	12
I.4.2 Convertisseur abaisseur «BUCK ».....	13
I.4.2.1 Sch éma du convertisseur .....	13
I.4.2.2 Principe de fonctionnement .....	13
I.4.2.3 Chronogrammes du convertisseur é levateur «Boost » .....	14

## Sommaire

---

I.4.3	Convertisseur inverseur «BUCK - BOOST ».....	14
I.4.3.1	Schéma du convertisseur .....	14
I.4.3.2	Principe de fonctionnement .....	15
I.4.3.3	Chronogrammes du convertisseur inverseur «Buck-Boost ».....	15
I.5	Application des convertisseurs DC/DC .....	15
I.6	Généralités sur les convertisseurs DC/AC «Onduleur :.....	16
I.6.1	Définition d'un Onduleur .....	16
I.6.2	Type de convertisseur DC/AC .....	16
I.6.2.1	Les onduleurs autonomes (ou bien oscillateurs) :.....	16
I.6.2.2	Les onduleurs non autonomes : .....	17
I.6.2	Domaines d'utilisation et d'application.....	17
I.7	Généralités sur les convertisseurs AC/DC Redresseur : .....	18
I.7.1	Type de convertisseur AC/AC .....	18
I.7.1.1	Redresseur commandé.....	18
I.7.1.2	Redresseur non commandé.....	18
I.7.2	Domaine d'utilisation et d'application [14].....	19
I.8	Rappel des notions sur les régulateurs MPPT.....	19
I.9	Rappel sur les Puissances des convertisseurs .....	20
I.9.1	Définition .....	20
I.9.2	Puissance active.....	21
I.9.3	Puissance apparente.....	21
I.9.4	Facteur de puissance.....	21
I.10	Conclusion .....	21

## Chapitre II

### *Essai sur les matériels d'INDIGO ENERGIE Algérie*

II.1	Introduction .....	22
II.2	Etude des luminaires àLED dans le cas réseau.....	22
II.2.1	Principe de fonctionnement d'une LED froide .....	22
II.2.2	essai sur la LED froid .....	23
II.2.3	Etude expérimentale d'une carte à LEDs Allemande .....	25
II.2.3.1	Caractéristique physique d'une carte à LED Allemande .....	25
II.2.4	Essai sur le fonctionnement d'un luminaire: .....	27
II.2.4.1	Essai sur luminaire Indigo 9.....	27
II.2.5	Etude expérimentale sur le redresseur AC/DC NPF-60-15 .....	29

## Sommaire

---

II.2.5.2 Essai sur le Redresseur NPF-60-15 : .....	30
II.3 Essai sur le matériel utilisé dans un cas autonome .....	32
II.3.1 Etude expérimentale sur le hacheur DC/DC .....	32
II.3.1.1 Caractéristiques technique et physique de hacheur utilisé.....	32
II.3.2 Essai sur le Hacheur DC/DC dans indigo 9 .....	33
II.3.2 Etude sur le régulateur de charge Blue Solar MPPT .....	34
II.3.2.1 Définition du régulateur utilisé.....	34
II.3.2.2 Description de Color Control GX .....	35
II.3.2.3 Bluetooth Smart intégré .....	36
II.4 Conclusion .....	38

## Chapitre III

### *Etudes sur les installations photovoltaïques dans l'éclairage public D'indigo énergie Algérie*

III.1 Introduction .....	39
III.2 Etude technique sur un éclairage public autonome à Tazmalt .....	39
III.2.1 Présentation du système d'éclairage public autonome installé .....	39
III.2.2 Description du système .....	40
III.2.3 Photo de mise en situation du produit installé à Tazmalt.....	40
III.2.4 Description technique de chaque composant du système .....	41
III.2.4.1 Batterie Lithium-Ion.....	41
III.2.4.2 Module solaire photovoltaïque.....	42
III.2.4.3 Régulateur électronique Uhlmann SLR 416 .....	42
III.2.4.4 Contrôleur de batterie BMV-700 .....	43
III.2.4.5 Luminaire à LED très basse consommation INDIGO 6 .....	44
III.2.4.6 Mât.....	45
III.2.5 Etude théorique sur plusieurs hacheurs DC/DC appliqués à l'installation: .....	45
III.2.5.1 Schéma de câblage du produit installé.....	45
III.2.5.2 Configuration Indigo 6 sans LDH-45 1050W .....	46
III.2.5.3 Configuration INDIGO 6 avec LDH-45 1050W.....	46
III.2.5.4 Configuration de Indigo 6 avec LDH-45 1050W .....	47
III.3 Etude sur le système d'autoconsommation d'INDIGO ENERGIE Algérie .....	49
III.3.1 Définition d'un système d'autoconsommation .....	49
III.3.2 Principe de fonctionnement:.....	50
III.3.3 Généralités sur l'onduleur hybride .....	50

## Sommaire

---

III.3.4 Essai sur le Système d’autoconsommation installé.....	51
III.3.4.1 Système d’autoconsommation installé au bureau d'entreprise .....	51
III.3.4.2 Schéma de câblage du kit de bureau d'INDIGO ENERGIE .....	52
III.3.4.3 Essai 1 : Détermination du programme actuel d’onduleur.....	52
III.3.4.4 Essai 2: Etude sur quelques cas de fonctionnement d’onduleur .....	53
III.3.4.4.1 Connexion photovoltaïque .....	54
III.3.4.4.2 Connexion de la batterie.....	56
III.4 Conclusion.....	58
Conclusion général .....	59
Bibliographie .....	60

### Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Plan Maps du si ège INDIGO ENERGIE.....	02
<b>Figure 2:</b> Organigramme de la soci é é.....	03
<b>Figure 3:</b> Lampadaire LED "Indigo 3".....	04
<b>Figure 4:</b> Lampadaire LED "Indigo 6".....	04
<b>Figure 5:</b> Lampadaire LED "Indigo 9".....	05
<b>Figure 6:</b> Installation sur toiture inclin é.....	06
<b>Figure 7:</b> Installation sur une toiture plate.....	06
<b>Figure 8:</b> Installation en pose au sol (sur longrine béton) .....	07
<b>Figure 9:</b> Syst èmes autoconsommation.....	08
<b>Figure 10:</b> Onduleur hybride.....	08
<b>Figure I.1:</b> R éversibilit é(et non r éversibilit é) des convertisseurs statiques.....	10
<b>Figure I-2 (a) :</b> Repr ésentation courante.....	10
<b>Figure I-2 (b) :</b> Seconde repr ésentation.....	10
<b>Figure I-2:</b> Convertisseur DC/DC.....	10
<b>Figure I-3:</b> Schéma représentatif d'un hacheur.....	11
<b>Figure I.4:</b> Symbole et signaux du convertisseur DC/DC.....	11
<b>Figure I.5:</b> Convertisseur é levateur «BOOST ».....	12
<b>Figure I.6:</b> Chronogrammes du convertisseur é levateur «Boost ».....	12
<b>Figure I.7:</b> Schéma électronique de convertisseur abaisseur «Buck ».....	13
<b>Figure I.8:</b> Chronogramme du convertisseur abaisseur «Buck » .....	14
<b>Figure I.9:</b> Schéma de convertisseur inverseur «Buck-Boost » .....	14
<b>Figure I.10:</b> Chronogrammes du convertisseur inverseur «Buck-Boost » .....	15
<b>Figure I.11:</b> Schéma de principe de la conversion continu – alternative (DC/AC). .....	16
<b>Figure I.12:</b> onduleur autonome .....	16
<b>Figure I.13:</b> onduleur a commutation naturelle.....	17
<b>Figure I.14:</b> schéma et Principe de base du redresseur.....	18
<b>Figure I.15:</b> redresseur command é triphas é.....	18
<b>Figure I.16:</b> redresseur non command é monophas é.....	19
<b>Figure I.17:</b> Schéma de principe du convertisseur MPPT .....	20
<b>Figure I.18:</b> Couplage de convertisseur avec un r écepteur.....	20
<b>Figure II.1:</b> Une jonction PN pour une diode.....	22
<b>Figure II.2:</b> Une jonction PN pour une LED.....	22

## Liste des figures

---

<b>Figure II.3:</b> La nature des matériaux .....	23
<b>Figure II.4:</b> Banc d'essai réalisé.....	23
<b>Figure II.5:</b> LED Power.....	23
<b>Figure II.6:</b> Schéma d'alimentation d'une LED allemand.....	24
<b>Figure II.7:</b> Résultats des expérimentations de la LED.....	24
<b>Figure II.8:</b> la carte à LED Allemand.....	25
<b>Figure II.9:</b> Le câblage électronique de la carte à LED Allemand (4S*6P) .....	25
<b>Figure II.10:</b> Banc d'essai réalisé.....	26
<b>Figure II.11:</b> Schéma de câblage pour alimenter une carte à LED froide .....	26
<b>Figure II.12 :</b> $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'une carte à LED froide ....	27
<b>Figure II.13:</b> Banc d'essai réalisé .....	27
<b>Figure II.14:</b> Schéma de câblage pour alimenter un luminaire LED INDIGO 9.....	28
<b>Figure II.15:</b> $I=f(V)$ qui présente les caractéristiques typique d'un luminaire INDIGO 9.....	28
<b>Figure II.16:</b> Convertisseur NPF-60-15 utilisé pour la manipulation .....	29
<b>Figure II.17:</b> Banc d'essai réalisé .....	30
<b>Figure II.18:</b> Schéma de câblage d'un convertisseur AC/DC.....	30
<b>Figure II.19:</b> Visualisation de tension de sortie $U_s(t)$ et $U_d(t)$ .....	31
<b>Figure II.20:</b> Visualisation de tension de sortie $U_s(t)$ et $U_d(t)$ .....	31
<b>Figure II.21:</b> Le convertisseur DC/DC utilisé pour la manipulation .....	32
<b>Figure II.22:</b> le pack d'essai.....	33
<b>Figure II.23:</b> Schéma de câblage d'un hacheur DC/DC .....	33
<b>Figure II.24:</b> niveau de la tension à la sortie et l'entrée de LDH-45-700.....	34
<b>Figure II.25:</b> régulateur de charge.....	35
<b>Figure II.26:</b> Color Control GX.....	35
<b>Figure II.27:</b> Bluetooth Smart intégré.....	36
<b>Figure II.28:</b> Banc de test réalisé.....	36
<b>Figure II.29:</b> Schéma de câblage de régulateur de charge BlueSolar MPPT .....	37
<b>Figure II.30:</b> Résultats obtenus par Smart intégré .....	37
<b>Figure III.1:</b> Éclairage public solaire à LED (installation W. Bégaï, Juillet 2016) .....	41
<b>Figure III.2:</b> Batterie Lithium-Ion .....	41
<b>Figure III.3:</b> Caractéristique de charge.....	42
<b>Figure III.4:</b> Caractéristique de décharge .....	42
<b>Figure III.5:</b> module PV.....	42
<b>Figure III.6:</b> Un régulateur SLR 416.....	43

## Liste des figures

---

<b>Figure III.7:</b> Contrôleur de batterie BMV-700.....	43
<b>Figure III.8:</b> Schéma de câblage du produit installé W. Bejaia, Juillet 2016.....	45
<b>Figure III.9:</b> Kit solaire pour Résidentiel et petits commerces .....	50
<b>Figure III.10:</b> kit solaire de bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie.....	51
<b>Figure III.11:</b> Schéma de câblage de kit de bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie .....	52
<b>Figure III.12:</b> Affichage l'écran LCD.....	54
<b>Figure III.13:</b> Affichage l'écran LCD cas PV.....	55
<b>Figure III.14:</b> Courbe utilisation de PV dans le bureau durant les 24.....	56
<b>Figure III.15:</b> Affichage l'écran LCD cas batterie.....	57

### Liste des tableaux

<b>Tableau II.1:</b> les résultats d'un essai sur la LED froid.....	24
<b>Tableau II.2:</b> les résultats d'un essai de la carte à LED froide.....	26
<b>Tableau II.3:</b> les résultats de l'essai dans l'alimentation INDIGO 9.....	28
<b>Tableau II.4:</b> caractéristique de convertisseur NPF -60-1500.....	29
<b>Tableau II.5:</b> les résultats de l'essai AC/DC.....	34
<b>Tableau III.1:</b> Composition d'un système d'éclairage public LEDs.....	39
<b>Tableau III.2:</b> Données techniques de module INDIGO 6.....	44
<b>Tableau III.3:</b> Essai avec MEAN WELL LDH-45-1050 W.....	47
<b>Tableau III.4:</b> Essai avec MEAN WELL LDB 600LW.....	48
<b>Tableau III.5:</b> Essai avec MEAN WELL LDH-45-700W.....	48
<b>Tableau III.6:</b> Essai avec MEAN WELL LDD 1000 LW.....	49
<b>Tableau III.7:</b> combinaison qui montre le fonctionnement de l'onduleur Hybride.....	53
<b>Tableau III.8:</b> description des fonctions sur l'écran LCD.....	54
<b>Tableau III.9:</b> description des fonctions sur l'écran LCD.....	55
<b>Tableau III.10:</b> Consommation de bureau de la société pendant les 24H.....	56
<b>Tableau III.11:</b> description des fonctions sur l'écran LCD.....	57

.

.

### Nomenclature

#### Abréviations

✓ PV	Photovoltaïque.
✓ CC	Courant continu.
✓ GBT	Générateur base tension.
✓ MPPT	Maximum power point tracking.
✓ AC	Alternatif-continu.
✓ DC	Direct current.
✓ LED	Light-emitting diode.
✓ HQL	Hibernate Query Language.
✓ MPP	Maximum power point.
✓ LCD	Liquid Crystal Display

#### Symboles

• V	la tension	[V]
• f	la fréquence	[HERTZ]
• U <sub>e</sub>	tension entrée	[V]
• L	inductance	[H]
• C	capacité	[F]
• TH	thyristor	
• R	Charge	[Ω]
• E	Source de tension continue	[V]
• G	gâchette	
• P	La puissance active	[W]
• S	La puissance apparente	[W]
• K	facteur de puissance	
• I	courant	[A]
• V <sub>s</sub>	tension sortie	[V]
• I <sub>s</sub>	courant sortie	[A]
• V <sub>e</sub>	tension entrée	[V]
• I <sub>e</sub>	courant entrée	[A]
• P <sub>e</sub>	puissance entrée	[W]
• P <sub>s</sub>	puissance sortie	[W]
• I <sub>sc</sub>	courant de court-circuit	[A]
• V <sub>oc</sub>	tension en circuit ouvert	[V]
• U	tension	[V]
• DOD	Taux de décharge maximum des batteries	

# Introduction

## G é n é r a l e

### Introduction Générale

Pour avoir une idée sur les différents problèmes rencontrés par les ingénieurs dans leur vie professionnelle l'idée est venue de faire des stages pratiques qui sont un premier contact de l'ingénieur avec la vie pratique ; le stage.

Le stage fait au sein de la société SARL INDIGO ENERGIE Algérie a été avec une grande importance et avec une grande utilité, cette unité est spécialisée dans la fabrication des systèmes d'éclairage et se concentre sur des innovations qui apportent le meilleur rendement énergétique pour obtenir l'éclairage souhaité. Dans les dernières années, INDIGO ENERGIE Algérie a développé avec ses partenaires technologiques des innovations clés dans des systèmes optiques, comme les LEDs à très forte efficacité et aussi les batteries Lithium pour améliorer le stockage d'énergie sur des longues durées et pour des conditions d'environnement difficiles.

INDIGO ENERGIE Algérie s'est aussi développée dans le domaine de l'autoconsommation, pour apporter les meilleures solutions actuelles pour alimenter des sites isolés, ou pallier aux déficits ponctuels d'électricité dans le réseau, ou pour baisser le coût de l'énergie.

Dans ce mémoire nous allons faire la caractérisation et l'étude des différents matériels utilisés chez INDIGO ENERGIE Algérie ainsi que l'étude sur les différentes installations photovoltaïques faites par l'entreprise.

Le premier chapitre expose les caractéristiques électriques des convertisseurs statiques (convertisseur *DC-DC*), (convertisseur *DC-AC*) et (convertisseur *AC-DC*), ainsi que les différentes notions sur le régulateur MPPT et les puissances des convertisseurs qui entrent dans la constitution d'un système d'éclairage public.

Le deuxième chapitre de ce mémoire concerne les caractéristiques électriques d'une LED, carte à LED et INDIGO 9, et étudie l'influence des divers paramètres sur les caractéristiques courant-tension (*I-V*) et puissance à l'aide d'un régulateur Vectron et un convertisseur *DC-DC* et un redresseur NPF-60-15.

Enfin dans le troisième chapitre on a fait l'étude sur quelques installations de l'entreprise telle que le système d'éclairage public autonome installé à Tazmalt et le système d'autoconsommation installé au bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie.

### Présentation d'INDIGO ENERGIE Algérie

#### ❖ Historique

INDIGO ENERGIE Algérie est une société de fabrication d'équipements, qui répondent aux exigences de la demande des collectivités et des investisseurs privés, dans le domaine de l'éclairage public à basse consommation, et de l'habitat entièrement ou partiellement autonome, à un meilleur coût. La société conçoit ses produits avec des partenaires qui maîtrisent des technologies les plus innovantes, qui respectent les critères de qualité et d'environnement au plus haut standard. [1]

#### ❖ Emplacement géographique de la société

Le siège social d'INDIGO ENERGIE Algérie est dans la zone Merlot 3, Lot. 9, GP. 447 Tazmalt wilaya de Bejaia (Algérie). [15]

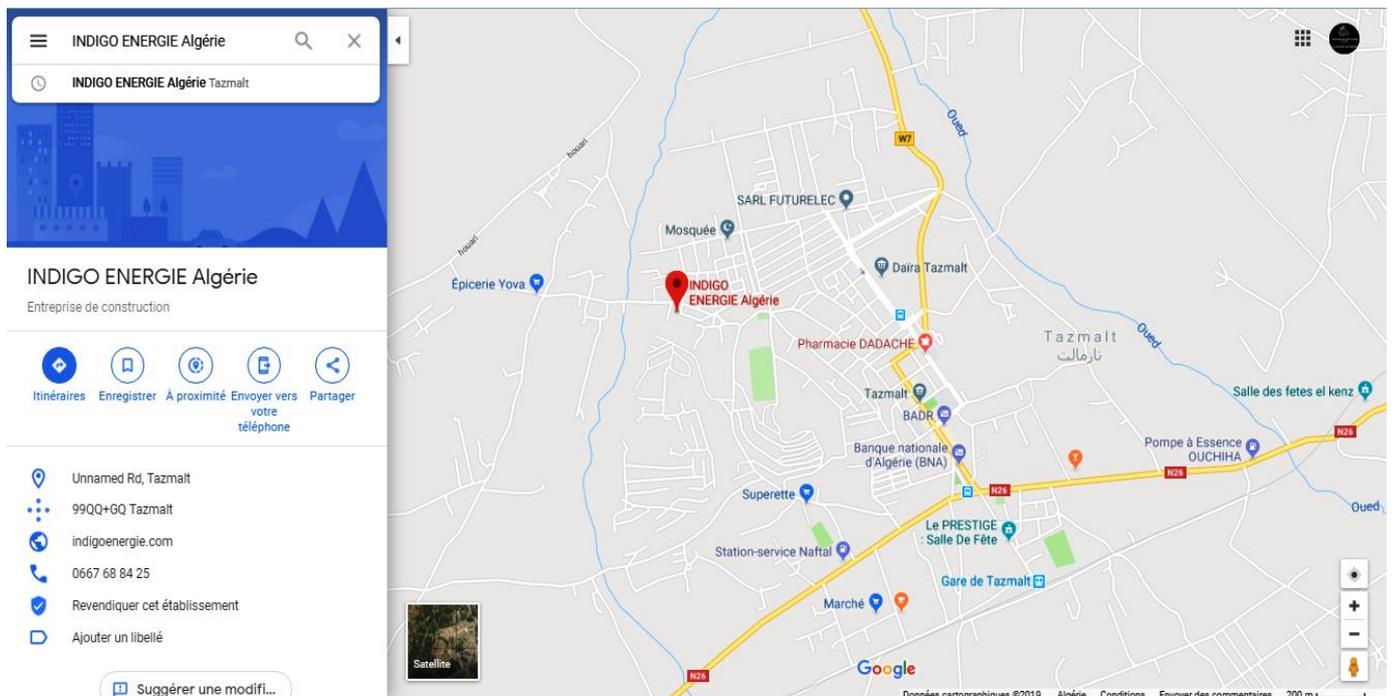


Figure 1 : plan Maps du siège INDIGO ENERGIE Algérie. [15]

❖ Organigramme de la société

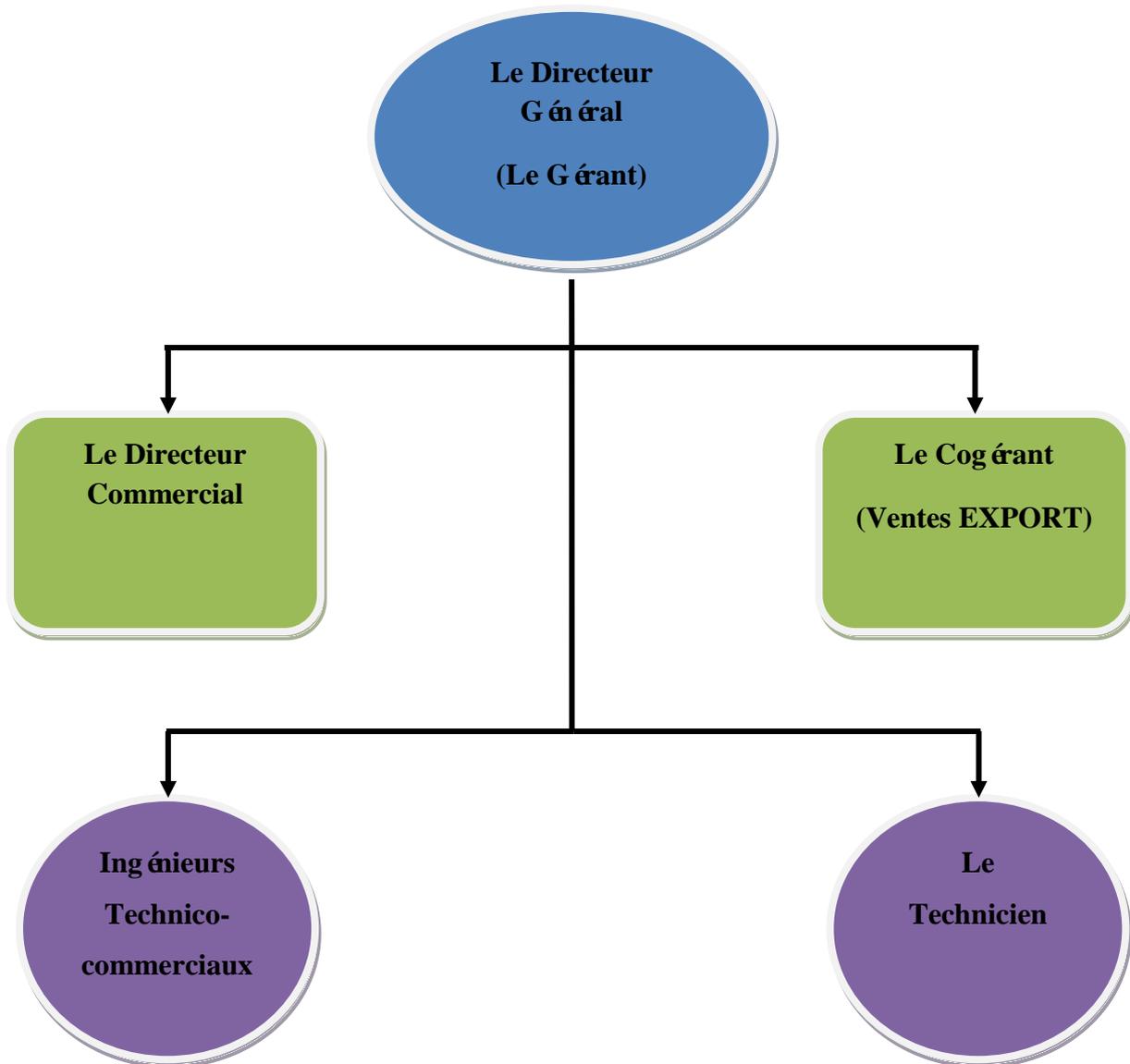


Figure 2 : Organigramme de la société [1]

❖ Type de luminaires d'INDIGO ENERGIE Algérie

🚦 INDINGO-3 Luminaire à LED très basse consommation

Système d'éclairage à haute efficacité énergétique à base de LEDs froides (Low Power) et d'un système optique qui améliore les qualités de luminosité. designé en Allemagne. Fabriqué en Algérie. Il permet de réaliser des économies d'électricité importantes (~90% / technologie HQL) et des gains sur l'installation et la maintenance. Le système est robuste pour tenir les environnements sévères, et offre une longue durée de vie. [1]

- **Illustration sur les luminaires à LED**



**Figure 3 :** Lampadaire LED "Indigo 3". [1]

- **Avantages :**

- Efficacité énergétique du module de LED: jusqu'à 149 Lm/W
- Consommation inférieure au LED High Power traditionnelles : réglable de 6 à 12 W
- LED froide, ne nécessite pas de dissipateur thermique
- Durée de vie allongée

- **INDIGO – 6 Luminaire à LED très basse consommation**

Système d'éclairage à haute efficacité énergétique à base de LEDs froides (Low Power) et d'un système optique qui améliore les qualités de luminosité.

Désigné en Allemagne. Fabriqué en Algérie. [1]

Il permet de réaliser des économies d'électricité importantes (~90% / technologie HQL) et des gains sur l'installation et la maintenance.

Le système est robuste aux environnements sévères, et offre une longue durée de vie. [1]

- **illustration sur les luminaires à LED**



**Figure 4 :** Lampadaire LED "Indigo 6". [1]

- **Avantages :**

- Efficacité énergétique du module de LED : jusqu'à 149 Lm/W
- Consommation inférieure aux LED High Power traditionnelles : réglable de 12 à 24 W

- LED froide, ne nécessite pas de dissipateur thermique
- Durée de vie allongée

### **INDIGO – 9 Luminaire à LED très basse consommation**

Système d'éclairage à haute efficacité énergétique à base de LEDs froides (Low Power) et d'un système optique qui améliore les qualités de luminosité. Désigné en Allemagne, fabriqué en Algérie. Il permet de réaliser des économies d'électricité importantes (~90% / technologie HQL) et des gains sur l'installation et la maintenance. [1]

Le système est robuste pour supporter les environnements sévères, et offre une longue durée de vie. [1]

- **Illustration sur les luminaires à LED**



**Figure 5:** Lampadaire LED "Indigo 9". [1]

- **Avantages :**

- Efficacité énergétique : jusqu'à 149 Lm/W
- Consommation inférieure aux LED High Power traditionnelles : réglable de 18 à 36 W
- LED froide, ne nécessite pas de dissipateur thermique
- Durée de vie allongée

### **❖ Les différentes types d'alimentation des éclairages à LED**

#### **➤ Alimentation par le réseau**

INDIGO ENERGIE fabrique une gamme de luminaires raccordés au réseau, grâce à un transfert de technologie avec un fabricant de module de LED à très forte efficacité énergétique. [1]

Flux lumineux LED : de 120 à 160 Lumen par Watt selon les modèles.

### ➤ Alimentation par l'énergie solaire

Cette gamme de LED froide apporte une efficacité encore plus importante lorsque le luminaire est associé à une alimentation autonome solaire : [1]

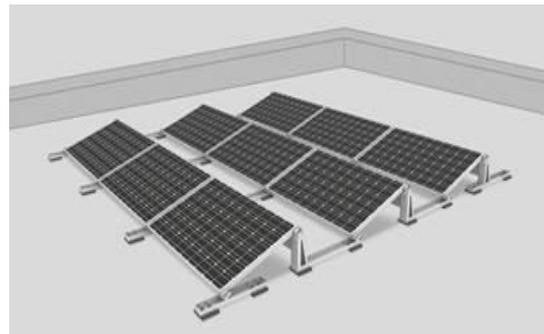
- Moins de consommation d'énergie par nuit d'éclairage
- Besoin de panneau solaire moins important (impact sur la prise au vent, donc l'ancrage dans le sol, le type de mât)
- Besoin de batteries de capacité moins importante.
- Coût d'acquisition et coût de maintenance moins importants

### ❖ les autres activités assurées par INDIGO ENERGIE Algérie

- Installation des panneaux solaires



**Figure 6:** installation sur toiture inclinée. [1]



**Figure 7:** Installation sur une toiture plate. [1]



**Figure 8:** Installation en pose au sol (sur longrine béton). [1]

### ❖ Les différents équipements pour les systèmes autoconsommation

#### • Kit autoconsommation [Figure 9]

Le but est de produire localement tout ou partie de l'énergie qui doit être consommée par le client.

Comme le montre la **Figure 9**, chaque kit est composé de panneaux solaires, d'un onduleur hybride autoconsommation connecté au réseau, et d'un pack de batteries. Pour augmenter le confort et la sécurité d'alimentation en énergie, la solution de stockage d'énergie est souvent proposée.

L'onduleur gère de manière efficace les priorités entre ces trois sources d'énergie.

Le besoin en énergie est en priorité apporté par les panneaux solaires, et en cas de production insuffisante des panneaux ou en l'absence de soleil, l'onduleur va faire appel à l'énergie stockée dans les batteries, puis en dernier recours au réseau électrique public. [1]

#### **Gamme de produits :**

- Gamme de produits de 1 à 5 kVa pour applications résidentielles.
- Gamme de 10 à 250 kVa pour les sites industriels et commerciaux.

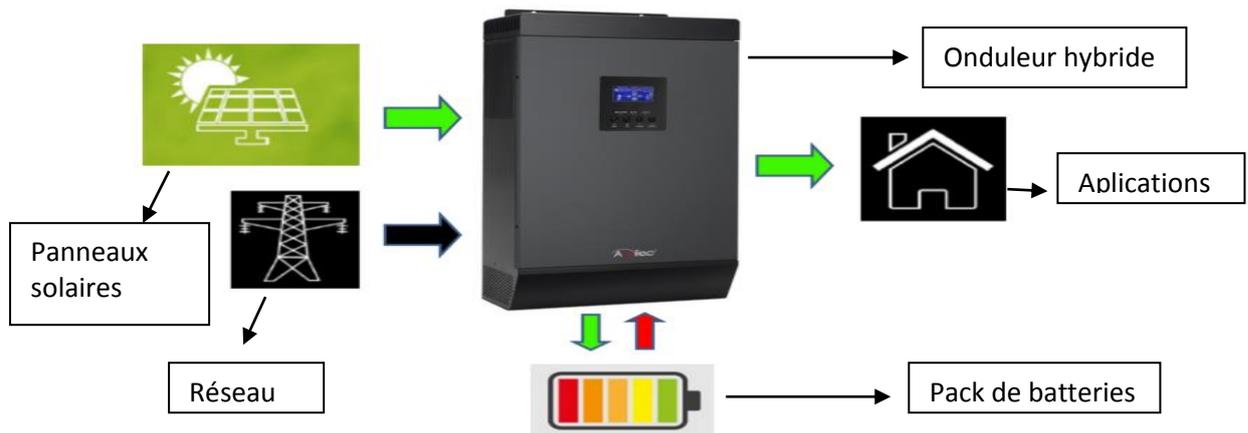


Figure 9: systèmes autoconsommation. [1]

### • Onduleurs

Les onduleurs-chargeur chez INDIGO ENERGIE sont au cœur de la gestion de tous nos systèmes autoconsommation, et optimisent le rendement énergétique et financier de toute installation.

Son interface utilisateur est simplifiée et accessible pour permettre à l'installateur de faire une programmation facile et à tout utilisateur d'assurer un contrôle direct. Une option de gestion du système à distance peut être proposée pour une maintenance rapide. [1]



Figure 10: onduleur hybride. [1]

### ❖ Les configurations de solution photovoltaïque disponibles

- INDIGO ENERGIE Algérie propose une analyse complète pour un client, pour cerner les besoins en énergie électrique et ses objectifs financiers, notamment la réduction de sa facture énergétique, ainsi que la sécurité de l'alimentation en énergie de son activité [1]
- INDIGO ENERGIE Algérie propose une analyse complète pour un client, pour cerner les besoins en énergie électrique et ses objectifs financiers, notamment la réduction de sa facture énergétique, ainsi que la sécurité de l'alimentation en énergie de son activité [1]
- Grâce à la formation et l'agrément d'équipes d'installateurs, INDIGO ENERGIE assure l'installation et la mise en route de la solution photovoltaïque, et le service après-vente. [1]

# Chapitre I

*Généralités sur les  
convertisseurs  
statiques dans les  
éclairages publics*

## I.1 Introduction

Les systèmes utilisés en électrotechnique permettent de transformer la nature de l'énergie électrique et de convertir l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (mécanique, thermique, chimique, lumineuse...etc.). L'électronique, l'automatique et l'informatique s'intéressent essentiellement au traitement du signal (ou de l'information).

Les systèmes de l'électrotechnique traditionnelle (machines tournantes, éclairage, chauffage, climatisation...) permettant la conversion de l'énergie électrique, ne peuvent pas toujours être reliés directement à une source électrique. Il faut alors avoir recours à un dispositif, jouant le rôle d'interface, permettant d'adapter (de transformer) les caractéristiques de la source afin d'assurer le bon fonctionnement (et d'introduire des moyens de réglage de transfert d'énergie).

## I.2 Les convertisseurs statiques

### I.2.1 Définition

Un convertisseur statique est un dispositif, à base de semi-conducteurs, qui transforme de l'énergie électrique disponible, en une forme appropriée pour alimenter une charge. [2]

Les convertisseurs statiques sont les dispositifs à composants électroniques capables de modifier la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique.

On distingue deux types de sources de tension : [2]

- ✚ Sources de tension continues caractérisées par la valeur  $V$  de la tension.
- ✚ Sources de tension alternatives définies par les valeurs de la tension efficace  $V$  et de la fréquence  $f$ .

Ce fonctionnement de convertisseur est réalisé par des moyens purement électroniques (semi-conducteurs), et permet : [2]

- ✓ Une utilisation plus souple et plus adaptée de l'énergie électrique.
- ✓ Une amélioration de la gestion, du transport et de la distribution de l'énergie électrique.
- ✓ Une réduction des masses et des volumes, mais aussi du bruit.

### I.2.2 Fonctions de base et terminologie des convertisseurs statiques

L'énergie électrique est disponible soit sous forme alternative (réseau de distribution électrique, alternateurs) soit sous forme continue (batterie d'accumulateurs, génératrice à courant continu, cellules photovoltaïques, pile à combustible, ...). La charge peut nécessiter une alimentation en alternatif ou en continu. Il existe donc quatre fonctions de base des convertisseurs statiques. Ces convertisseurs transforment directement l'énergie électrique, sont appelés mono-étages. Un convertisseur statique est dit réversible lorsque l'énergie, peut transiter (en général, être contrôlée) de manière bidirectionnelle, c'est à dire aussi bien dans

un sens que dans l'autre. Les notions d'entrée et de sortie ne sont alors plus évidentes. Un convertisseur non réversible transfère l'énergie d'une source vers une charge utilisatrice. [2]

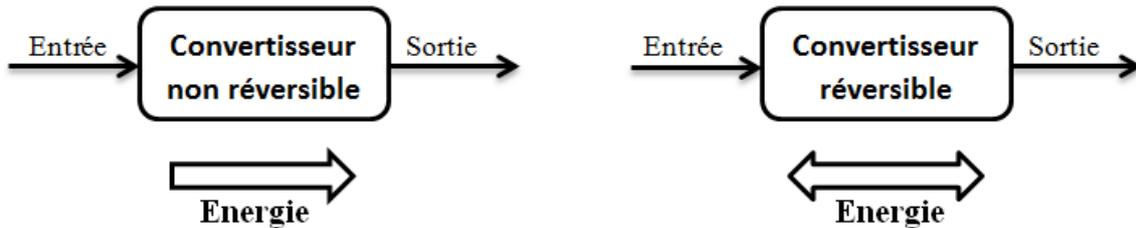


Figure I.1 : Réversibilité (et non réversibilité) des convertisseurs statiques. [2]

### I.3 Généralités sur les convertisseurs DC/DC «Hacheur »

#### I.3.1 Représentation du convertisseur DC/DC

Un convertisseur DC/DC a pour vocation d'assurer la fluence d'énergie entre une Source de tension continue et une source de courant continu. [3]

La représentation symbolique la plus couramment utilisée et donnée Fig. I.2 (a).

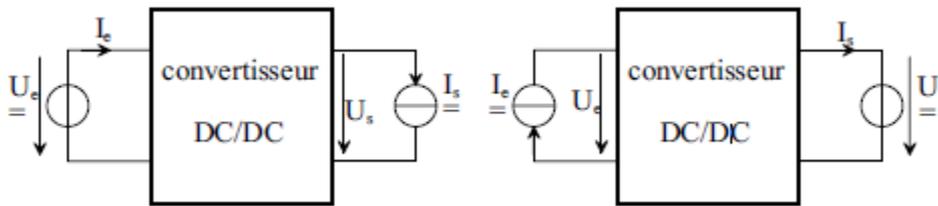


Fig. I.2 (a) Représentation courante. [3]

Fig. I.2 (b) Seconde représentation. [3]

Figure I.2 Convertisseur DC/DC. [3]

Une telle représentation peut laisser penser que dans tous les cas de degré la source de courant  $I_s$  sera la charge qui, suivant les modes de fonctionnement, absorbera ou Restituera de la puissance, alors que la source de tension  $U_e$  est l'alimentation, susceptible de fournir ou de stocker de la puissance. [3]

Pour certains convertisseurs, on est amené à changer une telle représentation, surtout si la fluence d'énergie ne peut se faire que de la source de courant vers la source de tension suivant la structure du convertisseur). On se réfère alors à la représentation symbolique donnée Fig. I.2 (b) Suivant le convertisseur DC/DC considéré, nous nous référons soit à l'une, soit à l'autre de ces représentations. [3]

#### I.3.2 Définition d'un Hacheur

Les hacheurs opèrent une conversion continue-continue. Placés entre un générateur et un récepteur, tous deux à courant-continu, ils permettent de régler la tension appliquée au récepteur ou le courant qui y circule. Ils peuvent être directs ou indirects. [4]

- ✚ Les hacheurs directs relient un générateur et récepteur qui se comportent l'un comme une source de tension, l'autre comme une source de courant. Ils ne comportent que des interrupteurs qui permettent d'agir sur les connexions entre générateur et récepteur. [4]

Les hacheurs indirects relient un générateur et récepteur de même nature. Ils comportent des interrupteurs et un élément de stockage d'énergie qui joue le rôle de source intermédiaire de courant ou de tension suivant que générateur et récepteur sont des sources de tension ou de courant. L'élément de stockage reçoit de l'énergie du générateur puis la transmet au récepteur en fonction des connexions établies par les interrupteurs. [4]

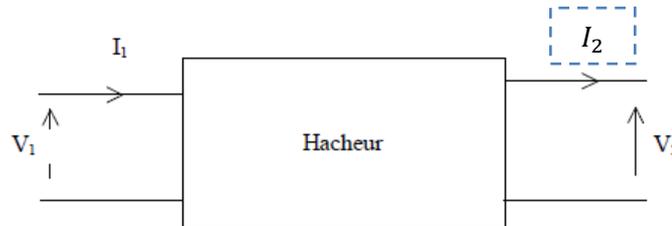


Figure I.3 : Schéma représentatif d'un hacheur. [3]

### I.3.3 Fonction de base et terminologie des convertisseurs DC/DC [4]

- ✚ Diode
- ✚ Thyristors
- ✚ Transistors
- ✚ Source de tension continu (Batterie ; Générateur de tension)
- ✚ Inductance L
- ✚ Capacité C
- ✚ Résistance

### I.4 Les type des convertisseurs de tension DC/DC

Elles permettent d'abaisser, élever et inverser une tension continue avec de très faibles pertes par conséquent ils ont un très bon rendement, peu d'énergie à dissiper par le transistor. [6]

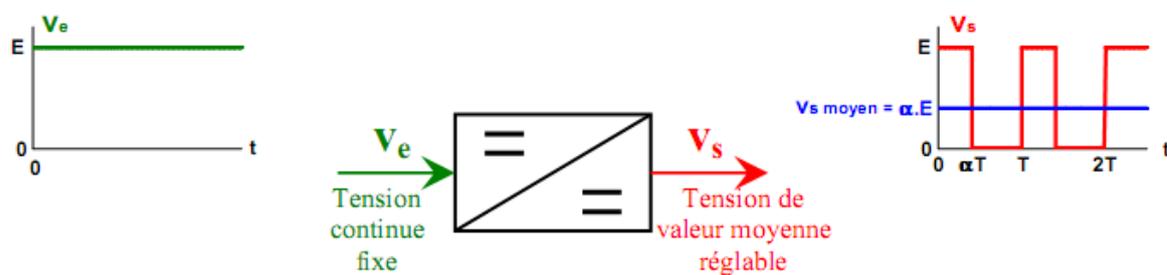


Figure I.4 : Symbole et signaux du convertisseur DC/DC. [7]

#### I.4.1 Convertisseur éleveur «BOOST »

Le Convertisseur éleveur «BOOST »est un convertisseur continu-continu qui permet d'élever le niveau de la tension d'une source continue DC. Ce dernier est aussi appelé un Hacheur survolteur. [5]

I.4.1.1 Schéma de convertisseur :

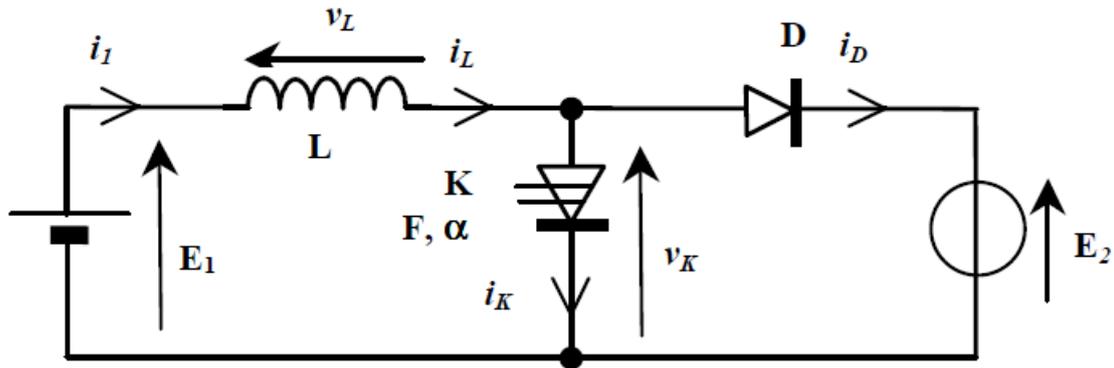


Figure I.5 Convertisseur élévateur «BOOST » [5]

I.4.1.2 Principe de fonctionnement

Le convertisseur peut alors travailler suivant deux modes de fonctionnement dépendant de sa capacité de stockage d'énergie et de la période  $H$  de commutation. Ces deux modes de fonctionnement sont : [5]

**Mode continu :** dans ce cas, l'énergie emmagasinée dans l'inductance  $L$  est transférée partiellement et donc le courant dans celle-ci ne s'annule pas.

**Mode discontinu :** dans ce cas, au contraire, l'énergie emmagasinée dans l'inductance  $L$  est transférée totalement et donc le courant dans celle-ci s'annule. [5]

I.4.1.3 Chronogrammes du convertisseur élévateur «Boost »

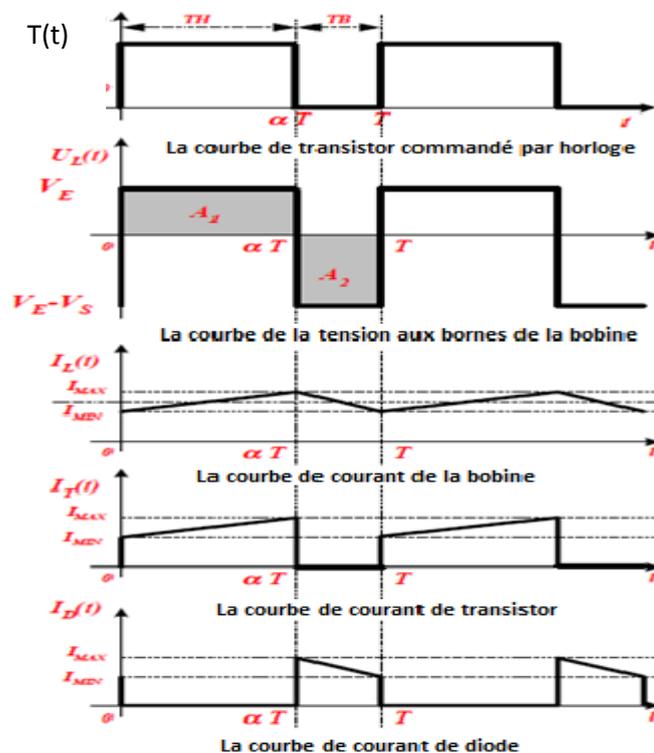


Figure I.6 : Chronogrammes du convertisseur élévateur «Boost » [5]

### I.4.2 Convertisseur abaisseur «BUCK »

Convertisseur abaisseur «BUCK » est un convertisseur continu-continu qui permet d'abaisser le niveau de la tension d'une source continue DC. Il est appelé également le hacheur d'évoluteur illustré par la Figure I.7. [4]

#### I.4.2.1 Schéma du convertisseur

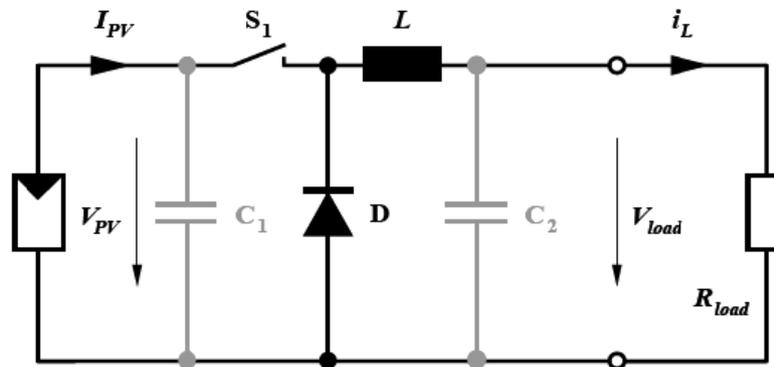


Figure I.7 : Schéma électronique du convertisseur abaisseur «Buck ». [8]

#### I.4.2.2 Principe de fonctionnement

Le convertisseur d'évoluteur (Buck converter), ou convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à gauche du MPP.

#### I.4.2.3 Chronogrammes du convertisseur d'évoluteur «Boost »

Figure I.8 : Chronogramme du convertisseur abaisseur «Buck ». [5]

### I.4.3 Convertisseur inverseur «BUCK - BOOST »

C'est un convertisseur continu-continu qui permet de faire les deux conversions soit d'élever ou bien d'abaisser le niveau de la tension d'une source continue DC. Il est aussi appelé hacheur d'évoluteur-survolteur. [9]

#### I.4.3.1 Schéma du convertisseur

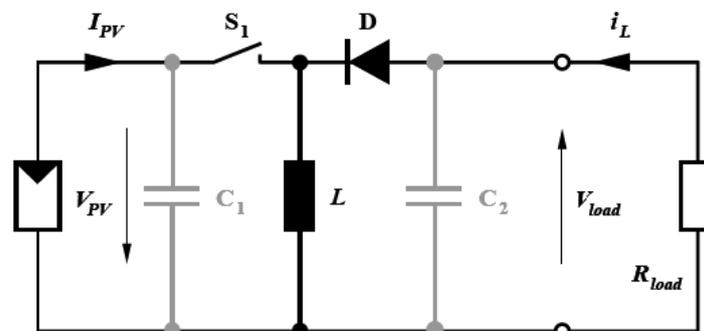


Figure I.8 : Schéma du convertisseur inverseur «Buck-Boost ». [8]

### I.4.3.2 Principe de fonctionnement

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. [8]

### I.4.3.3 Chronogrammes du convertisseur inverseur «Buck-Boost »

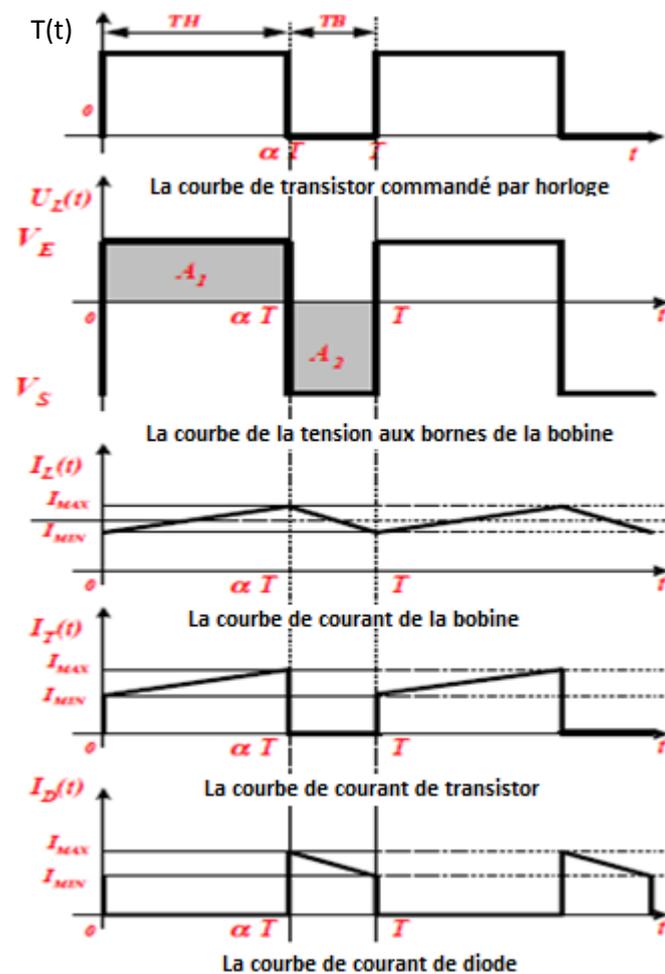


Figure I.9 : Chronogrammes du convertisseur inverseur «Buck-Boost ». [5]

## I.5 Application des convertisseurs DC/DC

Le Hacheur peut être utilisé dans différents domaines tel que :

- ✚ Alimentation et réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu. [4]
- ✚ Il est aussi utilisé pour faire varier la vitesse des moteurs à courant continu de moteurs à excitation séparée dans le cas où il est alimenté par une source de tension fixe. [4]
- ✚ Alimentation d'un compteur Geiger portable ou d'un flash électronique (qui nécessitent des hautes tensions) à partir d'une pile (batterie) en utilisant un hacheur survolteur. [10]
- ✚ Chargement des batteries .

I.6 Généralités sur les convertisseurs DC/AC « Onduleur :

I.6.1 Définition d'un Onduleur

Un onduleur, également appelé convertisseur continu/alternatif, est un appareil qui permet de convertir une tension continue en une tension alternative sinusoïdale. Un onduleur est donc un convertisseur statique Continu/Alternatif.

Un onduleur est assisté si la fréquence et la tension sont imposées par le réseau, dans le cas présent nous pourrions régler la fréquence et la tension, l'onduleur sera donc autonome. Son emploi est varié il peut être utilisé pour alimenter un moteur asynchrone, la fréquence est alors de quelques dizaines de Hertz. [11]

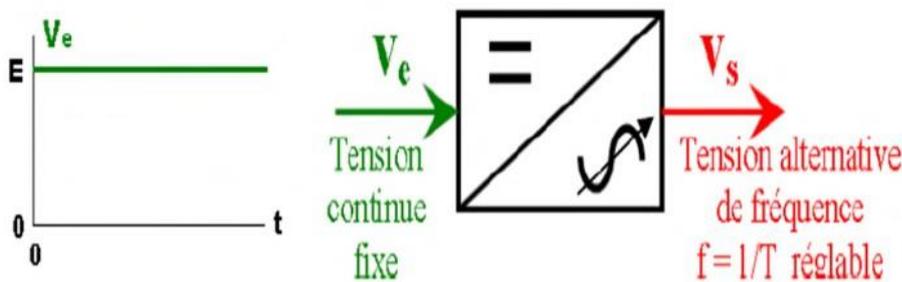


Figure I.10 : Schéma de principe de la conversion continu – alternative (DC/AC). [11]

I.6.2 Type de convertisseur DC/AC

Il existe deux grandes classes d'onduleurs :

I.6.2.1 Les onduleurs autonomes (ou bien oscillateurs) :

Ce sont des onduleurs qui génèrent leur propre fréquence et leur propre tension alternative, Dans ces onduleurs la commutation est forcée. On distingue deux types d'onduleurs autonomes : [11]

- ✚ Les onduleurs de tension alimenté par une source de tension continu.
- ✚ Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.

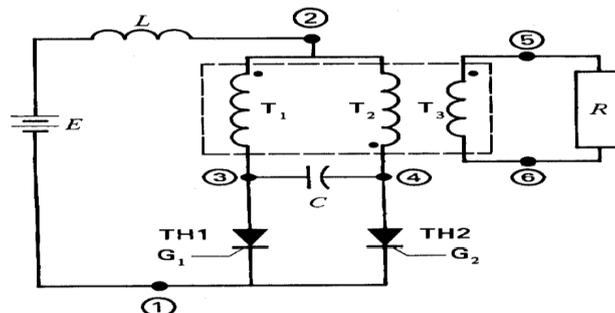


Figure I.11 : Onduleur autonome. [11]

L'onduleur autonome à thyristors transforme une puissance DC pour alimenter en alternatif

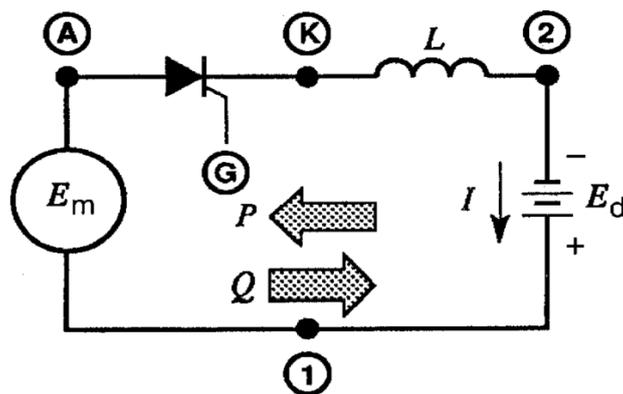
une charge individuelle comme un moteur ou un four à induction. Il existe une grande variété d'onduleurs autonomes à thyristors, mais ils utilisent tous les principes de la commutation forcée. Cette méthode de commutation consiste à provoquer le blocage des thyristors par la décharge d'un condensateur ou par tout autre moyen convenable. [11]

L'onduleur autonome simple contient les composants suivants :

- ❖ Source de tension continue  $E$
- ❖ Thyristors TH1 et TH2
- ❖ Induction de lissage  $L$
- ❖ Condensateur de commutation  $C$
- ❖ Transformateur possédant deux primaires  $T_1$  et  $T_2$  et un secondaire  $T_3$
- ❖ Charge  $R$
- ❖ Système de commande extérieure venant exciter les gâchettes  $G_1$  et  $G_2$  à tour de rôle

**I.6.2.2 Les onduleurs non autonomes :**

Ce sont des onduleurs dont la fréquence et la tension alternative sont imposées par le réseau qu'ils alimentent, Dans ces onduleurs la commutation est naturelle. Elle est naturelle en ce sens que ce sont les tensions alternatives du réseau qui effectuent le transfert du courant d'un thyristor à l'autre. [11]



**Figure I.12 :** onduleur a commutation naturelle. [11]

Le circuit de cet onduleur est identique à celui du redresseur sauf que la polarité de l'accumulateur est inversée, le courant  $I$  peut seulement circuler dans le sens indiqué, il s'ensuit que la source à courant continu débite de l'énergie lorsque le thyristor conduit.

D'autre part, cette énergie doit être absorbée par le réseau à c.a., car la bobine de lissage et le thyristor ne consomment pas l'énergie. Il en résulte une convection de puissance continue en puissance alternative. [11]

**I.6.2 Domaines d'utilisation et d'application**

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs autonomes, on trouve principalement :

- ✚ **les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée :** Alimentés le plus souvent par une batterie d'accumulateur, ils jouent d'ordinaire le rôle d'alimentation de sécurité ils constituent à ce titre, le principe de base actuelle des onduleurs autonomes. [12] [13]

- ✚ Les onduleurs à fréquence variable à commutation forcée : Alimentés à partir du réseau industriel par l'intermédiaire d'un montage redresseur, ils délivrent une tension de fréquence et de valeur efficace nécessaire pour faire tourner les moteurs à courant alternatif. [12] [13]

### I.7 Généralités sur les convertisseurs AC/DC Redresseur :

Dans un redresseur, également appelé convertisseur alternatif/continu, la fonction « redresseur » consiste à transformer une tension ou un courant alternatif en son équivalent continu. Elle est essentiellement utilisée sur le réseau de distribution à 50 Hz pour réaliser des sources continues variables ou non (à un ou deux quadrants). L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension. [14]

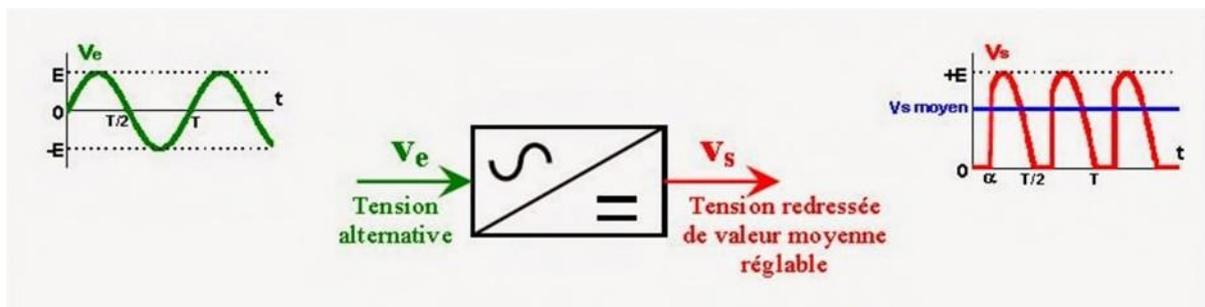


Figure I.13 : schéma et Principe de base du redresseur. [14]

#### I.7.1 Type de convertisseur AC/AC

Dans ce modèle de convertisseur, on peut les classer en deux classes : les redresseurs non contrôlés et les redresseurs contrôlés. Nous allons présenter les redresseurs monophasés et triphasés commandés et non commandés.

##### I.7.1.1 Redresseur commandé

Le redresseur commandé est composé de thyristors montés en pont (monophasé ou triphasé).

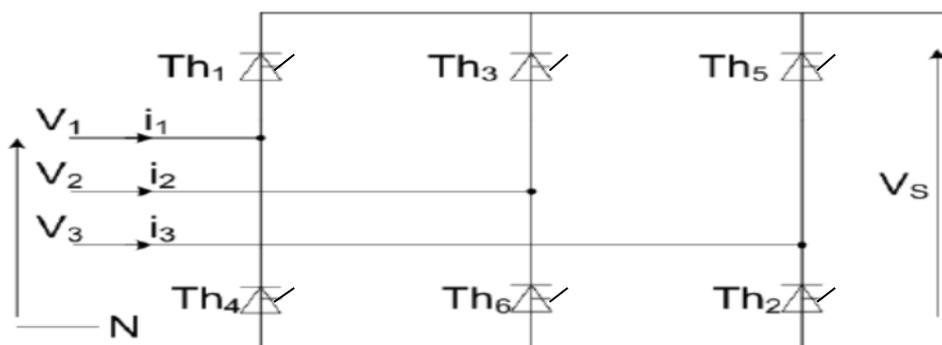


Figure I.14 redresseur commandé triphasé [14]

##### I.7.1.2 Redresseur non commandé

Le redresseur non commandé est composé de diodes montées en pont. Ici en pont monophasé (appelé pont de GRAETZ).

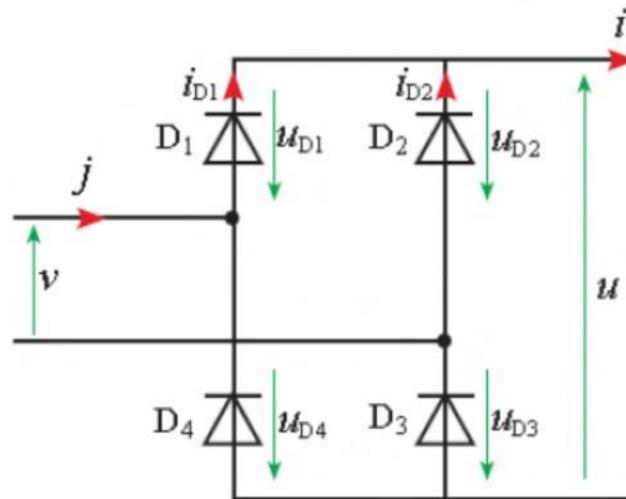


Figure I.15 redresseur non commandé monophasé [14]

### I.7.2 Domaine d'utilisation et d'application [14]

- ✚ Un redresseur-chargeur, alimenté par le réseau, constitué soit d'un pont de diodes suivi d'un hacheur, soit d'un pont commandé
- ✚ Les chargeurs de batterie qui varient de 1 jusqu'à 24V. (téléphone portable, batterie de véhicule...etc.).
- ✚ Pour alimentation des systèmes de commande des différents convertisseurs ou de machines tournantes
- ✚ Les redresseurs sont utilisés comme étage intermédiaire dans les cartes électroniques, les fours, les éoliennes, le transport à courant continu.

## I.8 Rappel des notions sur les régulateurs MPPT

La Figure II.16 donne le schéma fonctionnel d'un système de convertisseur d'énergie. Le système se compose d'un panneau PV, d'un convertisseur DC-DC, d'une commande de poursuite du point de puissance maximale et d'une charge. la commande MPPT agit sur le rapport cyclique d'une manière automatique ou la variation survenir. [17]

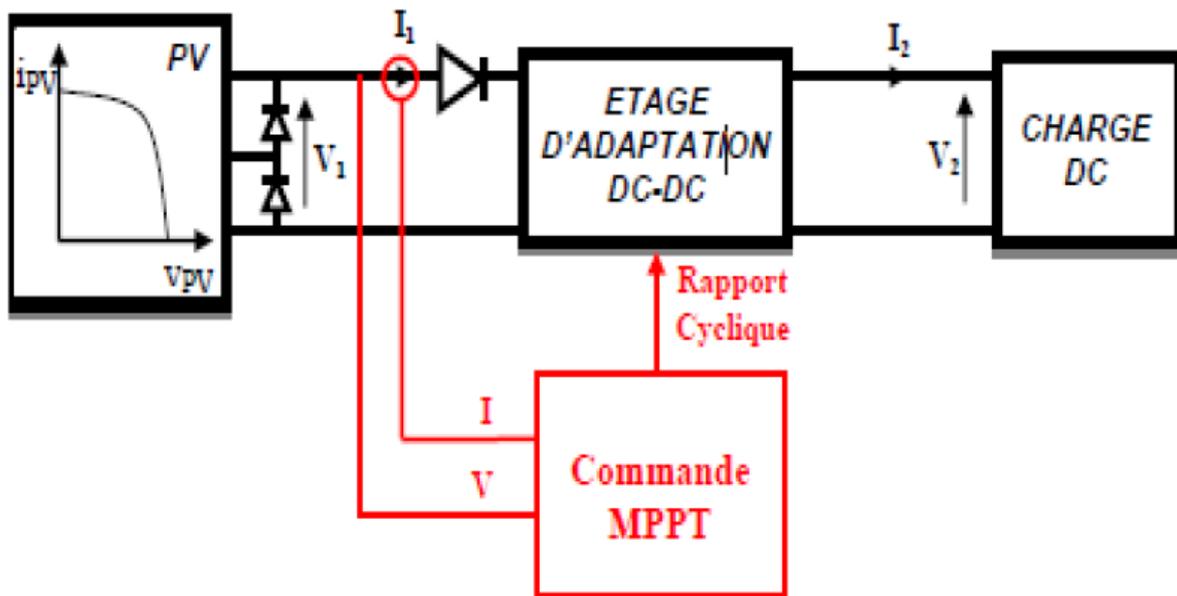


Figure I.16: Schéma de principe du convertisseur MPPT. [17]

On compte actuellement un nombre important de technique de commande MPPT, commençant par des techniques simples comme les contrôleurs MPPT basé sur le courant de court-circuit et de la tension en circuit-ouvert, aux contrôleurs plus performants utilisant un algorithme pour atteindre le MPP. Parmi ces techniques, on peut citer :

- ✚ Perturbation et observation.
- ✚ Incrémentation de la Conductance.
- ✚ la logique floue

## I.9 Rappel sur les Puissances des convertisseurs

### I.9.1 Définition

Considérons un convertisseur statique quelconque relié à un récepteur. Nous adopterons la convention "générateur" pour le convertisseur et donc la convention "récepteur" pour le récepteur. [15]

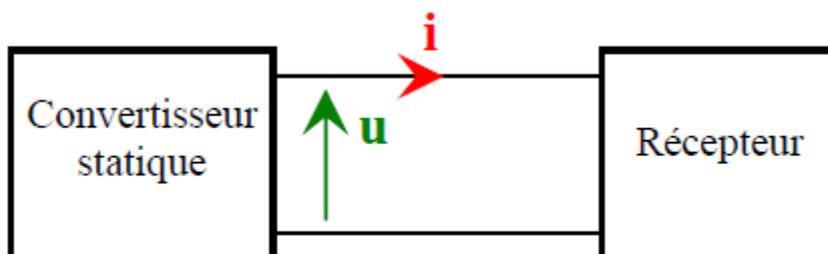


Figure I.17 Couplage de convertisseur avec un récepteur. [7]

### I.9.2 Puissance active

La puissance active **P (watt)** est la valeur moyenne de la puissance instantanée  $p(t)$  : [6]

$$P = P_{moyenne} = \langle u(t).i(t) \rangle \quad (\text{II. 1})$$

Ce n'est qu'en régime sinusoïdal alternatif que l'on a :

$$P = UI \cos \varphi \quad (\text{II. 2})$$

### I.9.3 Puissance apparente

La puissance apparente **S** est définie par le produit " $U_{eff} \times I_{eff}$ ". C'est une grandeur théorique qui sert à dimensionner les générateurs : [6]

$$S = U.I \quad (\text{II.3})$$

### I.9.4 Facteur de puissance

Dans de nombreux cas, le produit " $U_{eff} \times I_{eff}$ " présente une forte valeur par rapport à la Valeur moyenne **P**. Pour évaluer ce phénomène, on définit le **facteur de puissance k** ( $K < 1$ ):

$$K = \frac{\langle U(t).i(t) \rangle}{U_{eff}.I_{eff}} \quad (\text{II.4})$$

$$\text{Soit : } K = \frac{p}{s} \quad (\text{II.5})$$

Pour un mauvais facteur de puissance (**k proche de 0**), le courant **I** peut devenir très élevé [7]  
Ce n'est qu'en régime sinusoïdal que l'on a :

$$K = \cos \varphi. \quad (\text{II.6})$$

## I.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés les caractéristiques électriques des convertisseurs Statiques (convertisseur *DC-DC*, convertisseur *DC-AC* et convertisseur *AC-DC*), qui sont des dispositifs à composants électroniques capables de modifier la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique.

# Chapitre II

*Essais sur les matériels  
d'INDIGO ENERGIE  
Algérie*

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'étude expérimentale sur les dernières technologies utilisées dans les éclairages publics chez INDIGO ENERGIE Algérie pour comprendre le principe de fonctionnement des luminaires à LED (Indigo 9) dans les cas réseau et autonome. Nous allons relever les paramètres des appareils et calculer leurs différentes puissances afin de déterminer la plage de fonctionnement pour chaque matériel.

II.2 Etude des luminaires à LED dans le cas réseau

II.2.1 Principe de fonctionnement d'une LED froide

Une LED peut se définir comme un composant optoélectronique qui émet de la lumière lorsqu'elle est traversée par un courant électrique. La première particularité d'une LED est sa capacité à émettre de la lumière à partir d'un ou plusieurs matériaux semi-conducteurs à l'état solide. [18]

La LED est en réalité proche des composants conçus pour l'usage de fonctions électroniques. Ainsi elle utilise des techniques de conception technologique et des matériaux semi-conducteurs identiques. Son comportement en isolant ou en conducteur électrique peut également s'expliquer par la théorie des bandes d'énergie. De plus, ce dernier dépendra de sa topologie, du taux de dopage et des dimensions mises en œuvre. [18]

Toutefois, en première approche, nous pouvons définir une LED comme un composant électronique constitué à partir de la juxtaposition de deux matériaux semi-conducteurs. La mise en œuvre s'effectue comme celle d'une jonction PN pour une diode. Ainsi, pour les LED comme pour les diodes devant assurer des fonctions électroniques, l'un des matériaux doit être dopé fortement en porteurs positifs (zone p) et l'autre en porteurs négatifs (zone n), afin de constituer une jonction PN comme celles décrites en figures II.1 et II.2. [18]

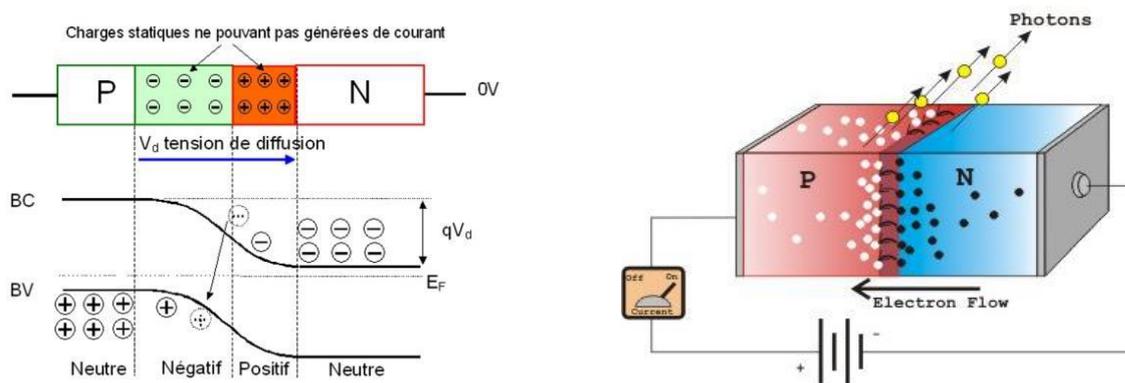


Figure II.1 : Une jonction PN pour une diode [19]      Figure II.2 : Une jonction PN pour une LED. [19]

Selon la théorie des bandes d'énergie d'un matériau, nous pouvons constater qu'un électron dans un matériau ne peut que prendre des valeurs d'énergie comprises dans certains intervalles nommés « bandes d'énergie permises ». Ces bandes sont séparées elles-mêmes par d'autres, appelées bandes interdites. Une des représentations graphiques permettant aisément la compréhension de ce phénomène physique est donné en Figure II.3 selon les propriétés électriques intrinsèques du

matériau pouvant être isolant, conducteur ou bien semi-conducteur comme décrits dans plusieurs ouvrages de référence. [18] [20] [21]

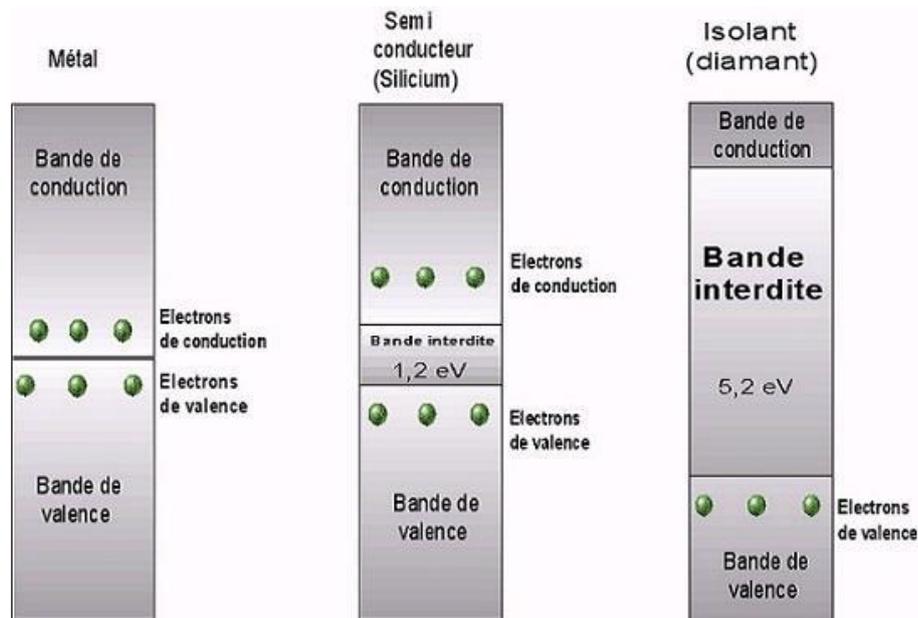


Figure II.3 : La nature des matériaux. [22]

### II.2.2 essai sur la LED froid

➤ **Présentation du banc d'essai:**



Figure II.4 : Banc d'essai réalisé pour la LED



Figure II.5 : LED Power

➤ **Matériel utilisé :**

Pour que notre essai soit réalisable, nous avons besoin de :

- Ampère mètre
- Voltmètre
- Câble de raccordements
- LED froide
- Générateur basse tension (GBT)

➤ Schéma de câblage de l'essai :

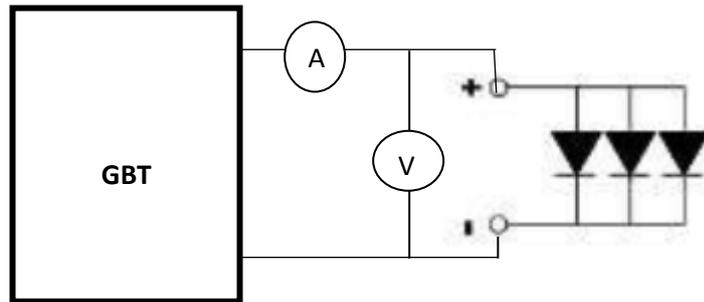


Figure II.6 : Schéma d'alimentation d'une LED allemande.

➤ Résultats obtenus :

Le tableau ci-après nous donne les résultats obtenus à partir de l'essai sur la LED:

$V_1(V)$	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
$I_1(A)$	0	0	0,003	0,029	0,068	0,115	0,165	0,189	0,213	0,238	0,241
$P(W)$	0	0	0.008	0.084	0.210	0.379	0.577	0.680	0.788	0.904	0.933

Tableau II.1 : les résultats d'un essai sur la LED froide.

D'après les mesures effectuées nous concluons que la LED est à très faible consommation qui est comprise entre 0.008 et 0.933W.

➤ Caractéristique courant - tension : A partir du Tableau II.1 on peut tracer la courbe suivante

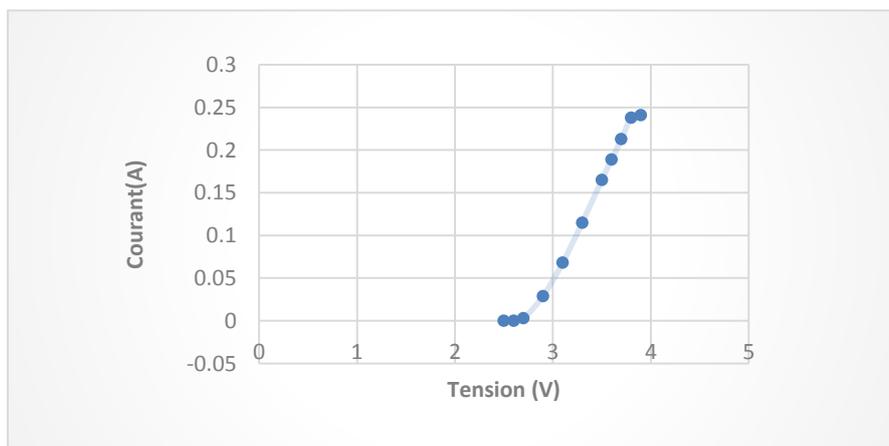


Figure II.7 :  $I_f(V)$  Caractéristique courant - tension de la LED

➤ **Interprétation des résultats :**

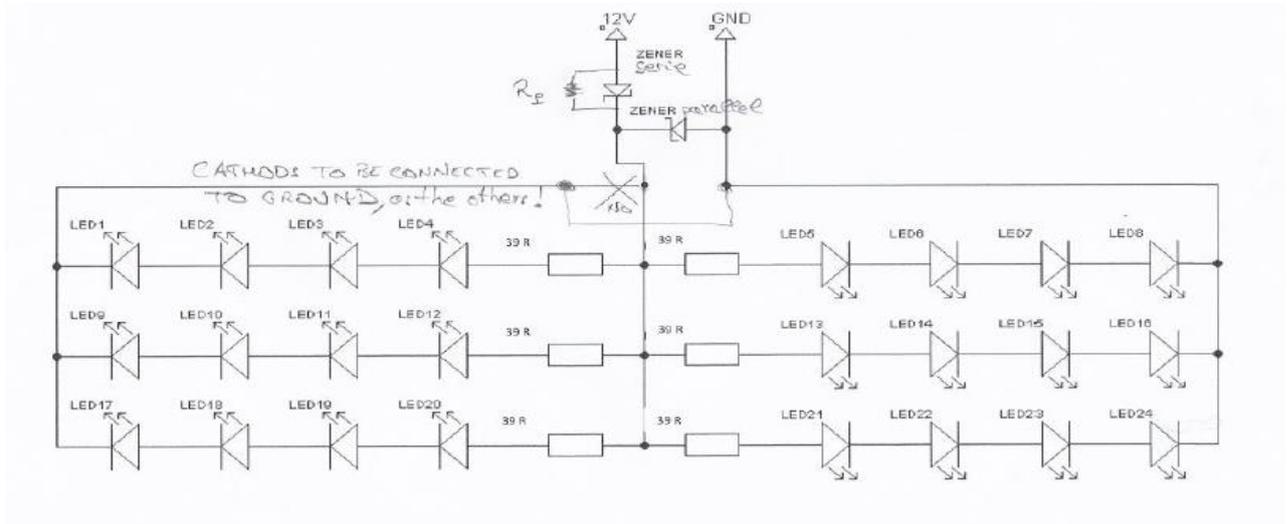
Comme le montre la **Figure II.8**, nous remarquons bien que la valeur du courant augmente proportionnellement avec l'augmentation de la tension, à partir de 2.7V la LED commence à s'alimenter jusqu'à la valeur de crête où la valeur du courant reste constante. En fait, quand une LED est traversée par un courant, elle ne produit pas de la chaleur mais de la lumière.

**II.2.3 Etude expérimentale d'une carte à LEDs Allemande :**

**II.2.3.1 Caractéristique physique d'une carte à LED Allemande :**



**Figure II.8 :** la carte àLED Allemande.



**Figure II.9 :** Le câblage électronique de la carte àLED Allemande (4S\*6P).

**II.2.3.2 Essai sur la carte àLED :**

➤ **Présentation de bac d'essai**

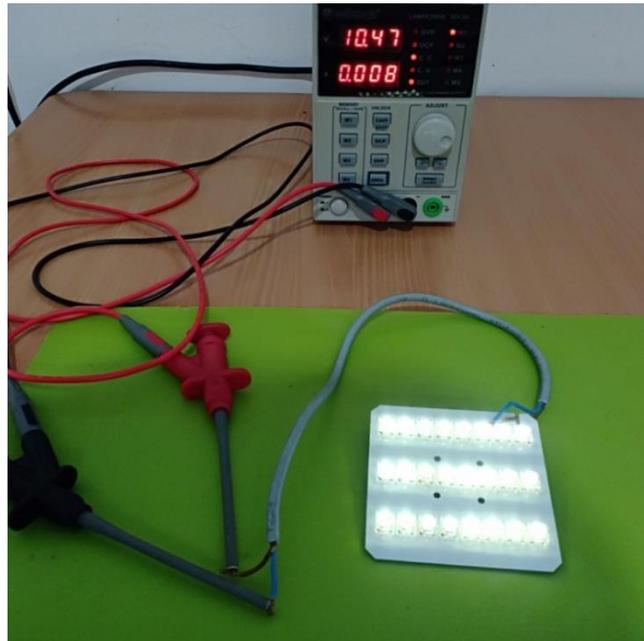


Figure II.10 : Banc d'essai réalisé

- **Les matériels utilisés**
  - Une Carte à LED froide
  - Générateur base tension
  - Câbles de raccordements

➤ **Schéma de câblage de l'essai :**

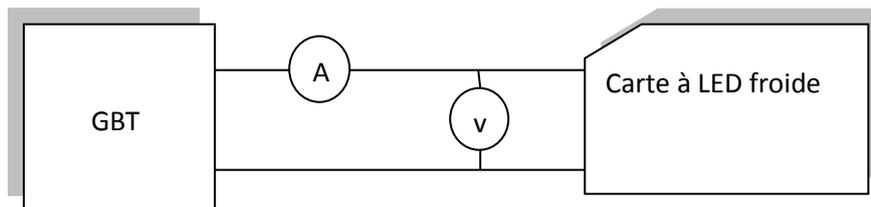


Figure II.11 : Schéma de câblage pour alimenter une carte à LED froide.

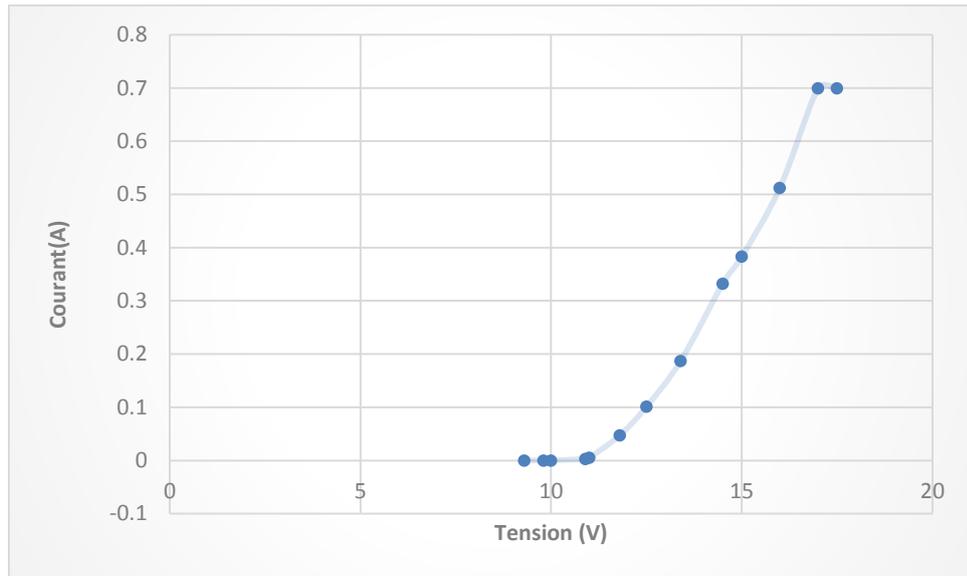
➤ **Résultats obtenus :**

Le tableau ci-après nous donnera les résultats obtenus à partir de l'essai

$V_2(V)$	9,3	9,8	10	10,9	11	11,8	12,5	13,4	14,5	15	16	17	17,5
$I_2(A)$	0	0	0	0,003	0,005	0,047	0,101	0,187	0,332	0,383	0,512	0,699	0,699
$P(W)$	0	0	0	0.032	0.055	0.554	1.262	2.412	4.814	5.745	8.192	11.883	12.232

Tableau II.2 : les résultats d'un essai de la carte à LED froide

- **Caractéristique courant – tension d'une carte à LED froide:** à partir du **Tableau II.2** on peut tracer la courbe suivante :



**Figure II.12 :**  $I=f(V)$  qui présente la caractéristique typique d'une carte à LED froide

➤ **Interprétation des résultats**

D'après les mesures effectuées on conclut que l'alimentation d'une carte à LED est en très basse consommation comprise entre 0.032 et 12.23W. Comme la **Figure II.12** le montre, on remarque bien que la valeur du courant augmente proportionnellement avec l'augmentation de la tension, à partir de 10.9V la Carte commence à s'alimenter jusqu'à la valeur de crête ou la valeur de courant reste Constante

## II.2.4 Essai sur le fonctionnement d'un luminaire:

### II.2.4.1 Essai sur luminaire Indigo 9

➤ **Présentation du banc d'essai**



**Figure II.13 :** Banc d'essai réalisé d'Indigo 9

➤ **Matériel utilisé**

- Un luminaire Indigo 9
- Générateur basse tension
- Câbles de raccordements

➤ **Schéma du câblage**

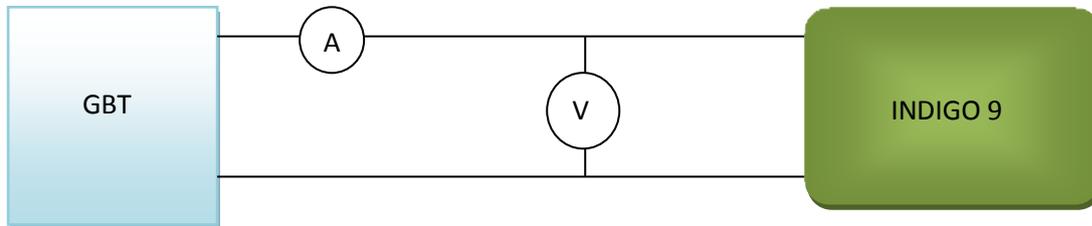


Figure II.14: Schéma de câblage pour alimenter un luminaire LED Indigo 9

➤ **Résultats obtenus**

Le tableau ci-après nous donne les résultats obtenus à partir de l'essai:

$V_c(v)$	8	8,2	8,7	9,4	9,7	9,9	10,1	10,4	10,6	10,8	11	11,3	11,61
$I_c(A)$	0	0	0,003	0,009	0,013	0,018	0,031	0,084	0,149	0,232	0,332	0,506	0,699
$P(W)$	0	0	0.026	0.084	0.126	0.178	0.313	0.873	1.579	2.505	3.652	5.717	8.115

Tableau II.3 : Résultats de l'essai.

- **Caractéristique courant – tension du luminaire:** À partir du **Tableau II.3** on peut tracer la courbe suivante :

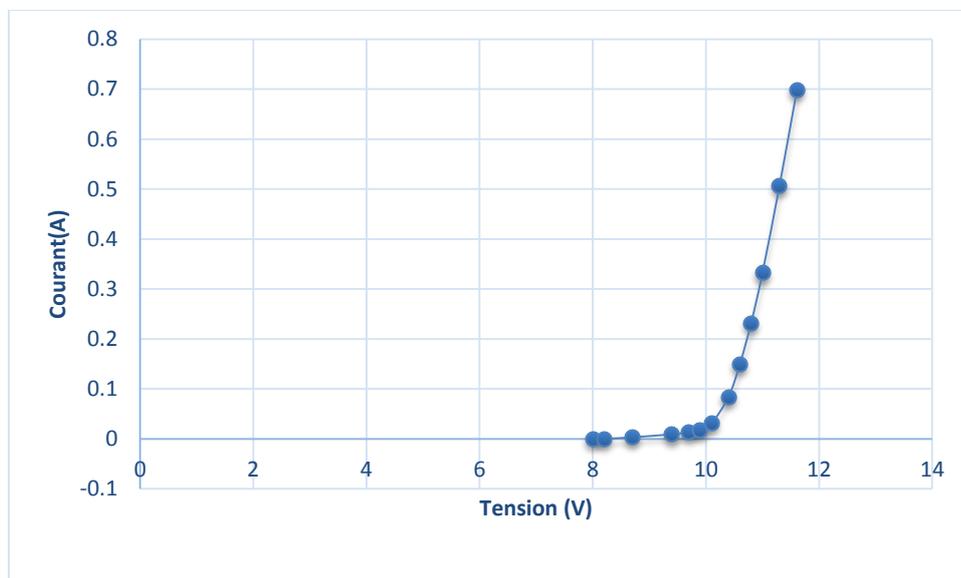


Figure II.15  $I=f(V)$  qui présente la caractéristique typique d'un luminaire Indigo 9.

➤ **Interprétation des résultats**

D'après les mesures effectuées on a conclu que l'alimentation d'indigo 9 est en très basse consommation comprise entre 0.026W à 8.115 W. comme la **Figure II.15** le montre on remarque que le luminaire INDIGO commence à s'allumer à partir de 8.7V jusqu'à sa valeur maximale.

### II.2.5 Etude expérimentale sur le redresseur AC/DC NPF-60-15

#### II.2.5. Description :

La NPF-60 est une série de blocs d'alimentation à LED à sortie unique imperméables de 60 watts. Offrant un rendement élevé pouvant atteindre 87% et une faible consommation d'énergie à vide inférieure à 0,15 W, le NPF-60 peut répondre à la demande d'économie d'énergie liée à l'éclairage à LED de nouvelle génération. Il peut fonctionner dans une plage de températures allant de -40 à +70 °C et est conforme à la certification de sécurité globale correspondante en matière d'éclairage. [1]

#### ➤ Caractéristiques physique du redresseur AC/DC :

Tension - Entrée (minimale)	9V
Tension - Entrée (maximale)	15
Sortie de tension	15
Courant - Sortie	4
Puissance (Watts)	60
Rendement	87%

Tableau II.4 : caractéristique du convertisseur NPF -60-15. [1]



Figure II.16 : Convertisseur NPF-60-15 utilisé dans la manipulation

#### II.2.5.2 Essai sur le Redresseur NPF-60-15 :

#### ➤ Présentation du banc de d'essai :



Figure II.17 : Banc d'essai réalisé avec le redresseur

➤ **Matériel utilisé**

- Un luminaire Indigo 9
- Générateur basse tension
- Câbles de raccordements
- Un redresseur NPF-60-15
- Un ampèremètre
- Un voltmètre
- Compteur de consommation

➤ **Mesure à l'entrée et à la sortie du convertisseur**

A l'entrée :

- $V_e = 226 \text{ V}$
- $I_e = 0.29 \text{ A}$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- $P_e = 65.54 \text{ W}$

A la sortie

- $P_s = 66.2 \text{ PA}$
- $S_s = 67.4 \text{ VA}$
- $\cos \varphi = 0.98$
- $V_s = 14.58 \text{ V}$

➤ **Schéma du câblage**

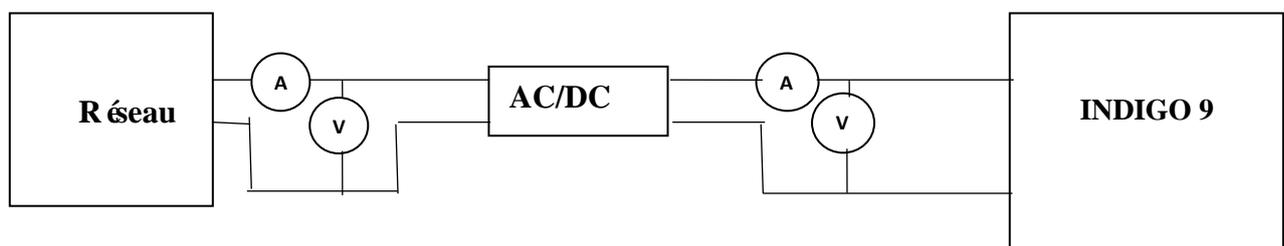
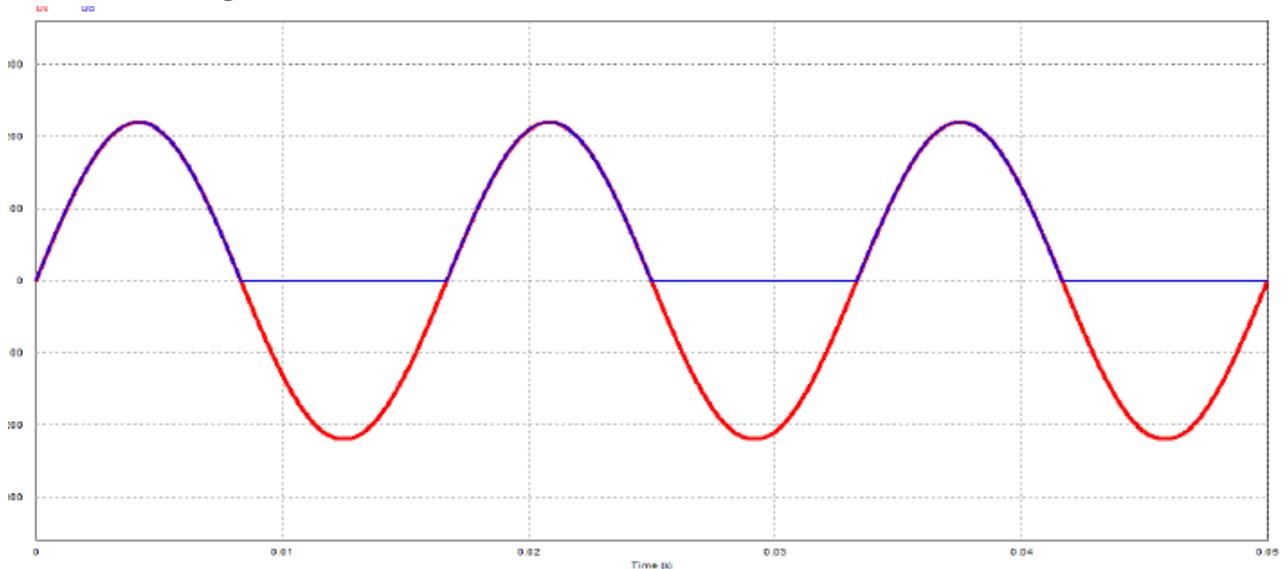


Figure III.18 : Schéma de câblage d'un convertisseur AC/DC

En absence de potentiomètres dans ce modèle de convertisseur NPF -60-15 qui est destiné pour alimenter indigo9, nous allons analyser l'évolution de la tension et le courant de sortie du convertisseur AC/DC avec charges résistives et inductives.

✓ **Sur charge résistive :**

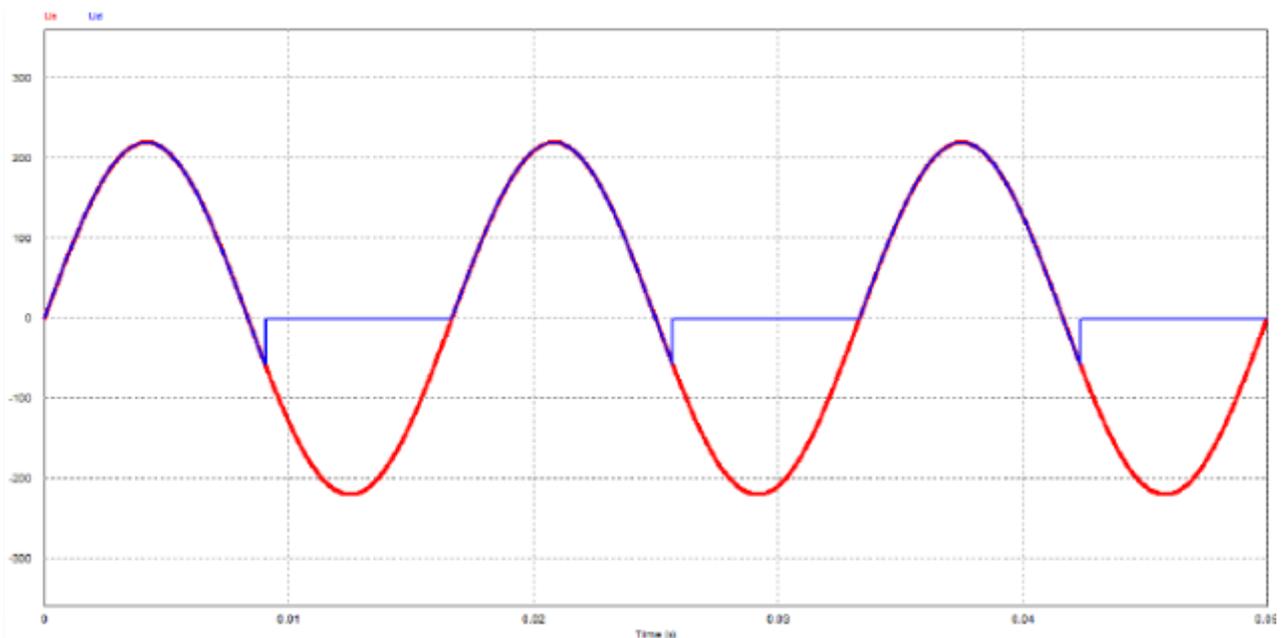


**Figure II.19** Visualisation de tension de sortie  $U_s(t)$  et  $U_d(t)$  avec charge résistive. [24]

**Analyse de la courbe**

La diode se bloque lorsque la tension à ses bornes est négative, elle supprime les alternances négatives du signal d'entrée. Pendant les alternances positives, elle se comporte comme un court-circuit et n'altère donc pas le signal d'entrée. La diode joue ainsi le rôle de coupure qui laisse passer les tensions positives et coupe les tensions négatives.

✓ **Sur la charge inductive**



**Figure II.20** Visualisation de tension de sortie  $U_s(t)$  et  $U_d(t)$  avec charge inductive. [24]

### Analyse de la courbe

Avec la présence de l'inductance, le courant persiste encore à la fin de l'alternance, la diode reste à l'état passant et la charge voit la tension d'alimentation négative jusqu'à l'annulation du courant. La tension moyenne du signal en sortie est inférieure à celle obtenue sur charge résistive.

## II.3 Essai sur le matériel utilisé dans un cas autonome

Nous allons réaliser une installation autonome pour alimenter un luminaire Indigo 9

### II.3.1 Etude expérimentale sur le hacheur DC/DC

#### II.3.1.1 Caractéristiques technique et physique de hacheur utilisé



Figure II.21 Le convertisseur DC/DC utilisé dans la manipulation.

- Tension de sortie  $V_s=64$  V
- Courant de Sortie  $I_s = 0,7$  A
- Tension d'entrée  $V_e = 18 - 32$
- Puissance  $P = 45$  A

### II.3.2 Essai sur le Hacheur DC/DC dans indigo 9

Le principe est de faire alimenter le luminaire Indigo 9 à travers le convertisseur LDH-45-700W et de déduire les pertes du convertisseur à une température ambiante à 25 °C.

#### ➤ Présentation du banc d'essai



Figure II.22: le banc d'essai pour le Hacheur

➤ **Matériel utilisé**

- Un luminaire Indigo 9
- Une Génératrice basse tension
- Câbles de raccordements
- Convertisseur LDH-45-700W
- Un ampèremètre
- Un voltmètre
- 

➤ **Schéma du câblage**

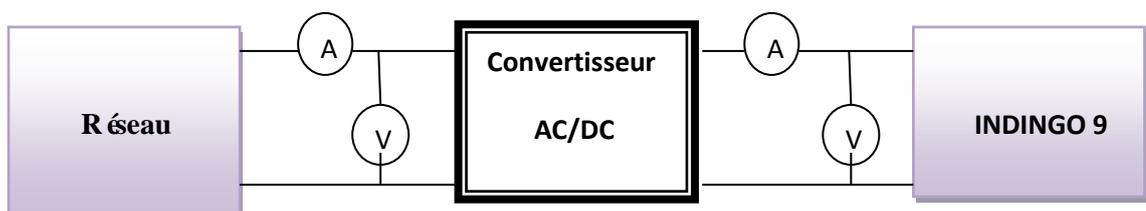


Figure II.23 Schéma de câblage d'un hacheur DC/DC

➤ Résultats obtenus

$U_e(V)$	$I_e(mA)$	$U_s(V)$	$I_s(A)$	$P_e(W)$	$P_s(W)$	Pertes (W)
7.5	54	12.02	27	0.405	0.3245	0.0805
7.59	115	12.3	58	0.872	0.7134	0.1586
7.62	260	12.8	134	1.9812	1.7152	0.266
7.67	337	13.1	175	2.5847	2.2928	0.2919
7.73	392	13.18	192	3.0301	2.5305	0.4996

Tableau II.5 : les résultats de l'essai.

➤ Courbe : A partir du tableau II.5 on trace le graphe suivant

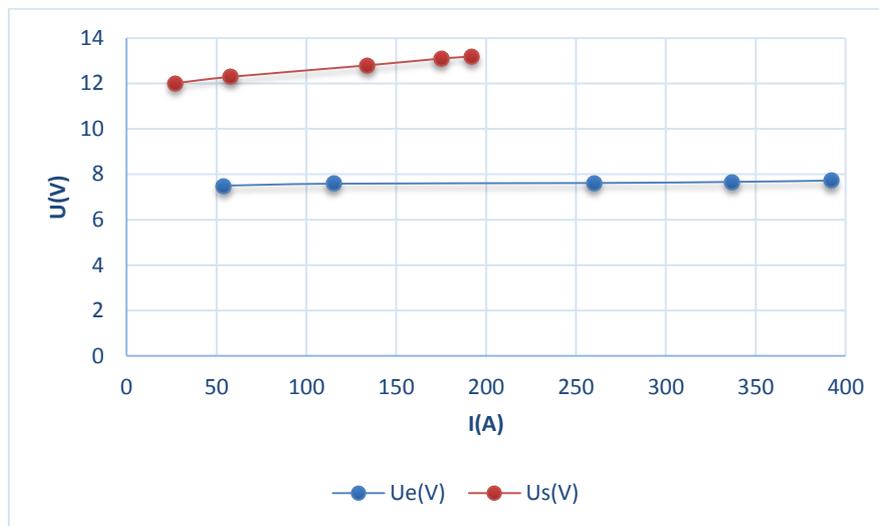


Figure II.24 : niveau de la tension à la sortie et l'entrée du LDH-45-700.

➤ Interprétation des résultats

Un convertisseur DC/DC permet d'augmenter la tension fournie par les batteries et ainsi diminuer le nombre d'accumulateurs nécessaires pour atteindre le niveau de tension désiré

II.3.2 Etude sur le régulateur de charge Blue Solar MPPT

II.3.2.1 Définition du régulateur utilisé

Un chargeur solaire récupère l'énergie provenant de la part des panneaux solaires, et il la stocke dans des batteries. La technologie MPPT des régulateurs Smart Solar et Blue Solar maximise cette « récolte » d'énergie, en la gérant intelligemment de manière à obtenir une pleine charge le plus rapidement possible. Les régulateurs Smart Solar et Blue Solar maintient votre batterie en état et prolonge sa durée de vie. Les régulateurs Smart ont les mêmes performances que les régulateurs Blue Solar, mais disposent en plus d'une supervision Bluetooth (application gratuite sur Apple Store ou Google Play) bien utile pour apprendre à suivre et gérer son installation. [1]

➤ Caractéristiques notables du régulateur [1]

- ❖ Localisation ultra rapide du point de puissance maximale (MPPT - Maximum Power Point Tracking).

- ❖ Détection avancée du point de puissance maximale en cas de conditions ombrageuses
- ❖ Sortie pour charge de consommation sur les petits modèles
- ❖ BatteryLife : gestion intelligente de la batterie par déstagement de charge
- ❖ Reconnaissance automatique de la tension de batterie
- ❖ Algorithme de charge souple
- ❖ Protection contre la surchauffe et réduction de l'alimentation en cas de température élevée
- ✓ Protection contre la surchauffe et réduction de l'alimentation en cas de température élevée.
- ✓ Protection contre l'inversion de courant PV.
- ✓ Protection contre la polarité inversée PV et les courts-circuits PV.

➤ **Caractéristiques techniques [1]**

- Configuration Voltage : 12 V / 24 V
- Tension de la batterie : 100 A
- Puissance maximale PV, 12 V : 200 W (MPPT plage de 15 V à 70 V)
- Puissance maximale PV, 24 V : 400 W (MPPT plage de 30 V à 70 V)
- Tension PV maximale de circuit ouvert : 75 V
- Autoconsommation : 10 mA
- Tension de charge «d'absorption » : configuration par défaut 14,4 V / 28,8 V
- Tension de charge «float » : configuration par défaut 13,8 V / 27,6 V
- Dimensions en mm : 100 x 113 x 40 mm
- Poids en kg : 0.5



Figure II.25 : régulateur de charge

### II.3.2.2 Description de Color Control GX

Il permet un suivi et un contrôle intuitif de tous les produits auxquels il est connecté



Figure II.26: Color Control GX

### II.3.2.3 Bluetooth Smart intégré

C'est la solution sans fil pour configurer, surveiller et mettre à jour le contrôleur en utilisant des téléphones Apple et Android, des tablettes ou d'autres appareils.



Figure III.27 : Bluetooth Smart intégré

### II.3.2.4 Réalisation d'une installation d'éclairage autonome avec contrôle à distance

#### ➤ Présentation du banc d'essai



Figure II.28 : Banc de test réalisé

#### ➤ Matériels utilisés:

- Câbles de raccordement
- Générateur basse tension (GBT)
- Câble RJ45
- Color Control GX
- 2 batteries solaires 12V Gel 20Ah
- Un régulateur solaire 12/24V Blue Solar MPPT 75/15 marque Victron Energy
- Luminaire Indigo 9
- Un compteur de consommation VOLTcraft
- Un smart phone avec une application de Victron

➤ Schéma de câblage de l'essai :

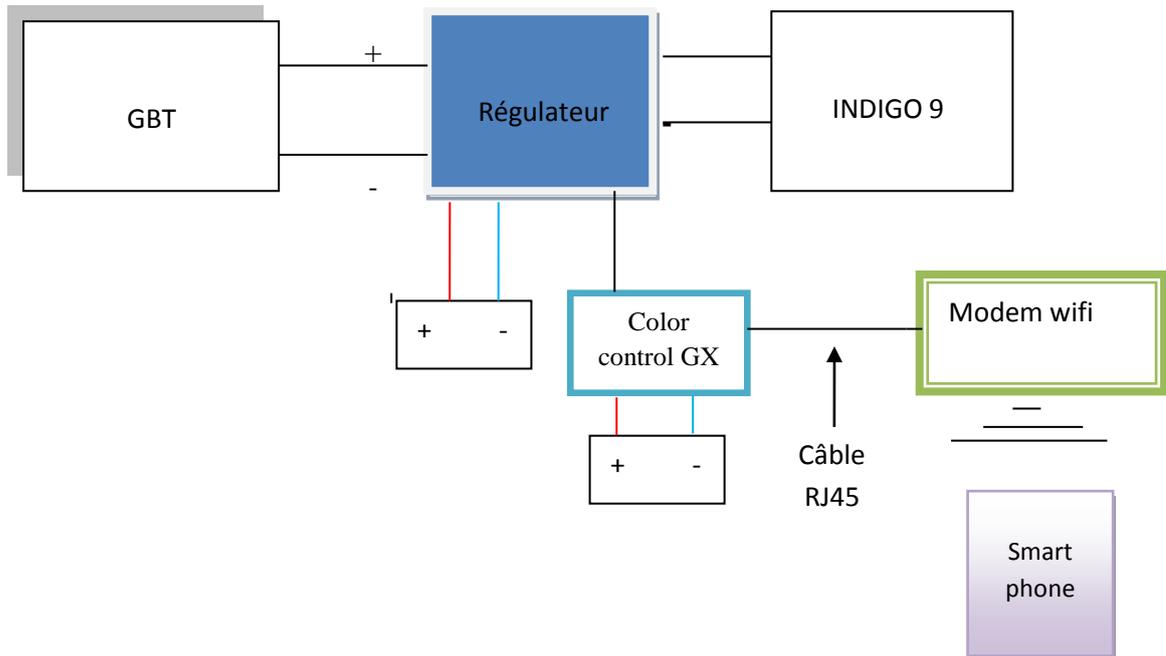


Figure III.29 : Schéma de câblage de régulateur de charge Blue Solar MPPT.

➤ Résultats expérimentaux

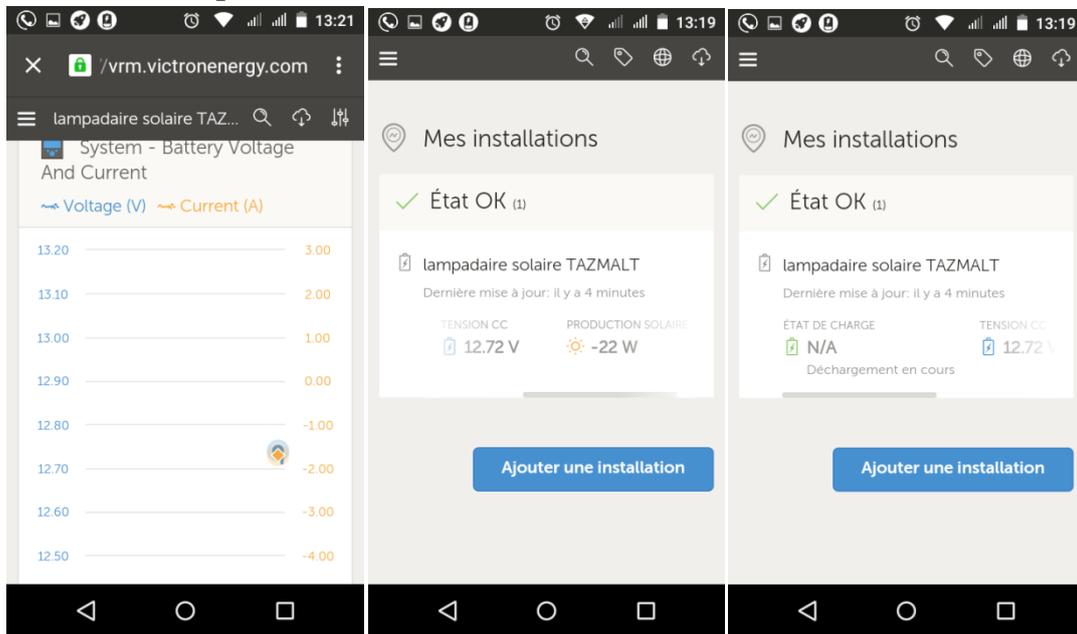


Figure III.30 : Résultats obtenus par Smart intégré

Grâce à l'application gratuite Victron Connect qui est compatible sur les smartphones Android et Apple elle nous permet de configurer et visualiser les appareils de Victron Energy.

Il nous permet de visualiser et paramétrer :

- La tension batterie 12.72
- L'historique solaire
- La charge de sortie
- L'algorithme de charge flexible
- L'option de temporisation jour / nuit
- L'option de luminosité

## **II.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, Nous avons rappelé quelques notions sur les luminaires à LEDs, et son application dans le domaine d'éclairage public. Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement d'un luminaire INDIGO 9 dans les cas réseau et autonome, ainsi que les différents essais effectués sur le luminaire.

Le luminaire pourra être alimenté selon l'une des versions suivantes :

- Alimentation par le réseau public : en ajoutant un régulateur 220V AC/ 12 V DC, dont la tension de sortie est réglable en usine entre 12 et 13,2 VDC selon la luminosité désirée.
- Alimentation autonome : en ajoutant un panneau solaire, contrôleur de charge et batterie (plomb ou Lithium).

# Chapitre III

*Installations  
photovoltaïques dans  
l'éclairage public  
d'INDIGO ENERGIE  
Algérie*

### III.1 Introduction

Ce chapitre montre la possibilité de faire une installation photovoltaïque avec l'introduction d'un lampadaire INDIGO 6 dans les systèmes d'éclairage solaire. Dans cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux caractéristiques optiques et électriques. L'étude des dispositifs électroniques d'éclairage à LEDs nécessitent des modifications électriques, optiques et thermiques.

D'autre part nous présentons une étude sur le système d'autoconsommation installé à SARL INDIGO ENERGIE Algérie avec l'appoint d'une batterie si l'énergie solaire n'est pas suffisante pour alimenter les charges connectés.

### III.2 Etude technique sur un éclairage public autonome à Tazmalt

#### III.2.1 Présentation du système d'éclairage public autonome installé

	<b>Composition d'un système d'éclairage à LEDs</b>
	-1-panneaux photovoltaïques montés sur structure de fixation selon orientation et angle précis
	-2-unités d'éclairage LED fixés sur un bras lequel et fixé sur mat
	-3-coffret étanche pour stockage et gestion de l'énergie (contient le régulateur et de la batterie)
	-4- structures de montage et fixation selon des matériaux résistants à la corrosion dont fait partie : la mat, cross, structures de fixation des modules PV et base de fixation du mat.

**Tableau III.1 :** Composition d'un système d'éclairage public à LEDs. [23]

Le système complet comprend

- Panneau solaire photovoltaïque 80Wc.
- Batterie Lithium-Ion sans entretien 12V 55 Ah.
- Régulateur de charge solaire à horloge numérique Uhlmann SLR 416 à luminosité contrôlée.
- Contrôleur de batterie BMV-700.
- Lampadaire Indigo 6.

- Logement, fixé à l'arrière du support du panneau photovoltaïque, destiné à recevoir la batterie et la régulation électronique.
- Mât cylindrique galvanisé peint en noir de 4,5 mètres au-dessus du sol (Hauteur totale de 6 mètres, diamètre = 102mm)

### **III.2.2 Description du système**

Ce nouveau modèle, équipé d'un lampadaire Indigo 6 de très haute puissance, permet de garantir un fonctionnement jusqu'à 10 heures par nuit avec une autonomie de 3 jours en cas de période prolongée sans soleil. Cette solution offre l'avantage d'être immédiatement opérationnelle, aucun raccordement ni travaux (tranchée) ne sont nécessaires. Ce produit est conçu et fabriqué en Europe. Le circuit électronique fonctionnant avec un voltage nominal de 12 Volts, intègre un régulateur d'électronique pouvant être équipé (en option) d'un détecteur de présence infrarouge pour permettre une activation automatique.

La programmation de la lanterne s'opère à l'aide de micro-interrupteurs et permet ainsi de sélectionner le mode de fonctionnement 3, 6, 8 ou 10 heures par nuit en fonction de la localisation, du niveau d'irradiation et de l'autonomie souhaitée.

Cette gamme de LED froide apporte une efficacité encore plus importante :

- Moins de consommation d'énergie par nuit d'éclairage
- Besoin de panneau solaire moins important (impact sur la prise au vent, donc l'ancrage dans le sol, le type de mât)
- Besoin de batteries de capacité moins importante.
- Coût d'acquisition et coût de maintenance moins importants.

### III.2.3 Photo de mise en situation du produit installé à Tazmalt



Figure III.1 : Éclairage public solaire àLED (installation W. B ġa ñ, Juillet 2016)

### III.2.4 Description technique de chaque composant du système

#### III.2.4.1 Batterie Lithium-Ion [1]

Le Power Brick 12V-55Ah int ègre dans son boîtier un système innovant de contrôle (BMS) permettant d'assurer un très haut niveau de sécurité à l'utilisation. Le BMS contrôle et équilibre constamment les cellules de la batterie, afin de protéger la batterie et d'augmenter sa durée de vie. Le BMS prot ège aussi la batterie de toute mauvaise manipulation : décharge profonde, tension de charge trop élevée, etc. [1]

➤ **Données techniques**



- Tension nominale : 12.8V
- Capacité nominale : 20 Ah
- Énergie : 256 Wh
- Résistance interne  $\leq 50\text{m}\Omega$
- Nombre de cycles >2000 cycles
- Auto-décharge < 3% par mois
- Rendement énergétique 96% ~99%
- Excellente tenue en température (-20 °C à +60 °C)
- Tension de coupure BMS 14.7V cas de la charge
- Tension de coupure BMS 10 V cas de décharge

Figure III.2 Batterie Lithium-Ion

➤ **Caractéristiques de charge et décharge à 25°C**

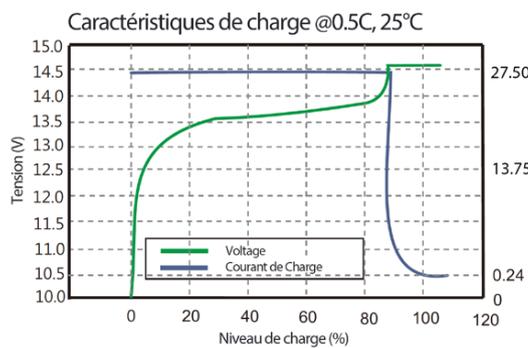


Figure III.3 : Caractéristique de charge

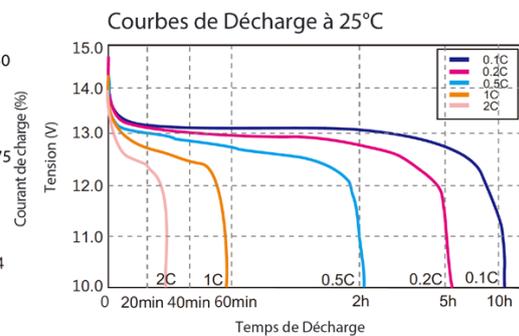


Figure III.4 : Caractéristique de décharge

III.2.4.2 Module solaire photovoltaïque [1]

- Fabricant certifié ISO 9001:2008
- Type de cellule : cellule solaire poly cristalline de haute qualité
- Type de verre : tempered glass
- Laminage : EVA, tedlar Puissance maximum ( $P_{max}$ ) : 80 w
- Tension  $P_{max}$  ( $V_{mpp}$ ) : 17.4 V
- Courant à  $P_{max}$  ( $I_{mpp}$ ) : 4.61 A
- Tension en circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) : 22.0 V
- Courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) : 4.85 A
- Tension maximale du système : 600 V
- Tolérance : 5%



Figure III.5 module PV

III.2.4.3 Régulateur électronique Uhlmann SLR 416

Le régulateur de charge solaire SLR 416 permet à votre installation solaire un haut degré d'efficacité et assure une longue durée de vie des batteries. Il est adapté par ses (en option) fonctions supplémentaires spécialement pour le fonctionnement des systèmes d'éclairage

solaire, de routes, extérieur éclairage général, et en particulier mais aussi pour systèmes de contrôle et d'alarme.

➤ **Données techniques**

- Fabricant européen certifié:
- Tension nominale du système : 12 V - 24 V
- Tension de charge complète : 14.1 V - 28.2
- Puissance maximale du générateur solaire : 260W - 520W
- Charge déconnexion tension : 11V - 22V
- Charge connexion tension : 12.5V - 25 V
- Tension d'entrée maximale : 50 V
- Courant maximum du module solaire : 8 A - 16 A
- Courant de charge continu maximum : 8 A - 12 A
- Isolation : IP 65, splash proof
- courant de repos (UBatt = 12V, LED éteinte) :  $\leq 3\text{mA}$
- Poids inclus accessoires 670g



Figure III.6 : Un régulateur SLR 416

#### III.2.4.4 Contrôleur de batterie BMV-700 [1]

Le BMV-700 est notre contrôleur de batterie de haute précision le plus récent. La fonction essentielle d'un contrôleur de batterie est de calculer la consommation ampères-heures et l'état de charge de la batterie. La consommation en ampères-heures est calculée en intégrant le débit du courant entrant ou sortant de la batterie.

➤ **Données techniques**

- Référence fabricant : BAM010700000R
- Tension : 9.5 - 90 V
- La meilleure résolution : 10mA (0,01A) avec un shunt de 500A.
- La plus faible consommation : 1mA.



Fig III.7 Contrôleur de batterie BMV-700

- Le plus facile à câbler : le BMV-700 est livré avec son shunt équipé d'un circuit de raccordement, un cordon UTP RJ12 de 10 mètres, et un fil d'alimentation batterie de 2 mètres avec fusible.
- Le plus facile à installer : montage rond en saillie avec anneau de serrage, ou par l'avant avec vis et cache de forme carrée.
- Garantie : 5 ans

### III.2.4.5 Luminaire à LED très basse consommation INDIGO 6 [1]

Système d'éclairage à haute efficacité énergétique à base de LEDs froides (Low Power) et d'un système optique qui améliore les qualités de luminosité. Désigné en Allemagne. Fabriqué en Algérie.

Ce luminaire pourra être alimenté selon l'une des versions suivantes :

- Alimentation par le réseau public : en ajoutant un régulateur 220V AC/ 12 V DC, dont la tension de sortie est réglable en usine entre 12 et 13,2 VDC selon la luminosité désirée par le client. Plage de tension d'entrée réseau sur le régulateur : 90 – 264 VAC.
- Alimentation autonome : en ajoutant panneau solaire, contrôleur de charge et batterie (plomb ou Lithium).

#### ➤ Données techniques

Modules de lampes LED : plage de tension DC des LED (réglable en usine selon la luminosité désirée) en sortie du régulateur	12 V	13 V	13,2 V
Consommation électrique <sup>1</sup> (selon l'illumination désirée)	12 W	22 W	24 W
Efficacité lumineuse <sup>1</sup>	Jusqu'à 149 Lm/W		
Hauteur du mat	Mat de 5 à 7 m, optimum 6 m		
Couleur de la lumière (Kelvin, +/-300)	3.100 K, 4.500 K, 5.500 K, 6.500 K disponible		
Caractéristiques module de LED	CRI > 90 (@5.500 K) ; faisceau 90° à 120°		
Durée de vie LED	>80.000 heures		
Température d'utilisation	De -30° à +65°C		
Propriétés	IP65, protection contre la poussière, l'humidité		
Règlementation	CE ; conforme au règlement n°245/2009 en vigueur dès 2017 sur l'efficacité énergétique		

<sup>1</sup> : en conditions de laboratoire, dépendant de la température, de l'humidité...etc

**Tableau III.2 : données techniques de module INDIGO 6. [1]**

### III.2.4.6 Mât [1]

- Cylindrique galvanisé peinture noire
- Hauteur totale 6 mètres
- Diamètre = 102 mm
- Couleur gris anthracite

### III.2.5 Etude théorique sur plusieurs hacheurs DC/DC appliqués à l'installation:

Nous avons introduit un hacheur **LDH-45 1050W** dans le produit installé à Tazmalt puis relevé les différentes configurations d'Indigo 6 ainsi les pertes des puissances. [1]

#### III.2.5.1 Schéma de câblage du produit installé

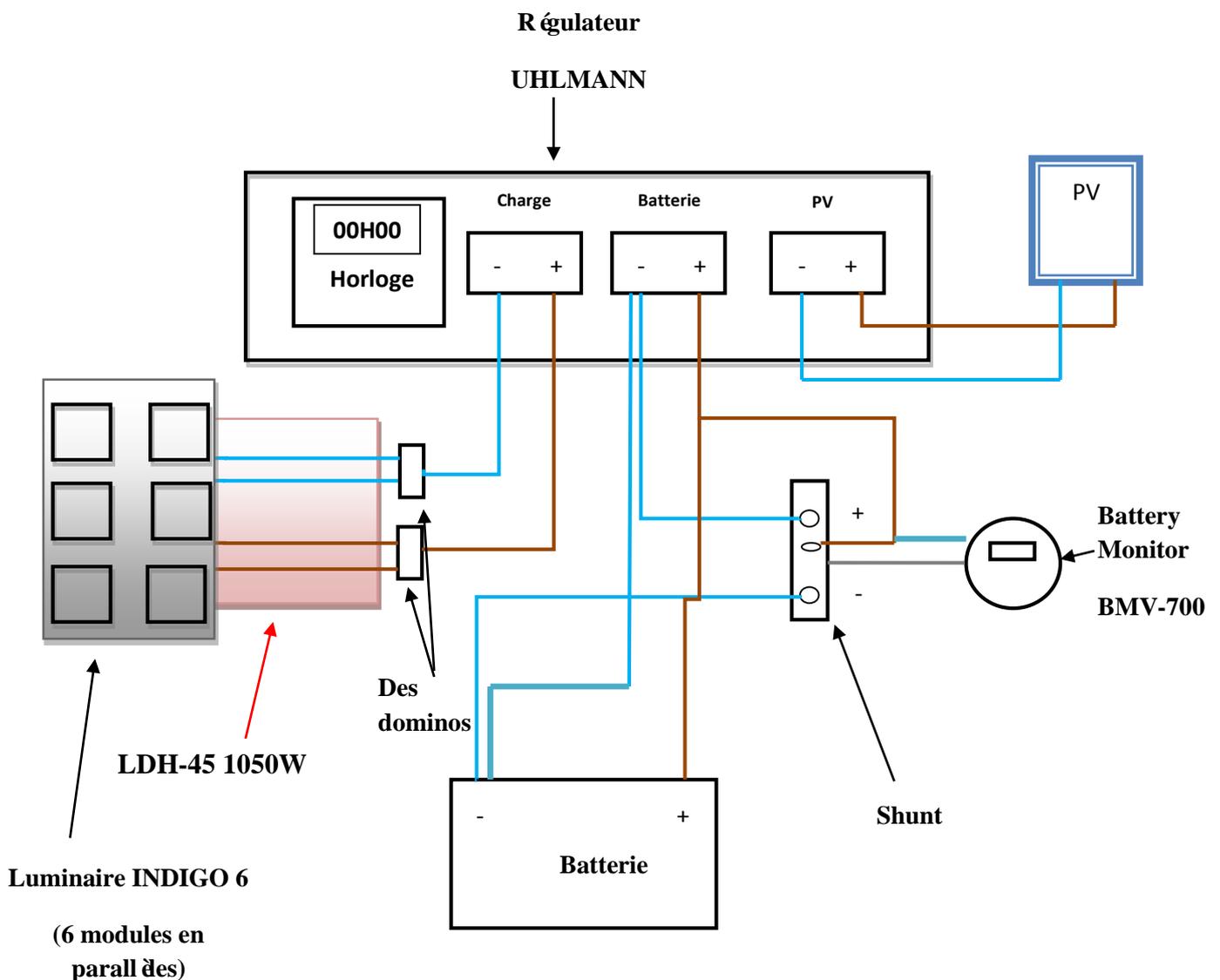


Figure III.8 : Schéma de câblage du produit installé à Tazmalt.

#### III.2.5.2 Configuration Indigo 6 sans LDH-45 1050W

PANNEAU 80 W

BATTERIE 40 Ah

Calcul de la consommation de l'indigo 6

$$E_2 = 2 \times 120 \text{ Wh} = 240 \text{ Wh} \quad (\text{III.1})$$

Choix de la batterie :

$$C = \frac{240 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 20 \text{ Ah} \quad (\text{III.2})$$

Energie produite par cette batterie :  $40 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 480 \text{ Wh}$

Alors :  $\frac{240 \text{ Wh}}{480 \text{ Wh}} = 0.5$  soit un DOD de 50 %

La production de panneau existant :

$$I_p = 4.61 \times 3 \times 0.8 = 11.064 \text{ Ah} \quad (\text{III.3})$$

### III.2.5.3 Configuration INDIGO 6 avec LDH-45 1050W

2 PANNEAU 80 W

BATTERIE 60 Ah

Calcul de la consommation de l'indigo 6

$$E_2 = 2 \times 176 \text{ Wh} = 352 \text{ Wh} \quad (\text{III.4})$$

Choix de la batterie :

$$C = \frac{352 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 29.34 \text{ Ah} \quad (\text{III.5})$$

Pour une bonne autonomie de batterie on choisit une batterie de 60Ah

Energie produite par cette batterie :  $60 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 720 \text{ Wh}$

Alors :  $\frac{352 \text{ Wh}}{720 \text{ Wh}} = 0.48$  soit un DOD de 52 %

La production de panneau existant :

$$I_p = 4.61 \times 3 \times 0.8 = 11.064 \text{ Ah} \quad (\text{III.6})$$

Pour 2 panneaux:  $I_p = 11.064 \text{ Ah} \times 2 = 22.128 \text{ Ah} \quad (\text{III.7})$

### III.2.5.4 Configuration de Indigo 6 avec LDH-45 1050W installé à côté de l'hôtel

**Chapitre III      Installations photovoltaïques dans l'éclairage public d'INDIGO  
ENERGIE Algérie**

---

PANNEAU 80 W

BATTERIE 40 Ah

Calcul de la consommation de l'indigo 6

$$E_2 = 2 \times 176 Wh = 352 Wh \quad \text{(III.8)}$$

Entrée de MEAN WELL LDH-45-1050 W			Sortie de MEAN WELL LDH-45-1050 W			
Tension		Intensité de courant	tension		Intensité de courant	
			MODULLE 1	MODULLE 2	MODULLE 3	TOTAL
13.5	1.284	13.92	0.2856	0.288	0.294	0.8676
13	1.334	13.85	0.2861	0.2885	0.293	0.8676
12.5	1.394	13.84	0.293	0.2862	0.2885	0.8677
12	1.467	13.84	0.2879	0.294	0.2864	0.8683
11.5	1.551	13.84	0.2856	0.2878	0.2942	0.8676
11	1.645	13.83	0.2835	0.283	0.2915	0.858

**Tableau III.3 : Essai avec MEAN WELL LDH-45-1050 W**

### Chapitre III Installations photovoltaïques dans l'éclairage public d'INDIGO ENERGIE Algérie

- **Commentaire** : La perte de Puissance varie entre 6.25 W et 5.26 W à cause de LDH-45-1050 W

Entrée de MEAN WELL LDB 600NLW			Sortie de MEAN WELL LDB 600LW		
Tension	Intensité de courant		tension	Intensité de courant	
			MODULLE 1	MODULLE 2	TOTAL
13.5	0.679	13.45	0.250	0.253	0.503
13	0.721	13.40	0.2505	0.2515	0.502
12.5	0.733	13.38	0.2495	0.2515	0.501
12	0.785	13.35	0.251	0.2495	0.5005
11.5	0.825	13.35	0.249	0.251	0.500
11	0.871	13.34	0.250	0.249	0.49905

**Tableau III.4** : Essai avec MEAN WELL LDB 600LW

- **Commentaire** : La perte de puissance varie entre 2.94 W et 2.4 W à cause de LDB 600 LW

Entrée de MEAN WELL LDH-45-700W		Sortie de MEAN WELL LDH-45-700W			
Tension	Intensité de courant	tension	Intensité de courant		
			MODULLE 1	MODULLE 2	TOTAL
13.5	0.851	13.96	0.301	0.3086	0.6096
13	0.877	13.91	0.3082	0.302	0.6102
12.5	0.931	13.90	0.3073	0.3025	0.6098
12	0.973	13.88	0.3074	0.3021	0.6095
11.5	1.038	13.87	0.3082	0.3023	0.6105
11	1.083	13.85	0.3078	0.3032	0.611

**Tableau III.5** : Essai avec MEAN WELL LDH-45-700W

- **Commentaire :** La perte de Puissance varie entre 2.98W et 2.45W à cause de LDH-45-700W

Entrée de MEAN WELL LDD 1000 LW		Sortie de MEAN WELL LDD 1000 LW				
Tension	Intensité de courant	tension	Intensité de courant			
			MODULLE 1	MODULLE 2	MODULLE 3	TOTAL
13.5	0.613	12.64	0.1724	0.174	0.1746	0.521
13	0.506	12.29	0.1436	0.1428	0.1432	0.4296
12.5	0.394	11.93	0.1129	0.1136	0.1142	0.3407
12	0.282	11.25	0.855	0.0852	0.0844	0.2551

**Tableau III.6 :** Essai avec MEAN WELL LDD 1000 LW

- **Commentaire :** La perte de puissance varie entre 1.69W et 0.51W à cause de LDD 1000 LW

### **III.3 Etude sur le système d'autoconsommation d'INDIGO ENERGIE Algérie :**

#### **III.3.1 Définition d'un système d'autoconsommation**

Un système d'autoconsommation signifie la production avec des panneaux solaires d'une partie d'électricité avec moins de coupure réseau et moins de facture.

L'illustration suivante montre l'application de base pour cet onduleur / chargeur. L'onduleur/chargeur peut être raccordé aux dispositifs suivants :

- Générateur ou réseau électrique.
- Modules PV (option)

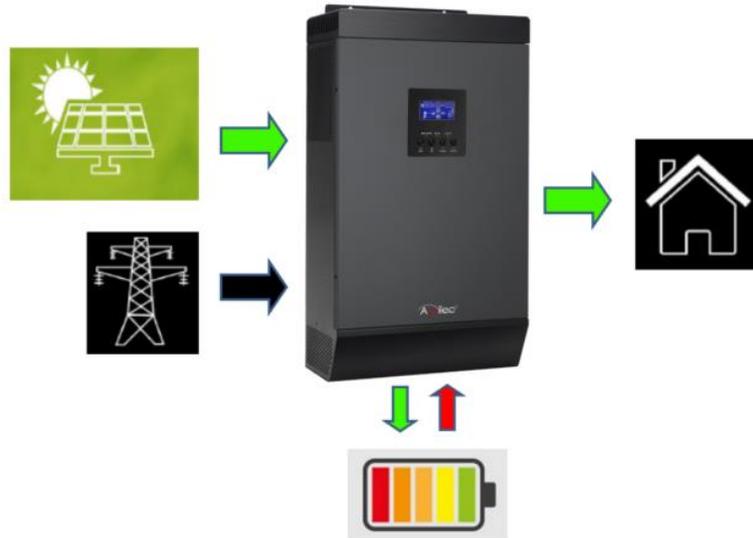


Figure III.9 : Kit solaire pour Résidentiel et petits commerces

### III.3.2 Principe de fonctionnement:

L'énergie électrique consommée est en priorité fournie par les panneaux solaires. Et en cas de production insuffisante des panneaux ou en l'absence de soleil, l'onduleur va faire appel à l'énergie stockée dans les batteries. Puis en dernier recours, il passera automatiquement sur le réseau électrique public

### III.3.3 Généralités sur l'onduleur hybride

Il s'agit d'un onduleur / chargeur multi-fonction, combinant les fonctions de l'onduleur, chargeur solaire MPPT et chargeur de batterie pour offrir un soutien d'alimentation sans coupure avec la taille de portable. Son écran LCD complet permet grâce aux boutons de configurer facilement ses paramètres, tels que courant de charge, priorité de source chargeur, tension d'entrée acceptable, ...

#### ➤ Caractéristiques

- Onduleur à onde sinusoïdale pure
- Contrôleur de charge solaire MPPT intégré
- Plage de tension d'entrée configurable pour les appareils électroménagers et les ordinateurs
- Courant de charge de la batterie configurable en fonction des demandes via réglage
- Priorité configurable de la source d'énergie : AC / chargeur solaire via les réglages
- Compatible à la tension du secteur ou à un générateur
- Redémarrage automatique
- Protection de court-circuit / surcharge / température
- Conception de chargeur de batterie intelligent pour une performance optimale de la batterie
- Fonction de démarrage à froid

### III.3.4 Essai sur le Système d'autoconsommation installé

#### III.3.4.1 Système d'autoconsommation installé au bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie

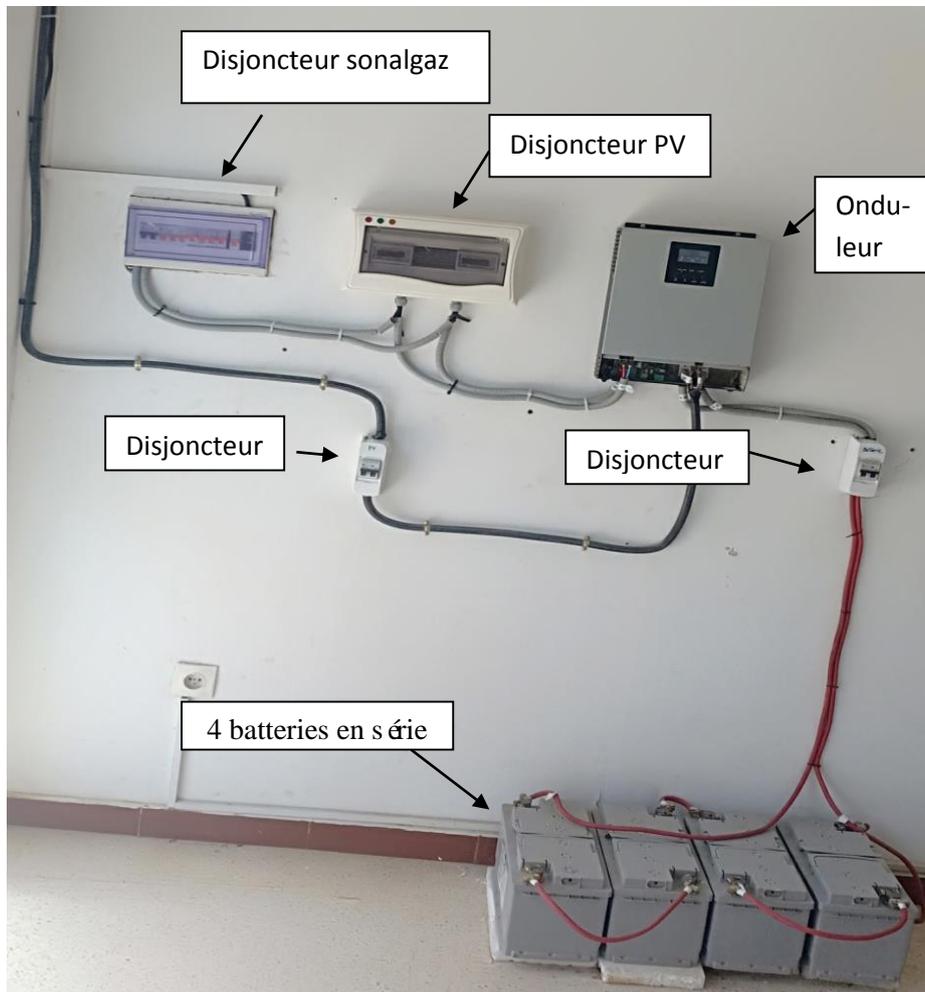


Figure III.10 : kit solaire de bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie

III.3.4.2 Schéma de câblage du kit de bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie

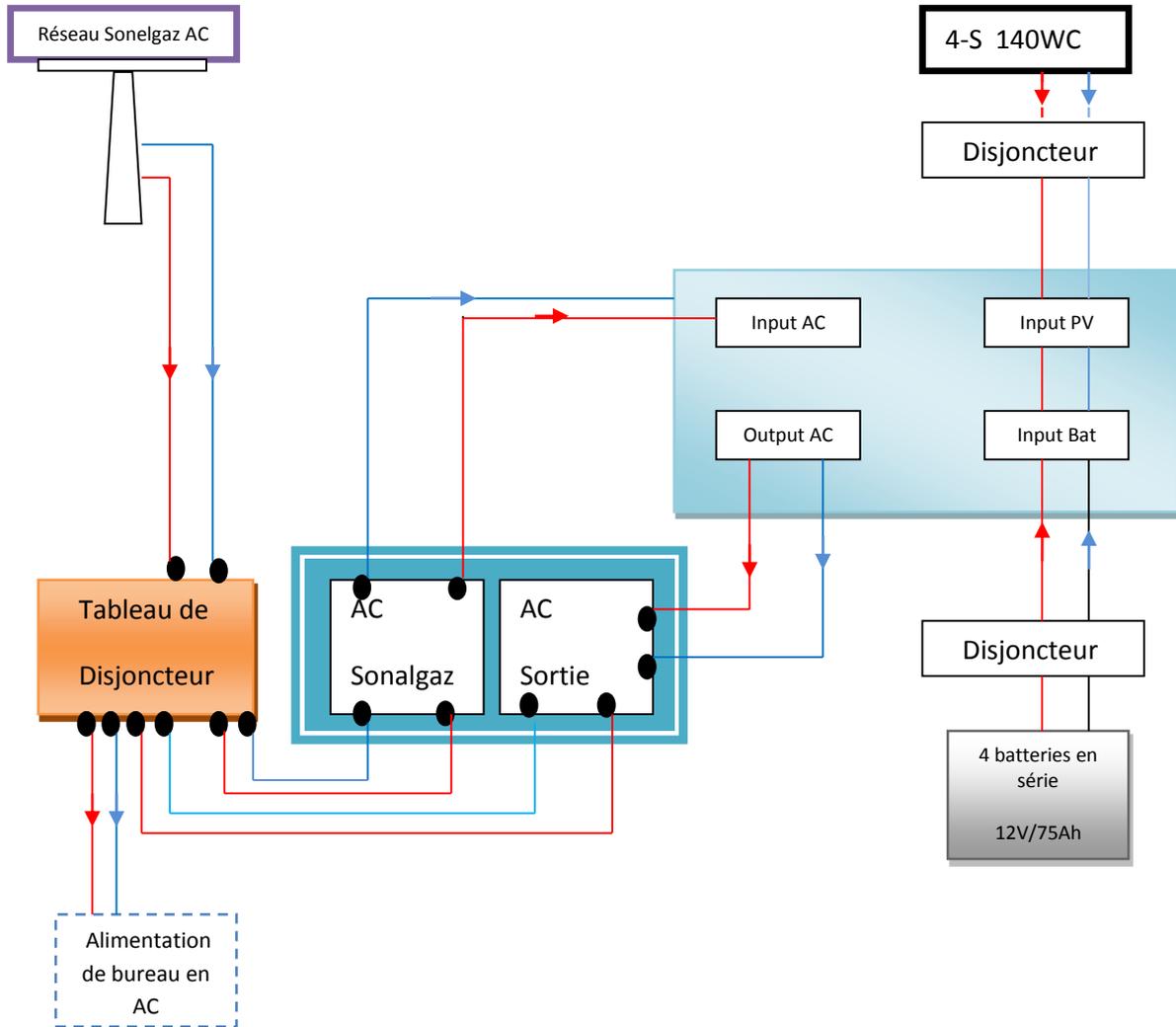


Figure III.11 : Schéma de câblage du kit de bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie

III.3.4.3 Essai 1 : Détermination du programme actuel d'onduleur qui montre des priorités des sources

Dans cet essai, nous avons joué sur les trois disjoncteurs (Batterie, PV, Sonelgaz) l'un après l'autre, d'évaluer l'existence de l'énergie à la sortie de l'onduleur et dessiné le Tableau de vérité qui montre le programme de fonctionnement actuel :

Source/Cas	Batterie	SONALGAZ	PV	Source
Cas N°1	0	0	0	0
Cas N°2	0	0	1	1
Cas N°3	0	1	0	0
Cas N°4	0	1	1	0
Cas N°5	1	0	0	1
Cas N°6	1	0	1	1
Cas N°7	1	1	0	1
Cas N°8	1	1	1	1

**Tableau III.7 :** combinaison qui montre le fonctionnement de l'onduleur Hybride

➤ **Commentaire sur les résultats trouvés :**

- Cas N°1 :** on a enchainé la déconnection de (batterie, sonelgaz et PV ), le résultat obtenu indique qu'il n'y a pas de circuit électrique.
- Cas N°2 :** On a déduit l'énergie solaire est prioritaire dans l'alimentation des consommateurs.
- Cas N°3 :** on a conclu que l'énergie réseau si n'est pas connecter avec les batteries il n'y a pas de circuit électrique.
- Cas N°4 :** Le réseau + batterie alimente les consommateurs uniquement Si la tension de la batterie est disponible.
- Cas N°5 :** Si l'onduleur fonctionne en mode « batterie » ou en mode « d'économie d'énergie » seulement les charges seront connectés
- Cas N°6 :** on a conclu Si l'énergie solaire n'est pas suffisante pour alimenter les charges connectés, la batterie apportera le solde.
- Cas N°7 :** On a conclu que le réseau alimente les consommateurs uniquement Si :
  - l'énergie solaire n'est pas disponible
  - la tension de la batterie descend sous le niveau de tension bas d'alarme
- Cas N°8 :** les connexions de tous les disjoncteurs (batterie, PV, et SONELGAZ) nous donne le système hybride.

**III.3.4.4 Essai 2: Etude sur quelques cas de fonctionnement Normal de l'onduleur**

Dans cet essai, à partir des résultats obtenus dans le tableau de vérité nous allons étudier quelques cas où l'onduleur alimente normalement le bureau de société d'INDIGO ENERGIE Algérie.

➤ **Fonctionnement de l'affichage LCD**

Le panneau d'affichage est monté à l'avant de l'onduleur. Il comprend trois indicateurs LED, quatre boutons et un écran LCD, indiquant l'état de fonctionnement et les informations de puissance d'entrée et de sortie.

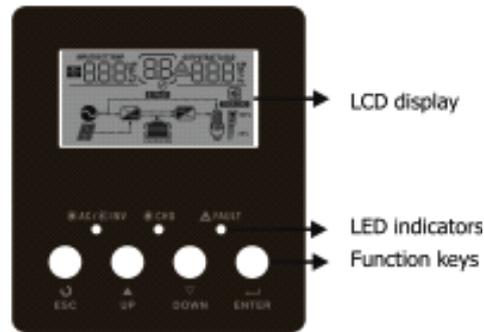


Figure III.12 : Affichage de l'écran LCD

➤ Indicateur LED

Indicateur LED			Messages
☀ AC / ☀ INV	Vert	Allume	La sortie est alimentée par le réseau en mode « raccorder réseau» (Line).
		Clignotant	La sortie est alimentée par la batterie ou le PV en mode « batterie».
☀ CHG	Vert	Allume	La batterie est complètement chargée.
		Clignotant	La batterie est en charge.
⚠ FAULT	Rouge	Allume	Défaillance de l'onduleur.
		Clignotant	Une alarme d'avertissement se produit.

Tableau III.8 : description des fonctions sur l'écran LCD

III.3.4.4.1 Connexion photovoltaïque :

➤ Affichage des icônes à l'écran LCD



Figure III.13 : Affichage de l'écran LCD dans le cas d'alimentation avec le PV

➤ Résultats obtenus

Icône	Description de la fonction
	Indique l'entr ée PV
	Indique la tension d'entr ée 58 V
	Indique la tension de sortie 228 V
	Indique que l'appareil se connecte au panneau photovolta ïque.
	Indique que la charge se fait par le r éseau
	Indique le niveau de charge de 0-25 %
	Pourcentage de charge <20%, Tension de la batterie 1.95 ~ 2.033V/cell

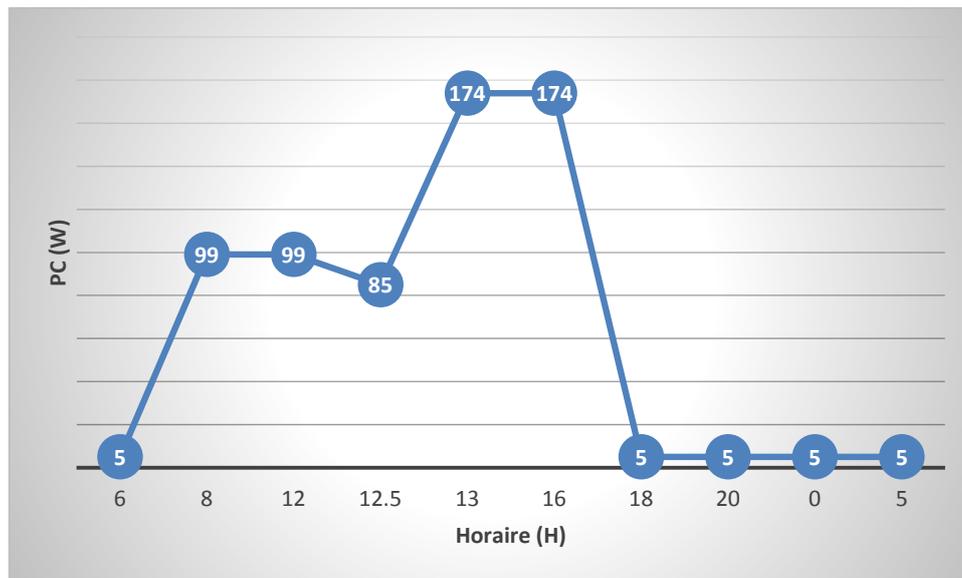
Tableau III.9 : description des fonctions sur l' écran LCD

➤ **Etude de la consommation de puissance chez INDIGO ENERGIE :**

Heure/Puissance	06H0	08H0	12H0	12H3	13H0	16H3	18h0	20H0	00H0	05H0
Puissance consommée (W)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puissance consommée (W)	5W	99 W	99 W	85 W	174 W	174 W	5 W	5W	5W	5W

**Tableau III.10 :** Consommation du bureau de la société pendant les 24H

➤ **Variation de la puissance :** à partir du **Tableau II.9** on peut tracer la courbe suivante :



**Figure III.14 :** graphique montre une consommation électrique de bureau

➤ **Commentaire :**

D'après les résultats obtenus on remarque une augmentation rapide de la consommation des puissances à partir de 08H suivie d'une stabilité relative et une légère diminution à partir de midi, puis la consommation remonte jusqu'à une valeur maximale puis une diminution brusque à partir de 16h

**III.3.4.4.2 Connexion de la batterie :**

➤ **Affichage des icônes à l'écran LCD**



Figure III.15 : Affichage l'écran LCD cas batterie

➤ Résultats obtenu

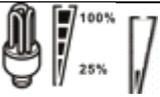
Icone	Description de la fonction
<b>BATT</b>	Indique l'entr ée Batterie
INPUTBATT 8.8.8 kW VA % Hz	Indique le courant d'entr ée 0A
OUTPUTBATTLOAD 8.8.8 kW VA % Hz	Indique la tension de sortie 228 V
	l'onduleur donnera l' état de charge de la batterie
	Indique le que l'onduleur DC / AC travaille.
	Indique le niveau de charge de 0-25 %

Tableau III.11 : description des fonctions sur l' écran LCD

➤ Commentaire

Cet onduleur hybride peut stocker l'énergie dans des batteries internes ou externes. Quand le réseau électrique n'est pas disponible, l'onduleur switche automatiquement en mode batterie pour une continuit é de courant

### **III.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié le système d'éclairage public autonome installé à Tazmalt et le système d'autoconsommation installé au bureau d'INDIGO ENERGIE Algérie.

D'après cette étude, on peut conclure que pour améliorer l'efficacité énergétique des systèmes d'éclairage photovoltaïque tout en garantissant des coûts de fabrication et d'installation compétitives, il est nécessaire d'utiliser à la fois des modules photovoltaïques à haut rendement ainsi que des batteries et des régulateurs de charges performants pour le stockage et la gestion de l'énergie, mais également il est indispensable d'appliquer des luminaires à haute efficacité énergétique (nombre de lumens/Watt).

## Conclusion générale

Malgré les immenses avantages du territoire algérien pour l'exploitation de l'énergie solaire autonome, peu de sociétés privées algériennes développent cette technologie. L'Algérie qui reste un des pays les plus ensoleillés du monde présente des potentialités exceptionnelles en matière d'énergie solaire, Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m<sup>2</sup>/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m<sup>2</sup>/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites.

Pour cela INDIGO ENERGIE Algérie a décidé de se lancer dans la fabrication des systèmes d'éclairage et se concentre sur des innovations qui apportent le meilleur rendement énergétique pour obtenir l'éclairage souhaité.

Les lampadaires sont disponibles en deux versions d'alimentation :

- Alimentation par le réseau public : avec un régulateur 220V AC/ 12 V DC
- Alimentation autonome : avec panneau solaire et batterie (plomb ou Lithium)

Notre stage pratique au sein de INDIGO ENERGIE Algérie, nous a été très formateur, ainsi qu'en tout points bénéfiques, en ce qui concerne la commodité et les conditions propices dont il s'est déroulé. On acquit de nombreuses informations dans le domaine de l'efficacité énergétique avec des LED à basse consommation (pour l'éclairage public), et des énergies renouvelables, avec des systèmes d'autoconsommation (production et stockage d'énergie, pour réduire la consommation sur le réseau).

Dans le premier chapitre, nous avons fait une étude bibliographique qui a permis de passer en revue les convertisseurs statiques dans l'éclairage public.

Le deuxième chapitre explique l'étude des luminaires à LED dans le cas réseau électrique et autonome ou on a montré l'avantage majeur pour une alimentation solaire (réduction du nombre de panneaux solaires, et de la capacité des batteries).

Le troisième chapitre est consacré à l'étude technique sur un éclairage public autonome à Tazmalt et les essais sur un système d'autoconsommation installé au sein de l'entreprise, afin de montrer l'impact des énergies renouvelables dans le cas autonome.

Par ailleurs, Pour une bonne mise en œuvre du projet, il est souhaitable que la partie algérienne entreprenne les démarches administratives et techniques pour la disponibilité des rues ciblées à accueillir les infrastructures solaires prévues.

### Bibliographie

- [1]: Documentation de SARL INDIGO ENERGIE Algérie.
- [2]: Dr.F.Bouchafaa, « Cours Électronique de puissance », [http : //www.usthb.com](http://www.usthb.com), 2008/2009.
- [3]: J.-P. Ferrieux and F. Forest. Alimentations à découpage { Convertisseurs à résonance. MASSON, second édition, 1994.
- [4]: G.S égurier, R. Bausière et F. Labrique ; Electronique de puissance ; Dunod ; 2009.
- [5]: Philippe LETENNEUR, «Les alimentations électrique », 2003-2004.
- [6]: Christian BISSIERES, « Conversion statiques des énergies, Physique Appliquée », <http://www.cbissprof.free.fr>.
- [7]: A. Boukaroura « Modélisation et diagnostic d'un onduleur triphasé par l'approche bondgraph », Mémoire magister en électrotechnique, Université Ferhat Abbas de Setif, 2009.
- [8]: Antonio Luque and Steven Hegedus, «Handbook of Photovoltaic Science and Engineering», John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [9]: Abdelhak Aziz. « Propriétés électriques des composants électroniques minéraux et organiques, Conception et modélisation d'une chaîne photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire ». Thèse de Doctorat, Université Toulouse, 2006.
- [10]: H. Maker, «Optimisation et gestion d'énergie pour un système hybride : association pile à combustible et super condensateurs » ; Thèse de doctorat, université Belfort Montbeliard, 2008.
- [11]: Théodore wildi «électrotechnique»,3<sup>e</sup> Edition, Ingénieur, Institut de recherche d'hydro Québec.2000
- [12]: G. S égurier, R. Bausière, F. Labrique «Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternative », Volume 4, Edition tec&doc, 1995.
- [13]: T. Wildi «Electrotechnique », 3<sup>ème</sup> édition de Boeck université 1999.
- [14]: ZEMOURI AZEDDINE, « ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CONVERTISSEUR DC/DC CONTROLER PAR UNE COMMANDE ROBUSTE », mémoire d'ingénieur, Université de Batna, 2014.
- [15]: M.Girard; Electronique industrielle ; La bayeusaine graphique ; 1992.
- [16]: [www.google.com/maps/place/INDIGOENERGIEAlgérie](http://www.google.com/maps/place/INDIGOENERGIEAlgérie)
- [17]: W.Xiao, «A Modified Adaptative Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control Method for Photovoltaic Power Systems », université de Columbia, 2003
- [18]: Physics of Semiconductor Devices, S.M. Sze, Kwok K. Ng

## Bibliographie

---

[19]: <http://www.unesco.org/education/photovoltaic/ledW.jpg>

[20]: Solid State Physics, Neil W. Ashcroft, N. Mermin

[21]: Fundamentals of semiconductors: Physics and materials properties, P.Y. Yu, Manuel Cardona

[22]: <http://cellule-photovoltaique.e-monsite.com/medias/images/bande-interdite-valence-et-conduction-copie.jpg>

[23]: A. Mahfoud et M. Fathi, « Etude et caractérisation des Luminaires à LEDs blanches appliqués à L'éclairage utilisant l'énergie photovoltaïque », U.D.E.S Unité de Développement des Equipements Solaires Route Nationale N°11, B.P 386 Bou-Ismaïl, Tipaza Algérie.

[24]: Loubna el ouadi et Tahar elbahri, « simulation des circuit des travaux pratiques sur le logiciel psim » ENSA KHOURIBGA école nationale des sciences appliquées.