



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR  
ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis  
Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la  
Technologie DEPARTEMENT  
DE GENIE ELECTRIQUE



N°d'ordre:M../GE/2024

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIEELECTRIQUE

**Filière :** Electrotechnique

**Spécialité :** Electrotechnique Industrielle

Par

Mr BOUHRIR MOHAMED MUSTAPHA

Mr CHEIKH TAHA ZAKARIA

### Conception et optimisation d'une Station de recharge de batterie de voiture électrique.

Soutenu le 30/06/2024 devant le jury composé de :

Président :	Mr BOUKORTT Abdelkader	P r	Université de Mostaganem
Examineur:	Mr MISSOUM Ibrahim	M C B	Université de Mostaganem
Rapporteuse:	Mme BOUTLILIS Fatima	M C A	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

## **Dédicaces**

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,  
nous dédions ce travail*

*À nos très chers parents qui nous ont soutenus tout au long de  
notre vie.*

*À tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

*À toute notre famille.*

## Remerciements

Toute notre parfaite gratitude et remercièrent à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Merci à notre encadrante **Mme Boutilis Fatima**. Elle a suggéré ce sujet intéressant et a partagé son expérience avec nous. Ses conseils avisés et la grande gentillesse avec laquelle elle nous a aidés nous ont laissé la liberté nécessaire pour accomplir ce travail.

Et on tient de remercier les membres des juries **Mr Boukortt** et **Mr missoum** pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous nos enseignants du secteur de l'ingénierie électrique.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés directement ou indirectement dans ce projet. La réalisation de ce projet marque la fin de nos études.

## ملخص

يركز هذا البحث النهائي على دمج الأنظمة الكهروضوئية في محطات شحن المركبات الكهربائية في الجزائر، بهدف تعزيز التنقل المستدام والصديق للبيئة. الهدف الرئيسي هو تصميم وتحسين البنية التحتية للشحن بكفاءة، مع مراعاة التطورات التكنولوجية المستقبلية. من خلال عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام برنامج هومر قريد يقيم هذا العمل الأداء الطاقوي والاقتصادي للتكوينات المقترحة المختلفة، بناءً على الظروف المناخية الخاصة بمناطق مثل مستغانم، البيض، وأدرار. وبالتالي، يساهم هذا البحث في تعزيز الطاقة المتجددة وتقليل البصمة الكربونية.

## كلمات مفتاحية

دمج الأنظمة الكهروضوئية - محطات شحن - المركبات الكهربائية - هومر قري

## **Abstract:**

This final study focuses on the integration of photovoltaic systems into electric vehicle (EV) charging stations in Algeria, aiming to promote sustainable and environmentally friendly mobility. The main objective is to design and optimize efficient charging infrastructures, taking into account future technological advancements. Through simulations conducted with the HOMER Grid software, this work evaluates the energy and economic performance of the various proposed configurations, based on the specific climatic conditions of regions such as Mostaganem, El Bayadh, and Adrar. This study thus contributes to the promotion of renewable energy and the reduction of the carbon footprint.

## **Keywords:**

integration of photovoltaic systems - charging stations -electric vehicles (EV) -HOMER Grid

## **Résumé:**

Ce mémoire de fin d'étude se concentre sur l'intégration des systèmes photovoltaïques dans les stations de recharge pour véhicules électriques (VE) en Algérie, en vue de promouvoir une mobilité durable et respectueuse de l'environnement. L'objectif principal est de concevoir et d'optimiser des infrastructures de recharge efficaces, en tenant compte des évolutions technologiques futures. À travers des simulations réalisées avec le logiciel HOMER Grid, ce travail évalue les performances énergétiques et économiques des différentes configurations proposées, en fonction des conditions climatiques spécifiques de régions comme Mostaganem, El Bayadh et Adrar. Ce mémoire contribue ainsi à la promotion des énergies renouvelables et à la réduction de l'empreinte carbone.

## **Mots-clés:**

l'intégration des systèmes photovoltaïques -stations de recharge- véhicules électriques (VE)-HOMER Grid.

## Liste des figures

Figure 1-1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV [3].....	4
Figure 1-2 : Diagramme de bandes d'énergie au voisinage de la jonction.....	5
Figure 1-3 : Distinction de terminologie.....	6
Figure 1-4 : : A gauche, la caractéristique d'une photodiode et à droite la caractéristique d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure 1-5 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV.....	7
Figure 1-6 Influence de la résistance série sur la caractéristique $I_{pv}$ ( $V_p$ ) .....	8
Figure 1-7 Influence de la résistance shunt sur la caractéristique $I_{pv}$ ( $V_p$ ) .....	9
Figure 1-8 Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $V_p$ ( $V_p$ ) [3].....	10
Figure 1-9 Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}$ ( $V_p$ ) à température .....	10
Figure 1-10 Influence de la température sur la caractéristique $P_v$ ( $V_p$ ) à un ensoleillement constant.....	10
Figure 1-11 Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}$ ( $V_p$ ) à un ensoleillement constant.....	11
Figure 1-12 : Protection par diode anti-retour .....	11
Figure 1-13 : Protection par diode by-pass.....	12
Figure 1-14 Régulateur solaire PWM.....	14
Figure 1-15 : Régulateur solaire MPPT .....	15
Figure 1-16 : L'onduleur.....	17
Figure 1-17 : Installation photovoltaïque autonome.....	18
Figure 1-18 Installation photovoltaïque couplée au réseau .....	19
Figure 2-2 : Borne de recharge double .....	22
Figure 2-1 Borne de recharge .....	22
Figure 2-3 : La courbe du processus de charge de la batterie. ....	23
Figure 2-4 : Schéma de recharge en Mode 1 pour véhicules électriques.....	25
Figure 2-5 : Schéma de recharge en Mode 2 pour véhicules électriques .....	25
Figure 2-6 : Schéma de recharge en Mode 3 pour véhicules électriques.....	26
Figure 2-7 : Schéma de recharge en Mode 4 pour véhicules électriques.....	26
Figure 2-8 : La prise de type 1.....	27
Figure 2-9 : La prise de type 2.....	27
Figure 2-10 : La prise de type 3.....	28
Figure 2-11 : : La prise type 2 fiches combinées. ....	29
Figure 2-12 : La prise de type 4 (CHAdeMO).....	29
Figure 2-13 : La prise de type .....	30
Figure 2-14 : Détail d'une prise mobile ' super charge ' de TESLA.....	30
Figure 2-15 : Détail d'un socle de recharge « Supercharger » de TESLA.....	31
Figure 2-16 : Exemples d'infrastructures de recharge développées par Schneider Electric .....	32
Figure 2-17 : Schéma électrique d'une borne de recharge.....	33
Figure 2-18 : schéma électrique d'une borne de recharge.....	33
Figure 2-19 : Circuit électrique de base du hacheur dévolteur.....	34
Figure 2-20 : Caractéristique de tension et des courants dans le transistor et L'inductance d'un convertisseur Buk .....	35
Figure 2-21 : Circuit électrique de base du hacheur survolteur.....	35
Figure 2-22 : Les caractéristiques de tension et du courant .....	36
Figure 2-23 : Circuit électrique de base du hacheur dévolteur-survolteur. ....	37

Figure 2-24 : Caractéristique du courant et de la tension de charge.....	37
Figure 2-25 : Convertisseur CC-CC avec isolation galvanique .....	38
. Figure 2-26 : Schéma fonctionnel du système.....	38
Figure 2-27 : Architecture de la borne de recharge.....	39
Figure 3-1 : Modèle conceptuel du logiciel HOMER Grid .....	45
Figure 3-2 : l'interface de logiciel HOMER Grid .....	45
Figure 3-3 : : les équipements du logiciel HOMER Grid .....	46
Figure 3-4 : les ressources du logiciel HOMER Grid .....	47
Figure 3-5 : Carte de l'irradiation solaire en Algérie .....	48
Figure 3-6 : Carte de Mostaganem sur Homer grid .....	49
Figure 3-7 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Mostaganem.	49
Figure 3-8 : Carte de El bayadh sur Homer grid .....	50
Figure 3-9 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à El bayadh.....	50
Figure 3-10 : Carte d'Adrar sur Homer grid .....	51
Figure 3-11 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Adrar.....	52
Figure 3-12 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à.....	52
Figure 3-13 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à El bayadh.....	53
Figure 3-14 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à Adrar .....	53
Figure 4-1 : Schéma bloc de la station de recharge VE alimentée par des panneaux .....	57
Figure 4-2 : Principe de fonctionnement en mode 1 de la station de recharge VE. ....	57
Figure 4-3 : Principe de fonctionnement en mode 2 de la station de recharge VE. ....	58
Figure 4-4 : Principe de fonctionnement en mode 3 de la station de recharge VE. ....	58
Figure 4-5 : Principe de fonctionnement en mode 4 de la station de recharge VE. ....	59
Figure 4-6 : Principe de fonctionnement en mode 5 de la station de recharge VE. ....	59
Figure 4-7 : profil annuel de la consommation d'énergie de la charge .....	60
Figure 4-8 : profil quotidien de la consommation d'énergie de la charge .....	61
Figure 4-9 : profil quotidien de la consommation d'énergie de la charge .....	62
Figure 4-10 : Profil Quotidien du Chargement des Véhicules Électriques dans les Stations de Recharge .....	62
Figure 4-11 : schéma du système avec charge .....	63
Figure 4-12 : Le Coût net present des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1 .....	65
Figure 4-13 : Le coût d'exploitation des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1 .....	65
Figure 4-14 : COE des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1.....	66
Figure 4-15 : Production mensuelle d'électricité par an du système solaire et du réseau électrique. (a) Mostaganem ; (b) Adrar ; (c) El bayadh.....	67
Figure 4-16 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de mostaganem.....	68
Figure 4-17 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de El bayadh.....	68
Figure 4-18 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de adrar.....	69
Figure 4-19 : schéma sans charge.....	69
Figure 4-20 : Le coût net present des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 2 .....	72

Figure 4-21 : Le coût d'exploitation des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 2 .....	72
Figure 4-22 : COE des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 2.....	73
Figure 4-23 : Production mensuelle d'électricité par an du système solaire et du réseau électrique sans charge. (a) Mostaganem ; (b) Adrar ; (c) El bayadh .....	74
Figure 4-24 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de Mostaganem.....	75
Figure 4-25 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de El bayadh .....	76
Figure 4-26 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de Adrar .....	76
Figure 4-27 : Émissions de CO2 des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans scénario 1.....	77



# Liste des tableaux

## CHAPITRE 3 :

Tableau 3 1 : paramètres pour le choix de logiciel – HOMER Grid.....	43
--	----

## CHAPITRE 4 :

Tableau 4-1 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Mostaganem - Scénario 1. ....	63
Tableau 4-2 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Adrar - Scénario 1. ....	63
Tableau 4-3 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à El bayadh - Scénario 1.....	64
Tableau 4-7 : Paramètre technique des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans le scénario 1.....	64
Tableau 4-4 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à El bayadh - Scénario 2.....	70
Tableau 4-5 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Mostaganem - Scénario 2. ....	70
Tableau 4-6 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Adrar - Scénario 2. ....	70
Tableau 4-7 : Paramètre technique des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans le scénario 2.....	71

## Liste des abréviations

Abréviation	Expression Complète
DC	Direct current
AC	Alternating current
PV	photovoltaic
PN	Positive Negative
WV	Working voltage
AM	Amplitude Modulation
GPV	Photovoltaic Generator
STC	Standard Test Conditions
FF	Form Factor
IPV(VP)	Photovoltaic Short Circuit Current
Rs	Series Resistance
Icc	Short circuit current
IPH	current produced by Photovoltaic
VP	Voltage Point
SOC	State of charge
SOH	State of health
EV	Electric vehicle
PMV	Pulse Width Modulation (PWM)
MPPT	Maximum power point tracking (MPPT)
VMP	Voltage at Maximum Power Point
MLI	Microinverter with Individual Connection
CV	Constant voltage charge
CC	constant current charge

CCS	Combined charging system
AFE	Analog Front End
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors
RC	Résistance-Capacity
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
NPC	Net present cost
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxyde
COE	Cost of electricity
LCOE	Levelised cost of electricity

# Table des matières

<b>CHAPITRE 1: généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque .....</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction : .....	2
1.2 Générateur photovoltaïque .....	3
1.3 Principe de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque .....	4
1.4 Caractéristiques et modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	6
1.5 Influence des paramètres internes et externes sur la caractéristique $I_{pv}(V_p)$ d'une cellule photovoltaïque.....	8
1.5.1 Paramètres internes : .....	8
1.5.2 Paramètres externes : .....	9
1.6 Les différentes technologies de fabrication de cellules .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.7 Déséquilibre dans un générateur PV : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.8 Protection des modules PV : .....	11
1.8.1 Protection par diode anti-retour : .....	11
1.8.2 Protection par diode by-pass : .....	12
1.9 Système de stockage (batteries) .....	12
1.9.1 Les types de batteries .....	12
1.9.2 Charge et décharge.....	13
1.10 Le régulateur de charge : .....	14
1.11 Les types de régulateur de charge .....	14
1.11.1 Le régulateur « PWM » (Pulse Width Modulation).....	14
1.11.2 Le régulateur « MPPT » « Maximum Power Point Trac King » .....	15
1.12 Convertisseur : .....	15
1.12.1 CONVERTISSEURS DC/DC : .....	16
1.12.2 Onduleurs DC/AC : .....	16
1.13 Systèmes photovoltaïques .....	17
1.14 Les différents types de systèmes photovoltaïques : .....	17
1.14.1 Systèmes PV autonomes : .....	18
1.14.2 Systèmes couplés au réseau : .....	18
1.15 Objectif de notre travail : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.15.1 Situation de borne de la recharge en Algérie : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.16 Problématique de l'Infrastructure de Recharge pour Véhicules Électriques en Algérie : <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
1.17 Conclusion : .....	19

<b>CHAPITRE 2 présentation du système de recharge pour VE.....</b>	<b>21</b>
2.1 Introduction : .....	21
2.2 Bornes de recharges : .....	22
2.3 Présentation des bornes de recharges : .....	22
2.3.1 Méthode de charge CC : .....	23
2.3.2 Méthode de charge CV : .....	24
2.4 Les différents types pour les bornes de recharges : .....	24
2.4.1 Recharge lente avec du courant alternatif à 3 kW : .....	24
2.4.2 Recharge accélérée toujours en courant alternatif mais à 22 kW : .....	24
2.4.3 Recharge rapide depuis du courant continu à 43 kW : .....	24
2.5 Les modes de recharge de véhicule électrique.....	25
2.6 Les types de prises de recharge pour véhicules électriques : .....	27
2.7 Bornes « Supercharger » de TESLA.....	30
2.8 Choix de l'emplacement – Bornes publiques : .....	31
2.9 Les schémas électriques d'une borne de recharge .....	32
2.9.1 Redresseur secteur à front actif (AFE mains rectifier) .....	33
2.9.2 Les convertisseurs DC/DC.....	33
2.10 Le hacheur dévolteur (Buck).....	34
2.11 Le hacheur survolteur (Boost).....	35
2.12 Le convertisseur Buck-Boost.....	36
2.12.1 Convertisseur CC-CC avec isolation galvanique : .....	37
2.13 Système proposé .....	38
2.14 Conclusion : .....	39

**CHAPITRE 3 : Analyse des conditions d'ensoleillement et de température pour les choisis par le Logiciel HOMER Grid ..... Erreur ! Signet non défini.**

3.1 Introduction : .....	42
3.2 Présentation du Logiciel HOMER GRID .....	43
3.3 Présentation du Logiciel HOMER Grid.....	44
3.4 Fonctionnement de HOMER Grid: .....	44
3.5 Méthode générale d'utilisation HOMER Grid .....	45
3.5.1 Définition du site.....	46
3.5.2 Définition du système : .....	46
3.5.3 Définir les ressources .....	46
3.6 Simulation et résultats.....	47
3.7 Simulation d'un système PV .....	47
3.7.1 Description du site sélectionné .....	48
· Mostaganem : .....	48
· El bayadh : .....	49
· Adrar : .....	50
3.8 La température: .....	52
3.9 Conclusion .....	54

## Chapitre 4 : Simulations du système , Résultats et interprétations....Erreur ! Signet non défini.

4.1	Introduction :.....	56
4.2	Composants de la Station de Recharge Solaire pour Véhicules Électriques .....	56
4.2.1	Configuration et Principe de Fonctionnement .....	56
4.3	Les modes de fonctionnement de la station de recharge VE alimentée par des panneaux photovoltaïques sont les suivants :.....	57
4.4	Scénario choisis pour le système .....	60
4.5	Énergie électrique consommée annuellement par la charge .....	60
4.6	Énergie électrique consommée quotidiennement par la charge .....	60
4.7	Chargement des véhicules électrique dans les stations annuellement .....	61
4.8	Chargement des véhicules électrique dans les stations quotidiennement .....	62
4.1	Schéma avec charge .....	62
4.1.1	Scénario 1: le système avec une charge .....	63
4.1.2	Impact de la Radiation Solaire sur les Stations de Recharge VE avec charge : .....	64
4.1.3	Le NPC et le coût d'exploitation : .....	65
4.1.4	Coût de la recharge électrique photovoltaïque :.....	66
4.2	Production d'électricité dans les Stations de Recharge .....	66
4.3	Économies Cumulatives d'un Système Hybride par Rapport au Cas de Base dans Trois Villes	68
4.4	Schéma sans charge .....	69
4.5	Scénario 2: le système sans charge: .....	70
4.5.1	Production d'électricité dans Stations de Recharge VE sans charge :.....	71
4.6	Le NPC et le coût d'exploitation sans charge .....	72
4.6.1	Coût de la recharge électrique photovoltaïque :.....	73
4.7	Dépendance à l'Énergie Solaire pour les Stations de Recharge en Algérie : .....	74
4.8	Économies et Rentabilité d'un Système Hybride par Rapport au Cas de Base sans Charge dans Trois Villes .....	75
4.9	Facteur d'émission de CO <sub>2</sub> de l'électricité en Algérie : .....	76
4.10	Conclusion entre Scénario 1 et Scénario 2.....	77
4.11	Conclusion .....	78

## **Introduction Générale**

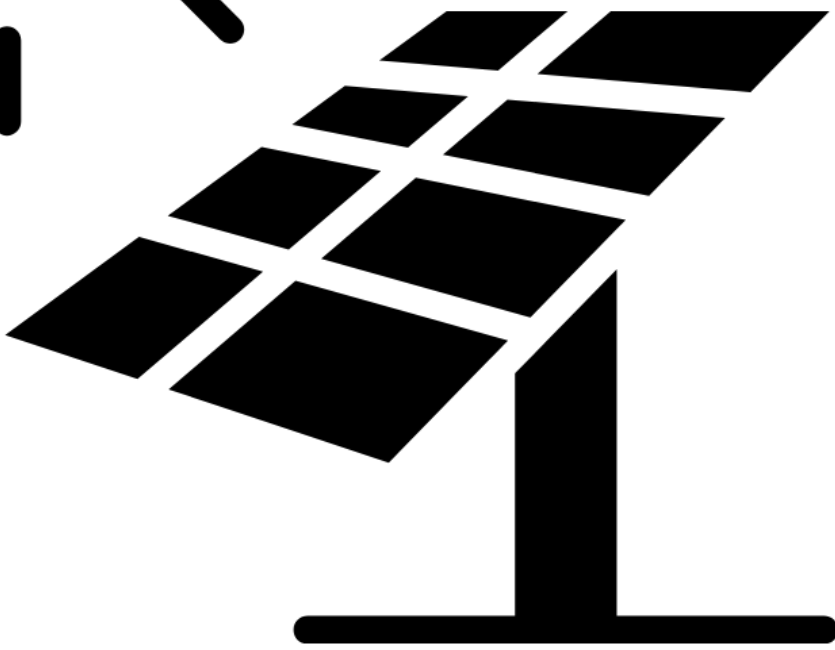
L'essor des véhicules électriques (VE) représente une avancée majeure dans la transition vers une mobilité plus durable et respectueuse de l'environnement. Cependant, le déploiement à grande échelle des VE pose des défis considérables, notamment en ce qui concerne l'infrastructure de recharge. Une infrastructure de recharge efficace et fiable est essentielle pour soutenir l'adoption des VE et assurer leur fonctionnement optimal .

Ce mémoire de fin d'étude s'inscrit dans cette dynamique en se focalisant sur la conception et l'optimisation des stations de recharge pour véhicules électriques (VE) alimentées par des systèmes photovoltaïques. L'objectif principal est de développer une solution qui non seulement répond aux besoins actuels des utilisateurs de VE, mais qui est également adaptable aux évolutions technologiques futures.

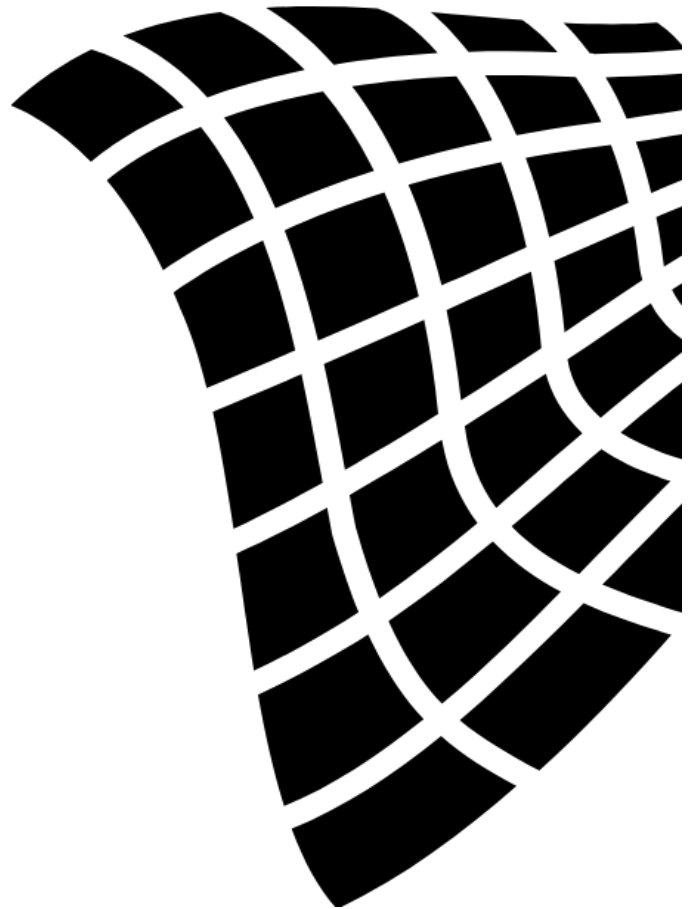
Nous analyserons les différentes technologies de recharge disponibles, leurs avantages et inconvénients, ainsi que les défis techniques et logistiques associés à leur mise en œuvre. Nous nous pencherons également sur l'intégration des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, dans le système de recharge, afin de maximiser l'impact environnemental positif des VE. Les simulations effectuées avec le logiciel HOMER Grid permettront d'évaluer les performances énergétiques et économiques des configurations proposées, en tenant compte des conditions d'ensoleillement et de température spécifiques pour différentes régions en Algérie, telles que Mostaganem, El Bayadh et Adrar.

Ce mémoire se structure en plusieurs chapitres, chacun abordant un aspect spécifique de la problématique. Le premier chapitre présente les concepts fondamentaux de l'énergie solaire photovoltaïque et des technologies associées. Le deuxième chapitre se concentre sur les infrastructures de recharge pour VE, détaillant les types de bornes et les modes de recharge. Le troisième chapitre analyse les données climatiques et environnementales cruciales pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Enfin, le dernier chapitre propose des configurations optimales pour les stations de recharge, basées sur les résultats des simulations

Ce travail vise à contribuer à la promotion des énergies renouvelables en Algérie, en offrant des solutions pratiques et viables pour le développement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques, tout en réduisant l'empreinte carbone et en optimisant les coûts.



**Chapitre I : Généralité Sur L'énergie  
Solaire photovoltaïque**





# **CHAPITRE 1: généralité sur l'énergie solaire**

## **photovoltaïque**

### **1.1 Introduction :**

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis maintenant plus de dix années, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40% par an.

Cette croissance galopante est due principalement aux différentes utilisations des systèmes photovoltaïques. Elle se traduit notamment par d'importantes innovations technologiques et une baisse de coût des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque représente une avancée majeure dans le domaine de la mobilité, notamment en ce qui concerne les véhicules électriques. Elle permet de réduire l'utilisation du carbone et de réaliser des économies d'énergie. En utilisant l'énergie solaire, il est possible de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de favoriser un approvisionnement énergétique plus durable

Ce chapitre présentera les différents composants d'une station de recharge solaire photovoltaïque pour convertir la lumière du soleil en électricité et charger les véhicules électriques.

La première partie sera consacrée à la description des technologies photovoltaïques, la modélisation photovoltaïque, et l'influence de l'association des modules (en série, en parallèle et série/parallèle).

La deuxième partie sera réservée à la description des composants de conditionnement de l'énergie photovoltaïque tel que les régulateurs de charges, les batteries ainsi que les convertisseurs (DC/DC) hacheur et les convertisseurs (DC/AC) (onduleur).

### **1.2 Objectif de notre travail :**

L'objectif de nos travaux est de contribuer au développement d'une mobilité durable dans un pays d'Afrique du Nord, en réduisant les émissions de dioxyde de carbone issues du secteur des transports. Selon les chiffres officiels, ce secteur est responsable de l'émission annuelle de 20 millions de tonnes de dioxyde de carbone. Dans le cadre du Programme National de Transition Énergétique, mon objectif est de mettre en œuvre une initiative visant à apporter des solutions de mobilité plus respectueuses de l'environnement. Cela comprend la création de stations de recharge pour les véhicules électriques, en plus de l'introduction d'autres sources d'énergie renouvelables. En réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles et en encourageant l'utilisation de véhicules électriques et d'autres moyens de transport plus durables, nous pouvons contribuer à préserver l'environnement, réduire les émissions de dioxyde de carbone et promouvoir un avenir énergétique plus propre et plus durable pour notre pays.

### **1.2.1 Situation de borne de la recharge en Algérie :**

En Algérie, le développement des infrastructures pour les véhicules électriques connaît une accélération significative.

En 2023, le pays prévoit l'installation de 300 bornes de recharge. Celles-ci seront principalement placées dans les stations Naftal sur les autoroutes, avec 35 stations équipées de deux bornes chacune. De plus, 19 stations dans les grandes villes disposeront d'une moyenne de huit bornes par station, tandis que 39 stations dans les petites villes auront deux bornes chacune. Le coût total pour 2023 est estimé à environ 15 milliards de dinars algériens.

En 2024, le programme prévoit l'installation de 700 bornes supplémentaires, portant le total à 1 000 bornes de recharge d'ici la fin de l'année. Ce projet vise à soutenir la transition énergétique et à promouvoir les véhicules électriques en Algérie[2]

### **1.3 Problématique de l'Infrastructure de Recharge pour Véhicules Électriques en Algérie :**

La problématique de l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques en Algérie réside dans plusieurs défis. Le programme prévoit l'installation de 1 000 bornes d'ici fin 2024, avec 300 bornes en 2023 et 700 en 2024. Cependant, la mise en œuvre logistique et technique de cette installation à grande échelle est complexe. Le coût total du projet, estimé à 15 milliards de dinars algériens, représente un défi financier majeur. De plus, l'acceptation par le public et l'utilisation de sources d'énergie renouvelable pour alimenter ces bornes sont cruciales pour garantir la durabilité de cette initiative. Promouvoir les énergies renouvelables et assurer une transition énergétique efficace sont essentiels pour maximiser les bénéfices environnementaux de ce programme. [2]

### **1.4 Générateur photovoltaïque**

L'énergie solaire fait appel à la ressource la mieux partagée : le rayonnement solaire. L'énergie solaire peut être récupérée de deux façons : le photovoltaïque pour la production d'électricité et la thermique pour la production de chaleur. Il est à noter que l'homme consomme, aujourd'hui, une énergie correspondant à 1/8000ème de l'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre. Mais notre intérêt porte sur la première forme de conversion. [1]

## 1.5 Principe de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque

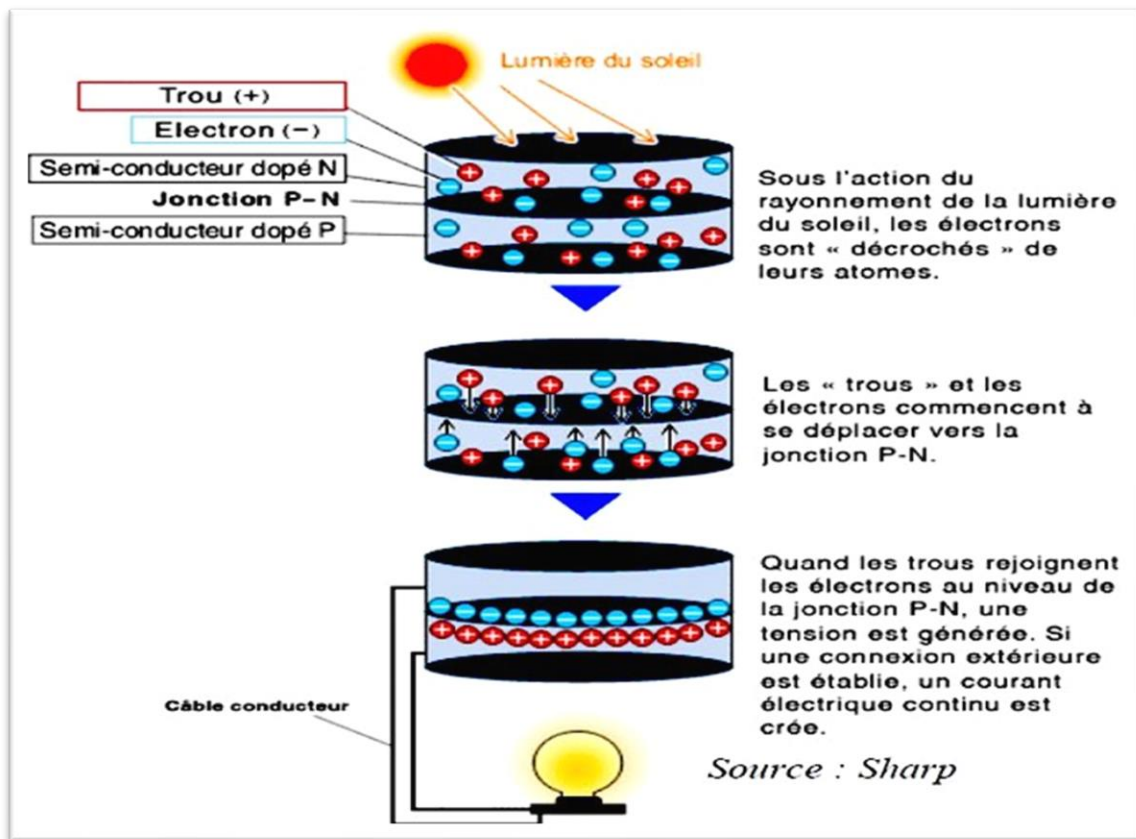


Figure 0-1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV [3]

Le phénomène de conversion photovoltaïque est dû à la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière, selon le concept décrit ci-après :

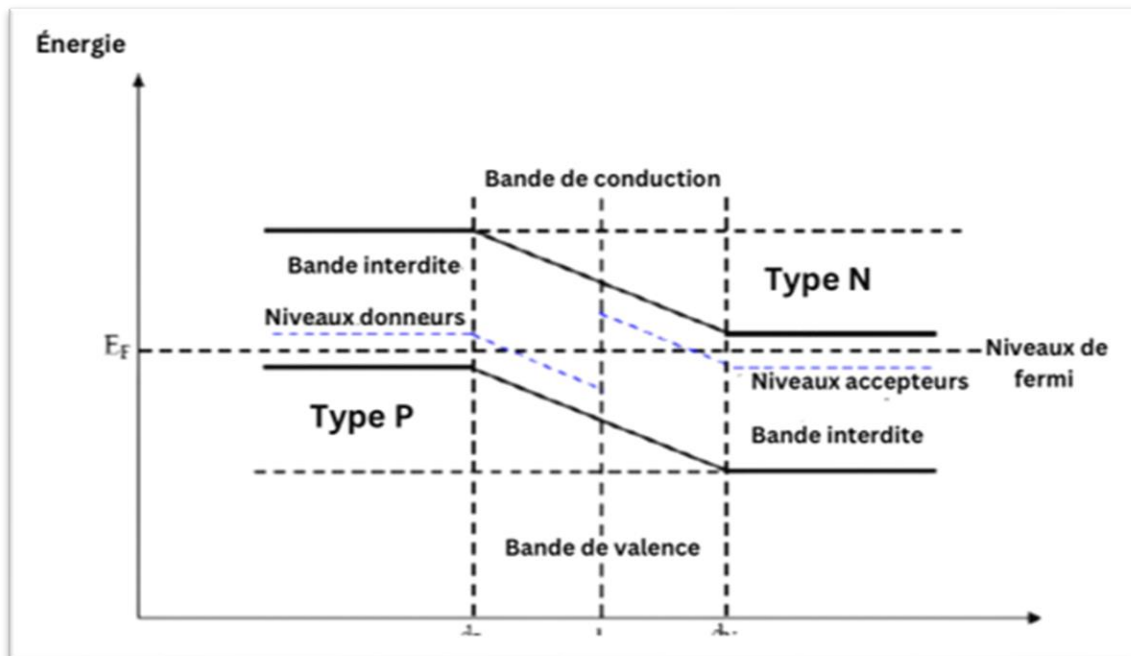
Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique l'effet photovoltaïque soit la technologie associée. Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Son principe réside en une collision des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie

$$W_{ph} = h * \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

Avec  $c$  la célérité de la lumière,  $\lambda$  la longueur d'onde et  $h$  la constante de Planck.

Si cette énergie est supérieure ou égale à l'énergie de gap  $E_g = E_c - E_v$  de ce semi-conducteur, l'électron passe de la bande de valence  $E_v$  à la bande de conduction  $E_c$  en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition des paires électron-trou dans différents points de la jonction [2]. Donc toute particule minoritaire près de la jonction a une probabilité très forte pour la traverser et la jonction s'oppose uniquement au passage des porteurs majoritaires. Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons de valence ont tendance à être " arrachés

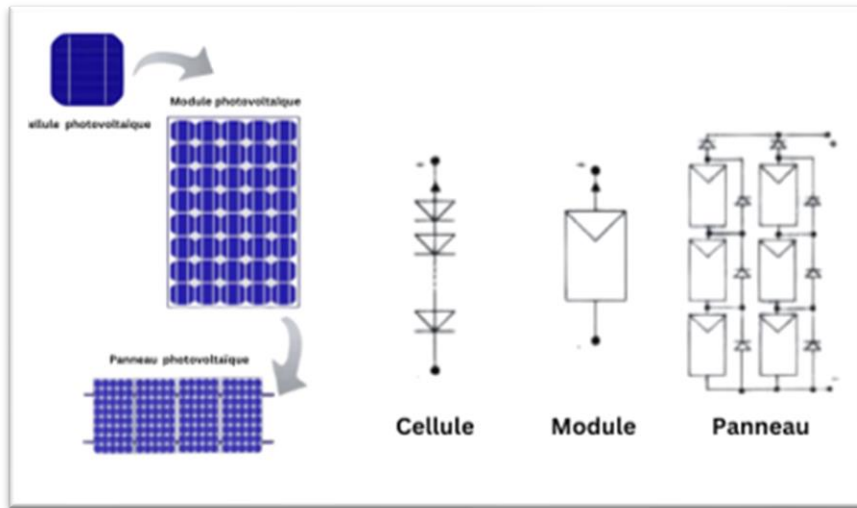
/ décrochés: si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. [3]



**Figure 0-2 : Diagramme de bandes d'énergie au voisinage de la jonction**

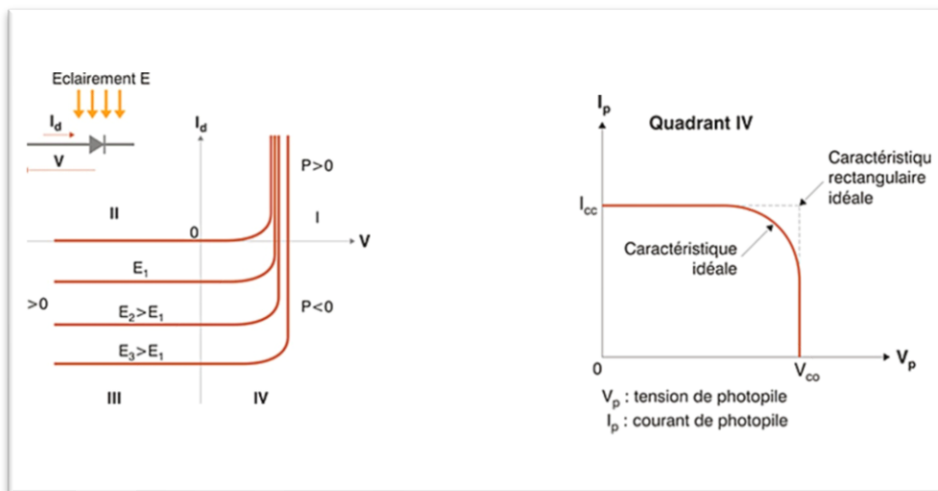
La puissance des modules PV s'exprime en Watts-crête (Wc) ou en Watts-peak (Wp). Cette dernière représente la puissance que peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale) sous les conditions standards (un spectre AM 1.5 sous un éclairement de 1000 [W/m<sup>2</sup>] et une température de la cellule de 25 [°C]) de fonctionnement.

Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque. Plusieurs panneaux qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque ou générateur photovoltaïque GPV[3]



**Figure 0-3 : Distinction de terminologie**

### 1.6 Caractéristiques et modélisation d'une cellule photovoltaïque



**Figure 0-4 : : A gauche, la caractéristique d'une photodiode et à droite la caractéristique d'une cellule photovoltaïque**

Les caractéristiques de la simple cellule sont celles d'une photodiode, mais en convention générateur. Elles sont données par la figure suivante :

Une cellule PV peut donc se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série  $r_s$  et shunt  $r_{sh}$ , tel que le montre le schéma électrique équivalent de la figure (I.5). La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière. La résistance shunt est une

conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule, elle est réduite à la suite de pénétration des impuretés métalliques dans la jonction.

(surtout si elle est profonde), lors du dépôt de la grille métallique ou des prises de contacts sur la face diffusée de la cellule [4] .

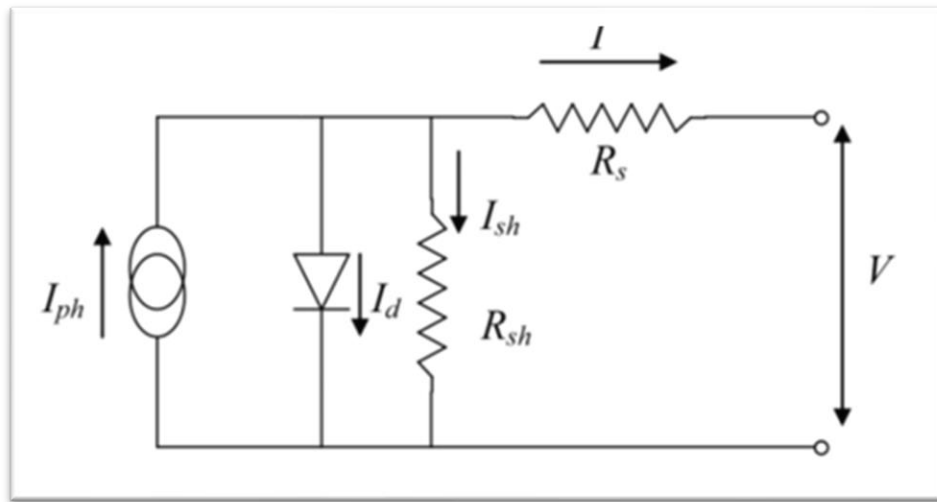


Figure 0-5 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

Où :

$r_{sh}$  : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction ;

$r_s$  : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions ;

$i$  : le courant fourni par la cellule et  $v$  la tension à ses bornes ;

$I_{ph}$  : le photocourant,  $i_d$  : le courant parcourant la diode et  $i_r$  celui parcourant la résistance shunt.

Donc on a :

$$i = i_{ph} - i_r - i_d \quad (1.2)$$

$$i_r = \left( \frac{V + r_s \cdot i}{R_p} \right) \quad (1.3)$$

$$i_d = I_0 \cdot \left( \exp \left( \frac{V + i r_s}{n \cdot V_t} \right) - 1 \right) \quad (1.4)$$

$$V_t = \frac{K \cdot T}{q} \quad (1.5)$$

Avec :

$i$  : Le courant fourni par la cellule ;

$i_{ph} = I_{sc} \cdot \left( \frac{G}{1000} \right)$ : Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G) ;

$I_0$  : Le courant de saturation de la diode ;

$V_t$ : Tension thermique à la température T

K : constante de Boltzmann ( $1,381 \cdot 10^{-23}$  Joule/Kelvin) ;

$q$  : Charge d'électron =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C ;

$n$ : Le facteur de qualité de diode ;

T: La température de cellule en kelvin.

Il est à noter que ce modèle ne tient pas compte de l'effet de la température, un modèle plus complet sera proposé dans le chapitre 1.

Une cellule réelle peut être caractérisée par les paramètres principaux présentés par la figure I.6:

Le courant de court-circuit  $I_{cc}$ : C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle.

Tension du circuit ouvert : C'est la tension  $V_{co}$  pour laquelle le courant débité par le générateur PV ou la cellule est nul.

Puissance optimale : La puissance maximale ( $P_m = V_m \times I_m$ ), que peut fournir une cellule ou un panneau photovoltaïque dans les conditions STC.

Quant au facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage, ou " fill factor ", il nous renseigne sur la performance des cellules et est défini par :

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot I_{co}} \quad (1.6)$$

Le rendement est donné par la formule :  $\eta_{STC} = \frac{P_m}{E \cdot S}$  (1.7)

E : L'éclairement ( $W/m^2$ )

S : la surface de la cellule ( $m^2$ )

## 1.7 Influence des paramètres internes et externes sur la caractéristique $I_{pv}(V_p)$ d'une cellule photovoltaïque.

### 1.7.1 Paramètres internes :

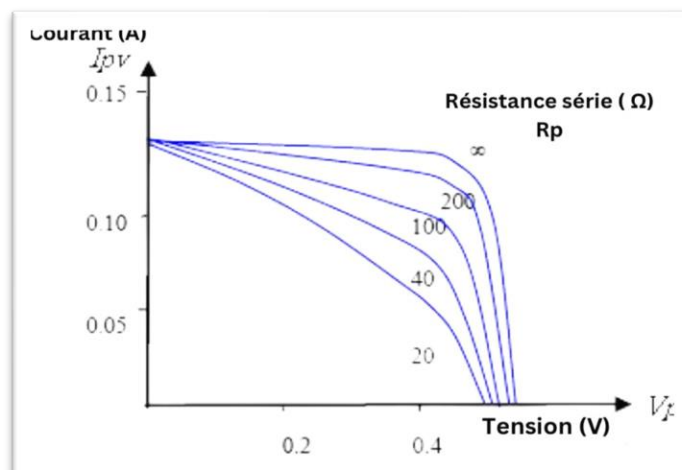


Figure 0-6 Influence de la résistance série sur la caractéristique  $I_{pv}(V_p)$

### 1.5.1.1 Influence de la résistance série et parallèle :

Les figures (I.6 et I.7) montrent l'influence de la résistance série et parallèle sur la caractéristique  $I_{pv}(V_p)$ . [10]

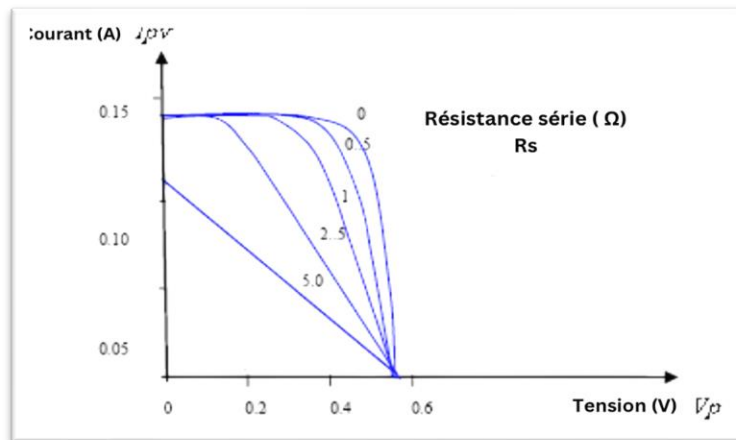


Figure 0-7 Influence de la résistance shunt sur la caractéristique  $I_{pv}(V_p)$

La Figure (I.6) traduit l'influence de la résistance série sur la caractéristique de la cellule. On observe notamment la diminution de la pente de  $V_p(I_{pv})$  dans la zone où la cellule fonctionne comme générateur de tension pratiquement constant. Mais lorsque ( $R_s$ ) est anormalement élevée, la résistance série diminue notablement le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ).

Comme on le voit sur la figure (I.7), la résistance shunt se traduit par une diminution légère de la tension de circuit-ouvert, et une certaine augmentation de la pente de la caractéristique de la cellule dans la zone où elle fonctionne en générateur de courant presque constant. [6]

### 1.7.2 Paramètres externes :

#### 1.5.2.1 Influence de l'ensoleillement et de la température

Le courant produit par la cellule photovoltaïque ( $I_{ph}$ ) est pratiquement proportionnel à l'éclairement solaire ( $E$ ). Par contre, sa tension ( $V_p$ ) reste quasi constante. La tension de circuit ouvert ne diminue que légèrement avec l'éclairement. Ceci implique que la puissance de la cellule est aussi proportionnelle à l'éclairement (voir Figure (I.8, I.9)). [3]



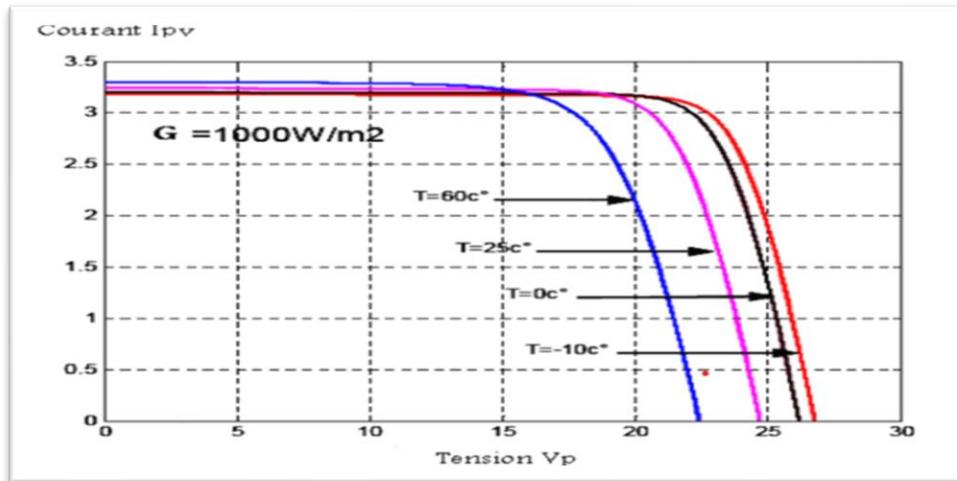


Figure 0-8 Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique  $V_p$  ( $V_p$ ) [3]

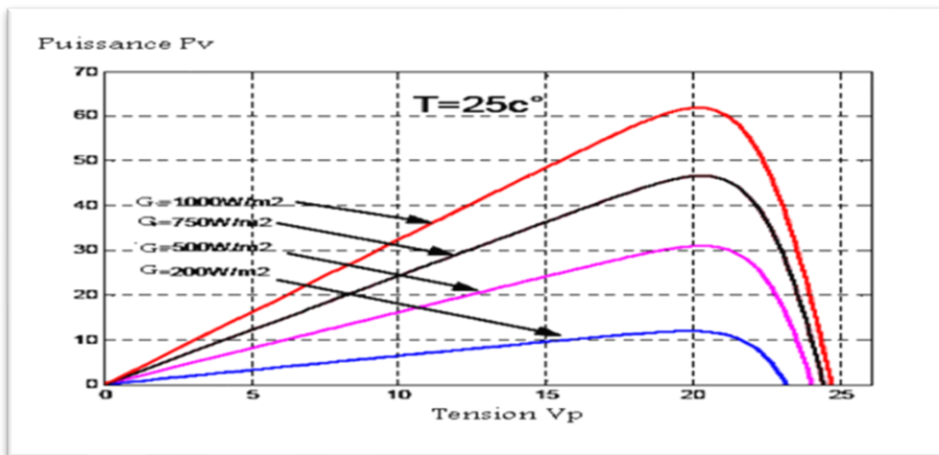


Figure 0-9 Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique  $I_{pv}$  ( $V_p$ ) à température

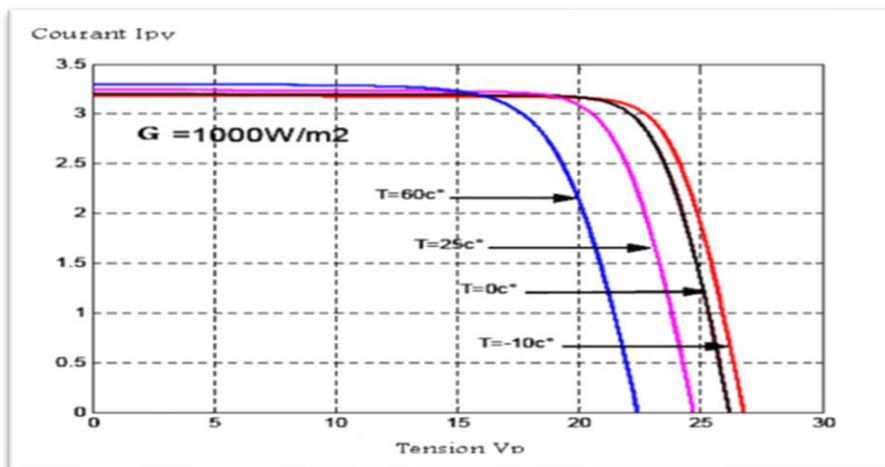


Figure 0-10 Influence de la température sur la caractéristique  $P_v$  ( $V_p$ ) à un enssoleillement constant

Lorsque la température change, on peut observer que la tension change considérablement alors que le courant reste pratiquement constant. On en déduit que la puissance de sortie de la cellule solaire dépend aussi de la température. [3]

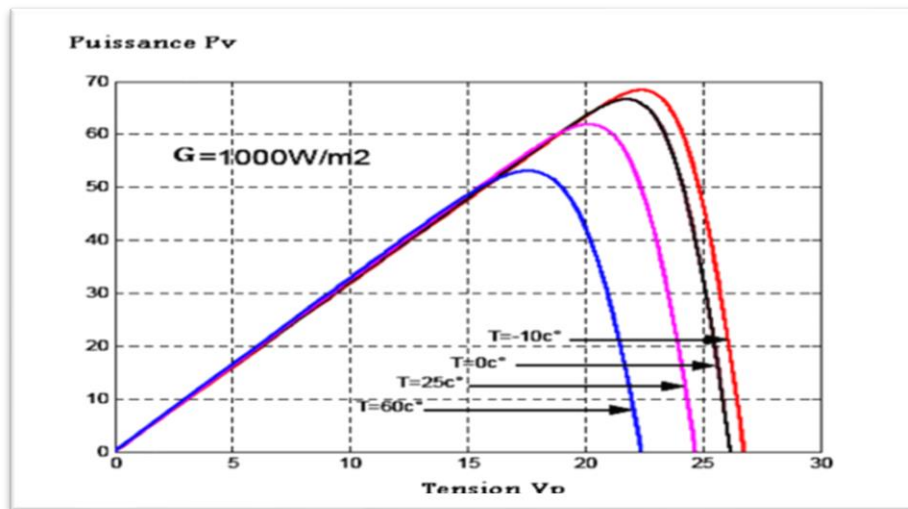


Figure 0-11 Influence de la température sur la caractéristique  $I_{pv}$  ( $V_p$ ) à un ensoleillement constant

## 1.8 Protection des modules PV :

### 1.8.1 Protection par diode anti-retour :

Comme son nom l'indique, cette diode sert à empêcher un ensemble de cellules connectées en série dans une branche d'un générateur PV de recevoir l'énergie électrique provenant d'autres branches mises en parallèle. Elle protège aussi le générateur PV contre le retour de l'énergie stockée dans les batteries lors des conditions atmosphériques défavorables ou durant la nuit. [7]

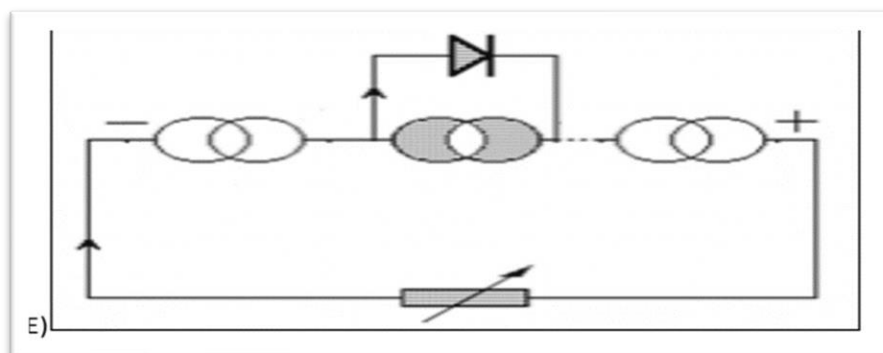


Figure 0-12 : Protection par diode anti-retour

## 1.8.2 Protection par diode by-pass :

Les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairage n'est pas homogène, évitant ainsi l'échauffement de la cellule, ce qui est susceptible de la détruire par claquage. Il convient donc de limiter la tension inverse maximale susceptible de se développer aux bornes d'une cellule en plaçant une diode parallèle (by-pass) au niveau d'un groupe de cellules. La diode parallèle limite la tension inverse par sa tension directe, puisqu'elle devient passante[9]

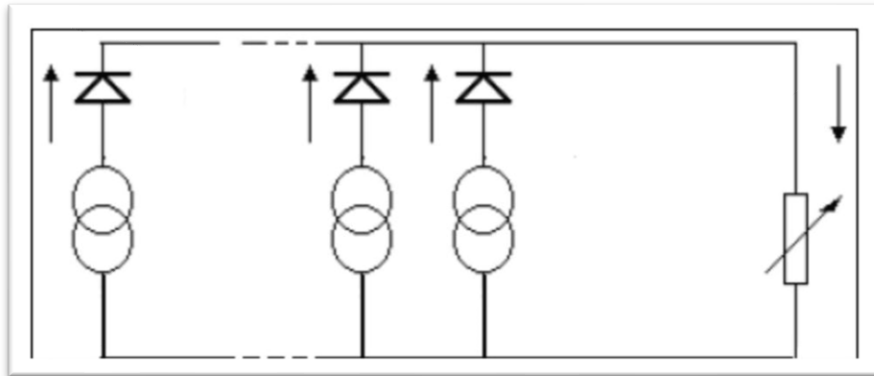


Figure 0-13 : Protection par diode by-pass

## 1.9 Système de stockage (batteries)

### Définition

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge.

### 1.9.1 Les types de batteries

#### 1. Batteries au plomb-acide

La batterie au plomb-acide, étant la plus ancienne, reste l'une des plus couramment utilisées pour le stockage de l'énergie solaire. Ces batteries, dotées d'un électrolyte liquide, sont constituées de deux électrodes immergées dans de l'acide sulfurique dilué. Une batterie au plomb se compose de plusieurs cellules d'accumulateurs connectées en série [5]

#### 2. Batterie au Nickel-cadmium

La batterie au nickel-cadmium a été utilisée pendant de nombreuses années. Cependant, elle est progressivement remplacée par des technologies plus avancées en raison des problèmes environnementaux qu'elle pose, notamment à cause du cadmium, un métal toxique.

### 3. Batterie au Lithium-ion

Les batteries au lithium-ion gagnent en popularité pour le stockage de l'énergie solaire grâce à leur haute densité énergétique, leur longue durée de vie et leur faible taux d'autodécharge. Elles sont couramment utilisées dans des applications à basse puissance, telles que les ordinateurs portables, les tablettes et les téléphones portables. [5.15]

### 4. Batteries au sodium-ion

Les batteries au sodium-ion représentent une alternative prometteuse aux batteries au lithium-ion. En utilisant du sodium comme matériau actif au lieu du lithium, elles offrent un potentiel de coût réduit et une plus grande abondance de ressources. Cependant, leur développement est encore en cours, et elles ne sont pas encore largement disponibles sur le marché.

#### 1.7.1.1 Les caractéristiques des batteries

- A. **Capacité** : Quantité d'électricité (Ah) disponible lors de la décharge, calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge.
- B. **Tension de la batterie** : Tension électrique entre les bornes pendant la décharge.
- C. **Tension en circuit ouvert** : Tension électrique aux bornes lorsque le courant de décharge est nul.
- D. **Profondeur de décharge** : Pourcentage de la capacité initiale pouvant être retiré sans réduire la durée de vie.
- E. **État de charge (SOC)** : Pourcentage de la capacité initiale restant dans la batterie.
- F. **État de santé (SOH)**: Rapport entre la capacité actuelle et la capacité initiale de charge, batterie en fin de vie si  $< 80\%$ .
- G. **Durée de vie** : Durée totale de la vie active en fonctionnement.
- H. **Température** : Température de l'électrolyte provoquant la réaction chimique.
- I. **Vie de tablette** : Période entre la fabrication et la mise en service. [7]

#### 1.9.2 Charge et décharge

Le courant de charge est le courant électrique fourni à la batterie et emmagasiné par celle-ci. À l'instar d'un réservoir qui se remplit plus ou moins rapidement en fonction du débit du tuyau, une batterie se charge à une vitesse variable en fonction du débit du courant de charge. Lorsqu'une charge connectée utilise l'énergie stockée dans la batterie, celle-ci se décharge. L'intensité du courant de décharge correspond au débit de la batterie. La quantité d'énergie consommée sur une période donnée

peut être calculée en multipliant l'intensité du courant de décharge par la durée de fonctionnement de la charge. [15]

### 1.10 Le régulateur de charge :

Le rôle principal du régulateur de charge est en effet de surveiller l'état de la batterie et de garantir sa protection. Plusieurs seuils de protection sont mis en place pour différents types de situations, tels que la surcharge, la décharge profonde, la température de fonctionnement, les courts-circuits, etc. Les régulateurs de charge de nouvelle génération sont de plus en plus sophistiqués, offrant ainsi un éventail croissant de fonctionnalités avancées et étendues. Ainsi, cet appareil gère le flux d'électricité des panneaux vers les batteries ou le chargeur EV. Cela garantit que les batteries des voitures ne sont pas surchargées et que le processus de charge est efficace [6]

### 1.11 Les types de régulateur de charge

#### 1.11.1 Le régulateur « PWM » (Pulse Width Modulation)

Certains régulateurs utilisent une technique appelée modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour contrôler la charge de la batterie. Cette méthode ajuste le rapport cyclique du signal PWM en fonction de l'énergie nécessaire pour recharger la batterie à une tension constante. Contrairement à une approche binaire "tout ou rien", cette méthode est plus subtile. Dans le cas des régulateurs solaires traditionnels utilisant la technologie PWM, ils sont utilisés pour connecter les panneaux solaires à la banque de batteries. Dans cette configuration, la tension de sortie des panneaux solaires est réduite à la tension nominale des batteries pour permettre une charge appropriée [9]



Figure 0-14 Régulateur solaire PWM

### 1.11.2 Le régulateur « MPPT » « Maximum Power Point Trac King »

Le convertisseur de tension, également connu sous le nom de convertisseur DC-DC, joue un rôle essentiel en permettant d'exploiter au maximum l'énergie produite par les modules photovoltaïques, même en présence de variations de production. Son fonctionnement repose sur l'ajout d'un étage intermédiaire entre le module PV et la batterie.

Les régulateurs MPPT (Maximum Power Point Tracking) sont chargés de suivre la tension VMP des modules solaires. Ils balayent une plage de tensions en entrée afin de déterminer en permanence le point de puissance maximale délivrée par les modules. Le régulateur MPPT prélève ensuite cette puissance à la tension VMP et la redirige vers les batteries en utilisant une tension plus basse. Cette opération a pour effet d'augmenter le courant de charge. [11 ]

La puissance étant égale au produit de la tension et du courant, si la tension est réduite, le courant augmente nécessairement pour maintenir le rapport d'entrée/sortie constant. Ainsi, en atteignant un rendement de 100%, la puissance d'entrée est égale à la puissance de sortie.

En résumé, le convertisseur de tension et les régulateurs MPPT permettent d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire en ajustant la tension de sortie des panneaux pour maximiser la puissance transmise aux batteries, tout en maintenant un rendement élevé. [9]

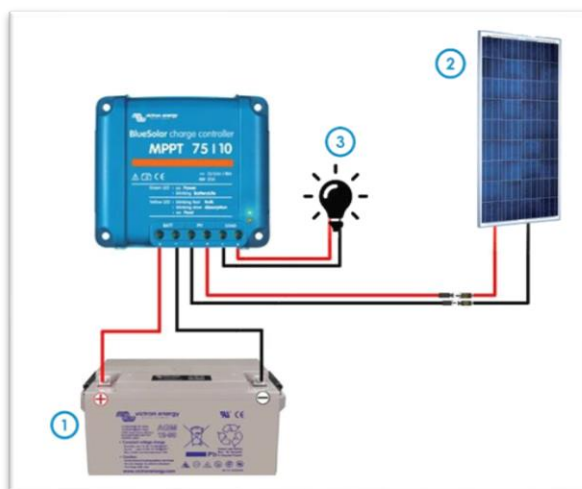


Figure 0-15 : Régulateur solaire MPPT

### 1.12 Convertisseur :

Les convertisseurs électriques sont des dispositifs utilisés pour modifier la forme de l'électricité. Il existe deux types de convertisseurs couramment utilisés : les onduleurs DC/AC et les convertisseurs DC/DC.

Les convertisseurs jouent un rôle essentiel en adaptant la tension continue fournie par des sources telles que les panneaux solaires ou les batteries, afin de répondre aux besoins des récepteurs. Ces récepteurs peuvent fonctionner soit avec une tension continue différente, soit avec une tension alternative. [12]

Ainsi, les onduleurs DC/AC sont utilisés pour convertir la tension continue en une tension alternative. Par exemple, dans les systèmes solaires, les panneaux solaires produisent une tension continue, mais de nombreux appareils électriques nécessitent une tension alternative pour fonctionner correctement. L'onduleur DC/AC permet donc de transformer la tension continue des panneaux solaires en une tension alternative adaptée aux besoins des appareils.

### **1.12.1 CONVERTISSEURS DC/DC :**

Ce type de convertisseur est conçu pour adapter en temps réel l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ photovoltaïque correspondant au point de puissance maximale. Ce système d'adaptation est souvent appelé MPPT (Maximum Power Point Tracking). Son rendement se situe généralement entre 90 et 95 %.

Ce type de composant est utilisé pour convertir la tension des batteries en une tension continue différente, afin d'alimenter les borne de recharges appareils spécifiques tels que des chargeurs de téléphone portable, des radios, des ordinateurs portables, etc. Il permet d'ajuster efficacement la tension de sortie pour répondre aux besoins de chaque appareil, en assurant une conversion efficace de l'énergie électrique. [12]

### **1.12.2 Onduleurs DC/AC :**

Le convertisseur de courant continu en courant alternatif (DC/AC) est un dispositif conçu pour convertir le courant continu en courant alternatif. Les progrès significatifs dans ce type de convertisseur sont le résultat du développement de composants à semi-conducteurs entièrement commandés, qui offrent une grande robustesse et une commutation rapide, ainsi que de l'utilisation généralisée des techniques de modulation de largeur d'impulsion (MLI). Ces techniques exploitent les avantages de la commutation en fréquence offerte par les semi-conducteurs. [8]

Lorsque de nombreux appareils doivent être alimentés, il est généralement avantageux d'utiliser un onduleur de haute qualité. Les onduleurs sont des dispositifs capables de convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). Cependant, il est important de noter que les onduleurs eux-mêmes consomment de l'électricité, ce qui dépend de leur rendement.

En résumé, le convertisseur CC/CA utilise des composants à semi-conducteurs performants et des techniques de modulation de largeur d'impulsion pour convertir le courant continu en courant alternatif. Lorsque de nombreux appareils doivent être alimentés, l'utilisation d'un onduleur de qualité

peut être plus avantageuse. Cependant, il est important de prendre en compte la consommation d'électricité de l'onduleur, qui dépend de son rendement. [8]



Figure 0-16 : L'onduleur

### 1.13 Systèmes photovoltaïques

Le système photovoltaïque est composé de plusieurs éléments essentiels : une source d'énergie, également connue sous le nom de générateur photovoltaïque, une interface de puissance comprenant des convertisseurs statiques CC-CC et CC-CA avec un système de commande, ainsi qu'une charge. L'objectif principal du convertisseur statique est de réaliser une adaptation d'impédance permettant au générateur de fournir un maximum d'énergie. [14]

### 1.14 Les différents types de systèmes photovoltaïques :

Un système PV contient de nombreux composants différents en plus des modules PV. Pour planifier avec succès un système PV, il est essentiel de comprendre la fonction des différents composants et de se familiariser avec leurs spécifications clés. De plus, il est important de prendre en compte l'effet de l'emplacement sur la performance attendue d'un système PV.

Les systèmes PV peuvent être conçus de manière très simple, composés uniquement d'un module PV, d'un onduleur et d'une charge. Par exemple, cela peut être le cas pour l'alimentation directe d'un moteur de pompe à eau, qui ne nécessite de fonctionner que lorsqu'il y a du soleil. Cependant, lorsqu'il est nécessaire d'alimenter une maison entière, le système doit être opérationnel jour et nuit. Il peut également être nécessaire d'alimenter des charges en courant alternatif et en courant continu, de disposer d'un stockage d'énergie et même d'inclure un générateur de secours.

Selon la configuration du système, on peut distinguer principalement deux types de systèmes photovoltaïques : les systèmes autonomes et les systèmes connectés au réseau. Il est crucial de prendre en compte ces facteurs lors de la planification d'un système photovoltaïque afin d'assurer des performances optimales et de répondre aux besoins énergétiques spécifiques. [13]



### 1.14.1 Systèmes PV autonomes :

Les installations photovoltaïques autonomes fournissent de l'électricité dans des endroits sans réseau électrique. Elles comprennent un générateur photovoltaïque, un convertisseur CC/CC, une régulation MPPT, des batteries et un onduleur. Les panneaux solaires produisent de l'énergie qui est utilisée

Immédiatement ou stockée dans les batteries. L'onduleur convertit ensuite le courant continu en courant alternatif pour alimenter les appareils électriques. [3]

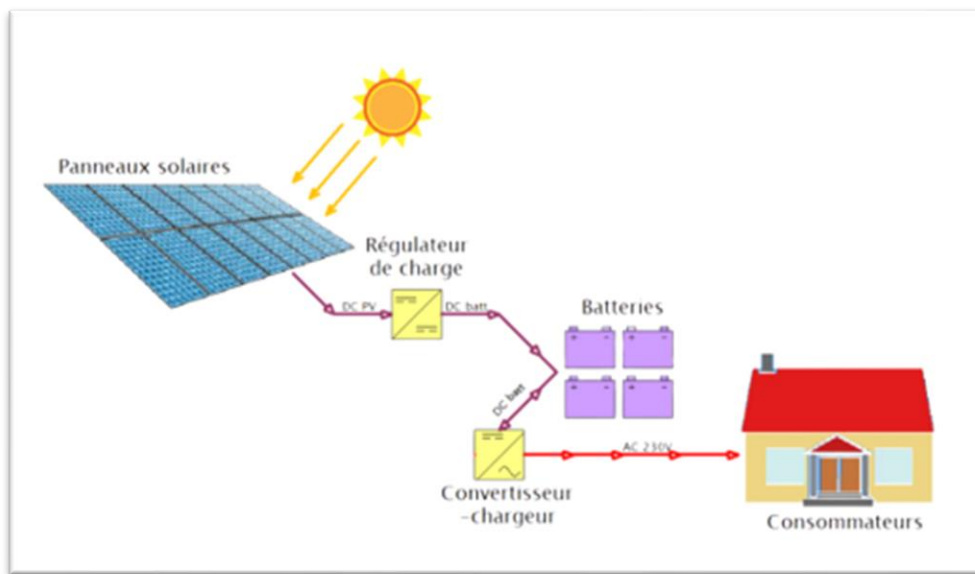


Figure 0-17 : Installation photovoltaïque autonome.

### 1.14.2 Systèmes couplés au réseau :

Le système photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur Courant Continu/Courant Alternatif (CC-CA). Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même. La figure (1.18) montre les deux types d'installations existantes pour l'injection de la production solaire. [3]

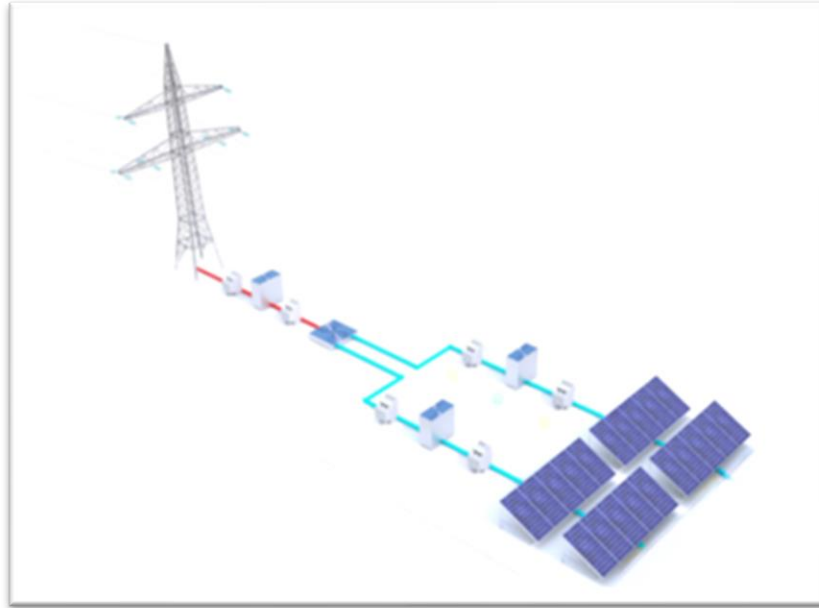


Figure 0-18 Installation photovoltaïque couplée au réseau

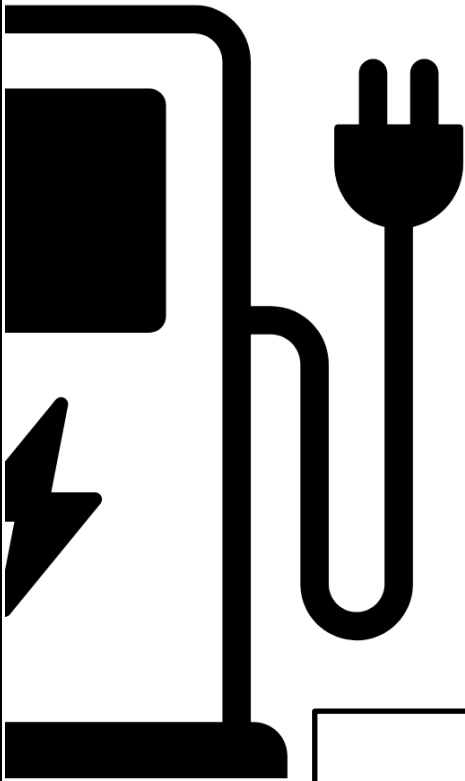
### 1.15 Conclusion :

Le secteur de la conversion de l'énergie photovoltaïque connaît une profonde transformation, portée par l'intérêt croissant pour l'énergie solaire. Les progrès technologiques et la conscience environnementale contribuent à rendre cette source d'énergie plus efficace et plus accessible.

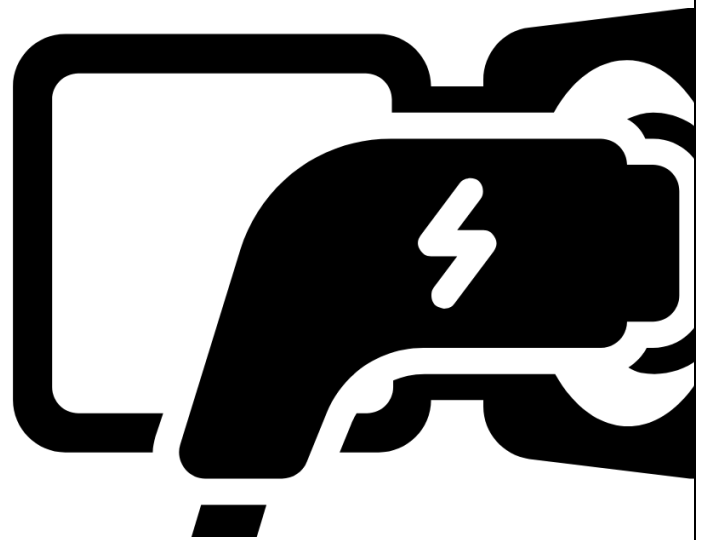
Ce chapitre a fourni une vue d'ensemble complète des principes fondamentaux de l'énergie solaire photovoltaïque. Nous avons exploré les caractéristiques et les performances des cellules photovoltaïques, ainsi que les effets des variations climatiques sur ces modules. Les différentes Configurations de l'association des cellules, qu'elles soient en série, en parallèle ou en hybride, ont été détaillées pour maximiser la production d'énergie. De plus, nous avons examiné les diverses méthodes de protection des modules PV, telles que l'utilisation de diodes anti-retour et by-pass, pour assurer leur bon fonctionnement et leur longévité.

Enfin, nous avons abordé les technologies de régulation de charge, notamment les régulateurs PWM et MPPT, qui optimisent l'utilisation de l'énergie solaire. Ces dispositifs jouent un rôle crucial en ajustant la tension et le courant pour maximiser l'efficacité de la conversion énergétique.

En résumé, ce chapitre établit les bases nécessaires pour comprendre les systèmes photovoltaïques et leur intégration dans des solutions énergétiques durables, tout en soulignant les défis techniques et les solutions innovantes pour une exploitation optimale de l'énergie solaire



## **Chapitre II. Présentation du système de recharge pour VE**



## 2 CHAPITRE 2 présentation du système de recharge pour VE

### 2.1 Introduction :

Le secteur des transports consomme d'énormes quantités de ressources pétrolières et gazières et produit d'importantes émissions de carbone , qui ont de graves impacts environnementaux . Cent quatre-vingt-dix-sept pays ont signé l' Accord de Paris en 2015 pour supprimer la hausse des températures mondiales en réduisant les émissions de carbone. Pour réduire les émissions de carbone du secteur des transports, Les véhicules électriques (VE) sont considérés comme l'une des meilleures alternatives aux véhicules à carburant en raison de leurs émissions nulles à l'échappement, ce qui peut potentiellement réduire les émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 90 % .L'augmentation du nombre de véhicules électriques présente deux défis potentiels. (1) La première est que la recharge des véhicules électriques peut provoquer une instabilité du réseau. L'augmentation du nombre de véhicules électriques entraînera une augmentation de la demande d'électricité, qui provient généralement du réseau de distribution . Un grand nombre de véhicules électriques en charge peuvent provoquer une distorsion harmonique et perturber la stabilité de la tension ; en particulier, le réseau devient de plus en plus instable à mesure que la demande de recharge pour les véhicules électriques augmente. Une fois que les véhicules électriques deviendront le mode de transport dominant il sera crucial de garantir la capacité de charge et la stabilité du réseau. Diverses exigences en matière de recharge. On trouve des chargeurs automatiques lents, rapides, avec ou sans contact, qui répondent en grande partie aux attentes des utilisateurs. Toutefois, certains de ces systèmes présentent encore des limites, telles que leur poids, leur coût, leur disponibilité ou leur temps de charge. Ce chapitre présentera des généralités sur les bornes de recharges, les différentes méthodes de recharge DC et AC pour les voitures électriques et les différentes les prise de recharge et la présentation du système étudié.

## 2.2 Bornes de recharges :

### 2.2.1 Généralités :

Une borne de recharge, comme illustré dans la figure(2.1), est généralement un dispositif fixe qui est directement connecté à un tableau de distribution électrique ou parfois branché sur une prise de courant. La borne est équipée d'un ou de plusieurs câbles de charge, comme illustré dans la figure (2.2), qui sont munis d'une prise mobile similaire à un pistolet de distribution d'essence. Son utilisation est analogue : il suffit de brancher le câble de charge dans la prise de recharge du véhicule électrique (VE) pour recharger la batterie.

La borne de recharge est équipée de voyants qui indiquent si le VE est correctement branché et s'il est en cours de recharge. Elle peut également comporter un bouton permettant de démarrer ou d'arrêter la recharge. Certaines bornes de recharge intègrent des fonctionnalités supplémentaires telles qu'un compteur d'énergie fournie, un système de paiement électronique, un contrôle d'accès par carte, l'accès à Internet, etc.



Figure 2-2 Borne de recharge



Figure 2-1 : Borne de recharge double

## 2.3 Présentation des bornes de recharges :

Une station de recharge pour véhicules électriques (VE) est un système et une technologie permettant de charger les VE. Avec la popularité croissante des VE, les stations de recharge pour VE deviendront certainement un enjeu majeur du développement de l'industrie automobile et de l'industrie de l'énergie.

Les stations de recharge proposent généralement trois modes de charge aux utilisateurs : le mode rapide, le mode moyen et le mode lent. Les chargeurs pour VE sont une ressource rare. Les

utilisateurs espèrent tous que leurs VE pourront se charger rapidement. Si les utilisateurs choisissent le mode rapide, la puissance de charge doit être augmentée, ce qui entraîne une augmentation des coûts de construction des chargeurs. Si les utilisateurs optent pour le mode moyen ou le mode lent, la puissance de charge est relativement faible, ce qui est bénéfique pour la durée de vie de la batterie, et le coût de la charge est faible. Actuellement, le processus de charge de la batterie comprend la charge à courant constant (CC), la charge à tension constante (CV) et la charge à courant constant/tension constante (CC/CV). La courbe du processus de charge de la batterie est illustrée dans la Figure (2.3)

### 2.3.1 Méthode de charge CC :

La charge CC signifie que la batterie est chargée de manière constante en courant lorsque la charge est en cours, et le courant peut être ajusté par le dispositif de charge. La principale caractéristique de cette méthode de charge est qu'elle offre une grande adaptabilité, et le courant de charge peut être choisi et ajusté de manière arbitraire, ce qui permet de charger les batteries dans différentes situations et états. Le principal inconvénient de cette méthode de charge est que le courant de charge au stade initial est relativement faible, tandis que le courant de charge devient trop élevé à la fin de la charge, ce qui rend l'ensemble du processus de charge long, consomme beaucoup d'énergie et nécessite une gestion spécial[16]

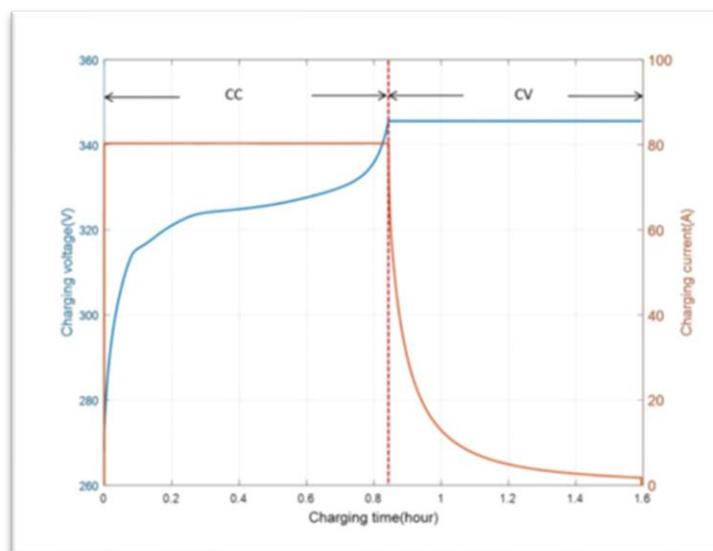


Figure 2-3 : La courbe du processus de charge de la batterie.

### **2.3.2 Méthode de charge CV :**

La charge CV signifie que la batterie est chargée en mode tension constante(CV) lors de la charge .ses principales caractéristiques sont que le courant de charge initial est assez élevé , à mesure que la charge progresse , le courant de charge diminue progressivement ,et il ne reste qu'une petite quantité la fin de la charge .Comparée à la charge CC . cette méthode de charge permet de réduire le temps de charge .Généralement . la batterie peut obtenir plus de 90% de sa capacité après quelques heures , le temps de charge ne nécessite pas de gestion spéciale . Cependant ,dans les applications réelles ,le temps de charge est encore trop long , et une méthode de charge meilleure et plus rapide est nécessaire [16]

## **2.4 Les différents types pour les bornes de recharges :**

Il existe trois méthodes de recharge pour les voitures électriques.

### **2.4.1 Recharge lente avec du courant alternatif à 3 kW :**

La recharge lente est caractérisée par un courant de moins de 16 A, ce qui se traduit par une puissance de charge relativement faible (maximum de 3,7 kW). Elle requiert environ 6 à 9 heures pour effectuer une charge complète. La recharge lente est particulièrement appréciée pour sa douceur envers les batteries, contribuant ainsi à prolonger leur durabilité. De plus, elle représente l'option la plus économique pour recharger les véhicules électriques, ne nécessitant aucun abonnement spécifique. [17]

### **2.4.2 Recharge accélérée toujours en courant alternatif mais à 22 kW :**

La recharge rapide utilise un courant pouvant atteindre 32 A, ce qui permet d'augmenter la puissance électrique (avec un maximum de 22 kW) et de charger le véhicule jusqu'à 80% en environ 1 heure et 30 minutes. Cette méthode de recharge offre une solution plus rapide pour recharger votre véhicule électrique lorsque vous êtes pressé, vous permettant ainsi de reprendre la route en un temps relativement court. [18]

### **2.4.3 Recharge rapide depuis du courant continu à 43 kW :**

La recharge rapide est une option pratique qui peut être utilisée pour recharger rapidement un véhicule électrique. Elle permet d'atteindre une charge de 80% en seulement 30 minutes, avec une puissance supérieure à 22 kW (avec une limite maximale de 50 kW en 2024). Cette méthode de recharge offre une solution rapide et pratique pour les conducteurs qui ont besoin d'une charge rapide lors de leurs déplacements[18]

## 2.5 Les modes de recharge de véhicule électrique

Le mode de charge détermine la manière dont la voiture et l'infrastructure de charge communiquent entre elles, ce qui permet d'assurer l'exécution de diverses fonctions de sécurité en interagissant avec le véhicule pendant le processus de charge. Selon le type de prise utilisée, un mode spécifique sera utilisé. [19 .20]

### Mode 1 :

Ce mode permet de charger le véhicule en courant alternatif à partir d'une prise domestique non dédiée, mais la vitesse de recharge est très lente. Il est donc principalement destiné à des besoins de recharge d'appoint.

Cependant, l'absence de boîtier de commande de charge peut entraîner une complexité électrique, sans possibilité de détection ou de correction des éventuels dangers. [19]



Figure 2-4 : Schéma de recharge en Mode 1 pour véhicules électriques

### Mode 2 :

Ce mode implique de se brancher sur une prise domestique standard. La différence par rapport au premier mode est la présence d'un boîtier de contrôle sur la ligne électrique, qui permet la communication avec le véhicule à charger. L'utilisation d'un boîtier associé à une prise "Green Up" (qui permet une recharge deux fois plus rapide) offre un niveau élevé de sécurité lors de la recharge du véhicule. En effet, le boîtier est capable de détecter toute anomalie et d'arrêter la charge en conséquence. De plus, ce mode est le plus économique par rapport au troisième mode. [19]



Figure 2-5 : Schéma de recharge en Mode 2 pour véhicules électriques

### Mode 3 :

Ce mode consiste à alimenter le véhicule en courant alternatif à partir d'une prise spécifique normalisée. Le mode 3 se distingue par l'utilisation d'un circuit électrique dédié, c'est-à-dire une ligne



électrique directement connectée au compteur électrique, afin de prévenir toute usure du réseau électrique de la maison en cas de recharge régulière.

Contrairement au mode 2, le mode 3 permet une recharge intelligente du véhicule. Habituellement, une installation telle qu'une wallbox ou une borne de recharge permet de réguler la puissance pendant la charge afin de s'adapter aux contraintes du réseau. Cela signifie que la puissance de charge s'ajuste en fonction de la quantité d'énergie disponible dans la maison en temps réel.

Ainsi, il n'y a aucun risque de coupure d'électricité lié à la recharge du véhicule électrique. Ce type d'installation présente un grand intérêt, car il permet également d'optimiser la charge en profitant des tarifs heures creuses, ce qui permet de réaliser des économies sur la charge du véhicule. [19]



Figure 2-6 : Schéma de recharge en Mode 3 pour véhicules électriques

#### Mode 4 :

Le mode 4 est caractérisé par une charge en courant continu à un niveau de puissance élevé, communément appelée "charge rapide". La charge en courant continu permet de récupérer environ 80% de l'autonomie du véhicule en moins de 30 minutes. Le temps de recharge exact dépend du véhicule lui-même et de la température de la batterie.

Les bornes de charge rapide sont généralement situées le long des autoroutes et dans les grandes agglomérations. [20].

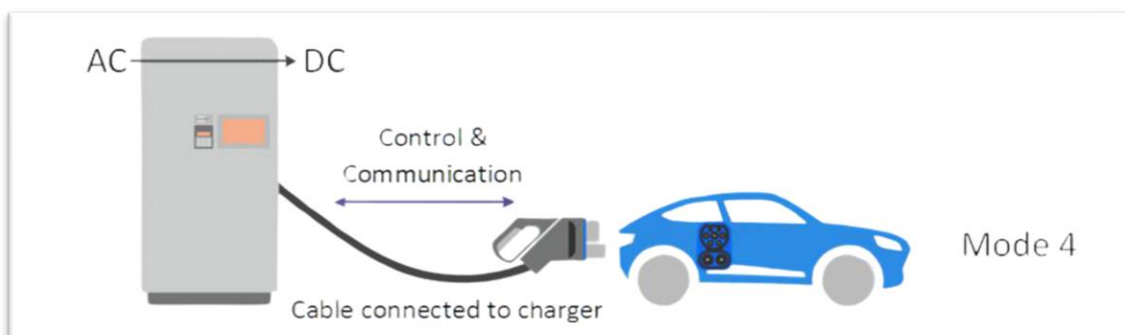


Figure 2-7 : Schéma de recharge en Mode 4 pour véhicules électriques

## 2.6 Les types de prises de recharge pour véhicules électriques :

Outre les différentes méthodes de recharge et les modes de puissance, tous les véhicules électriques sont équipés d'une prise située sur leur carrosserie. Cependant, il existe différents types de prises en fonction de la marque du véhicule. [21]

### 2.6.1 Prise type 1 :

Les prises de type 1 sont des prises monophasés capables de supporter des niveaux allant jusqu'à 7,4 KW (230 V , 32 V ) .Elles sont principalement utilisées dans les modèles de voitures en Asie et sont moins courantes en Europe . En conséquence , on trouve peu de bornes de recharge publiques de prises de type 1 sur le continent européen .



Figure 2-8 : La prise de type 1

### 2.6.2 Prise type 2:

L'Europe est la principale région où l'on trouve des prises triphasées, qui sont considérées comme le modèle standard. Dans les espaces privés, la puissance de charge maximale généralement prise en charge est de 22 kW, tandis que les bornes de recharge publiques peuvent atteindre une puissance de charge maximale de 43 kW (400 V, 63 A, AC). La prise de type 2 est largement utilisée et représente un standard commun. voir la figure(2. 9).



Figure 2-9 : La prise de type 2

### 2.6.3 Prise type 3 :



Figure 2-10 : La prise de type 3

Figure (2.10), Cette prise a été spécialement conçue dans le but de garantir un niveau élevé de sécurité pour la recharge des véhicules électriques. Son design intègre des mécanismes de protection supplémentaires pour prévenir les risques d'électrocution ou de court-circuit lors de la manipulation de la prise. Bien que moins répandue, la prise de type 3 est appréciée pour son niveau de sécurité élevé lors de la recharge des véhicules électriques.

### 2.6.4 Prise type 2 fiches combinées (système de charge combiné ou CCS):

La prise CCS (Combined Charging System), illustrée dans la figure (2.11), est une évolution de la prise de type 2 avec l'ajout de deux contacts de puissance supplémentaires. Cette configuration permet une recharge plus rapide et prend en charge à la fois les niveaux de puissance de charge CA (courant alternatif) et CC (courant continu) jusqu'à 170 kW. La prise CCS est largement utilisée pour les recharges rapides des véhicules électriques, offrant une flexibilité de charge tant en termes de courant continu que de courant alternatif. [21]



Figure 2-11 : : La prise type 2 fiches combinées.

### 2.6.5 Prise type 4 ou CHAdeMO :

Ce système de charge rapide, connu sous le nom de système de charge CHAdeMO, a été développé au Japon. Il est largement utilisé dans les bornes de recharge publiques et permet des recharges rapides pour les véhicules électriques. La capacité de charge maximale autorisée dans une borne de recharge publique compatible avec ce système est généralement de 50 kW. La figure (2.12) présente le type de prise associée à ce système de charge rapide CHAdeMO.

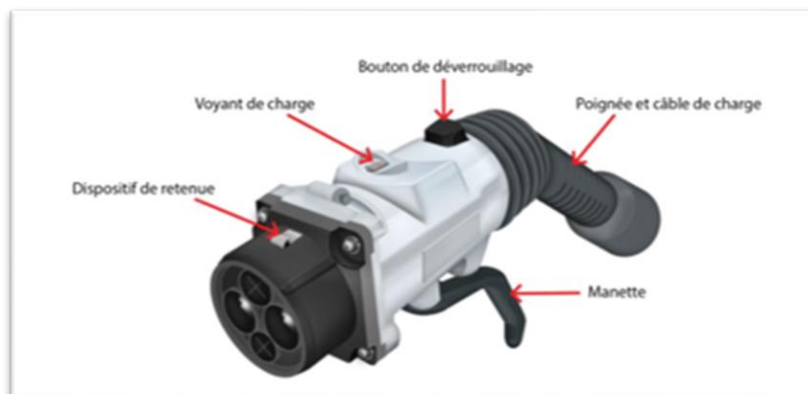


Figure 2-12 : La prise de type 4 (CHAdeMO)

### 2.6.6 Prise type E :

Il s'agit de la prise domestique standard que l'on trouve couramment dans nos habitations, et elle est également installée de manière systématique au niveau des infrastructures de recharge publique. Cette prise permet une recharge à une puissance maximale de 3 kW. La figure (2.13) présente un exemple de ce type de prise standard. [21]



Figure 2-13 : La prise de type

## 2.7 Bornes « Supercharger » de TESLA

Les bornes de recharge "Supercharger" de Tesla ne sont pas normalisées et sont présentées de manière succincte ici. Ce qui distingue le dispositif Tesla (comme illustré dans les figures (2.14) et (2.15)) est sa capacité à s'adapter aussi bien à la recharge en courant alternatif (CA) qu'en courant continu (CC). Tout comme les bornes de recharge normalisées mentionnées précédemment, les bornes Tesla empêchent toute mise sous tension jusqu'à ce que la connexion avec le véhicule électrique (VE) soit validée et que la communication soit établie entre la borne et le véhicule. [22]

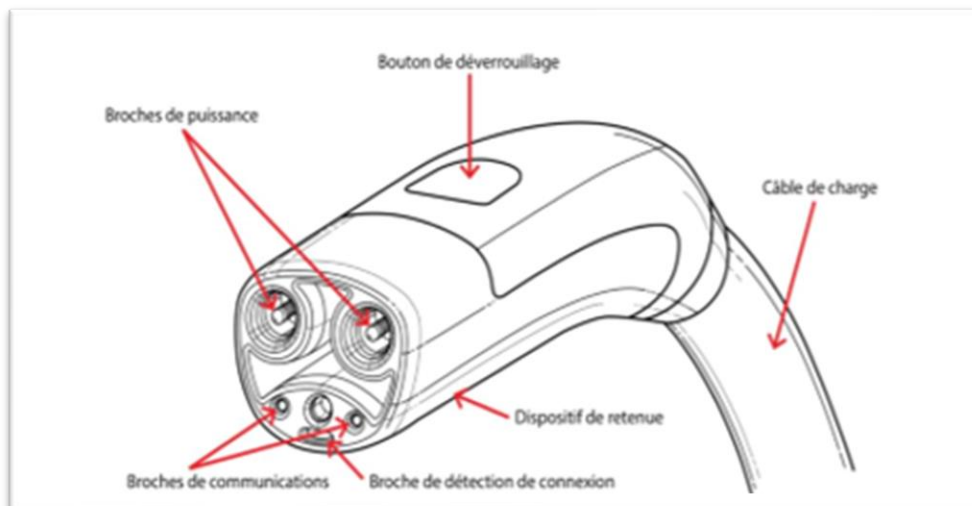


Figure 2-14 : Détail d'une prise mobile 'super charge' de TESLA

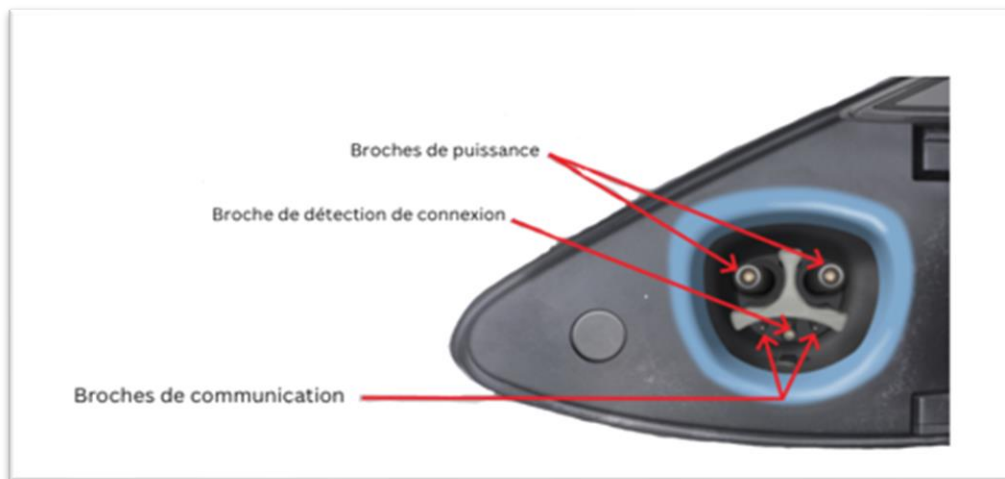


Figure 2-15 : Détail d'un socle de recharge « Supercharger » de TESLA

## 2.8 Choix de l'emplacement – Bornes publiques :

Lors de l'installation de bornes de recharge publiques, certains endroits sont particulièrement adaptés. Par exemple, les parkings desservant une gare, un centre commercial, un restaurant, un hôtel ou un centre de villégiature peuvent être des choix appropriés.

L'emplacement des bornes doit être choisi en tenant compte des critères suivants :

- l'installation doit être dimensionnée en fonction du nombre prévu d'utilisateurs.
- il est important de considérer la durée typique de charge des VE afin de garantir une rotation efficace des véhicules et éviter les engorgements
- les véhicules en charge ne doivent pas entraver la circulation normale des autres véhicules.
- la borne de recharge doit être protégée contre les éventuels chocs ou accidents.
- si la borne de recharge nécessite une connexion réseau, il est important de s'assurer de la disponibilité d'un signal cellulaire adéquat.
- il faut prendre en compte la possibilité d'effectuer les travaux d'excavation nécessaires pour l'installation de la borne.
- l'emplacement idéal devrait être proche du tableau de distribution pour faciliter le raccordement électrique.
- il est important que la borne de recharge soit facilement visible afin d'encourager les automobilistes à l'utiliser.

Il est également nécessaire de prendre en compte la technique de fixation de la borne (sur poteau, sur socle bétonné, etc.), la longueur du câble de charge et l'emplacement habituel du socle de recharge sur les véhicules électriques. De plus, il est recommandé de tenir compte des critères

d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite lors de la conception et de l'installation des bornes de recharge publique[22]



Figure 2-16 : Exemples d'infrastructures de recharge développées par Schneider Electric

## 2.9 Les schémas électriques d'une borne de recharge

La configuration la plus recommandée pour les bornes de recharge vers plusieurs points comprend une section centrale avec un transformateur 50 Hz, un filtre de réduction des harmoniques et de compensation du bruit réactif, tant que le récepteur est fermé. La borne de recharge est également équipée d'un convertisseur CC-CC qui utilise l'adaptateur et contrôle les paramètres de la charge.

Si les bornes de recharge individuelles sont connectées directement à la prise électrique, il est nécessaire d'installer le transformateur de l'appareil, le filtre d'entrée et un dispositif pour remplacer la borne de recharge [22]

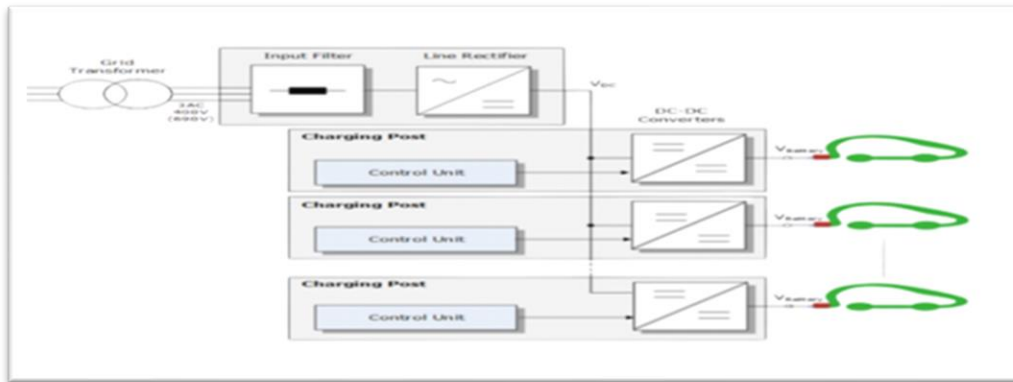


Figure 2-17 : Schéma électrique d'une borne de recharge

### 2.9.1 Redresseur secteur à front actif (AFE mains rectifier)

Afin de réduire les effets de phase sur le système, il est possible de configurer le redresseur côté réseau de la figure(2.18) en tant que redresseur actif à front d'onde (AFE) utilisant des IGBT, sans récupération d'énergie à partir des unités de stockage d'énergie facultatives. Étant donné qu'il fonctionne comme un convertisseur élévateur, seuls des convertisseurs abaisseurs sont nécessaires dans les points de charge, même si des tensions de batterie élevées doivent être générées à partir de tensions d'entrée faibles. [16.23]

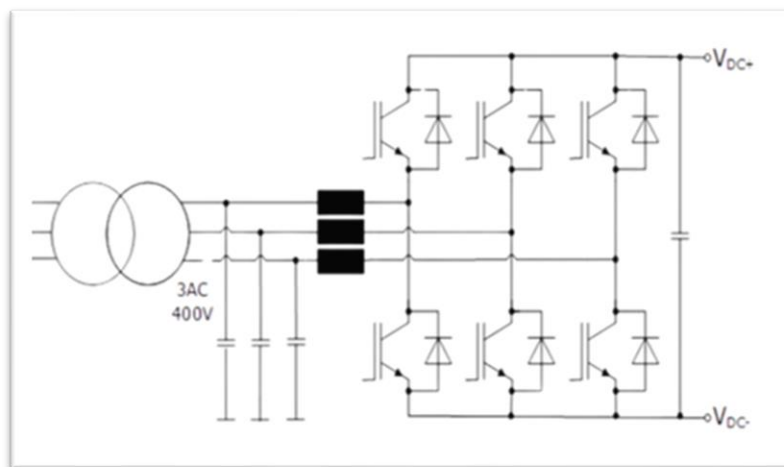


Figure 2-18 : schéma électrique d'une borne de recharge

### 2.9.2 Les convertisseurs DC/DC

Pour la conversion de puissance, il est nécessaire de maintenir le rendement élevé pour éviter la dissipation de puissance et pour éviter un échauffement excessif des composants électroniques. Pour cette raison, toute conversion d'énergie mutuelle doit être effectuée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et des commutateurs. Les interrupteurs de puissance utilisés dépendent du niveau de puissance à commuter ou à contrôler. Les transistors à effet de champ à oxyde métallique (MOSFETS) sont généralement utilisés à des puissances relativement faibles



(quelques kilowatts) et les IGBTs (transistors bipolaires à grille isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été utilisés et généralement acceptés aux niveaux de puissance les plus élevés. Trois topologies de base de circuit de conversion (DC-DC) seront décrites dans les paragraphes suivants : [25]

## 2.10 Le hacheur dévolteur (Buck)

La figure (2.19) présente la forme de base de l'hacheur dévolteur, les composants clés sont l'inductance (L), le commutateur {Transistor} (S), la diode (D), et le condensateur (C). Celui-ci est chargé par l'interrupteur qui maintient la tension à ces bornes jusqu'à l'ouverture (S) qui décharge son énergie à travers la diode sur la charge (R) pendant une période de cycle de service ,

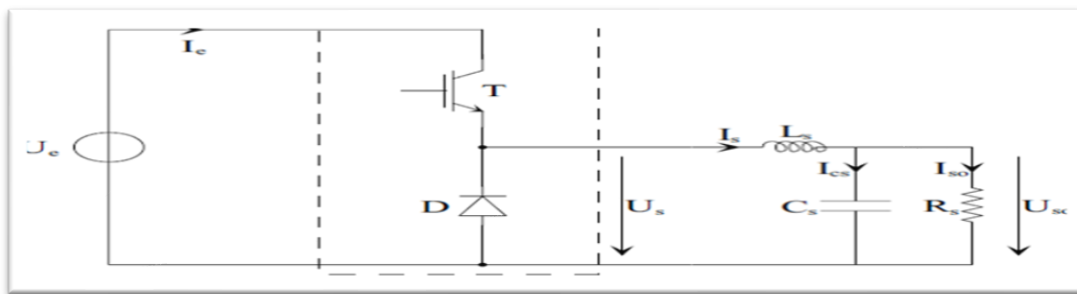


Figure 2-19 : Circuit électrique de base du hacheur dévolteur

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source ( $U_e$ ) doit être plus grande que la tension ( $U_{so}$ ) aux bornes de la charge. L'équation mathématique caractérisant le courant de l'inductance est donnée par :

$$\frac{dI_s}{dt} = \frac{U_e - U_{so}}{L_s} \quad (2.1)$$

$I_s$  : Le courant de l'inductance

Le processus de commutation est décrit par la position de l'interrupteur (T). Dans le premier laps de temps ( $\alpha.T$ ) le transistor est dans un état de saturation, alors l'inductance (L) se charge d'énergie avec augmentation du courant. Dans le deuxième laps de temps  $(1-\alpha)T$ , l'inductance (L) libère cette énergie à la charge avec une diminution de courant  $I_L$ . En négligeant la chute de tension à travers la diode, le taux de changement du courant est donné par : Lorsque le courant de l'inductance ne décroît pas à zéro avant la commutation du transistor (T), le convertisseur fonctionne dans le mode de conduction continu, comme illustré sur la figure (2.19), et dans ce cas, si la tension de charge dépend seulement la tension de source et du rapport cyclique. [26]

$$\alpha = \frac{T_{on}}{T} \quad (2.2)$$

La tension aux bornes de la charge :

$$U_{so} = \alpha U_e \quad (2.3)$$

Dans le mode de conduction discontinu le courant de l'inductance s'annule dans un cycle de commutation entre le transistor (T) et la diode. Dans ce cas, la tension de charge dépend d'une manière plus complexe du rapport cyclique et le courant de la charge. Les caractéristiques des courants et la tension représentant le fonctionnement du hacheur dévolteur sont données par la figure (2.20).

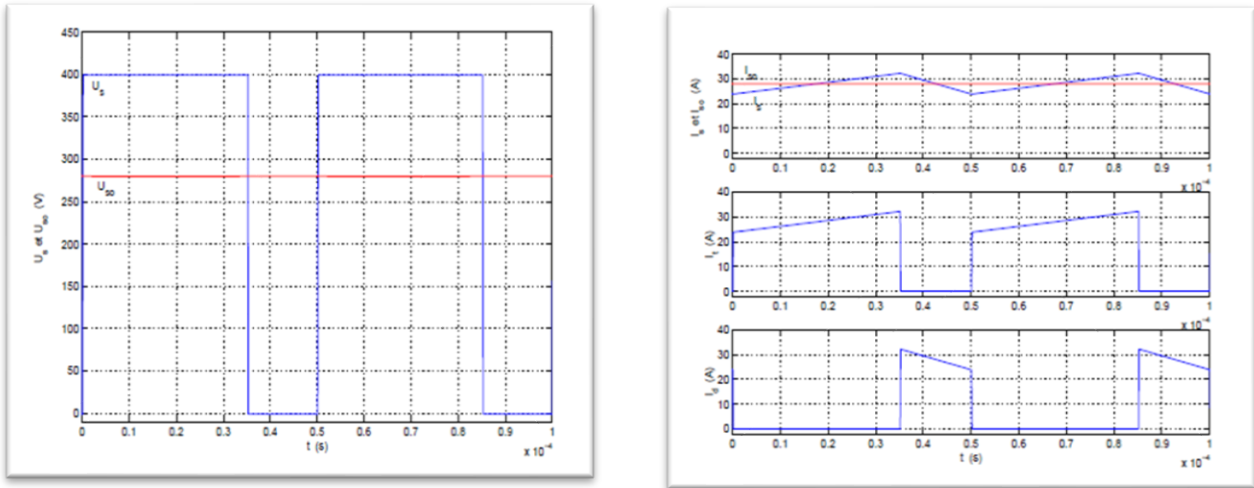


Figure 2-20 : Caractéristique de tension et des courants dans le transistor et L'inductance d'un convertisseur Buk

### 2.11 Le hacheur survolteur (Boost)

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élevateur de tension. Le schéma de la figure (2.21), représente le circuit électrique du Boost. Au premier temps ( $\alpha T$ ), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant  $\{I_L\}$ , génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D) :

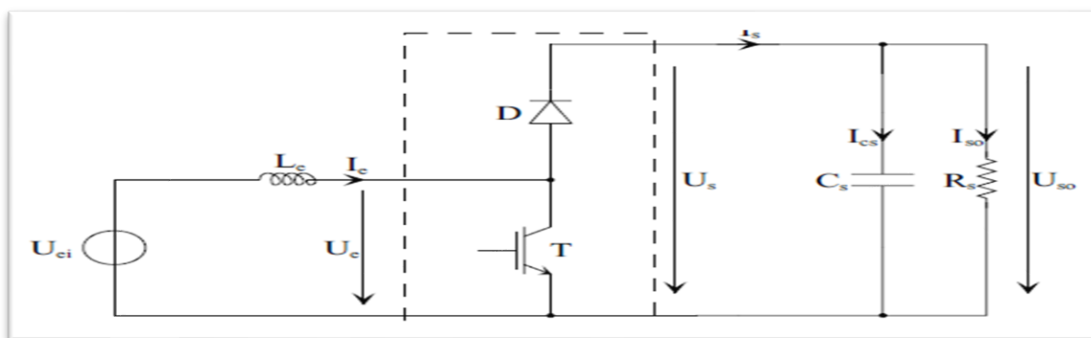


Figure 2-21 : Circuit électrique de base du hacheur survolteur

La tension et le courant de la charge du convertisseur Boost dans le cas de la conduction continue sont donnés par :

$$\begin{cases} U_{so} = \frac{1}{1-\alpha} * U_{ei} \\ I_s = (1 - \alpha) * I_e \end{cases} \quad (2.4)$$

Comme le présente la figure (2.21), lorsque l'interrupteur du transistor (T) est sur la position (on), le courant de l'inductance de l'hacheur augmente linéairement et à cet instant la diode (D) est bloquée (off). Et lorsque (T) tourne sur la position {off}, l'énergie emmagasinée par l'inductance est dissipée dans le circuit (RC) bien que la diode (D) est passante. Les caractéristiques de tension et du courant sont illustrés sur la figure (2.22). [26]

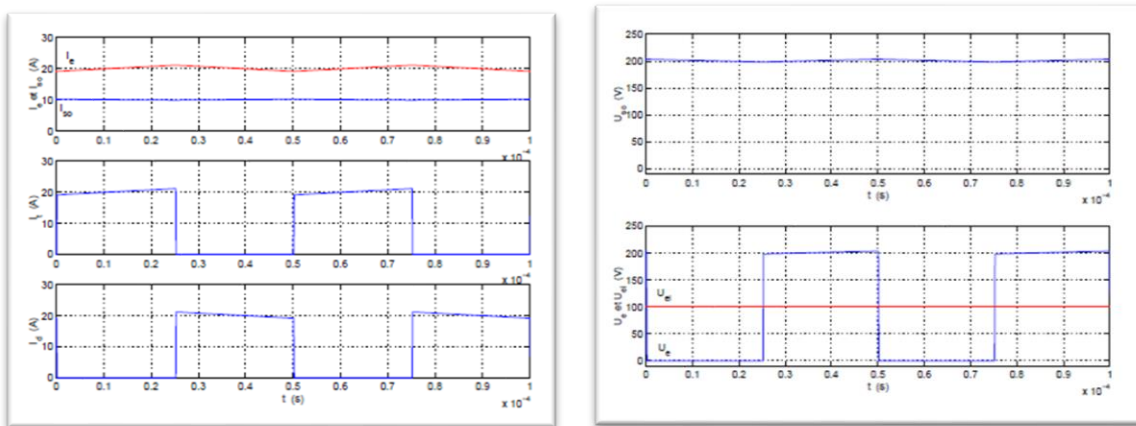


Figure 2-22 : Les caractéristiques de tension et du courant

## 2.12 Le convertisseur Buck-Boost

La troisième topologie de base de ce convertisseur est donnée par la figure (2.23). Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, La tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée.

Tandis que, lorsque le transistor est sur la position (on) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée ; et quand le commutateur tourne sur la position (off),

La tension à travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfère vers la charge via la diode. Dans ce cas, l'équation de la tension aux bornes de la charge décrivant le fonctionnement en conduction continue est donné comme suit :

$$U_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} * U_e \quad (2.5)$$

Les caractéristiques du courant et de la tension de charge sont données par la figure (2.23). [27]

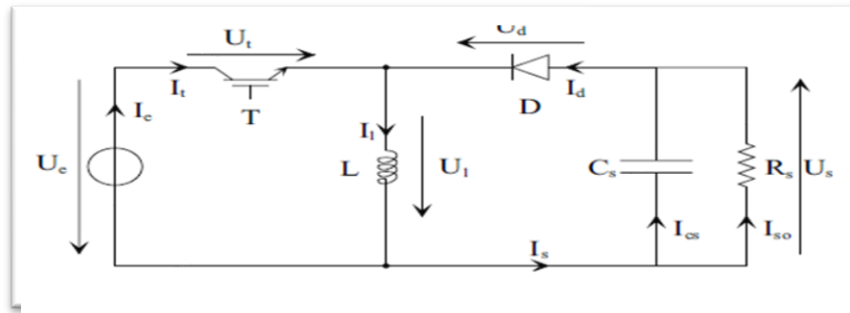


Figure 2-23 : Circuit électrique de base du hacheur dévolteur-survolteur.

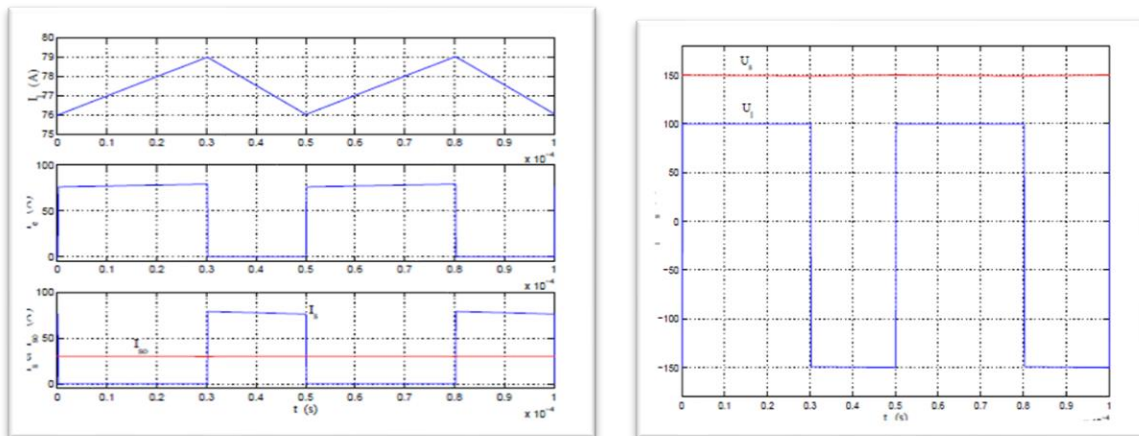


Figure 2-24 : Caractéristique du courant et de la tension de charge

### 2.12.1 Convertisseur CC-CC avec isolation galvanique :

Afin de minimiser les coûts d'isolation dans les véhicules, il est nécessaire d'assurer une isolation galvanique entre la tension de charge et la tension d'alimentation. Dans les points de charge qui sont connectés indépendamment au réseau, cela peut être réalisé en utilisant un transformateur de réseau, comme indiqué dans la figure(2.25). L'isolation galvanique à l'intérieur du convertisseur CC-CC présente l'avantage de permettre l'utilisation de transformateurs de petite taille en raison des fréquences de commutation élevées.

Ceci est particulièrement important dans le cas des points de charge d'une station de charge avec un redresseur central. Un autre avantage d'une fréquence de commutation élevée dans le convertisseur CC-CC est la réduction des besoins en lissage de la sortie côté batterie à mesure que la fréquence de commutation augmente. [27]

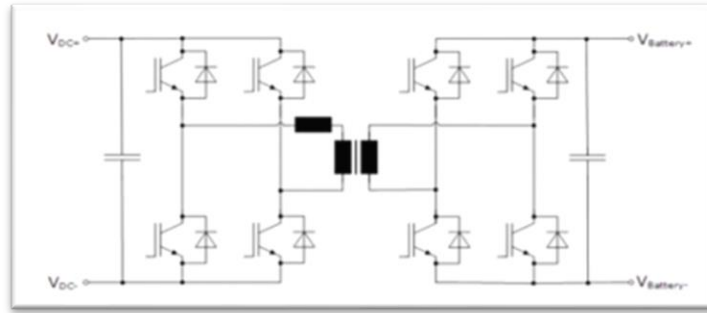
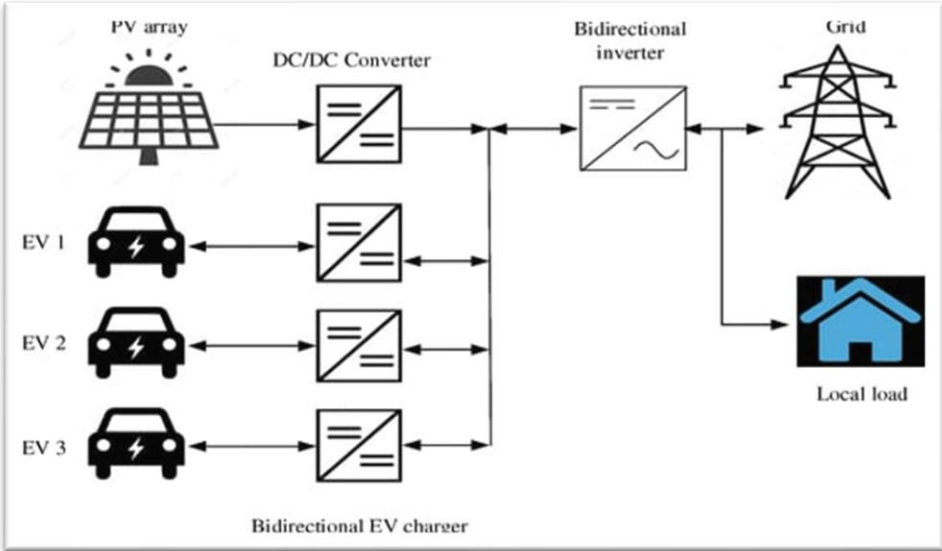


Figure 2-25 : Convertisseur CC-CC avec isolation galvanique

### 2.13 Système proposé

Ce travail présente station pour une recharge efficace et rapide des voitures électriques. Une borne de recharge alimentée par une source photovoltaïque peut constituer une installation de recharge économique.



. Figure 2-26 : Schéma fonctionnel du système.

La station de recharge proposée est principalement alimentée par la production d'énergie photovoltaïque et, si nécessaire, l'énergie pourrait être tirée du réseau électrique public via le convertisseur élévateur AC/AC et le convertisseur de puissance bidirectionnel correspondants, respectivement. L'architecture de la borne de recharge est illustrée à la Figure (2.27) . La recharge des véhicules électriques est assurée par un bus AC commun qui est alimenté soit par le photovoltaïque, soit par le réseau électrique public en fonction de la disponibilité et des conditions de fonctionnement, respectivement. Les principaux composants de l'ensemble du système comprennent

le convertisseur de puissance bidirectionnel interfacé au réseau, le convertisseur élévateur DC-DC avec fonction de suivi du point de puissance maximale (MPPT) qui fournit la production d'énergie photovoltaïque au bus DC variable et un chargeur de batterie EV avec un connecteur bidirectionnel. Convertisseur abaisseur DC-DC pour la recharge et la décharge des véhicules électriques, respectivement. Un contrôleur est utilisé pour décider de la direction du flux d'énergie entre trois blocs du système en fonction du changement de tension du bus CC. [19]

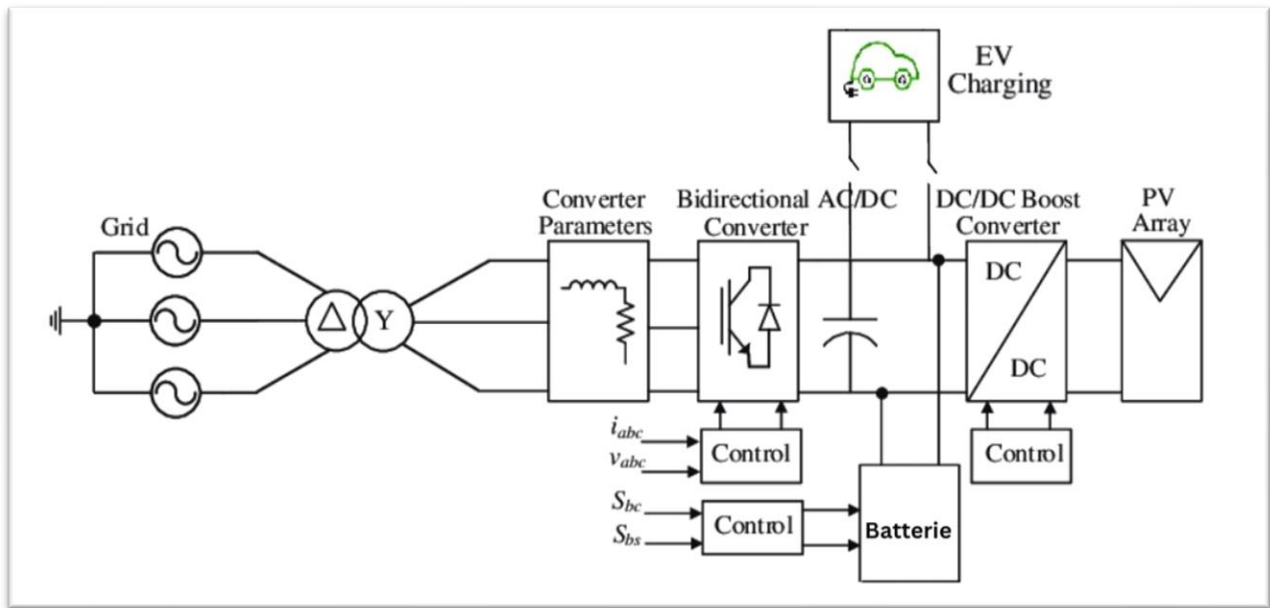


Figure 2-27 : Architecture de la borne de recharge.

une puissance de charge comprise entre 50 kW et 250 kW. En conséquence, les coûts associés à ces chargeurs (production, installation et exploitation) sont élevés, ce qui se reflète dans des prix de facturation plus élevés. Néanmoins, l'utilisation de ces chargeurs permet d'accélérer considérablement le processus de recharge des véhicules, ce qui en fait le meilleur moyen de recharger rapidement un véhicule lors de trajets longue distance (pour les voitures compatibles avec la recharge DC).

## 2.14 Conclusion :

Les bornes de recharge électriques sont une solution parfaite pour sensibiliser les gens à utiliser des voitures électriques. Ces bornes intelligentes sont alors une méthode optimisée de lutte concrète contre la pollution.

Dans ce chapitre sur les systèmes de recharge des véhicules électriques, nous explorons en détail les différentes méthodes et technologies disponibles. Qu'elles soient lentes, accélérées ou rapides, les bornes de recharge proposent des solutions qui s'adaptent aux divers besoins des utilisateurs, de la recharge quotidienne à domicile à la recharge rapide sur autoroute.

La diversité des méthodes de recharge – du courant alternatif au courant continu, des prises domestiques aux bornes publiques – démontre la sophistication des infrastructures de recharge et leur capacité à s'adapter face à la demande croissante de véhicules électriques. Les bornes de recharge sont de plus en plus intégrées dans les espaces publics et privés, offrant des options de recharge flexibles et accessibles.

Il est essentiel de développer une infrastructure de recharge robuste et complète pour soutenir l'adoption croissante des véhicules électriques. Cela inclut non seulement les avancées technologiques, mais également des stratégies de gestion intelligentes pour maintenir la stabilité du réseau électrique tout en répondant aux besoins des utilisateurs. En fin de compte, ces efforts contribuent à parvenir à une mobilité plus durable et plus respectueuse de l'environnement, conformément aux objectifs mondiaux de réduction des émissions de carbone et de la dépendance aux combustibles fossiles.

## **Chapitre III :**

**Analyse des conditions d'ensoleillement et de  
température pour les choisis par le Logiciel**

**HOMER Grid**



### **3 CHAPITRE 3: Analyse des conditions d'ensoleillement**

#### **et de température pour les choisis par le Logiciel**

#### **HOMER Grid**

#### **3.1 Introduction :**

L'installation photovoltaïque consiste en un assemblage de panneaux photovoltaïques, chacun composé de plusieurs cellules photovoltaïques interconnectées. Lorsqu'elles sont exposées aux rayons du soleil, ces cellules produisent de l'électricité. Un module photovoltaïque seul ne peut pas répondre de manière significative à un besoin énergétique défini et doit donc être intégré dans un système multi-sources . En raison des coûts d'installation, de nombreux logiciels existent désormais pour modéliser, optimiser et dimensionner les différents systèmes d'énergie renouvelable.

Le principal défi de ces installations réside dans la conception et le contrôle d'une centrale photovoltaïque, qui doivent viser non seulement la productivité énergétique mais aussi l'efficacité économique. Cela inclut le prédimensionnement de tous les composants et le choix de l'architecture du réseau. La solution retenue doit être optimale en termes de rendement, de coût minimal de l'énergie produite, et de minimisation des émissions de CO2.

Il s'agit donc d'un système complexe avec des composants de natures et de constantes de temps très différentes (allant de la milliseconde pour les convertisseurs statiques à l'heure pour les charges). Par conséquent, l'étude doit nécessairement s'appuyer sur des outils logiciels.

De nombreux logiciels sont spécialisés pour un type d'énergie particulier, et il en existe un bon nombre pour le solaire photovoltaïque. Cependant, un logiciel appelé HOMER est conçu pour plusieurs types d'énergie renouvelable. Dans ce chapitre, nous présenterons ce logiciel et étudierons analysant les conditions d'ensoleillement et de température pour une centrale photovoltaïque connectée au réseau électrique dans trois grandes villes d'Algérie : Mostaganem, Adrar et El-Bayadh, à l'aide du logiciel HOMER Grid afin de comparer les différentes configurations de systèmes énergétiques en termes de coûts, de fiabilité et d'impact environnemental pour le chapitre quatre .

### 3.2 Présentation du Logiciel HOMER GRID

HOMER Grid est un logiciel développé pour la modélisation et l'optimisation des systèmes de production d'énergie pour les applications de micro-réseaux commerciaux et industriels. Il permet de simuler des systèmes utilisant des énergies renouvelables ainsi que des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie, qu'elles soient renouvelables ou fossiles.

La première version de HOMER Grid a été lancée en 2018, et elle a été développée pour répondre aux besoins spécifiques des systèmes de micro-réseaux connectés au réseau électrique. Le logiciel permet de comparer différentes configurations de systèmes énergétiques en termes de coûts, de fiabilité et d'impact environnemental. [28]

#### 3.2.1 Les paramètres pour le choix de logiciel - HOMER Grid :

Tableau 3 1 : paramètres pour le choix de logiciel – HOMER Grid

Paramètre	Oui/Non/En partie	Explication
Langue	Oui	Disponible en anglais
Accessibilité à tous	Non	Payé
Plusieurs technologies disponibles	Oui	Éolien, diesel, photovoltaïque, batteries
Système hors réseau	En partie	Principalement conçu pour les systèmes connectés au réseau, mais peut modéliser certains aspects des systèmes hors réseau
Simulation de systèmes dans plusieurs pays	Oui	Partout a travers le monde selon des lieux prédéterminés
Évaluation des coûts	Oui	Permet l'évaluation détaillée des coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance

Optimisation des systemes	Oui	Optimisation des configuration pour minimiser les couts et maximiser l'efficacité
---------------------------	-----	---

### 3.3 Présentation du Logiciel HOMER Grid

HOMER, acronyme de( **H**ybrid **O**ptimization **M**odel for **E**lectric **R**enewables), est un logiciel d'optimisation des systèmes hybrides fonctionnant avec les énergies renouvelables. Cet outil puissant est utilisé pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, comprenant des groupes électrogènes, des systèmes de cogénération, des éoliennes, des systèmes photovoltaïques, des systèmes hydrauliques, des batteries, des piles à combustible, de la biomasse, et bien d'autres.

Que l'installation soit reliée au réseau électrique ou non, HOMER permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes telles que l'éolien et le solaire peuvent être intégrées de manière optimale au sein des systèmes hybrides. Grâce à ses capacités d'optimisation, HOMER aide à trouver les configurations les plus rentables et efficaces, tout en prenant en compte les contraintes et les objectifs spécifiques du système. [28]

### 3.4 Fonctionnement de HOMER Grid:

HOMER Grid simule le fonctionnement de systèmes énergétiques en utilisant diverses sources d'énergie telles que le solaire, l'éolien et les batteries. Le logiciel optimise ensuite les configurations des systèmes pour trouver les solutions les plus économiques et les plus efficaces. Il évalue également l'impact des variations de paramètres, comme le coût et la disponibilité des ressources, sur les performances des systèmes optimisés.

L'interface utilisateur de HOMER Grid est intuitive, permettant l'entrée des données, la simulation, l'optimisation et la visualisation des résultats. Le logiciel prend en charge diverses technologie énergétiques et intègre des données météorologiques, des profils de charge et les coûts des équipements. Enfin, HOMER Grid présente les résultats sous forme de rapports détaillés, de

graphiques et de tableaux de bord, facilitant ainsi la prise de décision éclairée pour la conception et l'optimisation des systèmes énergétiques hybrides [29].

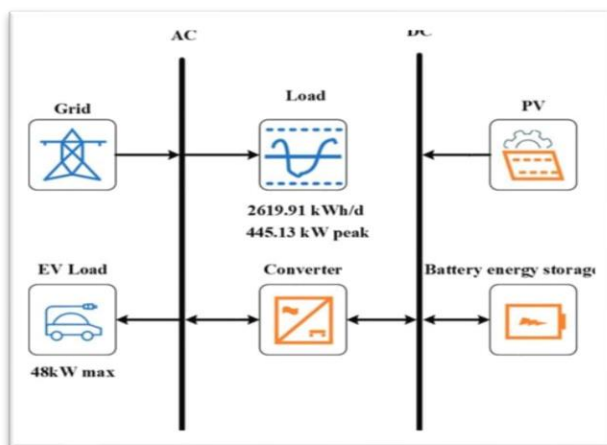


Figure 3-1 : Modèle conceptuel du logiciel HOMER Grid

### 3.5 Méthode générale d'utilisation HOMER Grid

Le logiciel HOMER Grid est facile à utiliser avec une interface intuitive et similaire aux logiciels usuels (voir Figure 3.2). L'interface d'HOMER Grid comporte trois parties importantes : la définition du système, les ressources, et les résultats. Voici les étapes détaillées :

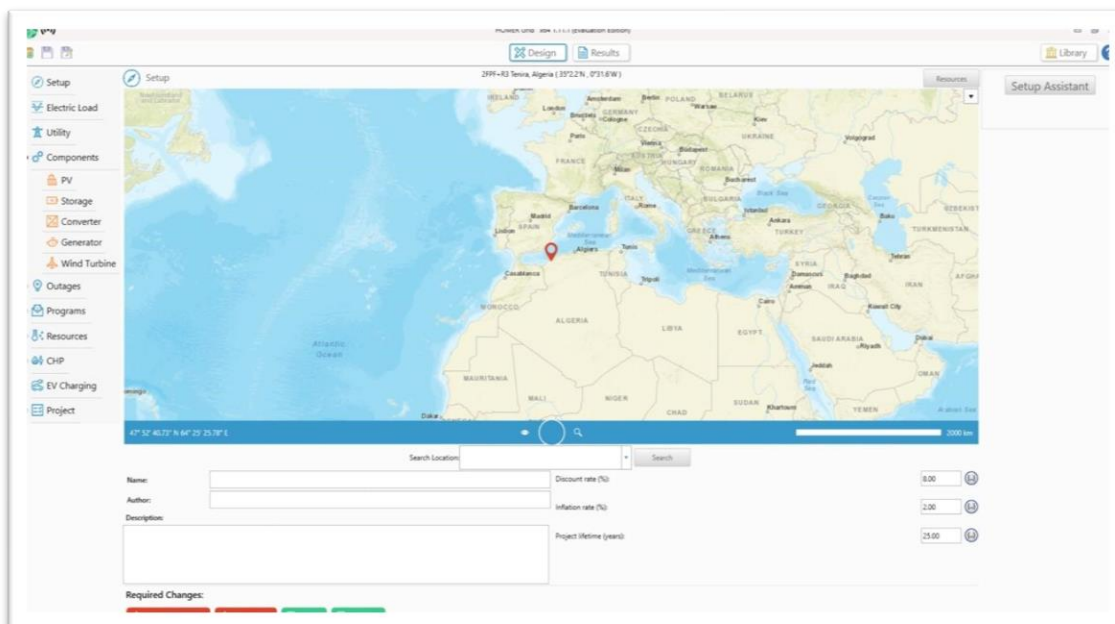


Figure 3-2 : l'interface de logiciel HOMER Grid

### 3.5.1 Définition du site

La première étape consiste à définir le site. Vous devez choisir le nom du projet et la localisation du site dans la fenêtre “Design”, comme indiqué dans la Figure(3.2).

### 3.5.2 Définition du système :

L'étape suivante consiste à décider quel système vous souhaitez concevoir. Vous pouvez choisir parmi différents équipements tels que des panneaux solaires, des batteries, des onduleurs, etc. Vérifiez simplement les éléments que vous prévoyez d'utiliser dans votre système illustrés à la figure (3.3). HOMER Grid vous permet également de modéliser un système connecté au réseau, de le comparer à un système hors réseau ou de ne pas inclure le réseau dans la simulation.

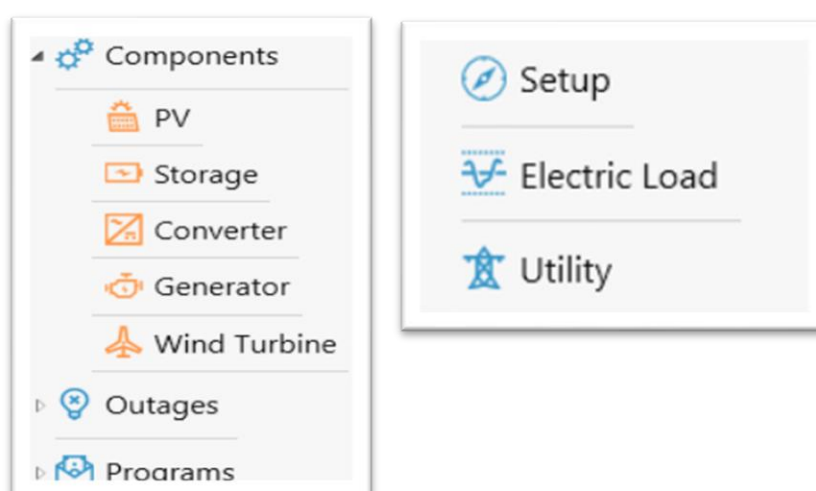


Figure 3-3 : : les équipements du logiciel HOMER Grid

### 3.5.3 Définir les ressources

Une fois l'équipement sélectionné, il est nécessaire de saisir les données concernant les ressources disponibles et la consommation d'énergie. Pour chaque code d'appareil, une fenêtre doit être remplie d'informations détaillées. Cela comprend des données sur l'énergie solaire ou éolienne, la consommation d'énergie prévue et les spécifications de l'équipement sélectionné. Si les générateurs

sont inclus, des données sur le carburant utilisé doivent également être fournies comme à la Figure(3.4).

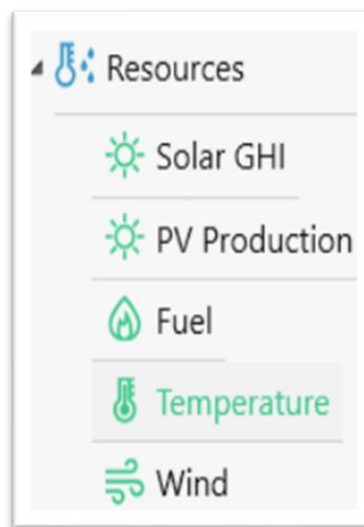


Figure 3-4 : les ressources du logiciel HOMER Grid

### 3.6 Simulation et résultats

Une fois ces données sont entrées, vous pouvez lancer la simulation en cliquant sur l'icône « Calculer ». HOMER Grid effectuera ensuite les calculs et vous présentera les résultats de la simulation. Ces résultats peuvent être visualisés de deux manières : « triés » et « globaux ». L'option Classé affiche la meilleure option pour chaque type de système, tandis que l'option Complète affiche tous les systèmes simulés, en commençant par le système le plus économique, en fonction du coût actuel net( NPC). Les résultats comprennent un résumé des coûts, des informations sur la production et la consommation d'énergie, les émissions et les performances des équipements. HOMER Grid permet également de visualiser des données simulées heure par heure, fournissant une analyse détaillée qui permet d'optimiser chaque type de système.

### 3.7 Simulation d'un système PV

La simulation d'un système photovoltaïque (PV) et d'une borne de recharge pour véhicules électriques (VE) à énergie solaire est essentielle pour concevoir des infrastructures énergétiques durables et efficaces. Dans ce chapitre, la configuration optimale des bornes de recharge de véhicules électriques avec panneaux solaires a été analysée techniquement et économiquement dans différentes conditions de rayonnement solaire en Algérie, à l'aide du programme HOMER Grid. Les résultats de cette étude ont des implications importantes non seulement pour l'élaboration des politiques et les

investissements dans les stations de recharge photovoltaïques pour véhicules électriques en Algérie, mais également pour le développement de l'industrie des véhicules électriques dans d'autres pays africains.

### 3.7.1 Description du site sélectionné

Dans cette étude, nous avons choisi trois grandes villes d'Algérie, à savoir Mostaganem, Adrar et El-Bayadh qui présentent des conditions d'irradiation solaire différentes, comme illustré dans la figure. [30]

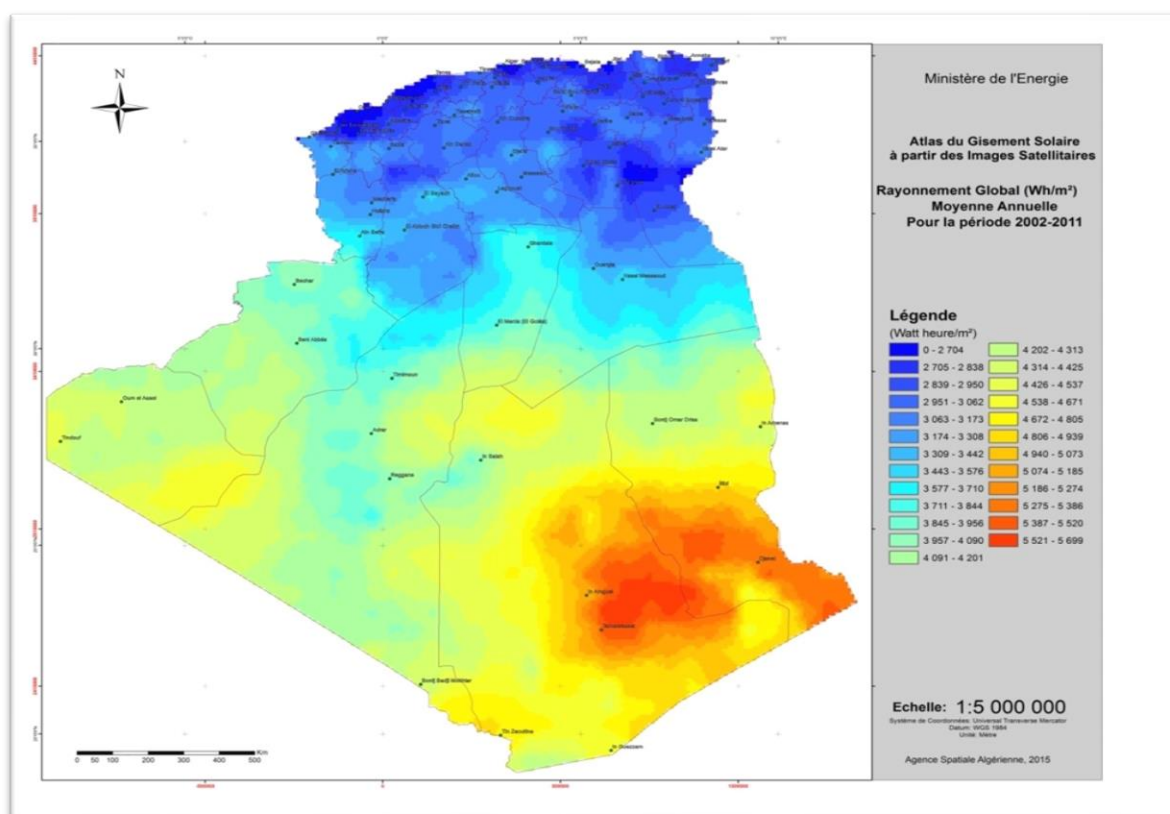


Figure 3-5 : Carte de l'irradiation solaire en Algérie

- **Mostaganem :**

Mostaganem est une wilaya située dans le nord-ouest de l'Algérie, avec une superficie d'environ 2 227 km<sup>2</sup>. La population de Mostaganem a connu une croissance rapide et a dépassé les 1,3 million d'habitants en 2024. Le climat de Mostaganem est de type méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Les températures moyennes en hiver, de novembre à mars, ne dépassent pas 22°C, tandis que les températures moyennes en été, de mai à septembre, dépassent 27°C.

D'après les données de HOMER, l'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Mostaganem est de 4,2 kWh/m<sup>2</sup> par jour, comme illustré dans

la Figure( 3.7) . Le mois d'irradiation le plus élevé est juin (5,1 kWh/m<sup>2</sup> par jour) et le mois le moins élevé est janvier (2,6 kWh/m<sup>2</sup> par jour) [29].

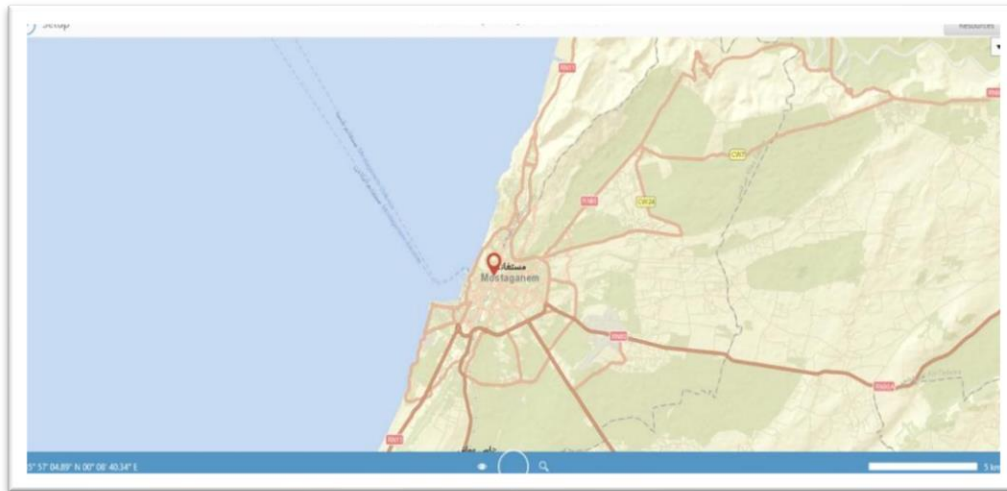


Figure 3-6 : Carte de Mostaganem sur Homer grid

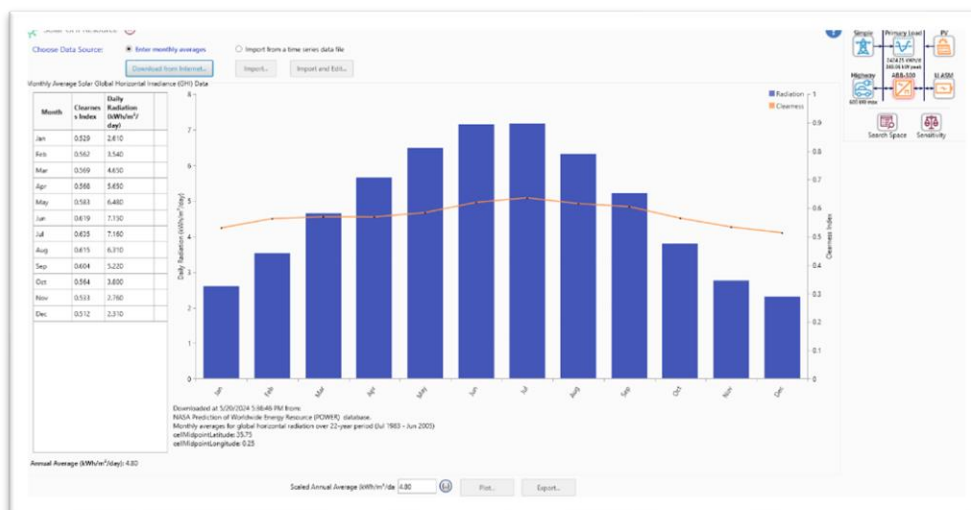


Figure 3-7 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Mostaganem.

- **El bayadh :**

La wilaya d'El Bayadh a une superficie naturelle de 52 311 km<sup>2</sup>, ce qui en fait l'une des plus grandes wilayas d'Algérie . El Bayadh est connue pour son riche patrimoine culturel et son potentiel touristique, notamment ses sites historiques et ses paysages naturels, comme illustré dans la Figure



(3.8). Le climat d'El Bayadh est caractérisé par des saisons distinctes de pluie et de sécheresse. La température moyenne la plus élevée à El Bayadh est de 36 °C et la plus basse est de 10 °C. Les variations de température entre les jours et les mois consécutifs de l'année sont d'environ 5-8 °C.

D'après les données de HOMER, l'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle dans la wilaya d'El Bayadh est de 4.99 kWh/m<sup>2</sup> par jour, comme illustré dans la Figure (3.9). Le mois d'irradiation le plus élevé est juillet avec une valeur de 7.15 kWh/m<sup>2</sup> par jour, tandis que le mois d'irradiation le plus bas est décembre avec 2.62 kWh/m<sup>2</sup> par jour.

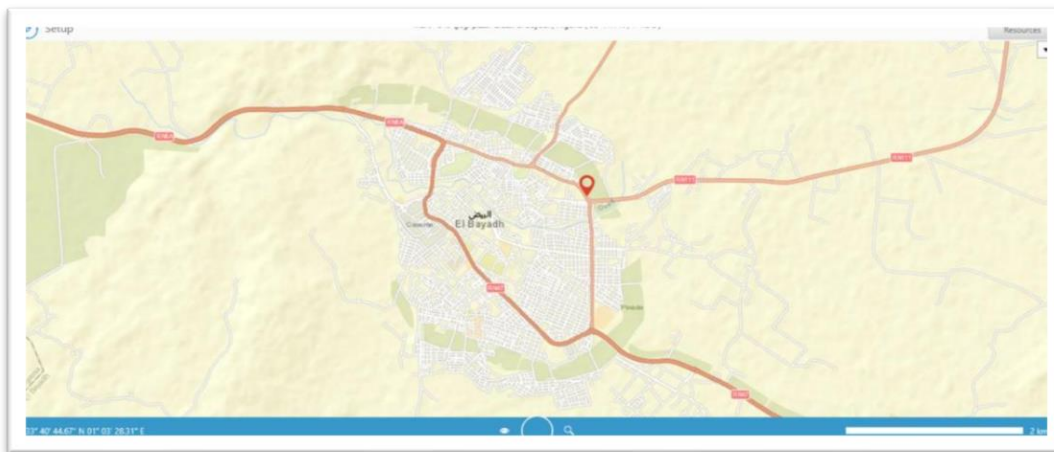


Figure 3-8 : Carte de El bayadh sur Homer grid

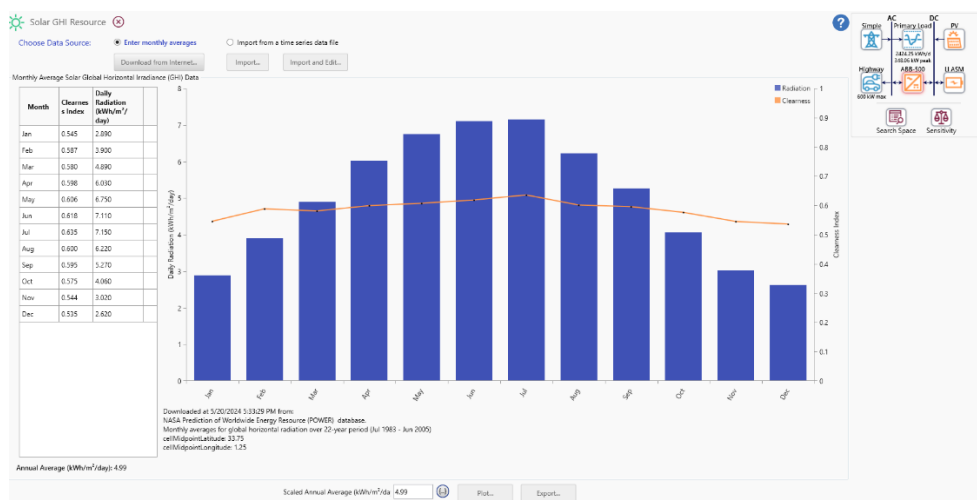


Figure 3-9 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à El bayadh

- **Adrar :**

Adrar (voir Figure 3.10) est une ville située dans le sud-ouest de l'Algérie, connue pour son climat désertique et son potentiel solaire élevé. La superficie totale de la ville d'Adrar est d'environ 427 968 km<sup>2</sup>. Le climat d'Adrar est aride, caractérisé par des températures très élevées durant l'été et

des hivers doux. La ville bénéficie d'un ensoleillement exceptionnel, avec une moyenne de 3000 heures de soleil par an.

Adrar connaît deux principales saisons : une saison chaude et sèche de mai à septembre, où les températures moyennes dépassent souvent 40 °C, et une saison légèrement plus fraîche d'octobre à avril, avec des températures moyennes avoisinant les 25 °C. Les précipitations annuelles sont extrêmement faibles, souvent inférieures à 25 mm par an, ce qui renforce l'importance de l'énergie solaire pour répondre aux besoins énergétiques de la région.

D'après les données de HOMER, l'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Adrar est de 5.89 kWh/m<sup>2</sup> par jour, comme illustré dans la Figure (3.11). Le mois d'irradiation le plus élevé est juillet (7.820 kWh/m<sup>2</sup> par jour) et le mois le moins élevé est décembre (3.360 kWh/m<sup>2</sup> par jour). L'irradiance solaire à Adrar est nettement supérieure à celle des autres villes d'Algérie, en raison de son climat désertique et de son ensoleillement prolongé.

La demande en électricité à Adrar est en constante augmentation, avec une consommation commerciale atteignant environ 1,5 milliard de kWh par an et une croissance estimée à 6 % par an.

Par conséquent, le potentiel de développement et d'application de l'énergie solaire à Adrar est significatif, en particulier pour les installations solaires photovoltaïque, ce qui pourrait largement contribuer à la satisfaction des besoins énergétiques de la région et à la réduction de la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles.



Figure 3-10 : Carte d'Adrar sur Homer grid



Figure 3-11 : L'irradiance solaire globale horizontale moyenne mensuelle à Adrar

### 3.8 La température:

La température est l'un des facteurs qui affectent considérablement les performances des cellules solaires. Les températures élevées réduisent l'efficacité des cellules photovoltaïques, ce qui impacte négativement la productivité de l'énergie. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des logiciels tels que HOMER Grid pour analyser et évaluer les effets de la température sur les systèmes solaires photovoltaïques. Cette analyse vise à comprendre comment les températures mensuelles moyennes dans différentes régions affectent les performances des panneaux solaires, ainsi que les mesures pouvant être prises pour atténuer ces effets et améliorer l'efficacité globale du système.

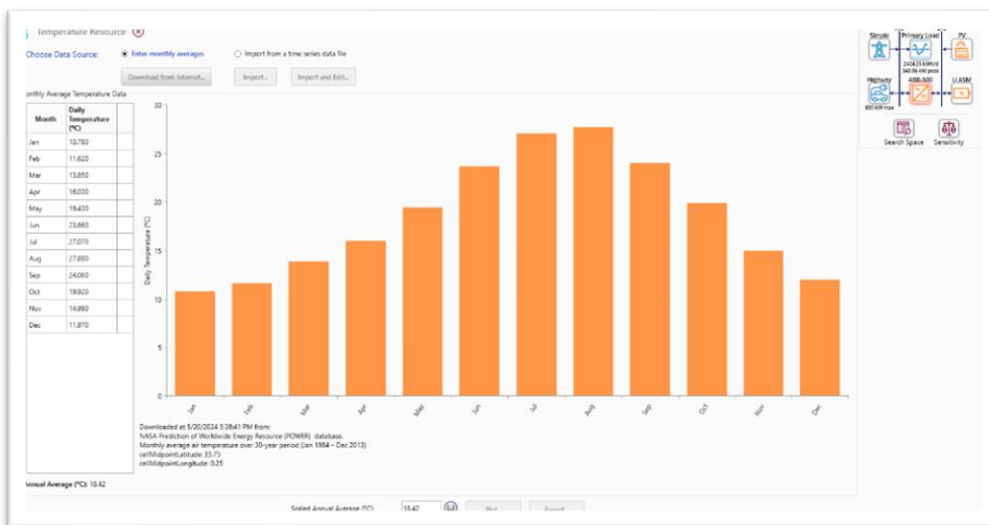


Figure 3-12 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à Mostaganem



Figure 3-13 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à El bayadh

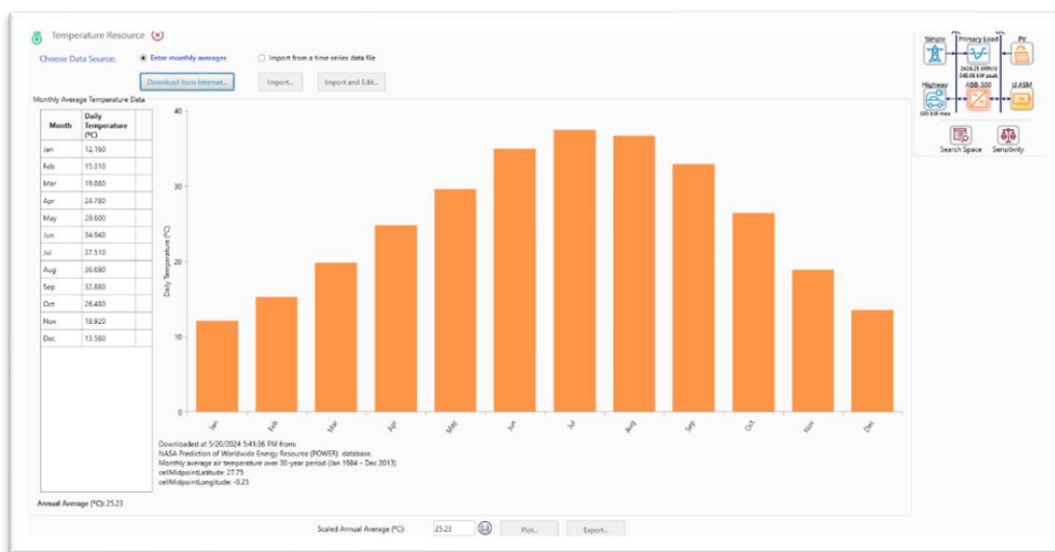


Figure 3-14 : L'évolution des températures mensuelles moyennes à Adrar

Les données indiquent que les températures dans les trois régions (El Bayadh, Mostaganem, et Adrar) varient entre 10°C et 34°C tout au long de l'année. Pendant les mois d'été, les températures atteignent leur pic, ce qui peut avoir un impact négatif sur l'efficacité des panneaux solaires. Cependant, les températures restent modérées pendant le reste de l'année, ce qui renforce les performances des panneaux. En utilisant le logiciel HOMER Grid, il est possible d'évaluer l'impact de

ces variations de température et de développer des stratégies pour améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques tout au long de l'année, telles que le refroidissement des panneaux pendant les mois chauds.

### **3.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel HOMER Grid pour simuler et optimiser une centrale photovoltaïque. Nous avons étudié trois villes algériennes — Mostaganem, Adrar, et El-Bayadh — en analysant leurs conditions d'ensoleillement. Nos résultats montrent l'importance de ces conditions pour les bornes de recharge des véhicules électriques utilisant l'énergie solaire. Ces informations sont importantes pour guider les décisions et investissements futurs dans ce domaine.

Dans le prochain chapitre, nous continuerons notre simulation avec HOMER Grid. Nous allons extraire et interpréter tous les résultats nécessaires pour concevoir un système optimal d'énergie renouvelable et de stockage. Notre objectif est de réduire les coûts d'électricité et les frais de recharge des véhicules électriques.

## **Chapitre 4 : Simulations du système , Résultats et interprétations**

# **4 CHAPITRE 4 : Simulations du système, Résultats et interprétations**

## **4.1 Introduction :**

Les voitures électriques (VE) deviennent de plus en plus populaires à travers le monde. En comparant la recharge traditionnelle des véhicules électriques basée sur le réseau électrique, la recharge des véhicules électriques photovoltaïques (PV) peut réduire considérablement l'empreinte carbone. Cependant, l'utilisation du réseau électrique actuel, alimenté par un système de production basé sur des combustibles fossiles, pour recharger les véhicules électriques a un impact sur le système de distribution et ne pourrait pas être bénéfique sur le plan écologique. L'Algérie, bénéficiant d'un environnement privilégié et de conditions climatiques favorables, présente une solution efficace et raisonnable pour l'exploitation des énergies renouvelable solaire. Dans ce contexte, l'intégration des systèmes photovoltaïques pour garantir la recharge des véhicules électriques (VE) est une solution adaptée, basée sur un plan économique et environnemental. Ce projet sera installé d'une manière dynamique et efficace pour améliorer l'efficacité des installations dans trois régions spécifiques : Mostaganem, El Bayadh et Adrar. nous avons utilisé le dispositif Home Grid, pour optimiser les systèmes énergétiques VE . Notre objectif est de déterminer la configuration technique et économique optimale pour recharger les VE alimentés avec l'énergie photovoltaïque. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats inclus dans notre programme de simulation. Nous analysons les détails des graphiques et des tableaux ainsi généré par Homer Grid , et comparons les performances des systèmes photovoltaïques dans les principales régions choisi.

## **4.2 Composants de la Station de Recharge Solaire pour Véhicules Électriques :**

### **4.2.1 Configuration et Principe de Fonctionnement :**

Une station de recharge pour véhicules électriques (VE) alimentée par des panneaux photovoltaïques (PV) connectée au réseau électrique comprend les composants suivants : un système PV, un convertisseur bidirectionnel DC-AC et AC-DC, le réseau électrique, des batteries de secours, et les véhicules électriques. La Figure (4.1) illustre cette configuration. Cette structure est optimale pour réduire le coût de l'approvisionnement en énergie électrique, le prix des systèmes solaires et des batteries, ainsi que les émissions de carbone Dans ce modèle, le VE peut se recharger directement à

partir du système solaire durant la journée, ou du réseau électrique la nuit et en cas de mauvaises conditions météorologiques ou les batterie en cas de secours ou moment de pointe pour le réseaux électrique [30]

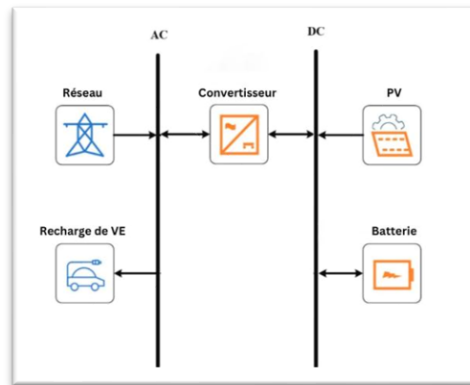


Figure 4-1 : Schéma bloc de la station de recharge VE alimentée par des panneaux

### 4.3 Les modes de fonctionnement de la station de recharge VE alimentée par des panneaux photovoltaïques sont les suivants :

#### 4.3.1 Mode 1 (Recharge uniquement à partir du système solaire) :

Si les conditions météorologiques sont favorables, la station de recharge VE est entièrement alimentée par le système PV (voir Figure 4.2). Dans ce mode, la station de recharge est déconnectée du réseau électrique. [31]

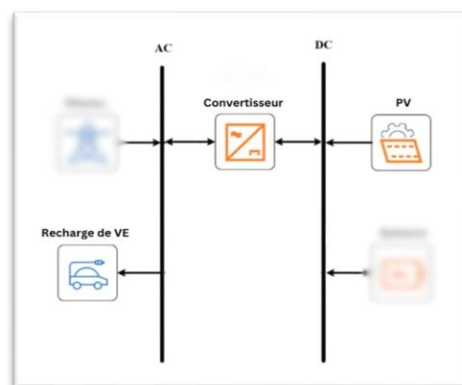


Figure 4-2 : Principe de fonctionnement en mode 1 de la station de recharge VE.

#### 4.3.2 Mode 2 (Recharge uniquement à partir du réseau électrique) :



Si le système solaire ne peut pas produire suffisamment d'énergie en raison de l'absence de soleil (la nuit) ou d'une irradiation extrêmement faible (jour pluvieux ou nuageux), la station de recharge VE est alimentée par le réseau électrique (voir Figure 4.3). [30]

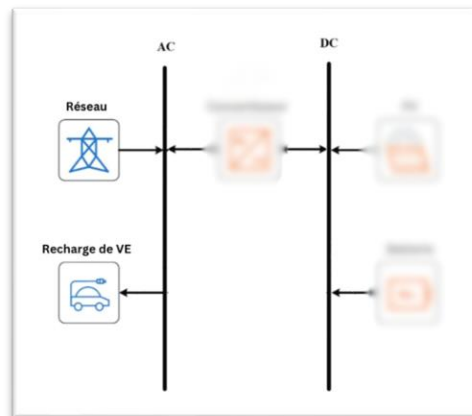


Figure 4-3 : Principe de fonctionnement en mode 2 de la station de recharge VE.

#### 4.3.3 (Recharge à partir du système solaire et du réseau électrique) :

Si le système PV ne peut fournir qu'une quantité d'énergie insuffisante pour une charge complète, le VE est rechargé à la fois par le système solaire et le réseau électrique (voir Figure 4.4). Normalement, la quantité d'électricité fournie par le réseau électrique dépend de la production du système solaire. Lorsque l'irradiation solaire est instable, le convertisseur bidirectionnel doit surveiller en continu le contrôleur de suivi du point de puissance maximale de la matrice solaire et ajuster en conséquence l'entrée du réseau électrique pour assurer que la puissance requise est maintenue pour la recharge du VE. [30]

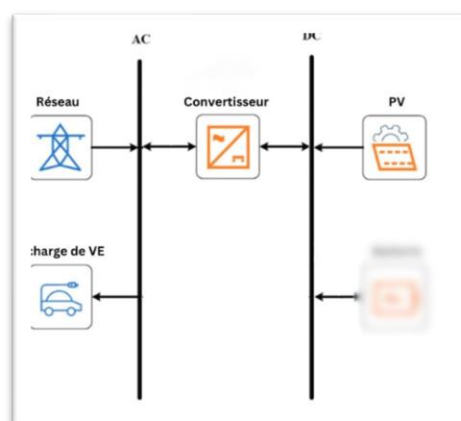


Figure 4-4 : Principe de fonctionnement en mode 3 de la station de recharge VE.

#### 4.4.4 Mode 4 (Vente d'énergie solaire au réseau électrique) :

Lorsqu'il n'y a pas de VE à charger et que le système solaire fournit de l'énergie, toute l'énergie produite est vendue au réseau électrique (voir Figure 4.5). Cependant, ce mode peut également fonctionner lorsque des VE sont disponibles pour la recharge, mais que leur capacité est inférieure à la puissance générée par le système solaire.

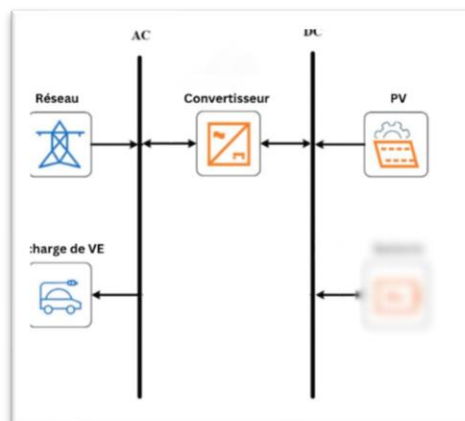


Figure 4-5 : Principe de fonctionnement en mode 4 de la station de recharge VE.

#### 4.4.5 Mode 5 (Recharge à partir des batteries de secours) :

Si le système solaire et le réseau électrique ne peuvent pas fournir d'électricité en raison de mauvaises conditions météorologiques ou d'une panne de réseau, l'énergie de la station de recharge peut être obtenue directement à partir des batteries de secours (voir Figure 2.26). Les batteries de secours peuvent être rechargées par le système solaire ou le réseau électrique, mais leur capacité est conçue pour répondre uniquement aux besoins minimaux de recharge des VE afin de minimiser le coût d'investissement.

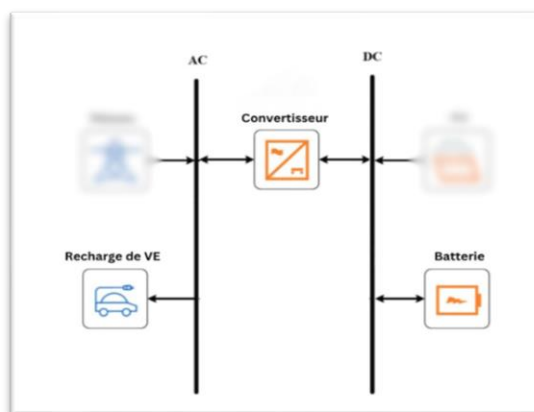


Figure 4-6 : Principe de fonctionnement en mode 5 de la station de recharge VE.

#### 4.4 Scénario choisis pour le système :

On vas simulé deux scénarios pour concevoir le système simulation des système EV avec charge et le système EV seul

#### 4.5 Énergie électrique consommée annuellement par la charge :

La figure 4.23 montre le profil annuel de la consommation d'énergie de la charge principale . Le graphique coloré représente la charge en kW sur une base horaire tout au long de l'année, avec une moyenne annuelle de 2424,25 kWh par jour et un pic de 348,08 kW. Les variations de la charge sont indiquées par des couleurs allant du bleu (faible charge) au rouge (charge élevée). La charge semble assez constante avec des variations modérées tout au long de l'année, suggérant une consommation stable mais variable quotidiennement.

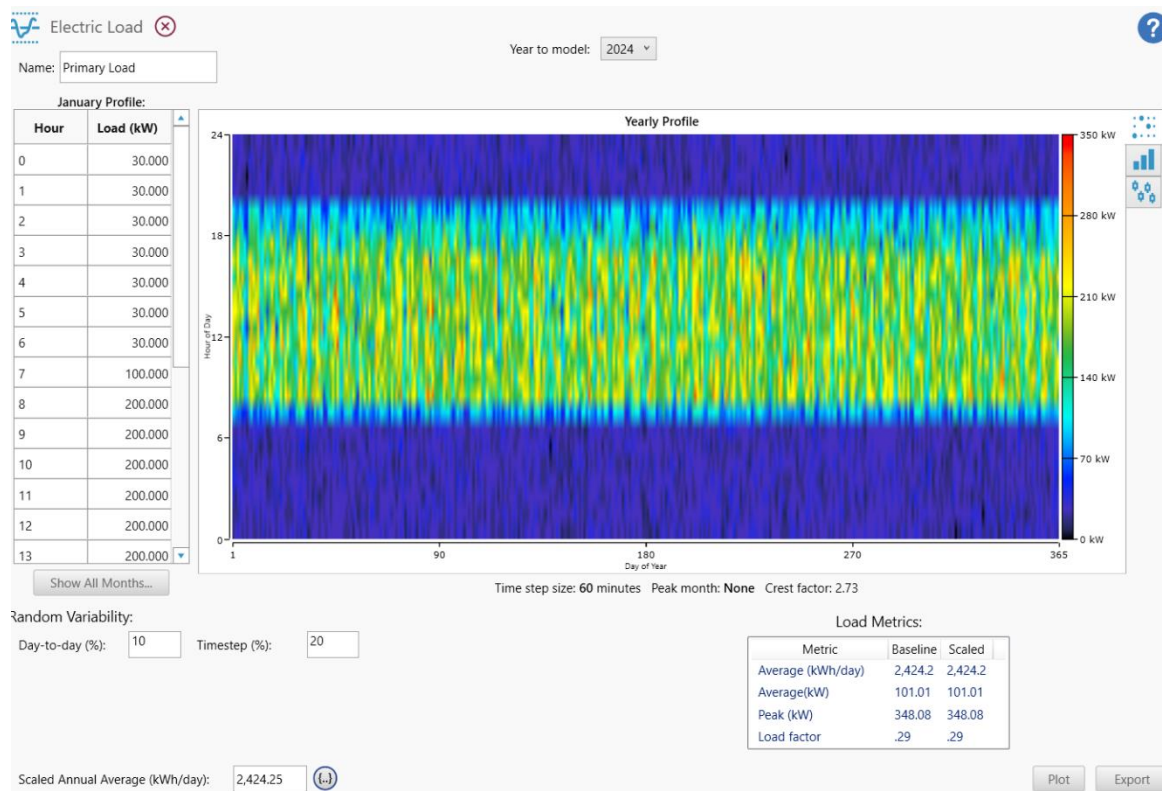


Figure 4-7 : profil annuel de la consommation d'énergie de la charge

#### 4.6 Énergie électrique consommée quotidiennement par la charge :

La figure 4.24 présente le profil quotidien de la consommation d'énergie de la charge principale pour une journée. Le graphique à barres montre la charge en kW pour chaque heure de la journée. La consommation commence faible la nuit, augmente rapidement le matin, atteint un pic en milieu de

journée (200 kW entre 10h et 18h), et diminue à nouveau en soirée. La charge moyenne quotidienne est de 2424,25 kWh avec un pic journalier de 348,08 kW, reflétant une activité accrue durant les heures de pointe.

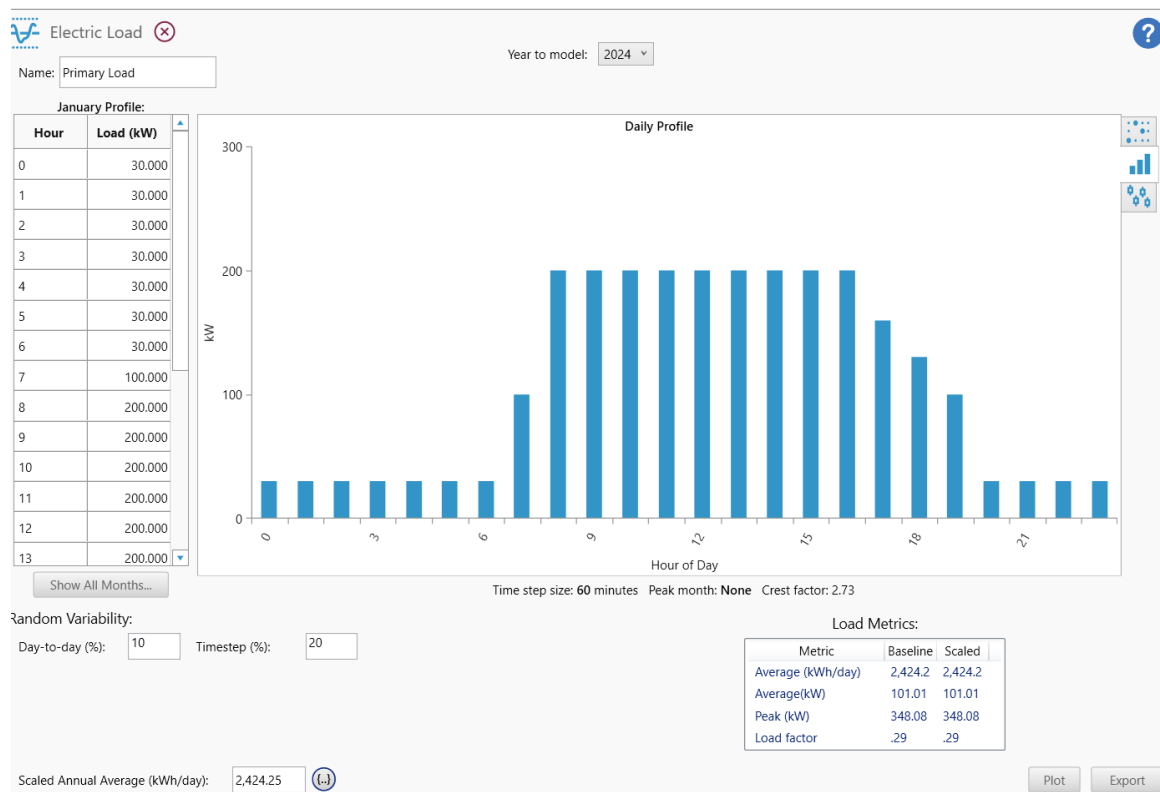


Figure 4-8 : profil quotidien de la consommation d'énergie de la charge

On peut voir que la consommation d'énergie électrique pour la charge des véhicules électriques est stable annuellement mais présente des variations quotidiennes significatives.

#### 4.7 Chargement des véhicules électrique dans les stations annuellement :

Le graphique 4.25 montre le profil annuel de la recharge des véhicules électriques aux bornes de recharge. L'intensité des couleurs indique la fréquence des sessions de recharge par heure tout au long de l'année. On observe une forte variation des pointes de recharge, irrégulièrement réparties, reflétant l'usage fluctuant des bornes de recharge. La consommation journalière moyenne est de 533 kilowattheures par jour, ce qui indique une demande constante mais variable selon le jour et l'heure.

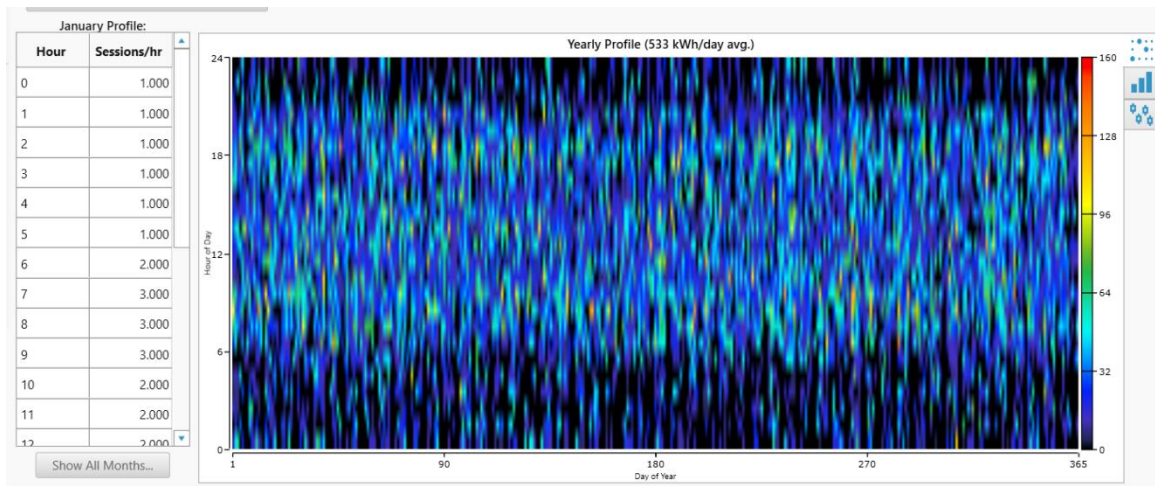


Figure 4-9 : profil quotidien de la consommation d'énergie de la charge

#### 4.8 Chargement des véhicules électrique dans les stations quotidiennement :

Le graphique 4.26 montre le profil de recharge quotidien des véhicules électriques aux bornes de recharge. Les barres indiquent la consommation horaire moyenne en kilowattheures, révélant des pics de demande importants vers 6h00 et 17h00, ce qui correspond probablement aux heures de pointe des déplacements domicile-travail. La consommation reste relativement faible pendant la nuit et augmente progressivement tôt le matin, pour atteindre un pic en fin d'après-midi, reflétant les habitudes de recharge des utilisateurs.

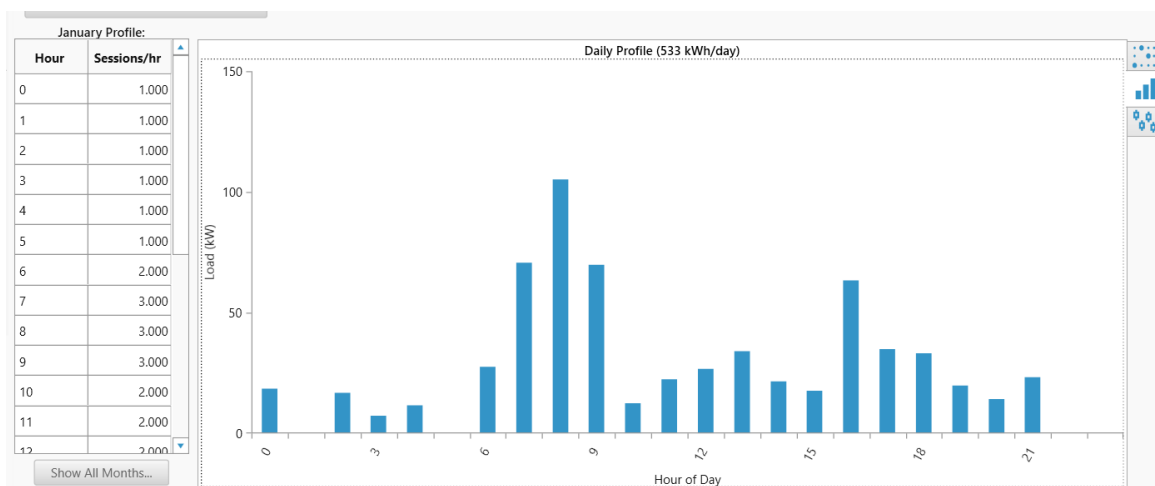


Figure 4-10 : Profil Quotidien du Chargement des Véhicules Électriques dans les Stations de Recharge

#### 4.9 Schéma du système avec charge

Le schéma avec charge présente une configuration complexe et flexible pour la gestion de l'énergie. Il intègre deux sortes de charge AC : une charge conventionnelle (Simple) et une charge haute puissance (Highway) pouvant fournir jusqu'à 600 kW pour les EV . L'énergie est ensuite gérée

par un convertisseur de batterie, permettant une conversion efficace entre AC et DC. La charge primaire consomme 2424,25 kWh par jour avec un pic de 348,08 kW. Sur le côté DC, on retrouve des panneaux solaires (CS6X-325P) et un système de stockage d'énergie (PowerSafe TL), assurant une alimentation continue et optimisée.



Figure 4-11 : schéma du système avec charge

#### 4.9.1 Scénario 1: le système avec une charge :

Les tableaux (4.1,4.2 4.3 ) présentent la configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque à Mostaganem, El bayadh et Adrar. La capacité maximale du système photovoltaïque de 600 kW est considérée comme le plan le plus optimal en raison de la valeur NPC la plus faible dans les trois conditions d'irradiation solaire différentes avec le meme cout d'investissement total de la station de recharge solaire EV de 185,135,38 \$.

Tableau 4-1 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Mostaganem - Scénario 1.

		Architecture				Cost				System	
	CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	
	600		1	445	\$327,173	\$0.0182	\$11,898	\$173,363	68.8	0	
	600	16	1	445	\$342,381	\$0.0190	\$12,506	\$180,707	68.8	0	
			1		\$544,256	\$0.0390	\$42,101	\$0.00	0	0	
		4	1	1.85	\$548,597	\$0.0393	\$42,277	\$2,058	0	0	

Tableau 4-2 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à El bayadh - Scénario 1.

		Architecture				Cost				System	
	CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	
	600		1	474	\$216,671	\$0.0111	\$3,075	\$176,920	75.7	0	
	600	16	1	482	\$231,914	\$0.0119	\$3,617	\$185,153	75.8	0	
			1		\$544,256	\$0.0390	\$42,101	\$0.00	0	0	
		4	1	1.85	\$548,597	\$0.0393	\$42,277	\$2,058	0	0	

Tableau 4-3 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Adrar - Scénario 1.

Architecture				Cost				System	
CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
600		1	460	\$305,079	\$0.0166	\$10,051	\$175,141	70.4	0
600	16	1	467	\$320,646	\$0.0175	\$10,619	\$183,375	70.5	0
		1		\$544,256	\$0.0390	\$42,101	\$0.00	0	0
	4	1	1.85	\$548,597	\$0.0393	\$42,277	\$2,058	0	0

#### 4.9.2 Impact de la Radiation Solaire sur les Stations de Recharge VE avec charge :

Tableau 4-4 : Paramètre technique des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans le scénario 1

Contenu	Mostaganem	El bayadh	Adrar
Irradiation solaire (kWh/m <sup>2</sup> .jour)	4.80	4.99	5.81
<b>production</b>			
Capacité PV optimale (kW)	600	600	600
PV (kW/an)	991,252	1,031,833	1,179,673
Achats du Grid (kW/an)	433,841	419,081	364,727
Total (kW/an)	1,425,093	1,450,913	1,544,399
<b>Consommation</b>			
Chargement de EV servi (kW/an)	194,649	194,649	194,649
Ventes du grid (kW/an)	311,673	340,619	430,213
Charge AC (kW/an)	884,852	884,852	884,852
Total (kW/an)	1,391,174	1,420,120	1,509,714
Fraction d'énergie renouvelable (%)	68.8	70.5	74.6

Comme mentionné dans le Tableau 4, le ratio de l'énergie solaire et de l'énergie du réseau parmi la quantité totale d'électricité produite pour la station de recharge dépend de la variation de la production d'énergie du système PV de 600 kW et de différentes valeurs de radiation solaire. En termes de faible radiation solaire, Mostaganem ne dispose que de moins de radiation solaire ; donc, la seule production solaire est fournie pour la station de recharge pour VE, qui est l'unité de 991 252 kwh/an, et El Bayadh a radiation solaire et PV design de 1 031 833 kwh/an. Cependant, Adrar dispose de la plus grande radiation solaire et PV design de 1 179 673 kwh/an, fournissant de l'énergie excédentaire de 430 213 kwh/an au réseau d'électricité, voir le Tableau 4.

### 4.9.3 Le NPC et le coût d'exploitation :

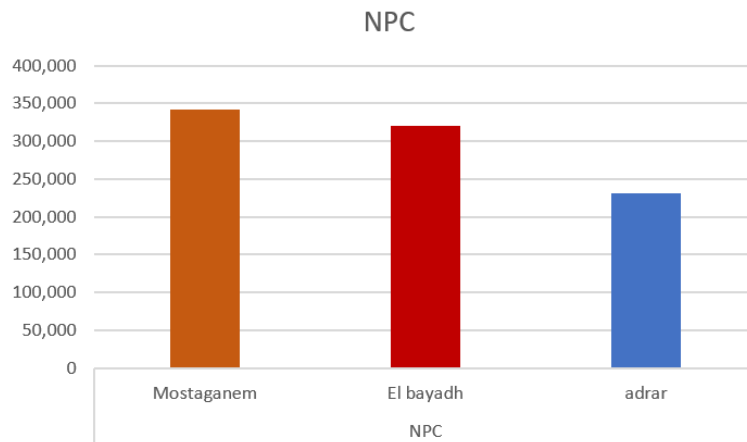


Figure 4-12 : Le Coût net present des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1

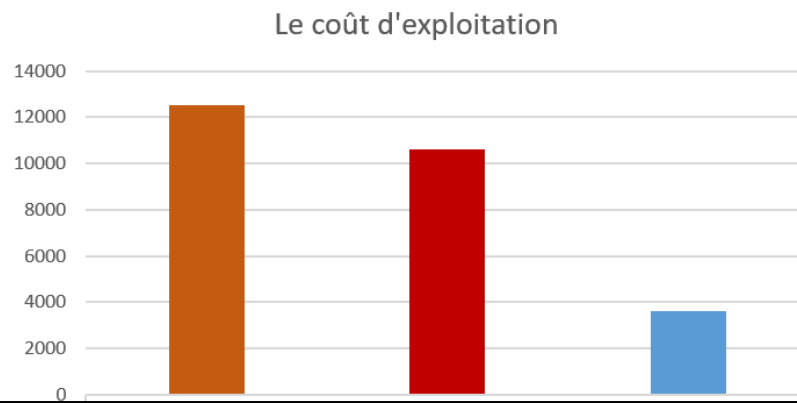


Figure 4-13 : Le coût d'exploitation des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1

Les figures 12 et 13 montrent le coût net present et les coûts d'exploitation des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par des panneaux photovoltaïques dans trois villes. Adrar a les coûts d'exploitation les plus bas. Ces coûts à El bayadh sont plus élevés que ceux d'Adrar, tandis que Mostaganem a les NPC et les coûts d'exploitation les plus élevés.



#### 4.9.4 Coût de la recharge électrique photovoltaïque :

Le graphe montre le coût actualisé de l'énergie (COE) des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par des panneaux photovoltaïques (PV) dans trois villes : Mostaganem, El Bayadh et Adrar. Mostaganem a le COE le plus élevé à 0,0190 \$/kWh, suivi de El Bayadh à 0,0175 \$/kWh, tandis qu'Adrar a le COE le plus bas à 0,0119 \$/kWh. Cela indique que recharger des véhicules électriques via PV est plus coûteux à Mostaganem et moins coûteux à Adrar.

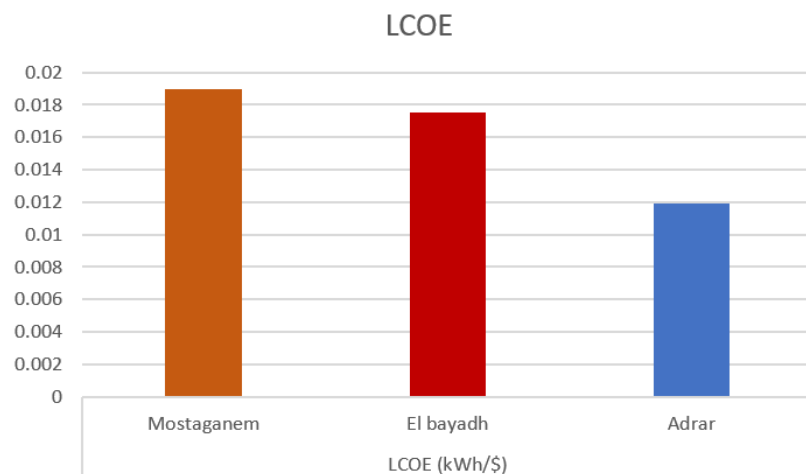


Figure 4-14 : COE des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 1.

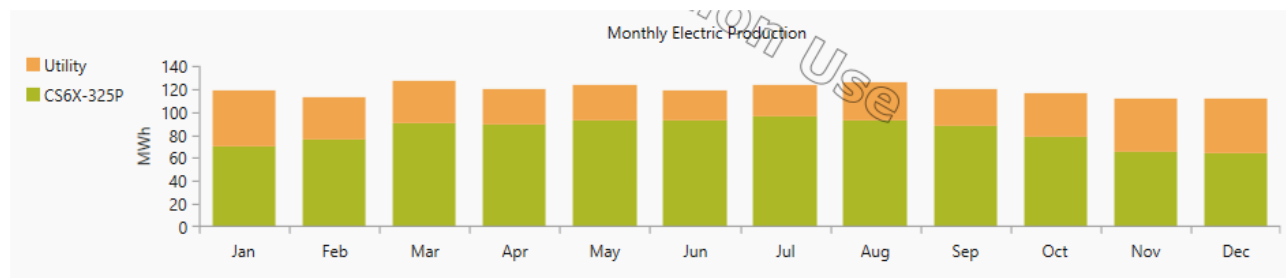
On peut voir que plus le rayonnement solaire est élevé, plus le coût du NPC et celui du COE sont faibles .

#### 4.10 Production d'électricité dans les Stations de Recharge

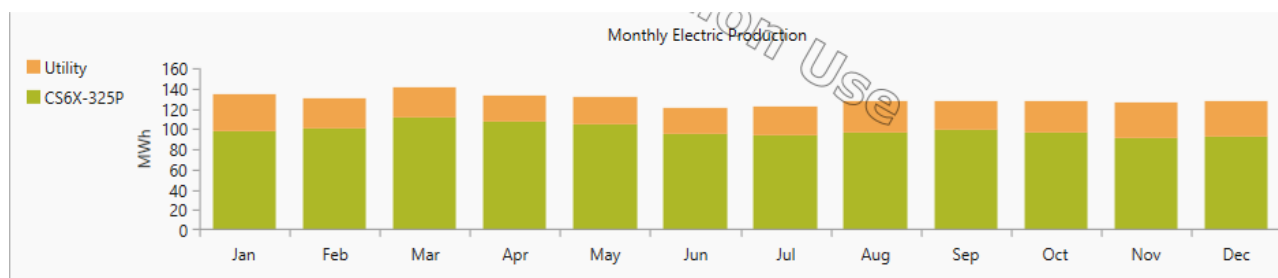
Les graphiques de la figure (4.11) montrent la production mensuelle d'électricité par le système PV et le réseau électrique pour les stations de recharge de véhicules électriques dans trois villes : Mostaganem, Adrar, et El Bayadh. Les stations utilisent d'abord l'énergie solaire, puis complètent avec le réseau local en cas de déficit.

À Mostaganem, la dépendance au réseau électrique est plus forte de janvier à mars et de septembre à décembre, avec une production solaire stable et une légère hausse en été. Adrar, en revanche, présente une production solaire élevée tout au long de l'année, réduisant ainsi la dépendance au réseau électrique. À El Bayadh, la dépendance au réseau est similaire à Mostaganem, augmentant en hiver et en fin d'année, tandis que la production solaire reste constante avec une légère hausse en été.

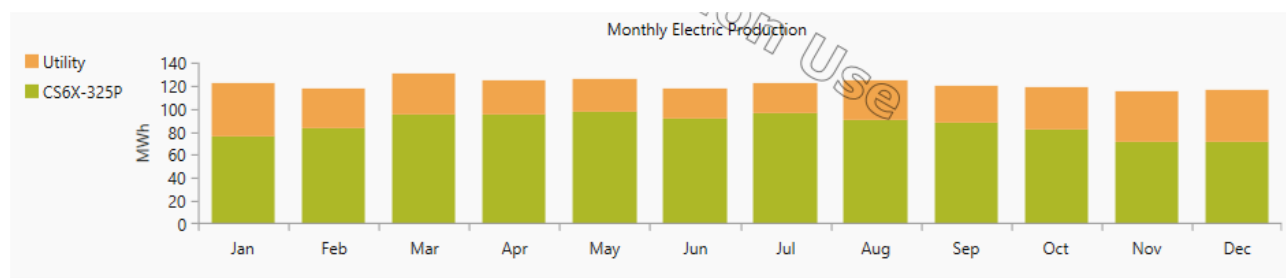
En résumé, Adrar bénéficie plus d'énergie solaire grâce à une production élevée toute l'année, réduisant la nécessité de recourir au réseau électrique. Mostaganem et El Bayadh montrent des schémas similaires de dépendance au réseau, augmentant en hiver et diminuant en été grâce à une meilleure production solaire. Cette analyse aide à optimiser l'utilisation de l'énergie solaire et à réduire la dépendance au réseau dans chaque ville.



(a)



(b)



(c)

Figure 4-15 : Production mensuelle d'électricité par an du système solaire et du réseau électrique. (a) Mostaganem ; (b) Adrar ; (c) El bayadh.

## 4.11 Économies Cumulatives d'un Système Hybride par Rapport au Cas de Base dans Trois Villes

Les trois graphiques ( 4.12,4.13 et 4.14) comparent les économies cumulatives d'un système hybride par rapport au cas de base pour les villes de Mostaganem, El Bayadh et Adrar. Dans chaque graphique, la ligne bleue représente le système hybride, tandis que la ligne grise représente le cas de base. On observe que dans toutes les villes, le système hybride génère des économies significatives par rapport au cas de base, avec une tendance à l'augmentation des économies cumulatives sur la durée du projet. Les économies annuelles des factures d'électricité sont notables pour chaque ville, ce qui indique une rentabilité accrue du système hybride par rapport au cas de base.

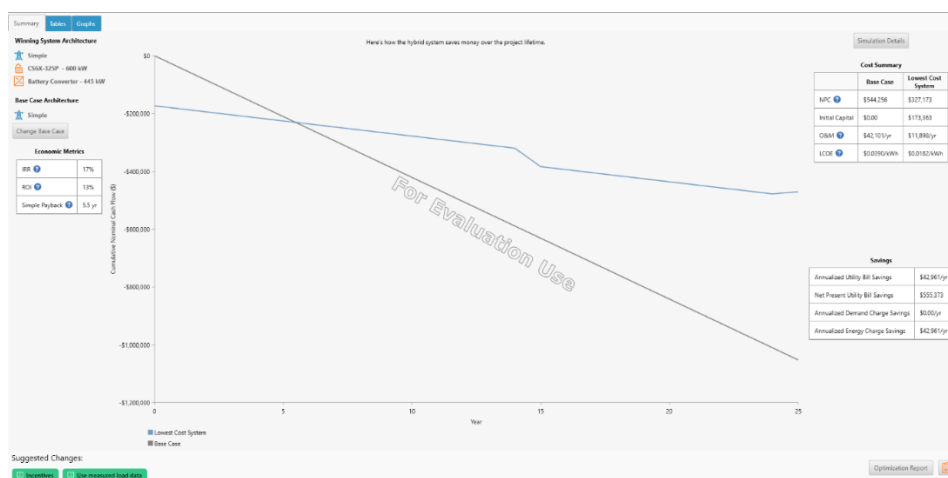


Figure 4-16 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de mostaganem

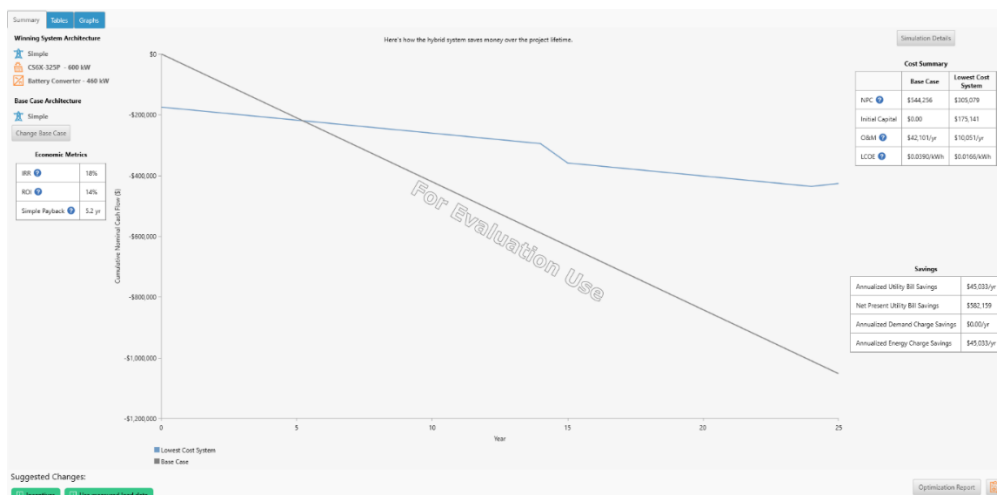


Figure 4-17 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de El bayadh

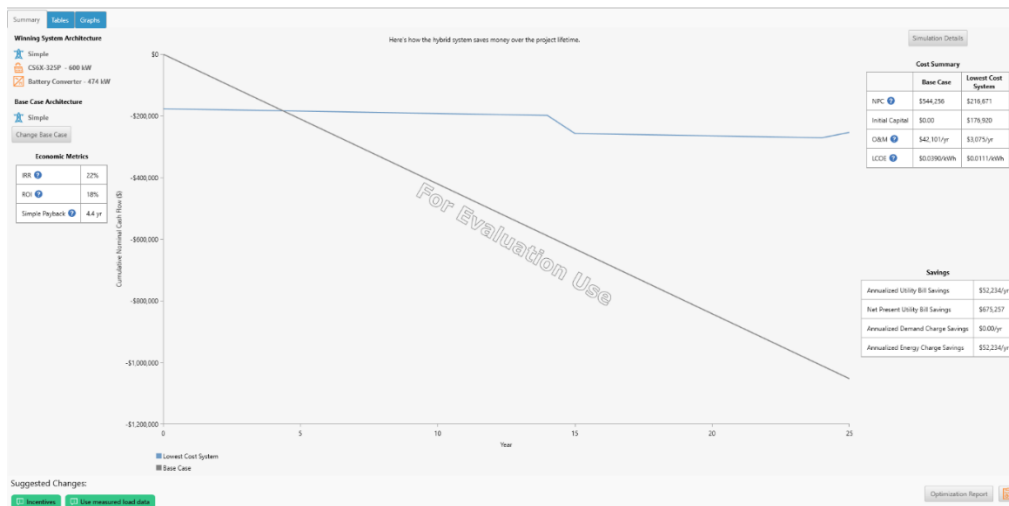


Figure 4-18 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base pour la ville de adrar

#### 4.12 Schéma du système sans charge

Le schéma sans charge offre une configuration simplifiée pour la gestion de l'énergie. Comme dans le schéma avec charge, il utilise une sources d'alimentation AC (Simple et Highway, avec une capacité maximale de 600 kW). Ce schéma inclut également des panneaux solaires (CS6X-325P) et un système de stockage d'énergie (PowerSafe TLS 5),avec la flexibilité additionnelle offerte par le convertisseur ,les batteries et le réseau électrique .

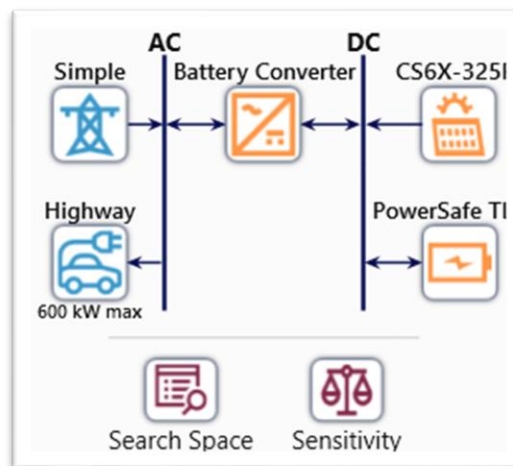


Figure 4-19 : schéma sans charge

### 4.13 Scénario 2: le système sans charge:

Tableau( 4.5, 4.6 et 4.7) présentent les configurations optimales des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par des panneaux photovoltaïques (PV) dans le cadre du scénario 2 du système, dans lequel le système fonctionne sans charge. Ces configurations sont réalisées pour trois régions différentes : Mostaganem, El bayadh, et adrar. Grâce à ces données, les coûts et les performances des infrastructures de recharge dans des environnements différents peuvent être saisis, en fournissant un exemple clair de la quantité d'investissement nécessaire et des coûts opérationnels inclus :

Tableau 4-2 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Mostaganem - Scénario 2.

Architecture				Cost			
CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)
600		1	455	-\$336,740	\$0.0250	-\$39,556	\$174,623
600	1	1	455	-\$335,505	\$0.0277	-\$39,496	\$175,082
		1		\$98,137	\$0.0913	\$7,591	\$0.00
	1	1	18.8	\$105,016	\$0.0925	\$7,914	\$2,712

Tableau 4-3 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à El bayadh - Scénario 2.

Architecture				Cost				System	
CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
600		1	450	-\$266,304	\$0.0250	-\$34,064	\$174,060	93.2	0
600	1	1	450	-\$265,055	\$0.0277	-\$34,003	\$174,519	93.2	0
		1		\$98,137	\$0.0142	\$7,591	\$0.00	0	0
	1	1	18.8	\$105,016	\$0.0144	\$7,914	\$2,712	0	0

Tableau 4-4 : Configuration optimale des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV à Adrar - Scénario 2.

Architecture				Cost				System	
CS6X-325P (kW)	PowerSafe TLS 5 (#)	Simple	Battery Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
600		1	446	-\$240,864	\$0.0250	-\$32,053	\$173,497	92.8	0
600	1	1	441	-\$239,611	\$0.0277	-\$31,948	\$173,393	92.8	0
		1		\$98,137	\$0.0137	\$7,591	\$0.00	0	0
	1	1	18.8	\$105,016	\$0.0129	\$7,914	\$2,712	0	0

#### 4.13.1 Production d'électricité dans Stations de Recharge VE sans charge :

Dans le Tableau 4.8, on remarque que le ratio de l'énergie solaire à Mostaganem, El Bayadh et Adrar dans le scénario 2 reste le même qu'au scénario 1. La configuration optimale de la station de recharge à Adrar, ayant la radiation solaire la plus élevée (5,81 kWh/m<sup>2</sup>. Jour), permet une production PV de 1,128,766 kW/an et une fraction d'énergie renouvelable de 94,0 %. À El Bayadh, avec une radiation solaire de 4,99 kWh/m<sup>2</sup>. Jour, la production PV atteint 1,031,833 kW/an et la fraction d'énergie renouvelable est de 93,2 %. Mostaganem, ayant la radiation solaire la plus basse (4,80 kWh/m<sup>2</sup>. Jour), produit 991,252 kW/an avec une fraction d'énergie renouvelable de 92,8 %. L'excès d'énergie solaire vendu au réseau est respectivement de 834,800 kW/an pour Mostaganem, 872,783 kW/an pour El Bayadh, et 968,642 kW/an pour Adrar, démontrant la rentabilité potentielle de l'investissement dans ces stations de recharge PV.

Tableau 4-5 : Paramètre technique des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans le scénario 2.

Contenu	Mostaganem	El bayadh	Adrar
Irradiation solaire (kWh/m <sup>2</sup> .jour)	4.80	4.99	5.81
<b>production</b>			
Capacité PV optimale (kW)	600	600	600
PV (kW/an)	991,252	1,031,833	1,128,766
Grid (kW/an)	73,706	72,864	70,313
Total (kW/an)	1,064,958	1,104,696	1,199,079
<b>Consommation</b>			
Chargement de EV servi (kW/an)	194,649	194,649	194,649
Ventes du grid (kW/an)	834,800	872,783	968,642
Total (kW/an)	1,029,450	1,067,432	1,163,291
Fraction d'énergie renouvelable (%)	92,8	93.2	94.0

#### 4.14 Le NPC et le coût d'exploitation sans charge

Les figures 4.16 et 4.17 montrent que le NPC et le coût d'exploitation des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le Scénario 2, qui est sans charge ainsi le passage du Scénario 1 au Scénario 2 entraîne une réduction significative à la fois du NPC et des coûts d'exploitation dans toutes les villes. Cela suggère que le scénario sans charge (Scénario 2) est beaucoup plus économique. Adrar reste la ville la plus économique dans les deux scénarios, mais la différence des coûts entre les villes se réduit considérablement dans le Scénario 2.

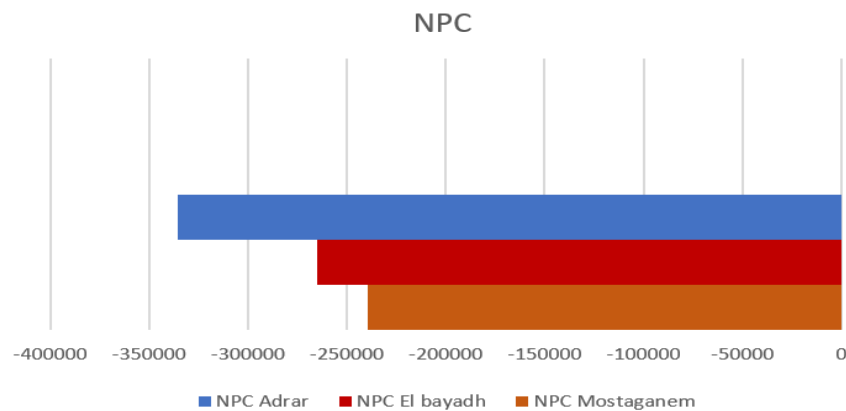


Figure 4-20 : Le coût net present des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 2

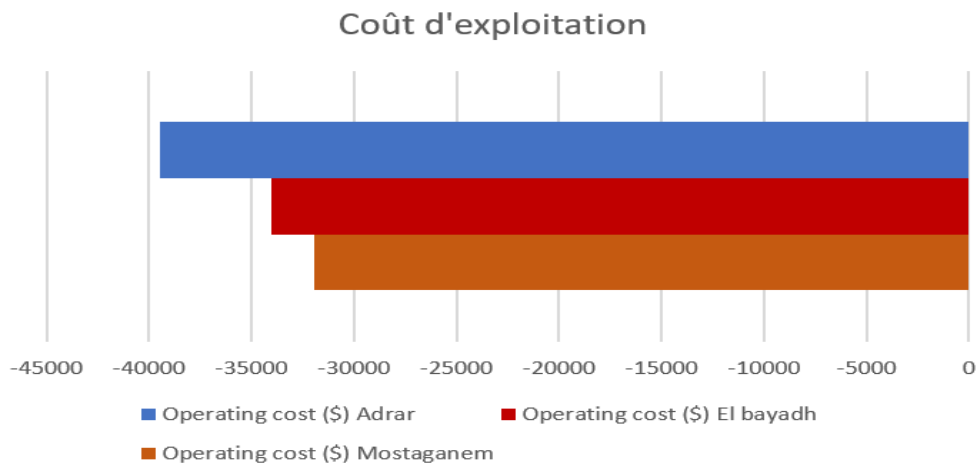


Figure 4-25 : Le coût d'exploitation des bornes de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le Figure 4-26 : Caractéristique de tension et des courants dans le transistor et

Le choix entre les deux scénarios dépend des objectifs et des contraintes spécifiques du projet.

-Si l'objectif principal est de minimiser les coûts initiaux et opérationnels, le Scénario 2 (sans charge) est préférable. Ce scénario offre une solution économique et plus facile à gérer, bien qu'il puisse avoir une capacité réduite.

- Si l'objectif est d'assurer une capacité de charge élevée et de maximiser l'utilisation des infrastructures, le Scénario 1 (avec charge) est plus approprié. Malgré les coûts plus élevés, il peut offrir une viabilité à long terme et une utilisation optimale des stations de recharge.

En résumé, pour une mise en œuvre initiale et des coûts opérationnels réduits, le Scénario 2 est généralement mieux. Cependant, pour des besoins à long terme et une utilisation intensive, le Scénario 1 pourrait offrir plus d'avantages malgré les coûts plus élevés.

#### 4.14.1 Coût de la recharge électrique photovoltaïque :

La figure (4 .22) montre le cout actualisé de l'électricité (LCOE) pour Mostaganem,El bayadh et Adrar un scénario sans charge (scénario 2) . mostaganem a le cout le plus élevé pour produire de l'éctricité , tandis qu'Adrar a le cout le plus bas . cela prourrait être du à des difficulté des technologies utilisées

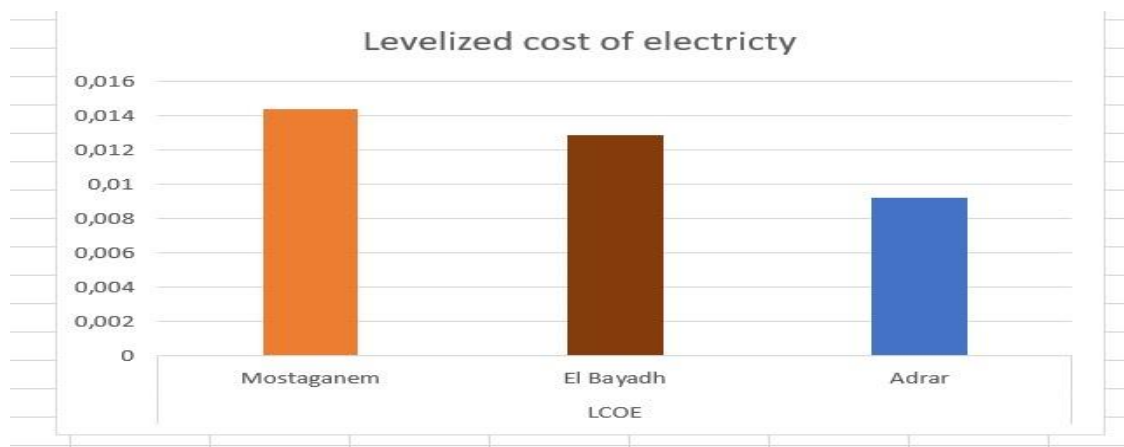
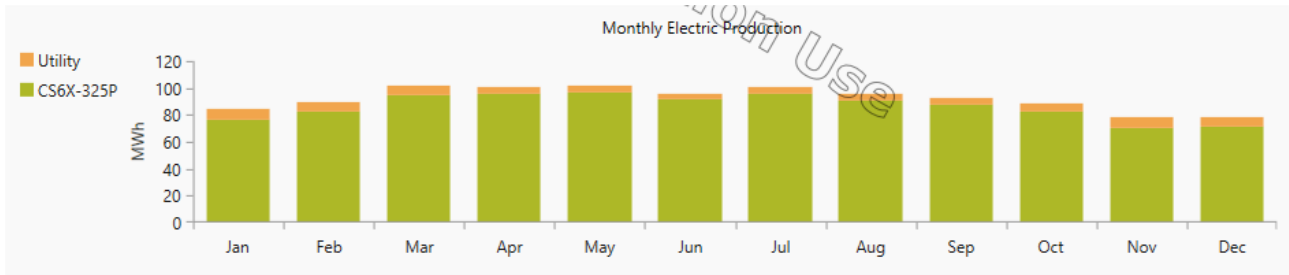


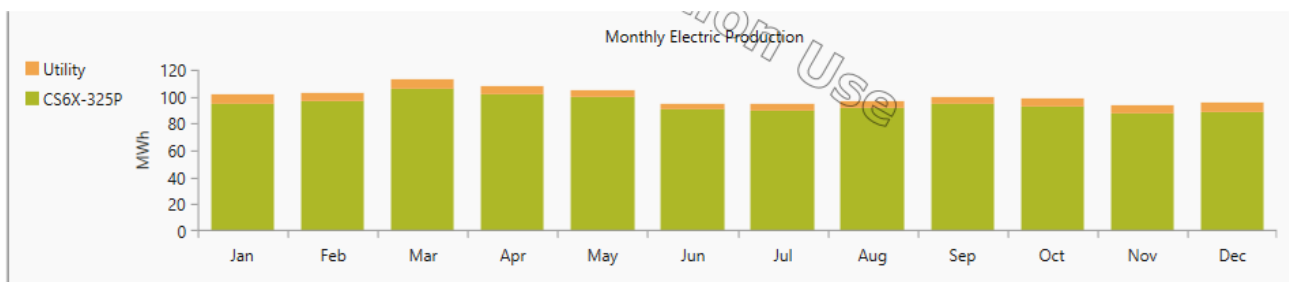
Figure 4-28 : COE des stations de recharge pour véhicules électriques alimentées par PV dans le scénario 2



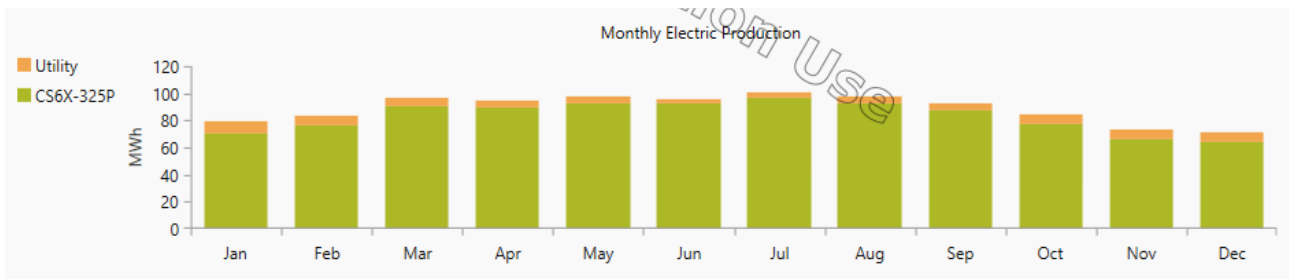
#### 4.15 Dépendance à l'Énergie Solaire pour les Stations de Recharge en Algérie :



(a)



(b)



(c)

Figure 4-31 : Production mensuelle d'électricité par an du système solaire et du réseau électrique sans charge.

(a) Mostaganem ; (b) Adrar ; (c) El bayadh

Ces graphiques comme dans le scénario 1 nous montrent la production mensuelle d'électricité par le système solaire uniquement pour les stations de recharge de véhicules électriques dans trois villes : Mostaganem, Adrar, et El Bayadh.

On remarque que à El Bayadh, la production d'énergie est la plus basse au cours de toute l'année, surpassée légèrement par Mostaganem, tandis que Adrar possède la production d'énergie la plus élevée a tout au long de l'année.

En éliminant la charge on réduit ainsi la dépendance au réseau électrique. On observe que les trois villes interagies rarement avec le réseau, À El Bayadh, la dépendance au réseau est similaire à Mostaganem, augmentant en hiver et en fin d'année, tandis que la production solaire reste constante avec une légère hausse en été.

#### 4.16 Économies et Rentabilité d'un Système Hybride par Rapport au Cas de Base sans Charge dans Trois Villes

Les trois graphiques comparent les économies cumulatives d'un système hybride par rapport au cas de base sans charge pour les villes de Mostaganem, El Bayadh et Adrar. Dans chaque graphique, la ligne bleue représente le système hybride, tandis que la ligne grise représente le cas de base. On observe que, pour toutes les villes, le système hybride génère des économies significatives sur la durée du projet, avec une augmentation progressive des économies cumulatives. Les économies annuelles sont substantielles dans chaque cas, démontrant la rentabilité du système hybride par rapport au cas de base sans charge. Les valeurs économiques (IRR, ROI, et période de récupération) indiquent une performance financière favorable du système hybride.

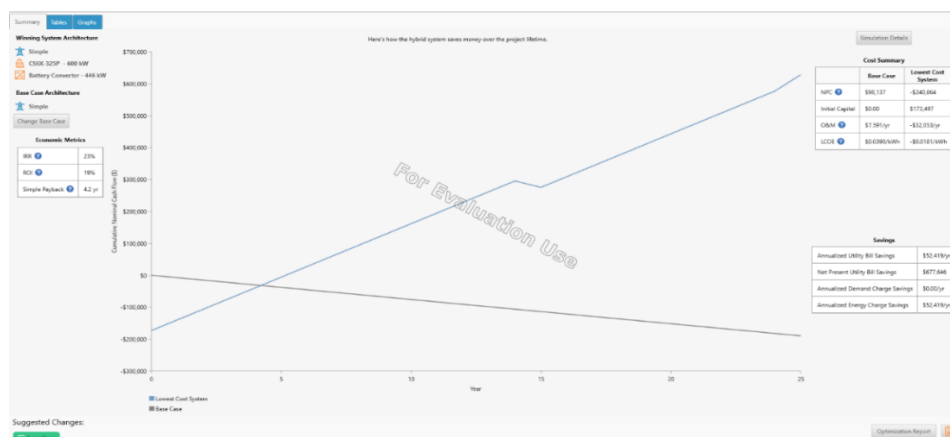


Figure 4-32 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de Mostaganem

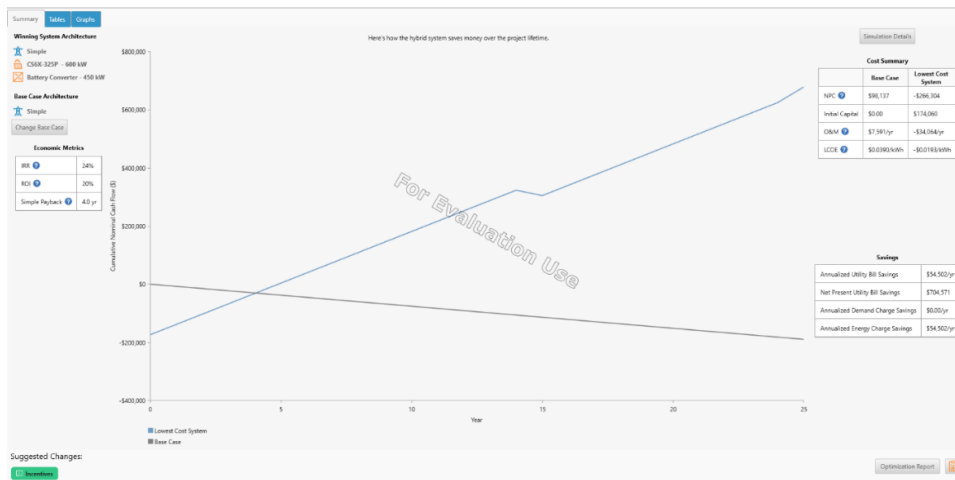


Figure 4-33 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de El bayadh

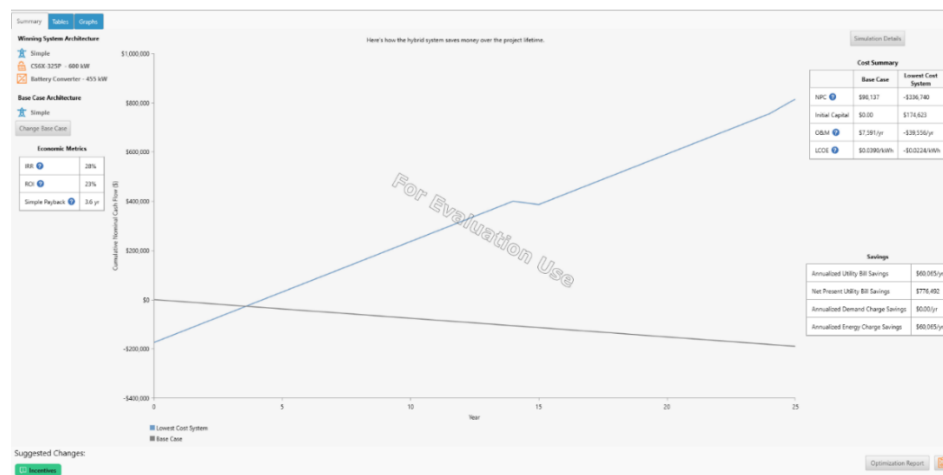


Figure 4-34 : Économies cumulatives d'un système hybride vs cas de base sans charge pour la ville de Adrar

Les graphiques et les valeurs financières démontrent clairement que le système hybride est une solution économiquement avantageuse pour Mostaganem, El Bayadh et Adrar. Les économies cumulatives et annuelles, ainsi que les indicateurs financiers, confirment la rentabilité et la performance supérieure du système hybride par rapport au cas de base sans charge.

#### 4.17 Facteur d'émission de CO<sub>2</sub> de l'électricité en Algérie :

HOMER détermine les achats nets sur le réseau dans une station d'alimentation connectée au réseau, ce qui correspond aux achats totaux sur le réseau moins les ventes totales sur le réseau. Ce logiciel multiplie les achats nets sur le réseau (kWh) par le facteur d'émission (g/kWh) pour chaque polluant afin de déterminer les émissions de chaque polluant liées aux achats nets sur le réseau. Le facteur d'émission pour le réseau électrique de l'Algérie est d'environ 0,6736 kg CO<sub>2</sub> par kWh

La figure 4.27 montre une carte des émissions de CO<sub>2</sub> associées aux bornes de recharge de véhicules électriques photovoltaïques en Algérie. Adrar, El Bayadh et Mostaganem. Les nuances de gris sur la carte représentent les niveaux d'émission de dioxyde de carbone, sur une échelle allant de 41 387 (faibles émissions) à 77 210 (fortes émissions).

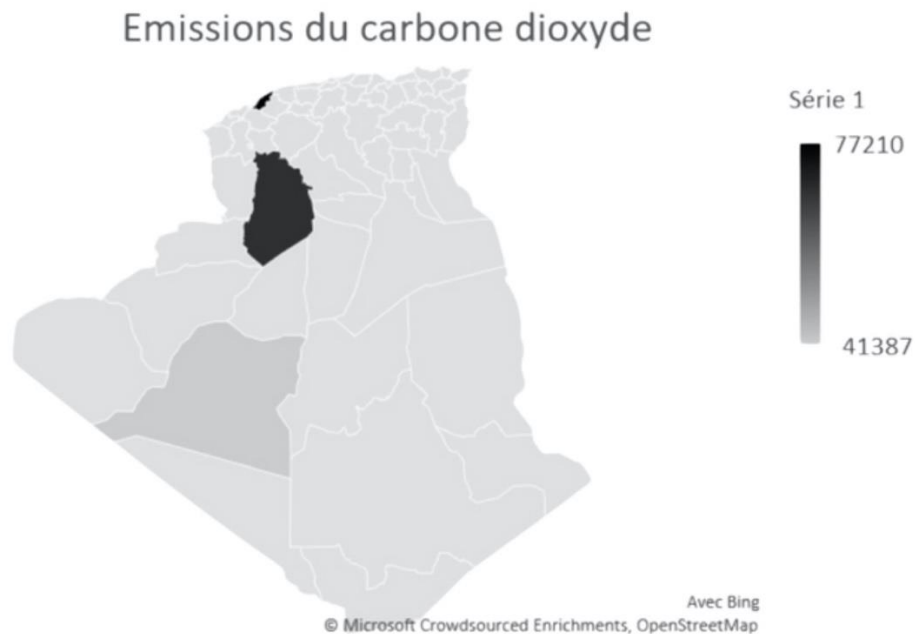


Figure 4-35 : Émissions de CO<sub>2</sub> des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans scénario 1.

Figure 4-36 : Caractéristique de tension et des courants dans le transistor et L'inductance d'un convertisseur Buk  
 Figure 4-37 : Émissions de CO<sub>2</sub> des bornes de recharge pour véhicules électriques à énergie photovoltaïque dans scénario 1.

L'installation de systèmes photovoltaïques a une grande capacité dans les stations de recharge pour véhicules électriques pour minimiser la quantité de CO<sub>2</sub> générée en le comparant au système VE alimenté du réseau seul .

#### 4.18 Conclusion entre Scénario 1 et Scénario 2

Le choix entre les deux scénarios de gestion des stations de recharge pour véhicules électriques, à savoir le scénario avec charge (Scénario 1) et le scénario sans charge (Scénario 2), dépend largement des objectifs et des contraintes spécifiques du projet.

- **Scénario 1 : Système Avec Charge**

Le scénario avec charge inclut un convertisseur de batterie, ajoutant ainsi une flexibilité supplémentaire au système. Ce scénario permet une capacité de charge élevée et maximise l'utilisation des infrastructures de recharge. Cependant, cette configuration est plus complexe et engendre des coûts initiaux et opérationnels plus élevés. Pour des projets visant une viabilité à long terme et une utilisation intensive des stations de recharge, le scénario avec charge est plus approprié malgré les coûts supplémentaires.

- **Scénario 2 : Système sans Charge**

Le scénario sans charge, en revanche, offre une configuration simplifiée . car il réduit la complexité et les coûts du système. Les coûts actualisés de l'énergie (LCOE) sont négatifs dans ce scénario, indiquant que les stations de recharge ne sont pas seulement autosuffisantes mais également génératrices de revenus ou d'économies. Ce scénario est donc beaucoup plus économique et facile à gérer, bien qu'il puisse avoir une capacité réduite. Il est particulièrement avantageux pour minimiser les coûts initiaux et opérationnels, offrant une solution rentable pour des investissements à court terme et injecte plus d'électricité au réseau électrique .

#### **4.19 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail l'impact des différentes configurations de systèmes de recharge pour véhicules électriques sur leur efficacité et leur rentabilité, en mettant un accent particulier sur le rôle crucial du rayonnement solaire. L'analyse comparative entre les scénarios avec et sans charge nous permet de mieux comprendre comment optimiser l'installation et l'exploitation des bornes de recharge en Algérie. Les résultats montrent clairement que les régions bénéficiant d'un fort rayonnement solaire, telles qu'Adrar, sont particulièrement propices à l'implantation de centrales photovoltaïques pour VE, offrant ainsi des coûts d'exploitation réduits et une meilleure rentabilité. En conséquence, les solutions photovoltaïques se distinguent comme une alternative verte et viable pour la recharge des véhicules électriques, avec des performances qui varient selon les conditions climatiques

## Conclusion Générale

La présente étude vise à explorer l'architecture des systèmes appliquée à la gestion des infrastructures de recharge pour les véhicules électriques alimentés par des panneaux photovoltaïques. Grâce à une analyse détaillée et une modélisation rigoureuse, de nombreux aspects de conception, de l'optimisation et du fonctionnement de ces systèmes ont été abordés. Tout d'abord, nous avons souligné l'importance d'intégrer les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, dans le secteur de la mobilité électrique. Les résultats montrent que l'utilisation de panneaux photovoltaïques pour alimenter les stations de recharge réduit non seulement les émissions de CO<sub>2</sub>, mais également les coûts d'exploitation à long terme. Ensuite, l'utilisation du logiciel de modélisation et de simulation HOMER Grid s'est avérée efficace pour évaluer différentes configurations possibles de bornes de recharge. Les scénarios analysés pour les villes de Mostaganem, El Bayadh et Adrar ont montré des économies significatives et de meilleures performances des systèmes PV relié au réseau par rapport aux solutions traditionnelles. Enfin, nous avons souligné la nécessité d'une planification minutieuse et d'une compréhension approfondie des paramètres techniques et environnementaux pour accroître l'efficacité des infrastructures de recharge photovoltaïque. Les configurations optimales des bornes de recharge ont été déterminées en tenant compte des changements climatiques et des besoins spécifiques de chaque région. En conclusion, cette étude apporte une contribution significative aux recherches sur la transition énergétique et la mobilité durable. Il propose des solutions concrètes et réalisables pour la mise en œuvre de bornes de recharge pour véhicules électriques, soulignant les avantages économiques et environnementaux du photovoltaïque. Les travaux futurs devraient se concentrer sur l'amélioration continue des technologies et des stratégies de gestion pour relever les défis croissants de l'électrification des transports. Ce travail aspire à contribuer à la promotion des énergies renouvelables en Algérie, en offrant des solutions pratiques et viables pour le développement des infrastructures de recharge pour VE, tout en réduisant l'empreinte carbone et en optimisant les coûts.

# Bibliographie

[1] -Alain Chiron de la Casinière :Le rayonnement solaire dans l'environnement terrestre, Edition : Publibook, 2003.

[2] -Ministère de l'énergie et des mines « Programme national des énergies nouvelles et renouvelables adopté par le gouvernement », (en français), en février 2015 et révisé en mai 2019. (<https://www.energy.gov.dz/>).

[3] -F. Boutlilis, «Modélisation et simulation des sources de production décentralisée Application à l'intégration d'un générateur PV à stockage dans un réseau électrique». Filière : Électrotechnique ; Spécialité : Énergie Renouvelable et développement durable. Université d'Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2018.

[4] -Chebana, . Contrôle d'un système photovoltaïque connecte au réseau. Biskra : Mémoire de master électrotechnique Université de Biskra, 2014.

[5] - . Rania, B. and B. Yasmina, Etude et réalisation d'un régulateur de charge solaire. 2021, Faculté des Sciences et Technologies

[6] - Soufi Aicha, «Couverture optimisée des besoins électriques d'origine renouvelable d'une exploitation agricole située en zone montagneuse Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables, URMER B.P 119, 13000, Tlemcen, Algérie, 2018.

[7] - Stéphane, . Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. Toulouse : Thèse de doctorat Université de Toulouse, 2009.

[8] V. Didier et B. Gaidon, "Les Onduleurs pour SystèmesPhotovoltaïques Fonctionnement, Etat de l'Art et Etude des Performances", HESPUL, Août 2007

[9] Melle BRIHMAT Fouzia «Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/Eolien». Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.

[10] N. Saïd; «Influence de la température sur les paramètres électriques, caractéristique des photopiles au silicium polycristallin : modélisation et analyse par thermographie infrarouge », Thèse de Doctorat d'Aix-Marseille 3, 1986.

[11].F. Bouchtouche cherfa «Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.

[12] Clément Brossard, Clément Joulain « Systèmes-Autonomes-Photovoltaïques -Couplage-DC-ou-AC-System-Off-Grid».

- [13] Thi Minh Chau LE « Couplage onduleurs photovoltaïques et réseau, aspects contrôle / commande et rejet de perturbations » Thèse de Doctorat de L'université De Grenoble, 2012
- [14] Ouadah AbdelKader,Ghoul Djebbar « Modélisation et simulation d'un système PV raccordé au réseau électrique ».Mémoire de fin d'études pour l'obtention du master 2,Université de Mostaganem,2013.
- [15] Benhamida, M.T. and T. Sahraoui, Estimation de l'état de charge d'une batterie Li-ion utilisé dans un véhicule électrique. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARG
- [16] M. R. T. Andriantsoa B. Chauchat, Chargeur de batteries intégré pour véhicule électrique, Ph.D. disser- tation, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 1997.
- [17] M.-O. Metais and Y. Perez, Infrastructure de recharge pour véhicules électriques: quels dés pour les territoires? 2021.
- [18] J.-M. Proulx and M. en Ingénierie, Évaluation de l'impact potentiel de l'implantation d'un réseau de bornes de recharge rapide pour véhicules électriques sur les autoroutes du québec, Ph.D. dissertation, Université de Sherbrooke, 2014.
- [19] M. Cazals and G. Vidalenche, La gestion de la recharge des ottes de véhicules électriques.
- [20] C. S.-N. ROUHANA, Chargeurs de batteries de véhicule électrique.
- [21] H. Lee and A. Clark, Charging the future: challenges and opportunities for electric vehicle adoption, 2018.
- [22] J. Beretta, La mobilité électrique et les bornes de recharge, in Annales des Mines- Realites industrielles, no. 2. FFE, 2018, pp. 2530.
- [23] F. Jarraya, Étude et modélisation d'un convertisseur double pont actif triphasé pour application chargeur de batterie d'un véhicule électrique, Ph.D. dissertation, École de technologie supérieure, 2019.
- [24] C. Mohamed, Intitulé: Détection du complexe qrs par la méthode de laguna, Ph.D.dissertation, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [25] Conception et réalisation d'une installation photovoltaïque autonome, Master's thesis,UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA,Faculté: Sciences de l'Ingéniorat Département:Electronique, 2017, Conception, elaboration et exploitation pedagogique de materielsdidactiques: Barriere infrarouge et son alimentation stabilisee.
- [26] I.L.H.SERIE,I.COURANT,andI.L.H.R.E.COURANT,I.presentation generale du hacheur 3.
- [27] H. FOCH, R. ARCHES, Y. CHERON, B. ESCAUT, and P. MARTY, Conversion continu- continu: Hacheurs, Techniques de l'ingénieur. Génie électrique, vol. 4, no. D3160, pp. 116, 1990.
- [28] HOMER Grid 1.8. Available online: [https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/how\\_homer\\_calculates\\_the\\_maximum\\_battery\\_charge\\_power.html](https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/how_homer_calculates_the_maximum_battery_charge_power.html) (accessed on 17 January 2021).



[29] National Electricity and Gas Regulation Commission (CREG) of Algeria. (2024). Electricity Tariffs and Rates. Consulté à l'adresse [http:// www.creg.dz](http://www.creg.dz)

[30] Tang, J.; Ye, B.; Lu, Q.; Wang, D.; Li, J. Economic Analysis of Photovoltaic Electricity Supply for an Electric Vehicle Fleet in Shenzhen, China. *Int. J. Sustain. Transp.* 2014, 8, 202–224. [CrossRef]

[31] EVN Retail Electricity Tariff. Available online: <https://en.evn.com.vn/d6/gioi-thieu-d/RETAIL-ELECTRICITY-TARIFF-9-28-252.aspx> (accessed on 20 January 2021).