

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

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



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par :
Habiba DERKI
Ferial Khadija RAHALI

Thème

**Dimensionnement d'un système de
charge de véhicules électriques en
utilisant l'énergie photovoltaïque**

Soutenu publiquement, le 02/ 07/ 2024, devant le jury composé de :

Mme. I.Nedjar	MCB	ESSA. Tlemcen	Président
M. M.Mebrouki	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme I.S. Bousmaha	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M. A.E.K. Ghezouani	Docteur	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2023 / 2024

لو عرض كتاب سبعين مرة لوجد فيه خطأ
أبي الله أن يكون صحيحا غير كتابه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

En tout premier lieu et traditionnellement, nous voulons rendre grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour l'abondance de force, de volonté et de patience qu'il nous a données tout au long de nos années d'études, ainsi que pour la bénédiction de pouvoir accomplir ce travail avec succès.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur, Monsieur Mohamed Mebrouki. Votre expertise, patience et engagement ont été essentiels à notre réussite. Vos conseils avisés et soutien constant nous ont permis de surmonter les défis et de développer nos compétences. Votre disponibilité, écoute attentive et guidance ont juste été très appréciées. Merci infiniment pour votre temps, énergie, passion et dévouement inspirants. Nous espérons

mettre en pratique les connaissances acquises grâce à vous. Nous tenons à remercier monsieur Abdelkader Ghazouani, exprimer notre plus sincère gratitude pour votre inestimable soutien tout au long de notre travail pour ce mémoire .

Votre expertise, votre disponibilité et votre patience envers nous ont été d'une aide précieuse, et nous tenions à vous en remercier chaleureusement.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance envers tous les professeurs de notre établissement. Leurs connaissances approfondies, leurs cours inspirants et leurs encouragements constants ont été une véritable source de motivation pour nous. Leur approfondissement à l'enseignement et leur engagement envers notre réussite académique méritent d'être hautement salués. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à chaque membre de l'équipe pour sa contribution précieuse à la rédaction de notre mémoire. Votre soutien constant et indéfectible a été un véritable moteur dans la réalisation de ce travail de recherche.

Que Dieu accorde ses plus belles bénédictions à tous ceux qui se sont investis à nos côtés et nous ont permis d'en arriver à ce point.

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

Ma très chère maman Moulay Kheira , ce mémoire t'est dédié. Merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'avoir soutenu tout au long de mes études. Ton amour inconditionnel, ta sagesse et ta force m'ont été d'un soutien inestimable. Merci d'être la mère exceptionnelle que tu es.

Mon frère Houcine ,qui m'a soutenu moralement tout au long de mon parcours universitaire. Souhaitons que nous puissions poursuivre notre partage de nombreuses années de rires et de souvenirs mémorables.

Ma chère amie, compagne et sœur Ferial, je te connais depuis l'ENPO, Mais je ne m'attendais pas à ce que tu sois aussi simple, compréhensive et humble. Depuis que nous sommes arrivés à l'ESSAT et que je t'ai connu, je me suis rendu compte que je n'avais jamais rencontré une amie comme toi dans ma vie. Tu as été mon soutien, mon confident, ma sœur et ma meilleure amie. Tu as su me comprendre, me conseiller et me soutenir dans les moments les plus difficiles. Tu as été une présence constante et une source d'inspiration dans mon cheminement. Merci d'être dans ma vie, de m'accepter tel que je suis et de me soutenir dans mes rêves et mes objectifs. Je suis reconnaissante pour chaque moment que nous avons passé ensemble, chaque rire, chaque larme et chaque moment que nous avons partagé. Je suis convaincue que nous continuerons ensemble inshallah, à vivre des instants mémorables et à bâtir un avenir prometteur.

Ma chère amie Douane Marwa ,Je suis éternellement reconnaissante pour tout ce que tu as fait pour moi, et mes mots ne pourront jamais exprimer pleinement ma gratitude envers toi. Nous avons partagé le bon et le mauvais ensemble et vécu des aventures inoubliables et nous continuerons ensemble ces aventures dans le future inshallah . je te souhaite le succès .

Toute ma grande famille .

Mon grand-père Moulay Hadj, qui a su être un père pour moi .

Mes amis et mes camarades de l'ESSAT.

Fadli Abderrachid, Djazzar Abdelkarim, mes amis et mes frères, je vous remercie pour tous vos conseils, vos idées et votre aide précieuse. Merci beaucoup. Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite que la vie peut offrir. Que chaque jour soit rempli de joie et d'accomplissements.

Ma grand-mère Aouali Yamina ,que Dieu ait pitié d'elle. Elle a été pour moi une véritable deuxième mère, me guidant avec amour, sagesse, et bienveillance tout au long de ma vie.

Avec une profonde gratitude,

Dédicaces

Avec une profonde reconnaissance, je dédie ce travail à ceux qui, quels que soient les termes utilisés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

À ma chère mère, Bahia ADDOU, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse.

À mon cher père, Djamel, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect.

À mon grand-père, qui n'est plus de ce monde, ADDOU Aboubaker, Même si tu n'es plus là physiquement, ton souvenir et ton esprit me guident encore aujourd'hui. Je tiens à te remercier pour tout ce que tu m'as enseigné, pour tout ce que tu m'as donné. Ton soutien et ton amour ont été des éléments essentiels pour moi. Tu m'as laissé un héritage précieux, un héritage de valeurs et de principes qui me guideront tout au long de ma vie. Même si tu n'es plus là, ton influence continue de se faire sentir en moi. Je te remercie de tout, grand-père. Tu es parti, mais ton souvenir et ton esprit vivent en moi. Tu as été un modèle pour moi, une source d'inspiration constante.

À ma chère sœur, Marwa, qui a toujours été là pour moi, dans les moments de joie comme dans les moments de peine.

À ma chère sœur, Nihel, tu es la lumière de ma vie, mon refuge, mon soutien et mon amour. Tu es la personne qui a toujours été présente, qui m'a toujours écoutée et qui m'a toujours encouragée.

À ma petite sœur, Riheme, qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

À mon cher CHERROUN Mohamed Saad El Hachemi pour ses conseils, nos chemins se sont croisés il y a quelques années et depuis, tu es devenu bien plus qu'un simple camarade. Tu es devenu un pilier dans ma vie, un confident, un soutien indéfectible.

À mon binôme et ma chère amie, DERKI Habiba, depuis le premier jour, tu as été bien plus qu'une simple camarade pour moi. Tu es devenue une amie chère à mon cœur, une confidente avec qui je partage

mes joies et mes peines. Au-delà de ce projet, tu es devenue une part importante de ma vie. Nos fous rires, nos confidences et nos moments de détente ont créé des souvenirs inoubliables. Ce travail, fruit de notre collaboration, t'est dédié. Merci d'avoir été là, merci d'être toi.

Puissions-nous continuer à

avancer ensemble, dans nos projets futurs comme dans la vie.

À ma chère Douane Marwa, Je ne pourrai jamais assez te remercier pour tout ce que tu as fait pour moi. Tu es bien plus qu'une amie, tu es ma moitié, mon âme sœur

Je tiens également à remercier mes chers amis, pour leurs conseils, leurs encouragements et leur soutien tout au long de mes études.

Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.

À ma grand-mère Taleb Nouria , mon oncle ADDOU Mohamed et ma tante ADDOU Khadra . Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

Mon club Ecogeeks a été bien plus qu'un simple regroupement d'étudiants pour moi. Il a été un lieu d'échanges, de partage et de soutien mutuel. Ce travail vous est dédié, à vous tous qui œuvrez pour un avenir plus vert et plus durable.

À toute la famille de l'ESSAT que j'ai connue jusqu'à maintenant. Merci pour votre amour et vos encouragements. Je vous remercie de votre soutien et de votre amour.

ملخص

يرتكز مستقبل الطاقة في العالم على قدرة البلدان والجهات الفاعلة على الابتكار و اعتماد حلول الطاقة المستدامة والصديقة للبيئة. تجسد دراستنا هذه الرؤية من خلال التركيز على نمذجة ومحاكاة محطة شحن السيارات الكهربائية، تعمل بالاعتماد على الألواح الشمسية. يتضمن هذا النظام بطاريات لضمان استمرارية إمداد الطاقة حتى خالل فترات الليل. وعلى الرغم من الصعوبات التي واجهتنا خلال هذا المشروع، إل أننا لم نتردد في اقتراح حلول مبتكرة. على سبيل المثال، اخترنا نماذج أكثر كفاءة للبطاريات والألواح الشمسية. بالإضافة إلى ذلك، فإن الموقع الذي اخترناه، الواقع في ولاية وهران، يستفيد من مستويات عالية من ضوء الشمس، مما يسمح لنا بالحصول على نتائج موثوقة. والفوائد الاقتصادية والبيئية لهذا النهج جذابة بشكل خاص. لذلك، نحن على ثقة من أن هذه الدراسة ستلعب دوراً حاسماً في استخدام المركبات التي تعمل بالبطاريات وهذا يفتح الطريق أمام آفاق واعدة لمستقبل أكثر استدامة في مجال الطاقة والبيئة.

الكلمات المفتاحية

مستقبل الطاقة، الابتكار، حلول الطاقة المستدامة، الطاقة الصديقة للبيئة، نمذجة محطة شحن السيارات الكهربائية الألواح الشمسية، البطاريات، استمرارية إمداد الطاقة، الصعوبات، حلول مبتكرة، نماذج كفاءة

Résumé

L'orientation énergétique future à l'échelle mondiale repose sur la capacité des pays et des acteurs à innover et à adopter des solutions énergétiques durables et respectueuses de l'environnement.

Notre étude incarne cette vision en se penchant sur la modélisation et la simulation d'une station de recharge de véhicules électriques, alimentée par des panneaux solaires. Ce système contient des batteries pour garantir une alimentation continue, même pendant les périodes nocturnes.

Malgré les difficultés rencontrées au cours de ce projet, nous n'avons pas hésité à proposer des solutions innovantes. Par exemple, nous avons sélectionné des modèles de batteries et de panneaux solaires plus performants. De plus, le site que nous avons choisi, situé dans la

wilaya d'Oran, bénéficie d'un ensoleillement élevé, ce qui nous permet d'obtenir des résultats fiables.

Les bénéfices économiques et environnementaux de cette approche se révèlent particulièrement attrayants. Par conséquent, nous sommes convaincus que cette étude jouera un rôle crucial dans l'utilisation des véhicules à batteries et dans son application à divers secteurs. Cela ouvre la voie à des perspectives prometteuses pour un avenir énergétique et environnemental plus durable.

les mots-clés

Orientation énergétique future, innovation, solutions énergétiques durables, respect de l'environnement, modélisation de stations de recharge, véhicules électriques, panneaux solaires, batteries.

Abstract

The future energy orientation at the global scale relies on the ability of countries and actors to innovate and adopt sustainable and environmentally-friendly energy solutions. Our study embodies this vision by focusing on the modeling and simulation of an electric vehicle charging station powered by photovoltaic solar panels. This system includes batteries to ensure continuous power supply, even during night-time periods.

Despite the challenges encountered throughout this project, we did not hesitate to propose innovative solutions. For instance, we have selected more efficient battery and solar panel models. Furthermore, the site we have chosen, located in the Wilaya of Oran, benefits from high levels of solar irradiation, allowing us to obtain reliable results.

The economic and environmental benefits of this approach prove particularly appealing. Consequently, we are convinced that this study will play a crucial role in the use of battery-powered vehicles and its application across various sectors. This opens up promising prospects for a more sustainable and environmentally-friendly future.

keywords

Future energy orientation, global scale, innovation, sustainable energy solutions, environmentally-friendly energy, electric vehicle charging station, modeling and simulation, photovoltaic solar panels, batteries

Tableau de matière

Tableau de matière	XI
Liste des figures	XIV
Liste de figures	XIV
Abréviations	XVI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	2
Chapitre N°01 :Généralités sur le véhicule à batterie	4
I.1 Introduction	5
I.2 Nouvelle génération de transport	5
I.3 Véhicule électrique	6
I.3.1 Historique	6
I.3.2 Définition d'un véhicule électrique	10
I.3.3 Véhicule électrique à batterie (BEV)	10
I.3.4 Impact environmental	11
I.4 Principaux composants du système énergétique alimentant les VE	11
I.4.1 Système solaire (panneaux photovoltaïques)	11
I.4.2 Batteries d'accumulateurs	16
I.5 Méthode de Swap	17
I.5.1 Définition	17
I.5.2 Principe du swap de batterie[16]	18
I.5.3 Avantages du swap de batterie	18
I.5.4 Défis du swap de batterie	18
I.5.5 Paradoxe de Braess	19
I.5.6 Exemples de déploiement	19
I.6 Cycles de conduite pour véhicules électriques	20
I.6.1 Types de cycles de conduite	20
I.6.2 Cycle de Conduite ECE R15	22
I.7 Conclusion	24

Chapitre N°02 : Dimensionnement et modélisation	25
II.1 Introduction	26
II.2 Dimensionnement du système de recharge	26
II.2.1 Présentation du système de recharge	26
II.2.2 Dimensionnement énergétique du système de recharge	26
II.2.3 Dimensionnement de batteries	27
II.2.4 Dimensionnement de panneaux photovoltaïques	30
II.2.5 Dimensionnement du régulateur	33
II.3 HOMER	35
II.3.1 Définition	35
II.3.2 Méthodologies de simulation	36
II.3.3 Installation de système dans un site isolé	36
II.4 Mise en place d'un système photovoltaïque sans réseau	38
II.4.1 Modélisation de panneaux solaires photovoltaïques	39
II.4.2 Modélisation de batteries	39
II.4.3 Résultats et interprétations	40
II.4.4 Production PV et consommation du système	41
II.4.5 Profil de charge de véhicules	41
II.4.6 Résultats de simulation	42
II.4.7 Aspect écologique et environnemental	43
II.5 Mise en place d'un système photovoltaïque avec réseau	44
II.5.1 Production PV et consommation du système	45
II.5.2 Résultats de la simulation	46
II.5.3 Aspect écologique et environnemental	46
II.6 Conclusion	47
Chapitre N°03 : Simulation d'une station de charge pour véhicules électriques (VE)	48
III.1 Introduction	49
III.2 Méthodologie de recharge des véhicules électriques	49
III.2.1 Recharger les véhicules électriques grâce à des sources d'énergie renouvelables	49
III.3 Modélisation du système	50

III.3.1	Panneaux photovoltaïques sur Matlab/Simulink	51
III.3.2	MPPT	51
III.3.3	Hacheur Boost	52
III.3.4	Convertisseur bidirectionnel DC/DC	52
III.3.5	Batterie	52
III.4	Résultats des simulations et interprétations	52
III.5	Conclusion	54
	Conclusion générale	55
	Bibliographie	57

Liste de figures

I.1	Une des premières voitures électriques[13]	7
I.2	Exemple de véhicule électrique d’aujourd’hui[18]	10
I.3	Cellules photovoltaïques[11]	13
I.4	Types des technologies photovoltaïques[5]	13
I.5	Système PV autonome[3]	14
I.6	Système PV raccordé au réseau[25]	15
I.7	batterie lithium-ion[27]	17
I.8	Nouvelle technologie pour charger les VE dans 5 minutes[14]	20
II.1	Schéma de principe du système de recharge des sources d’énergie intégrées dans un véhicule électrique [8]	27
II.2	Régulateur de la marque STECA Tarom MPPT 6000[22]	34
II.3	L’écran d’accueil Homer Pro.	37
II.4	Rayonnement solaire mensuel de la commune d’Es-senia (Oran).	38
II.5	Configuration de l’installation à dimensionner.	38
II.6	Caracteristiques du module solaire photovoltaïque choisi.	39
II.7	Batterie choisie parmi les modèles proposés par Homer pro.	39
II.8	Nombre de solutions simulées par HOMER Pro.	40
II.9	La solution la plus optimale.	40
II.10	Production électrique totale mensuelle	41
II.11	Profil de charge de trois véhicules électriques pendant une journée	42
II.12	La consommation et la production	43
II.13	Quantité des gaz émis par le système	43
II.14	Configuration de l’installation à dimensionner.	44
II.15	Nombre de solutions simulées par HOMER Pro en cas de la présence de réseau.	45
II.16	Production électrique totale mensuelle	45
II.17	La consommation et la production en presence de reseau.	46
II.18	Quantité des gaz émis par le système	47
III.1	Irradiation globale horizontale mensuelle à Es-senia	50
III.2	Schéma bloc du système de charge sur Matlab/Simulink	51
III.3	l’état de charge (SOC) d’une batterie	53

III.4 L'état de charge d'une batterie	53
III.5 Évolution de la Puissance d'un Système Photovoltaïque (PV) au Fil du Temps	54

Abbreviations

Ah Ampère-heure

BEV Véhicule Électrique à Batterie

BMC Business Model Canvas

CGDD Commissariat Général au Développement Durable

CO₂ Dioxyde de Carbone

Diversif Diversification

DoD Profondeur de Décharge

EVCS Les Bornes de Recharge pour Véhicules Électriques

FCEV Fuel Cell Electric Vehicle

HOMER Hybrid Optimization Model for Electric Renewables

Li-ion Lithium-ion

MCE Modèle par Circuit Équivalent

MPPT Maximum Power Point

PàC Pile à Combustible

PV Photovoltaïque

SER Sources d'Énergie Renouvelable

Si Silicium

SPCS Les emplacements des bornes de recharge à énergie solaire

SWAP La Batterie Déchargée est Échangée contre une Batterie Chargée

U_{co} Tension de Circuit Ouvert

VE Véhicule Électrique

VH Véhicule Hybride

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Notre époque connaît une diversification des sources d'énergie, avec 60% d'énergie provenant des énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel), 29% des énergies renouvelables (hydroélectricité, biomasse, solaire et éolien) et 11% de l'énergie nucléaire. De nombreuses études indiquent que l'épuisement des ressources fossiles est imminent, une menace réelle pour la prospérité dont jouissent aujourd'hui de nombreuses individus et à laquelle aspirent des millions d'autres pour demain. C'est le résultat de l'effet de serre des gaz entourants la terre, qui emprisonnent la chaleur du soleil.

D'autre part, la production nucléaire actuelle présente des performances en densité de puissance très élevées. Des bénéfices environnementaux importants par rapport aux émissions de CO₂. Cependant, cette source d'énergie présente de nombreux inconvénients : le retraitement des déchets est difficile, les bâtiments et leur impact sur l'environnement, les problèmes de sécurité et le fait que le carburant n'est pas renouvelable.

Une autre approche émergente pour résoudre le problème du changement climatique consiste à utiliser les énergies renouvelables, ressources intarissables mais dont les technologies d'exploitation sont encore en voie de développement. Ainsi, dans divers endroits à travers le monde, on trouve des installations de production d'électricité alimentées par des systèmes autonomes ou connectés au réseau qui exploitent les ressources renouvelables en utilisant les panneaux solaires, les éoliennes et les microturbines. Cependant, l'électricité produite à partir de ces sources renouvelables est intermittente et soumise aux conditions météorologiques. Pour garantir un approvisionnement continu en énergie, ces générateurs renouvelables sont associés aux systèmes de stockage d'énergie.

Généralement, le stockage d'énergie est principalement réalisé à l'aide de batteries, qui représentent actuellement l'une des solutions les plus répandues en raison de leurs performances élevées, avec des rendements typiquement compris entre 80% et 85%. De plus, les batteries offrent un excellent rapport qualité-prix, notamment lorsqu'on considère la technologie au lithium-ion.

Un domaine où le recours aux énergies renouvelables apparaît comme une solution attrayante est celui des véhicules électriques. A cet égard, on est témoin d'un regain d'intérêt à ce type de véhicules, vu les menaces énergétiques qu'a entraîné l'exploitation excessive des ressources fossiles, avec tout ce qui s'en suit comme changement climatique

et son effet désastreux sur la nature et la vie humaine sur terre.

La solution présentée dans notre travail cosnsite à alimenter des véhicules électriques avec de l'électricité provenant des panneaux solaires photovoltaïques, laquelle est stockée dans des batteries. Pour mener à bien l'application de cette solution nous avons besoin de connaitre, avant tout, le gisement solaire de la région (Es-senia, Oran) sur laquelle nous proposons d'établir l'infrastructure dédiée à cela. Après, une étude de dimensionnement est nécessaire pour calculer le nombre de panneaux solaires ainsi que le nombre de batteries requis pour la production et le stockage d'énergie électrique qui alimentera les véhicules électriques,

Le présent mémoire est structuré de la manière suivante : Le premier chapitre aborde les généralités sur le véhicule électrique à batterie. Le deuxième chapitre passe en revue le dimensionnement et la modélisation à l'aide d'Homer Pro, incluant le choix du site et le dimensionnement d'une station pour l'approvisionnement en électricité. Le troisième chapitre présente les résultats de la simulation réalisée avec Matlab, accompagnés de commentaires et de discussions approfondies.

Chapitre N°01 :
Généralités sur le véhicule à batterie

I.1 Introduction

L'énergie dans le monde actuel fait référence aux technologies et solutions innovantes dans le domaine de l'énergie, visant à améliorer l'efficacité, la durabilité et la performance des systèmes énergétiques. Elle représente des concepts modernes liés au développement technologique et à l'utilisation de l'énergie de manière plus efficace et plus propre. Ce type d'énergie s'appuie sur des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne ...etc, et cherche à améliorer les performances des systèmes énergétiques et investit directement dans des technologies basées sur l'innovation et la durabilité. Celle-ci est un élément important de la transition mondiale vers des systèmes énergétiques plus propres et plus durables, et joue un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs de réduction des émissions de carbone et de promotion de la durabilité environnementale et économique.

Les véhicules électriques sont un exemple d'application de ce type d'énergie. Ils ont la capacité de générer une consommation d'électricité considérable, tout en offrant également une occasion pour les énergies renouvelables intermittentes. Effectivement, il est planifié la recharge des véhicules électriques en fonction des périodes de production d'électricité à partir de sources renouvelables, ce qui favorise le développement des énergies solaires.

I.2 Nouvelle génération de transport

À l'heure actuelle, tous les domaines du monde sont en constante évolution et le développement technologique dans le domaine des transports ne fait pas exception. La technologie fait désormais partie intégrante de notre vie quotidienne et a eu un impact significatif sur les transports et la société dans son ensemble.

En bref, on peut dire que le développement technologique dans le domaine des transports a un impact significatif sur la société, car il contribue à améliorer la sécurité des passagers, à économiser du temps et des efforts, et à améliorer la communication et la connectivité. Ce développement devrait également servir à améliorer l'expérience des passagers afin de promouvoir le développement durable et le confort des collectivités en général.

Ces dernières années, la technologie des véhicules électriques a fait de grands progrès et

a attiré de plus en plus d'attention. Elles sont considérées comme un moyen de transport durable et propre car elles fonctionnent entièrement à l'électricité et sont considérées comme une alternative aux voitures qui utilisent des combustibles fossiles, polluantes de l'environnement.

Il est crucial de choisir correctement le système photovoltaïque en fonction de la capacité des batteries des véhicules électriques.

I.3 Véhicule électrique

Un véhicule électrique est un automobile qui fonctionne avec une batterie pour stocker l'énergie électrique et un moteur électrique pour la transformer en mouvement. La batterie rechargeable des véhicules électriques est généralement au lithium-ion et peut être rechargée à partir d'une prise électrique ou d'une station de recharge rapide. Les voitures électriques sont réputées pour leurs bénéfices pour l'environnement, comme la diminution des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution atmosphérique, ainsi que leur faible coût d'utilisation et leur faible entretien. Les véhicules électriques sont de plus en plus prisés pour leur contribution à la réduction de l'empreinte environnementale des transports. Grâce aux avancées technologiques, les véhicules électriques sont désormais plus accessibles et performants que jamais. Ils sont propulsés par une batterie qui stocke l'énergie sous forme d'électricité, alimentant ainsi le moteur électrique du véhicule. Ces batteries peuvent être rechargées à partir d'une prise murale ou d'une station de recharge publique. L'autonomie d'un véhicule électrique dépend de la capacité de sa batterie, mais de nombreux modèles peuvent parcourir plus de 350 kilomètres avec une seule charge[17]. Les véhicules électriques présentent de multiples bénéfices par rapport aux véhicules à essence traditionnels. Tout d'abord, il est plus performant car il a moins de composants mobiles et ne nécessite pas de moteur à combustion. Cela diminue les émissions et les frais de fonctionnement. En outre, les véhicules électriques sont extrêmement silencieux, ce qui les rend parfaits pour les trajets urbains. Finalement, les véhicules électriques sont disponibles pour tous [7].

I.3.1 Historique

Les véhicules électriques ont une histoire de plus de 180 ans. Ils ont traversé des périodes de succès et de déclin depuis leurs premiers prototypes développés dans les années 1830,

témoignant des avancées technologiques et des changements sur le marché automobile. Les pionniers de l'automobile s'intéressaient dès le départ aux véhicules électriques, cherchant à trouver des alternatives aux moteurs à combustion interne. Les premiers modèles fonctionnels ont été développés par des inventeurs tels que Robert Anderson en Écosse et Sibrandus Stratingh aux Pays-Bas. Les progrès dans le domaine des batteries, en particulier les recherches de Gaston Planté et Camille Faure, ont contribué à améliorer les performances et l'autonomie des véhicules électriques au fil des décennies. Certaines versions ont même battu des records de vitesse remarquables. Cette introduction historique permet de mieux comprendre les enjeux et les défis auxquels sont confrontés les véhicules électriques, alors que leur adoption s'accélère dans le monde [21]. Ci-après nous établissons la chronologie des étapes les plus marquantes dans l'industrie des véhicules électriques:

- (1832-1839): Premier véhicule électrique inventé par Robert Anderson (Homme d'affaires écossais).
- 1835: Construction d'une petite locomotive électrique par Thomas Davenport (américain).
- 1838: Un modèle similaire roule jusqu'à 6 km/h par Robert Anderson.
- 1859, Invention de la batterie rechargeable au plomb acide par Gaston Planté (Français).
- 1881: Amélioration de la batterie rechargeable par Camille Faure.



Figure I.1: Une des premières voitures électriques[13]

- 1884: Voiture électrique conduite par Thomas Parker.

- 1891: La première vraie voiture électrique par William Morrison (américain).
- 1896: La Riker électrique d'Andrew Riker remporté une course automobile.
- 1897: Les premiers taxis électriques dans les rues de New York.
- En 1899: En Belgique, une société construit (La Jamais Contente), la première auto électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h). L'auto était pilotée par le belge Camille Jenatzy, et munie de pneus Michelin.
- Dès 1900 plus du tiers des voitures en circulation sont électriques, le reste étant des autos à essence et à vapeur.
- 1902: la Phaéton de Wood pouvait rouler 29 kilomètres à une vitesse de 22.5 km/h et coûtait 2000 dollars.
- 1912: la production des véhicules électriques est à son terme, mais l'introduction de la Ford Model T à essence en 1908 va commencer à se faire sentir.
- Dans les années 1920, certains facteurs mèneront au déclin de la voiture électrique. On peut citer leur faible autonomie, leur vitesse trop basse, leur manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et leur prix deux fois plus élevé que les Ford à essence.
- En 1966, le congrès américain recommande la construction de véhicules électriques pour réduire la pollution de l'air.
- 1972: Victor Wouk le parrain du véhicule hybride construit la première voiture hybride, la Buick Skylark de General Motors.
- 1974: la Vanguard-Sebring CitiCar, qui ressemble beaucoup à une voiturette électrique de Golf fait son apparition au Electric Vehicle Symposium de Washington, D.C. Elle peut rouler sur 64 kilomètres à une vitesse de 48 km/h.
- En 1976, le Congrès américain adopte le Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, and Demonstration Act.
- 1988: Le président de GM Roger Smith lance un fond de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra la EV1.

- 1990: L'état de la Californie vote le Zero Emission Vehicle (ZEV), un plan qui prévoit que 2% des véhicules devront avoir zéro émission polluante en 1998 (puis 10% d'entre eux pour 2003).
- Entre 1996 et 1998 GM va produire 1117 EV1, dont 800 d'entre elles en location avec un contrat de 3 ans.
- En 1997, Toyota lance la Prius, la première voiture hybride à être commercialisée en série. 18 000 exemplaires seront vendus au Japon la première année.
- De 1997 à 2000, de nombreux constructeurs lancent des modèles électriques hybrides : la Honda EV Plus, la G.M. EV1, le Ford Ranger pickup EV, Nissan Altra EV, Chevy S-10 EV et le Toyota RAV4 EV. À partir de 2000 la voiture électrique va redémarrer à nouveau.
- En 2002, G.M. et DaimlerChrysler poursuivent le California Air Resources Board (CARB) pour faire annuler la loi Zero Emission Vehicle (ZEV) de 1990.
- En 2003 en France, Renault fait une tentative avec la sortie de sa voiture hybride Kangoo Electrode mais abandonne la production après environ 500 véhicules.
- En 2003-2004, c'est la fin de l'EV1. GM va récupérer un par un tous les véhicules pour les détruire, et ce malgré plusieurs mouvements de protestation.
- En 2006, Chris Paine sort un documentaire intitulé Who Killed the Electric Car ? qui analyse la montée en puissance et la mort de la voiture électrique à la fin des années 90.
- En 2007, il y avait encore 100 000 véhicules électriques en circulation aux États-Unis.
- En mars 2009, Vincent Bolloré annonce la sortie pour 2010 en location mensuelle à 330 euros de la Pininfarina Bluecar.

La figure I.2 montre un véhicule électrique des dernières générations.



Figure I.2: Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui[18]

I.3.2 Définition d'un véhicule électrique

Un véhicule électrique (VE) est une voiture dont la propulsion est essentiellement assurée par un ou plusieurs moteurs électriques. Il peut obtenir son énergie de ressources internes telles une batterie électrique, ou être relié à une source externe, comme une caténaire (est un système alimentation électrique des trains et autres véhicules électriques, composé de câbles porteurs et de fils de contact suspendus au-dessus des voies). Parmi les types de VE on trouve les véhicules à batterie.

I.3.3 Véhicule électrique à batterie (BEV)

Un véhicule électrique à batterie (BEV) est un type de véhicule qui utilise uniquement une batterie rechargeable pour stocker l'énergie électrique. Ce genre de voiture ne se propulse pas à essence ou au diesel, mais utilise de l'électricité stockée dans les batteries. Les BEV présentent des bénéfices tels que la diminution des émissions de CO₂, une consommation d'énergie réduite et une diminution des frais d'entretien. Les BEV sont de plus en plus intégrés dans le quotidien, notamment en Europe où ils représentent 10,5% des ventes de voitures neuves en 2020. Les conducteurs peuvent facilement recharger leurs véhicules électriques à domicile ou au travail, et il est également possible de les recharger en cours de route [20].

Les BEV fonctionnent en utilisant des batteries rechargeables, généralement au lithium-ion, qui stockent d'énergie électrique. Le moteur électrique est alimenté par ces batteries, ce qui permet de propulser le véhicule sans émission de gaz d'échappement. Les batteries

se rechargent partiellement en roulant, notamment grâce au freinage à récupération, mais il est également possible de les recharger complètement en les branchant dans une prise murale ou un équipement de recharge

I.3.4 Impact environmental

Par rapport aux véhicules à essence conventionnels, les véhicules électriques (VE) offrent de nombreux avantages environnementaux. Ils ne produisent aucune émission d'échappement, ce qui signifie que la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre sont considérablement réduites. Il est particulièrement crucial dans les zones urbaines où la qualité de l'air peut avoir un impact significatif sur la santé publique. Les VE contribuent également à réduire la perte de ressources énergétiques. La simplicité de leur mécanisme et la capacité à recycler les batteries réduisent la nécessité de nouvelles ressources et réduisent les déchets. De plus, la production des véhicules électriques est moins gourmande en ressources énergétiques que celle des véhicules traditionnels, ce qui leur confère un avantage environnemental considérable. Il est également bénéfique d'utiliser des matériaux respectueux de l'environnement. Bien que de nombreux fabricants utilisent des matériaux recyclés dans de petites pièces, les constructeurs électriques sont en tête de l'industrie en intégrant ces matériaux dans les véhicules.

I.4 Principaux composants du système énergétique alimentant les VE

I.4.1 Système solaire (panneaux photovoltaïques)

L'Algérie a mis en place une politique ambitieuse visant à encourager et promouvoir l'acquisition et l'utilisation des véhicules électriques. Pour une transition énergétique optimale, il est essentiel de recharger ces véhicules électriques à partir de sources d'énergie renouvelable. Le solaire photovoltaïque est une source d'énergie prometteuse qui pourrait être une alternative aux énergies fossiles telles que le gaz et le pétrole. De plus, il s'agit d'une énergie propre, non polluante et respectueuse au milieu. L'emploi des panneaux solaires dans le domaine des transports peut entraîner une diminution significative de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre.

Dans le domaine des transports, la transition énergétique implique principalement la création de stations de recharge dotées de panneaux solaires et connectées au réseau électrique. Ainsi, en l'absence de soleil, le système électrique permet de recharger les batteries des véhicules électriques. Toutefois, la hausse de la demande de recharge des batteries pendant les heures de pointe où la ressource solaire est insuffisante entraînera des contraintes supplémentaires sur le réseau de distribution, telles que l'augmentation de la demande en énergie, la baisse de tension, l'émission d'harmoniques, etc. Il serait possible d'éviter de recharger ces batteries pendant ces heures afin d'éviter ces contraintes et de faire des économies d'énergie.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) fait référence à l'énergie recueillie et convertie directement en électricité grâce à des panneaux solaires. Elle est le résultat de la transformation directe des rayons solaires en électricité à l'aide de matériaux semi-conducteurs. Outre les bénéfices associés, cette énergie est idéale pour les sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop coûteux, car elle est à faible coût de maintenance.

Différentes technologies des cellules PV

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques capables de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire grâce à l'effet photovoltaïque (voir figure I.3). Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire. En effet, lorsque les photons de la lumière du soleil entrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transmettent leur énergie aux électrons des semi-conducteurs qui génèrent alors une tension électrique. Le matériau semi-conducteur le plus massivement employé à l'heure actuelle par les fabricants de modules photovoltaïques demeure le silicium [24].

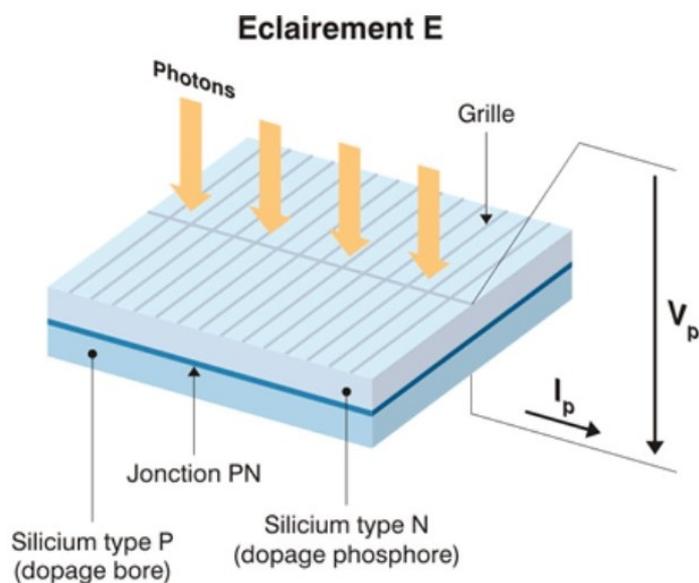
Il existe différentes technologies pour la production des cellules photovoltaïques, comme cela est illustré sur la figure I.4:

1. Cellules monocristallines :

Elles ont le meilleur rendement (12 – 16%), mais qui coûtent plus cher à cause d'un procédé de fabrication très élaboré [23].

2. Cellules poly-cristallines

Les cellules photovoltaïques poly-cristallines sont une technologie courante dans le



3

Figure I.3: Cellules photovoltaïques[11]

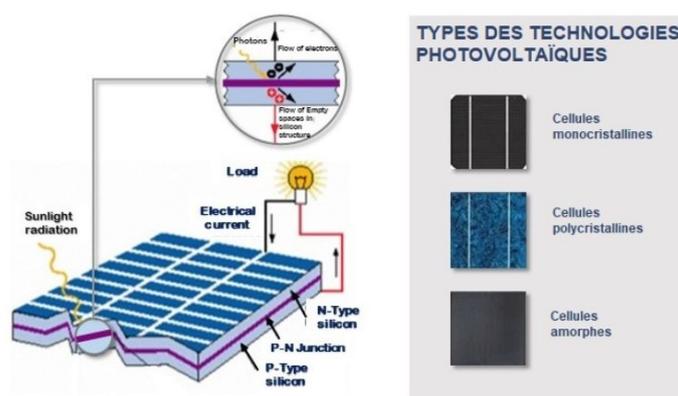


Figure I.4: Types des technologies photovoltaïques[5]

domaine de l'énergie solaire.

3. Cellules amorphes

Les cellules solaires amorphes, également appelées cellules solaires à couche mince, sont une autre technologie importante dans le domaine de l'énergie solaire.

Systèmes Photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont divisés en deux catégories principales en fonction de l'utilisation de l'énergie.

a. Système autonome

C'est un système composé essentiellement d'un ensemble de panneaux photovoltaïques

avec un système MPPT intégré qui traque le point de puissance maximum, d'un parc de batteries, d'un régulateur de charge, d'un onduleur pour alimenter les charges AC et d'une charge DC. Il est utilisé surtout pour les endroits reculés dont la connection au réseau s'avère très chère.

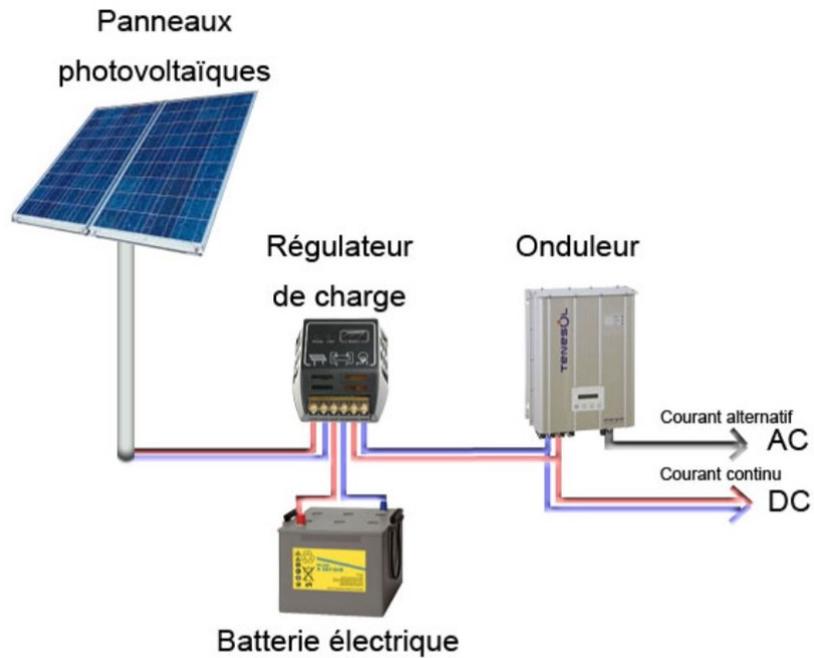


Figure I.5: Système PV autonome[3]

b. Système PV raccordé au réseau

C'est un système composé essentiellement de panneaux solaires et optionnellement de batteries. La connexion au réseau exige la présence de compteurs de consommation ou de vente. Cette configuration nécessite un synchroniseur qui, en cas de vente de production, au réseau, assurera que les amplitudes, les fréquences et les phases des signaux du réseau et celui produit par les panneaux (après qu'il soit converti en un signal AC) soient les mêmes.

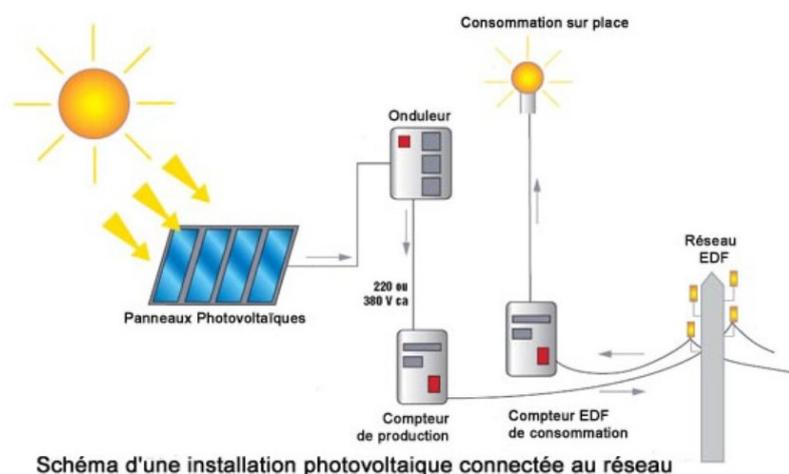


Figure I.6: Système PV raccordé au réseau[25]

I.4.2 Batteries d'accumulateurs

Le stockage de l'énergie électrique nécessite sa conversion en une autre forme d'énergie. Dans les batteries, l'énergie des composés chimiques agit comme support de stockage, et pendant la décharge, un processus chimique se produit générant de l'énergie; laquelle peut être extraite de la batterie sous forme de courant électrique à une certaine tension. Pour un certain nombre de systèmes de batterie, ce processus peut être inversé et la batterie sera rechargée, c'est-à-dire que l'apport d'énergie électrique peut restaurer la composition chimique qui contient une énergie plus élevée et peut rétablir étroitement les structures originales au sein du batterie. En conséquence, il existe deux systèmes de batteries différents :

- Piles primaires conçues pour convertir leur énergie chimique en énergie électrique une seule fois.
- Piles secondaires qui sont des convertisseurs d'énergie réversibles et conçues pour décharges et charges répétées. Ce sont de véritables systèmes de stockage électrochimique.

Batterie lithium-ion

La technologie lithium-ion présente actuellement deux limites intrinsèques. La figure I.7 montre une batterie Lithium-ion. La capacité spécifique des matériaux cathodiques est limitée par le poids moléculaire élevé des oxydes ou phosphates de métaux de transition utilisés comme matériaux actifs par rapport au nombre d'électrons impliqués dans le processus d'intercalation/d'intercalation du lithium. Dans certains matériaux cathodiques, ces processus ont lieu à des potentiels supérieurs à 4,5 V par rapport à Li^+/Li , potentiels auxquels les électrolytes organiques conventionnels ne sont pas stables. L'instabilité de l'électrolyte affecte les performances de la batterie et nécessite l'utilisation d'additifs pour protéger les matériaux d'électrodes, ou de nouveaux électrolytes [10].

La structure des batteries lithium-ion est constituée de plusieurs cellules individuelles qui ont la même structure. Chacune des cellules renferme les composants suivant :

- Une cathode (une électrode positive en oxyde métallique de lithium) qui peut contenir du nickel, du manganèse et du cobalt.
- Une électrode en graphite négative (anode).



Figure I.7: batterie lithium-ion[27]

- Le sel de lithium dissous dans un solvant organique est un électrolyte aprotique.

Le mécanisme repose sur la circulation réversible des ions lithium entre les deux électrodes :

- Les ions lithium se déplacent de la cathode vers l'anode lors de la charge en passant par l'électrolyte et le séparateur.
- mouvement inverse se produit lors de la décharge, les ions lithium retournent de l'anode vers la cathode, ce qui génère un courant électrique utilisable.

I.5 Méthode de Swap

I.5.1 Définition

La méthode de swap pour les véhicules électriques consiste à remplacer instantanément la batterie du véhicule par une batterie chargée, offrant ainsi une alternative rapide à la recharge traditionnelle. Cependant, le swap de batteries peut présenter des défis, notamment en termes de saturation des stations de swap et de coûts associés. Selon le paradoxe de Braess, l'équilibre entre le temps passé au swap et celui passé à la recharge sur borne peut rendre le gain de temps du swap négligeable.

De plus, bien que le swap puisse être avantageux pour les professionnels de la route, comme les taxis ou les VTC, il peut poser des questions sur la rentabilité du modèle économique. En pratique, le temps d'attente et de swap peut être comparable, voire supérieur, à celui d'une recharge sur borne, remettant en question l'efficacité de cette méthode pour les propriétaires de véhicules électriques [9].

I.5.2 Principe du swap de batterie[16]

- Le véhicule électrique s'arrête dans une station de swap équipée de batteries de rechange entièrement chargées.
- Un système automatisé retire rapidement la batterie déchargée du véhicule et la remplace par une batterie pleine.
- Ce processus ne prend que quelques minutes, bien plus rapide qu'une recharge classique sur une borne.

I.5.3 Avantages du swap de batterie

- Permet de réduire considérablement le temps d'immobilisation du véhicule par rapport à une recharge.
- Convient bien aux flottes professionnelles (taxis, VTC, etc.) qui ont besoin de rester en circulation.
- Évite les longues attentes aux bornes de recharge.

I.5.4 Défis du swap de batterie

- Nécessite une standardisation des batteries et des connecteurs pour être efficace.
- Demande d'investissements importants dans les stations de swap.
- Le paradoxe de Braess peut limiter les gains de temps par rapport à la recharge.
- Le modèle économique doit être rentable pour les opérateurs de stations.

I.5.5 Paradoxe de Braess

Le paradoxe de Braess, abordé dans les sources fournies [28], est un phénomène de la théorie des transports où l'ajout d'une nouvelle route à un réseau routier peut entraîner une baisse des performances globales lorsque les véhicules choisissent leur itinéraire de manière individuelle. Cette contradiction souligne la nature paradoxale de la dynamique des flux de circulation et l'importance de considérer l'ensemble du réseau de transport lors de la planification des infrastructures routières. Il ressort de ce paradoxe que l'ajout d'infrastructures routières ne permet pas toujours d'améliorer la situation. Il est également important de prendre en considération les comportements individuels des conducteurs et leur réaction et leur répartition sur le réseau. Il arrive parfois que la régulation par des péages ou des limitations de capacité soit plus efficace que la création de nouvelles routes. En ce qui concerne la méthode de swap, appelée (méthode de swap), il n'existe aucune mention directe dans les sources fournies d'une application particulière du paradoxe de Braess utilisant cette méthode. Toutefois, selon les principes généraux du paradoxe de Braess, si la méthode de swap consiste à modifier ou à ajouter des routes dans un réseau où des entités individuelles choisissent leurs itinéraires, le paradoxe peut se produire. Cela serait le cas si les changements effectués par le biais de la méthode d'échange entraînaient par erreur une augmentation de la congestion et une baisse des performances globales du réseau en raison des choix d'itinéraires déterminés par les individus.

I.5.6 Exemples de déploiement

Une société Nio [12] installée en Chine a déployé un réseau de stations de swap. La figure I.8 montre le principe de swap qui permet la charge de véhicules en un temps de 5 minutes.

Nio s'est fixé des objectifs très ambitieux pour le déploiement de son réseau de stations d'échange de batteries en Chine :

- 1- D'ici fin 2025, Nio prévoit d'avoir plus de 4000 stations d'échange, dont 3000 en Chine et 1000 à l'international .
- 2- 2023, Nio a ajouté 1000 nouvelles stations, atteignant un total de 2305 stations en Chine à la fin de l'année.



Figure I.8: Nouvelle technologie pour charger les VE dans 5 minutes[14]

Nio [19] vise à avoir plus de 2300 stations d'ici fin 2023, soit une augmentation de 1000 stations par rapport à la fin 2022.

Stellantis [4] a également testé le swap de batterie pour certains de ses modèles électriques. En décembre 2023, Stellantis a signé un partenariat avec la start-up américaine Ample pour utiliser sa technologie de remplacement des batteries modulaires dans ses véhicules électriques. Cette technologie permet aux conducteurs de remplacer leur batterie vide par une batterie entièrement chargée en moins de cinq minutes, comme si cela était un plein d'essence. Cette solution est conçue pour être rapide, rentable et écologique, ce qui réduit la durée pendant laquelle les véhicules électriques sont non utilisables et les impacts financiers.

I.6 Cycles de conduite pour véhicules électriques

Les cycles de conduite visent à fournir une évaluation précise des performances des véhicules dans diverses conditions de conduite. Cela inclut l'évaluation de la consommation de carburant ou d'énergie, des émissions, des performances dynamiques et de l'autonomie de la batterie. Ils sont utilisés par les fabricants de voitures pour tester leurs modèles ainsi que par les organismes de réglementation pour établir des normes et évaluer la conformité aux normes environnementales.

I.6.1 Types de cycles de conduite

Cycles standardisés :

Nous présentons ci-après les principaux cycles de conduite utilisés mondialement (ex. NEDC, WLTP, FTP-75, etc.) [2].

- NEDC (New European Driving Cycle) : Utilisé principalement en Europe pour tester les émissions et la consommation de carburant. Il comprend un cycle urbain (ECE-15) et un cycle extra-urbain (EUDC).
- EUDC (Extra-Urban Driving Cycle) : La partie extra-urbaine du cycle NEDC, conçue pour simuler la conduite à vitesse élevée sur autoroute.
- rtUrban : Un cycle de conduite urbaine développé en Allemagne pour représenter la conduite en zone urbaine.
- ArtRoad : Un cycle de conduite routier développé en Allemagne pour représenter la conduite sur route.
- ArtMw130 et ArtMw150 : Des cycles de conduite développés en Allemagne pour représenter la conduite à grande vitesse sur autoroute à 130 km/h et 150 km/h respectivement.
- WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) : Cycle plus réaliste et plus moderne que le NEDC, utilisé pour l'homologation des véhicules.
- UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) : Un cycle de conduite urbain américain utilisé pour mesurer les émissions des véhicules légers.
- HWFET (Highway Fuel Economy Test) : Un cycle de conduite autoroutier américain utilisé pour mesurer l'économie de carburant des véhicules légers.
- FTP-75 (Federal Test Procedure) : Cycle de test américain utilisé pour mesurer les émissions des véhicules légers.

Cycles spécifiques aux véhicules électriques

Nous présentons des cycles conçus spécifiquement pour évaluer les véhicules électriques, comme le cycle UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) pour les environnements urbains. Ils sont utilisés par les fabricants de voitures pour tester leurs modèles ainsi que par les organismes de réglementation pour établir des normes et évaluer la conformité aux normes environnementales.

I.6.2 Cycle de Conduite ECE R15

Le cycle ECE R15[26], également connu sous le nom de cycle urbain, a été initialement introduit par la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-ONU) pour standardiser la mesure des émissions et de la consommation de carburant des véhicules. Il est principalement utilisé pour simuler des conditions de conduite urbaine.

Caractéristiques du cycle ECE R15

- Durée totale : 195 secondes (3 minutes et 15 secondes).
- Distance parcourue : environ 1,013 km.
- Vitesse moyenne : environ 18,35 km/h.
- Vitesse maximale : 50 km/h.
- Démarrage à froid : Le cycle commence avec un démarrage à froid, ce qui signifie que le moteur est au repos avant de commencer le cycle.
- Accélérations et décélérations : Le cycle comporte plusieurs phases d'accélération et de décélération typiques de la conduite en ville.
- Arrêts fréquents : Plusieurs arrêts simulent les feux rouges ou les arrêts en trafic dense. Profil de vitesse.

Le cycle inclut des périodes de vitesse constante, d'accélération, de décélération et de pause, reproduisant ainsi les conditions de conduite urbaine avec des arrêts fréquents et des redémarrages.

Application du cycle ECE R15 aux Véhicules Électriques[27]

- Relevé des données :

Pour les véhicules électriques, le cycle ECE R15 est utilisé pour évaluer la consommation d'énergie (en Wh/km) plutôt que la consommation de carburant. L'analyse inclut l'observation de la consommation d'énergie pendant les phases de démarrage, d'accélération et d'arrêt.

- Impacts sur l'autonomie :

Le cycle permet de mesurer l'autonomie des véhicules électriques dans des conditions de conduite urbaine réalistes. Il aide à identifier les impacts des arrêts fréquents et des redémarrages sur la consommation d'énergie.

Comparaison avec d'autres cycles de conduite

- NEDC (New European Driving Cycle) :

Plus long que l'ECE R15, incluant à la fois des phases urbaines et extra-urbaines. L'ECE R15 est souvent considéré comme une composante de la phase urbaine du NEDC.

- WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) :

Plus représentatif des conditions réelles de conduite par rapport à l'ECE R15. Inclut des variations de vitesse plus fréquentes et des conditions plus diverses.

- FTP-75 (Federal Test Procedure) :

Cycle américain qui est plus complexe et couvre à la fois les conditions de conduite urbaines et autoroutières.

Avantages du cycle ECE R15

Ce cycle fournit une mesure standardisée pour la comparaison des performances énergétiques et des émissions des véhicules dans des conditions de conduite urbaine. Il est simple et rapide à exécuter, ce qui facilite les tests comparatifs.

Limites du cycle ECE R15

Le cycle ECE R15 est moins représentatif des conditions réelles de conduite urbaine moderne par rapport à des cycles plus récents comme le WLTP. Il ne prend pas en compte les variations de topographie et les conditions climatiques.

Études de Cas et Application Pratique

Des études ont utilisé le cycle ECE R15 pour comparer les performances énergétiques de différents modèles de véhicules électriques dans des conditions de conduite urbaine.

Ce cycle est utilisé par les constructeurs pour tester et optimiser les systèmes de gestion de l'énergie des véhicules électriques. Il est également employé dans les réglementations pour évaluer la conformité des véhicules en termes de consommation d'énergie et d'émissions.

Perspectives futures

Avec l'émergence de nouvelles normes comme le WLTP, l'ECE R15 est progressivement remplacé, mais il reste pertinent pour des analyses spécifiques de conduite urbaine. Alors que des normes plus récentes comme le WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) prennent le relais de l'ECE R15 pour des évaluations plus globales, ce dernier continue de jouer un rôle important dans l'analyse détaillée des performances énergétiques des véhicules électriques en milieu urbain.

Les cycles de conduite futurs pourraient intégrer des données plus précises et variées afin de mieux refléter les conditions réelles de conduite.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné l'historique de l'industrie des véhicules électriques ainsi que le regain d'intérêt pour ce type de véhicules. Nous avons également passé en revue les composants du système basé sur les énergies renouvelables dédié à l'alimentation des véhicules électriques (VE) en énergie, en particulier les panneaux photovoltaïques et les batteries. Ensuite, nous avons abordé la procédure de SWAP, qui, grâce à sa flexibilité permettant l'échange des batteries, offre une solution attrayante au problème du temps de recharge des véhicules. Toutefois, l'efficacité de cette méthode n'est pas totalement assurée, car elle nécessite des dispositions qui ne sont pas toujours simples à mettre en œuvre. Enfin, nous passerons aux cycles de conduite.

Chapitre N°02 :
Dimensionnement et modélisation

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder le dimensionnement d'un système d'énergie photovoltaïque avec batterie visant à produire une énergie électrique propre et non polluante pour alimenter des voitures électriques. Ce chapitre est divisé en deux parties: Dans une première partie, nous nous intéressons au dimensionnement de la source d'alimentation principale (source photovoltaïque) et de l'élément de stockage (batteries). Pour la deuxième partie , nous allons procéder au dimensionnement d'une installation autonome PV avec batterie dans deux cas : PV avec batterie Isolé du réseau (pour un site isolé) et PV avec batterie connecter au réseau électrique Pour faciliter ce travail.nous avons utilisé le programme HOMER PRO qui nous permet de choisir l'architecture la plus approprié et la moins chère.

II.2 Dimensionnement du système de recharge

II.2.1 Présentation du système de recharge

La figure II.1 présente le schéma de principe du système de recharge des sources d'énergie intégrées dans un véhicule électrique. Il contient deux composantes principales:

- Un système photovoltaïque autonome.
- Un système interdépendant embarqué dans le véhicule.

II.2.2 Dimensionnement énergétique du système de recharge

Avant toute analyse d'un système, il est essentiel de faire un dimensionnement de ses éléments pour garantir un bon fonctionnement, même dans des situations instables. Ainsi, il sera nécessaire de sélectionner ces composants en respectant une méthodologie spécifique.

Dans son ensemble, le système photovoltaïque autonome (PV) englobe :

- Une source photovoltaïque.
- Un moyen de stockage (parc de batteries lithium-ion).
- Un convertisseur DC-DC lié aux panneaux PV .

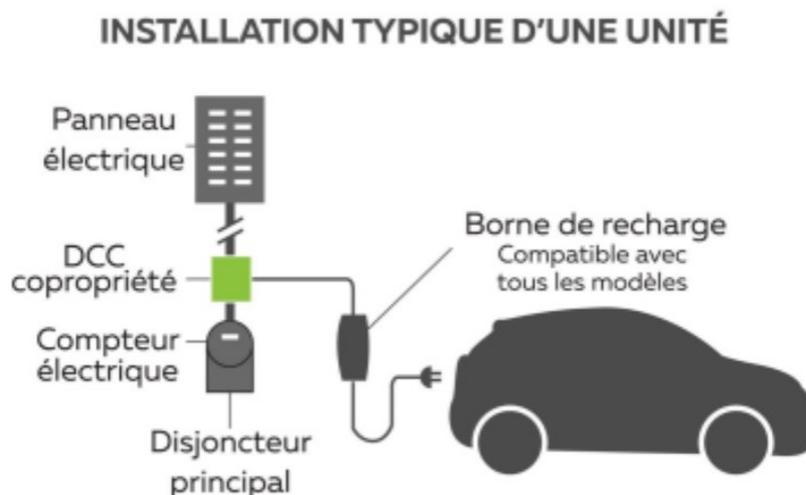


Figure II.1: Schéma de principe du système de recharge des sources d'énergie intégrées dans un véhicule électrique [8]

- Un convertisseur DC-DC lié aux batteries lithium-ion .

Le dimensionnement tient compte du prix et de la qualité d'un système PV dans un endroit isolé. Il s'agit donc d'une étape critique lors de la configuration du système. Il dépend de:

- l'éclairement sur le site au cours de l'année.
- l'énergie à stocker dans le parc de batteries.
- rendement énergétique de l'ensemble des composants constituant le système.

Le dimensionnement des composants du système PV autonome comprend:

- Dimensionnement de la source PV.
- Dimensionnement du moyen de stockage hybride.
- Dimensionnement de convertisseur courant-continu (DC / DC) de la source PV.
- Dimensionnement de convertisseur DC-DC lié aux batteries lithium-ion .

II.2.3 Dimensionnement de batteries

Le dimensionnement d'un banc (parc) de batteries consiste à effectuer les deux choix techniques suivants :

- Choix de la tension de la batterie.
- Choix de la capacité de la batterie.

Il est important de noter que, comme le lecteur pourra le constater dans ce mémoire, le dimensionnement de la batterie est réalisé de manière indépendante du champ photovoltaïque. Si on néglige les pertes, la capacité de stockage d'un accumulateur en Ah est donné par

$$C(Ah) = \frac{E_c \times N}{U_{acc} \times DOD \times \eta} \quad (II.1)$$

tels que :

C : Capacité de stockage (Ah).

E_c : Consommation journalière requise (Wh).

N : Autonomie (jour).

U_{acc} : Tension de l'accumulateur.

η : Rendement de charge de l'accumulateur

DOD : Profondeur de décharge de batterie (en anglais "Depth of Discharge").

Dans notre cas, nous faisons les calculs pour trois (03) véhicules électriques. Le besoin journalier en énergie pour un seul véhicule est estimé à $E_c = 40$ kWh. Pour trois véhicules le besoin en énergie est donc égal à 120 kWh.

$$C(Ah) = \frac{120 \text{ kWh} \times 1 \text{ jour}}{48 \text{ V} \times 0,80 \times 0,80} = 3906.25 \text{ Ah} \quad (II.2)$$

Remarque

On prend :

- Une tension d'une batterie égale à $U_{acc} = 48$ V avec une capacité de 200 Ah.
- $\eta = 0,8$ [1]
- $DOD = 0,8$
- $T = 1$ jour.

Un régulateur de charge solaire est un dispositif électronique qui contrôle et optimise la charge et la décharge des batteries de stockage dans un système solaire photovoltaïque.

Il est placé entre le champ photovoltaïque (panneaux solaires) et la batterie de stockage et a pour rôle de :

- Contrôler la charge
- Protéger la batterie contre la décharge profonde
- Optimiser l'alimentation en électricité
- Maintenir la charge de la batterie dans les limites adéquates

Le nombre de batteries en parallèle est donné par :

$$N_p = \frac{C_{tot}}{C_{bat}} \quad (\text{II.3})$$

En guise d'application numérique, nous trouvons:

$$N = \frac{3906.25 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 19.53 \quad (\text{II.4})$$

Nous prenons donc

$$N = 20 \text{ batteries}$$

D'autre part, le nombre de batteries en série est donné par :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{bat}}, \quad (\text{II.5})$$

avec:

V_{ch} : tension de charge en volt.

V_{bat} : tension de la batterie en volt.

Une application numérique donne

$$N_s = \frac{400 \text{ V}}{48 \text{ V}} = 8.33 \quad (\text{II.6})$$

Nous prenons donc

$$N_s = 9 \text{ batterie}$$

Le nombre total de batteries est donné par :

$$N_b = N_p \times N_s \quad (\text{II.7})$$

tels que :

N_p : Nombre de batterie en parallèle .

N_b : Nombre total de batteries.

N_s : Nombre de batterie en série .

L'application numérique pour 3 véhicules donne:

$$N_b = 9 \times 20 = 180 \text{ batteries} \quad (\text{II.8})$$

II.2.4 Dimensionnement de panneaux photovoltaïques

Après avoir évalué les besoins électriques, il est maintenant possible de dimensionner le champ photovoltaïque. Cette étape consiste à calculer la puissance crête requise pour un dimensionnement optimal de l'installation. L'objectif de cette sous-partie est d'expliquer comment dimensionner le champ photovoltaïque d'un système photovoltaïque autonome.

Dans une installation photovoltaïque autonome, la seule source d'énergie disponible est le champ photovoltaïque. Il est important de noter que les batteries ne doivent pas être considérées comme une source d'énergie, mais plutôt comme un moyen de stocker l'énergie produite par le champ photovoltaïque. Ainsi, on peut énoncer la règle de dimensionnement suivante dès à présent:

L'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque (E_{elec}) doit être au minimum égale à la consommation journalière des appareils électriques (E_{besoin}).

$$E_{\text{elec}} \geq E_{\text{besoin}}$$

Le non-respect de cette règle signifie que la consommation d'énergie est supérieure à la production. Dans ce cas, l'installation photovoltaïque est sous-dimensionnée. Par ailleurs, l'énergie électrique (E_{elec}) se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$E_{\text{elec}} = \frac{P_c}{P_i} \times E_i \times P_R, \quad (\text{II.9})$$

avec :

- E_i est l'irradiation solaire journalière, exprimée en kWh/m²/jour, reçue par le champ photovoltaïque.
- E_{elec} est l'énergie électrique journalière potentiellement produite par l'installation photovoltaïque, exprimée en kWh/jour.
- P_c est la puissance crête du champ photovoltaïque.
- P_i est la puissance radiative dans les conditions standard de test (STC).exprimée en kwh/m² .Donc $P_i = 1 \text{ kwh/m}^2$
- P_R est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque.

Ainsi, la règle s'écrit mathématiquement comme:

$$\left(\frac{P_c}{P_i}\right) \times E_i \times P_R \geq E_{besoin} \quad (\text{II.10})$$

Notre objectif étant de calculer la puissance crête P_c de l'installation photovoltaïque, nous exprimons celle-ci en fonction des autres paramètres, telle que:

$$P_c \geq \frac{E_{besoin} \times P_i}{E_i \times P_R} \quad (\text{II.11})$$

Le type de panneau photovltaique que nous avons utilisé a une tension $V_p = 24 \text{ V}$ et une puissance crête $P_c = 400 \text{ Wc}$, modèle **Generic flat plate pv** .

II.4.2.1. Calcul de l'énergie journalière consommée E_{besoin}

La consommation d'énergie journalière (en kWh/jour) se calcule simplement en multipliant la puissance électrique des équipements par leur durée d'utilisation.Dans cette étude l'énergie journalière consommée par une véhicule électrique est 40 kWh ; donc elle est de 120 kWh pour 3 véhicules électriques.

II.4.2.2. Calcul du ratio de performance

Étant donné que les modules photovoltaïques seront installés en surimposition, nous considérons que le champ photovoltaïque bénéficiera d'une ventilation adéquate. De plus, le régulateur de charge utilisé sera équipé d'un système de suivi du point de puissance maximum (MPPT). Une valeur raisonnable du ratio de performance sera $PR = 0,75$ (Modèle bien ventilé) [6].

II.4.2.3. Calcul de l'irradiation solaire journalière

L'irradiation solaire journalière E_i dépend du lieu géographique mais l'orientation et l'inclinaison du champ photovoltaïque sont également des éléments essentiels à prendre en compte. Pour ce faire, il est nécessaire de se procurer les données d'irradiation solaire du site concerné.

II.4.2.4. Calcul de la puissance crête nécessaire

Nous pouvons maintenant utiliser la formule appropriée pour calculer la puissance crête mensuelle nécessaire:

$$P_c = \frac{E_{\text{besoin}} \times P_i}{E_i \times \text{PR}} \quad (\text{II.12})$$

Application numérique :

$$P_c = \frac{120 \text{ kWh} \times 1 \text{ kW/m}^2}{5 \text{ kWh/m}^2/\text{jour} \times 0.75} \quad (\text{II.13})$$

$$P_c = 32 \text{ kW} \quad (\text{II.14})$$

Le nombre total de panneaux :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{\text{panneau}}} \quad (\text{II.15})$$

Une application numérique donne:

$$N_m = \frac{32000 \text{ W}}{400 \text{ Wc}} \quad (\text{II.16})$$

ou encore

$$N_m = 80 \text{ panneaux} \quad (\text{II.17})$$

Le nombre de panneaux en série est donné par :

$$N_s = \frac{V_{\text{ch}}}{V_p}, \quad (\text{II.18})$$

avec :

- N_s : Nombre de panneaux en série
- V_{ch} : Tension du régulateur en volt

- V_p : Tension d'un panneau en volt

Une application numérique donne:

$$N_s = \frac{400 \text{ V}}{24 \text{ V}} \quad (\text{II.19})$$

$$N_s = 16 \text{ panneaux} \quad (\text{II.20})$$

Le nombre de panneaux en parallèle est donné par:

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{II.21})$$

Une application numérique donne:

$$N_p = \frac{80}{17} \quad (\text{II.22})$$

$$N_p = 5 \text{ panneaux} \quad (\text{II.23})$$

II.2.5 Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement du régulateur s'effectue selon les 4 critères suivants:

1. La puissance maximale du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur pour éviter des coupures répétitives et garantir un fonctionnement efficace.
2. La tension à vide du champ photovoltaïque, augmentée d'un coefficient de sécurité, ne doit pas dépasser la tension maximale que peut supporter l'onduleur, afin d'éviter tout dommage au régulateur.
3. Le courant produit par le champ photovoltaïque ne doit pas excéder le courant maximal que peut supporter le régulateur, pour éviter des coupures intempestives et assurer une régulation optimale.
4. Le régulateur doit être conçu pour fonctionner en harmonie avec la tension du parc de batteries, notamment dans ce cas, la tension de 48V, pour garantir une régulation efficace et fiable.

Nous envisageons d'utiliser un régulateur de la marque STECA Tarom MPPT 6000, voir figure II.2. Nous identifions alors, dans son catalogue des régulateurs solaires, un régulateur MPPT présentant une puissance nominale proche de 6 000 Wc. Nous trouvons par la suite que le régulateur STECA Tarom MPPT 6000 peut convenir [22].



Figure II.2: Régulateur de la marque STECA Tarom MPPT 6000[22]

II.3 HOMER

II.3.1 Définition

HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) est un logiciel distribué de conception de systèmes d'énergie renouvelable utilisé par différents acteurs : entreprises d'ingénierie, universitaires, développeurs de projets d'énergie renouvelable, services d'étude, entreprises de construction, producteurs d'électricité indépendants, gouvernements, villes et banques. Il permet de modéliser et d'améliorer des systèmes d'énergie qui intègrent des énergies renouvelables telles que les panneaux solaires, les éoliennes, les batteries, la biomasse, etc. Le logiciel permet de simuler des systèmes énergétiques, d'analyser la sensibilité, de construire des systèmes entièrement renouvelables et d'accéder à des bases de données NASA pour obtenir des données climatiques exactes.

HOMER Pro est présenté comme complet, fournissant des résultats de grande qualité si les entrées sont bien conçues, mais nécessitant une formation pour une utilisation optimale. Une fois maîtrisée, son interface devient un outil puissant pour les professionnels du secteur de l'énergie. Il convient de citer certaines de ses fonctionnalités:

- Homer Pro permet la modélisation de systèmes hybrides d'énergie renouvelable (groupes électrogènes, cogénération, éoliennes, panneaux solaires, hydrauliques, batteries, piles à combustible, biomasse, etc.)
- Comparaison et simulation : Il est possible pour les utilisateurs de réaliser des simulations de différents systèmes énergétiques afin de comparer les résultats et d'obtenir une projection réaliste des coûts en capital et des dépenses d'exploitation.
- Conception optimisée : Homer Pro permet d'optimiser la conception des systèmes énergétiques hybrides en déterminant la rentabilité du système et en aidant les utilisateurs à comprendre le fonctionnement des systèmes hybrides d'énergie renouvelable.
- Utilisation universelle: Des dizaines de milliers de personnes à travers le monde utilisent le logiciel pour simuler et optimiser des systèmes énergétiques.

En résumé, HOMER Pro permet aux utilisateurs de modéliser, simuler, comparer et optimiser des systèmes énergétiques hybrides utilisant des sources d'énergie renouvelables,

offrant ainsi une vision réaliste des coûts et des performances de ces systèmes.

II.3.2 Méthodologies de simulation

Une stratégie de dimensionnement est établie en collaboration avec une stratégie de simulation sur HOMER pour les systèmes. Il est possible de résumer la démarche générale pour le dimensionnement et les simulations en quelques étapes :

1. Analyse de la consommation d'énergie (consommation d'énergie).
2. Pré-dimensionnement des équipements à la main.
3. Repérage des équipements requis pour le système (panneaux solaires, convertisseur, batteries) dans le logiciel HOMER.
4. Renseignement des informations requises dans le logiciel concernant :
 - la consommation d'énergie.
 - le gisement solaire pour le lieu souhaité.
 - les équipements (prix des équipements et coûts d'exploitation et d'entretien).
5. Début de la simulation sur HOMER.
6. Amélioration progressive des performances du logiciel HOMER afin d'atteindre la solution idéale pour ce système.
7. Tests de sensibilité.
8. Validation des choix.

II.3.3 Installation de système dans un site isolé

Présentation de l'outil de simulation

Dans cette partie nous allons lancer la simulation sur le logiciel HOMER Pro. Une fois Homer pro lancé, nous pouvons donner un titre à notre projet, l'auteur et une description du projet. Ensuite, nous sélectionnons l'emplacement du projet ou alors nous pouvons faire entrer l'adresse de l'emplacement dans la barre de recherche. Dans l'écran d'accueil au-dessous s'affiche quatre entrées clés : le taux d'actualisation, le taux d'inflation, le

déficit de capacité annuel maximum et la durée de vie du projet. La zone fonctionnelle contient six onglets : Charge, Composants, Ressources, Projets, Système et Aide. Cependant, l'interface HOMER Pro est organisée en : Conception, Résultats et Bibliothèques

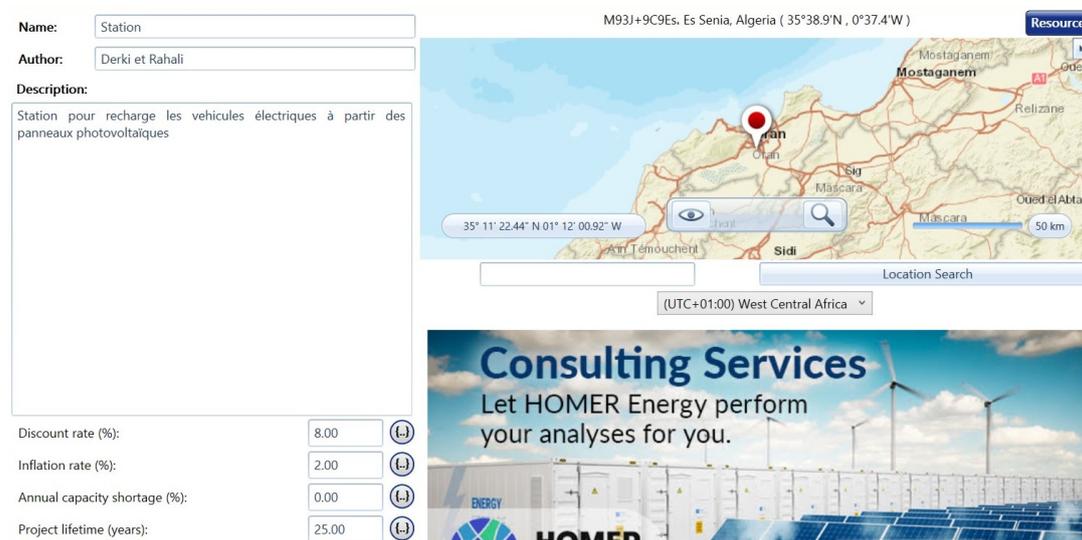


Figure II.3: L'écran d'accueil Homer Pro.

Lieu choisi

Nous suggérons d'installer une station de recharge pour les véhicules électriques dans la wilaya d'Oran, à l'ouest de l'Algérie, et plus exactement à la commune d'Es-sénia (voir figure II.3). La station proposée utilise un système hybride PV-réseau. A cet effet, il est essentiel de posséder des informations précises sur le gisement solaire de l'endroit choisi. Ces informations proviennent de mesures réelles du rayonnement solaire dans la région tout au long de l'année, Les données de rayonnement solaire pour la région étudiée sont illustrées dans la figure II.4. La mise en œuvre de ces données authentiques assure une représentation réaliste et précise du système hybride PV-réseau dans cette situation.

Le schéma dans la figure II.4 illustre l'énergie solaire disponible sur notre site tout au long de l'année. L'irradiation annuelle moyenne est de $5 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ ce qui correspond à la quantité d'énergie solaire absorbée par unité de surface chaque jour. Les variations saisonnières sont importantes, les mois de juillet et juin étant les plus élevés en termes d'irradiation, tandis que décembre est le mois le plus bas.

Il est utile de rappeler que l'indice de clarté (clearness index) est le rapport entre l'énergie du rayonnement direct reçue sur l'endroit sur une surface horizontale (en

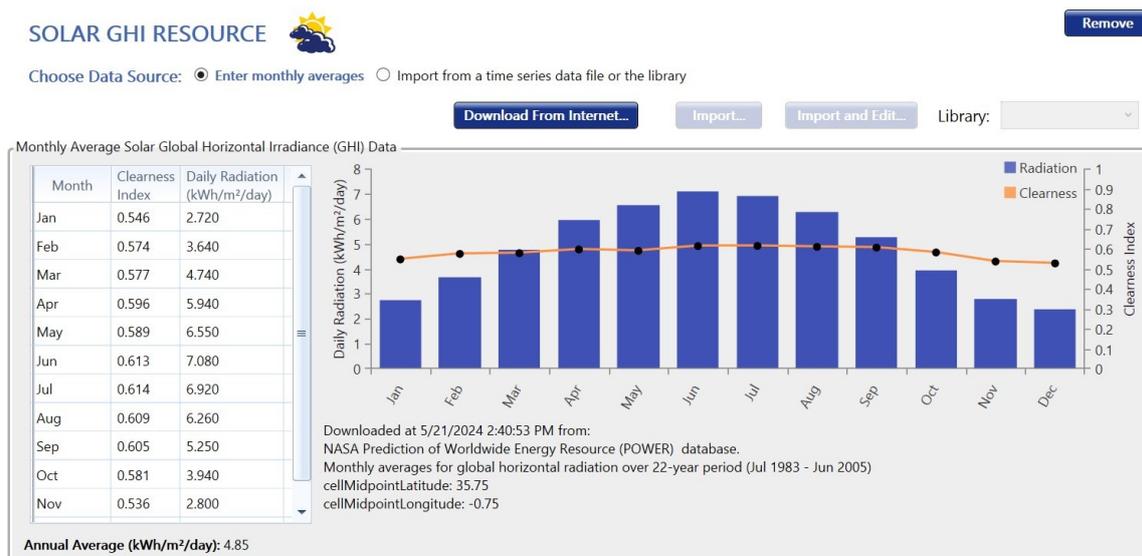


Figure II.4: Rayonnement solaire mensuel de la commune d’Es-senia (Oran).

présence de l’atmosphère) et l’énergie reçue en absence de l’atmosphère. Ces données jouent un rôle crucial dans l’évaluation du potentiel de l’énergie solaire dans notre région et dans l’optimisation de l’utilisation des solaires. Il est crucial de prendre en considération ces fluctuations saisonnières afin de planifier de manière efficace et d’optimiser l’utilisation de l’énergie solaire .

II.4 Mise en place d’un système photovoltaïque sans réseau

L’architecture du système énergétique à dimensionner sous HOMER est présentée dans la figure II.5

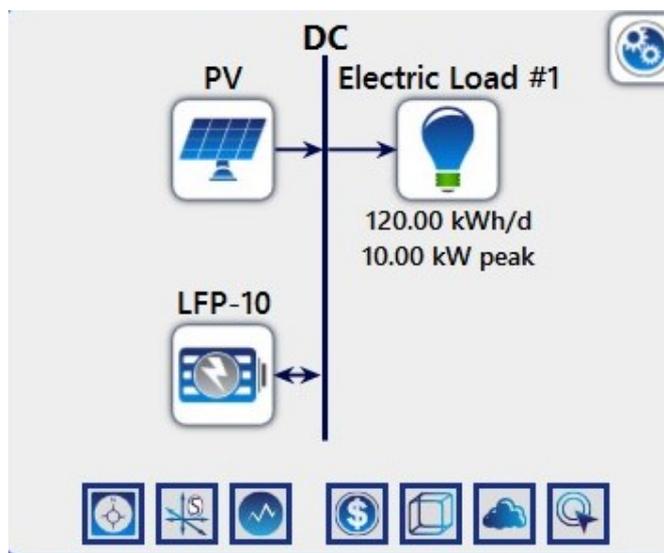


Figure II.5: Configuration de l’installation à dimensionner.

II.4.1 Modélisation de panneaux solaires photovoltaïques

Le panneau solaire que nous avons sélectionné est le modèle **Generic flat plate pv** .

The screenshot shows the configuration for a PV module. The name is 'Generic flat plate PV' and the abbreviation is 'PV'. The properties section includes: Name: Generic flat plate PV, Abbreviation: PV, Panel Type: Flat plate, Rated Capacity (kW): 32, Manufacturer: Generic, and a note: 'This is a generic PV system.' The cost table is as follows:

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	2,500.00	2,500.00	10.00

Lifetime time (years) is set to 25.00. The derating factor is 80.00%. The electrical bus is set to DC. Sizing options include HOMER Optimizer™ and Search Space, with a capacity of 32 kW selected.

Figure II.6: Caracteristiques du module solaire photovoltaïque choisi.

II.4.2 Modélisation de batteries

Nous avons choisi un modèle de batterie (Kinetic battery model) de 48V/200 Ah. Le détail des caractéristiques de la batterie choisie est donné sur la figure II.7

The screenshot shows the configuration for a battery. The name is 'Fortress Power LFP-10' and the abbreviation is 'LFP-10'. The properties section includes: Idealized Battery Model, Nominal Voltage (V): 48, Nominal Capacity (kWh): 9.6, Nominal Capacity (Ah): 200, Roundtrip efficiency (%): 98, Maximum Charge Rate (A/Ah): 0.5, Maximum Charge Current (A): 100, and Maximum Discharge Current (A): 100. The cost table is as follows:

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	6,900.00	6,900.00	0.00

Lifetime throughput (kWh) is 40,000.00 and time (years) is 10.00. String size is 9 and voltage is 432.00 V. Initial State of Charge (%) is 100.00 and Minimum State of Charge (%) is 5.00. Sizing options include HOMER Optimizer™, Search Space, and Advanced, with an upper limit of 20 and a lower limit of 0.

Figure II.7: Batterie choisie parmi les modèles proposés par Homer pro.

II.4.3 Résultats et interprétations

La figure II.8 donne le nombre de solutions simulées par Homer Pro. Celui-ci note que 52 solutions ont été simulées, 26 parmi elles étaient faisables et autant non faisables, alors que 8 solutions ont été omises. En plus, Homer Pro nous donne la solution la

52 solutions were simulated:

26 were feasible.

26 were infeasible due to the capacity shortage constraint.

8 were omitted:

0 due to infeasibility.

Figure II.8: Nombre de solutions simulées par HOMER Pro.

plus optimale (voir figure II.9), qui consiste en une puissance crête des panneaux photovoltaïque égale à 32 kW d'un nombre de batteries égal à 120 d'une production annuelle de 51.192 kWh/année.

Optimization Results														
Architecture			Cost				System			PV		LFP-10		
PV (kW)	LFP-10	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Nominal Capacity (kWh)	
32.0	180	CC	\$2.27M	\$4.02	\$73,688	\$1.32M	100	0	80,000	51,192	328	18,706	1,728	

Figure II.9: La solution la plus optimale.

Ainsi, et grâce à la simulation par Homer Pro, nous avons pu repérer les solutions les plus adaptées à notre étude, et nous avons opté pour un système photovoltaïque (PV) intégrant un stockage. Grâce à cette configuration, nous pouvons concilier l'énergie solaire et le stockage d'énergie, ce qui nous permet d'optimiser l'utilisation des ressources renouvelables. L'énergie solaire est capturée par le système photovoltaïque et transformée en électricité, tandis que le stockage permet de conserver l'excès d'énergie produite pour une utilisation future, même pendant les périodes de faible ensoleillement. Grâce à cette solution, notre autonomie énergétique est améliorée et notre dépendance aux sources d'énergie traditionnelles est réduite.

II.4.4 Production PV et consommation du système

La figure II.10 montre la production mensuelle en électricité par les panneaux solaires avec une production annuelle égale 51.192 kWh/année. Elle indique aussi que le système photovoltaïque (PV) produit 100% de l'énergie électrique.



Figure II.10: Production électrique totale mensuelle

II.4.5 Profil de charge de véhicules

La figure II.11 présente le profil de charge de trois véhicules électriques pendant une journée dans une station de charge qui contient une seule borne de charge. Pour cela, nous avons proposé une durée de charge de 4 heures pour chaque véhicule. Ainsi, le premier véhicule se chargera de 6h à 10h, le deuxième de 11h à 15h et le dernier de 16h à 20h, avec une puissance constante égale à 10 kW pour chaque véhicule. Ce profil de charge est constant pendant toute l'année.

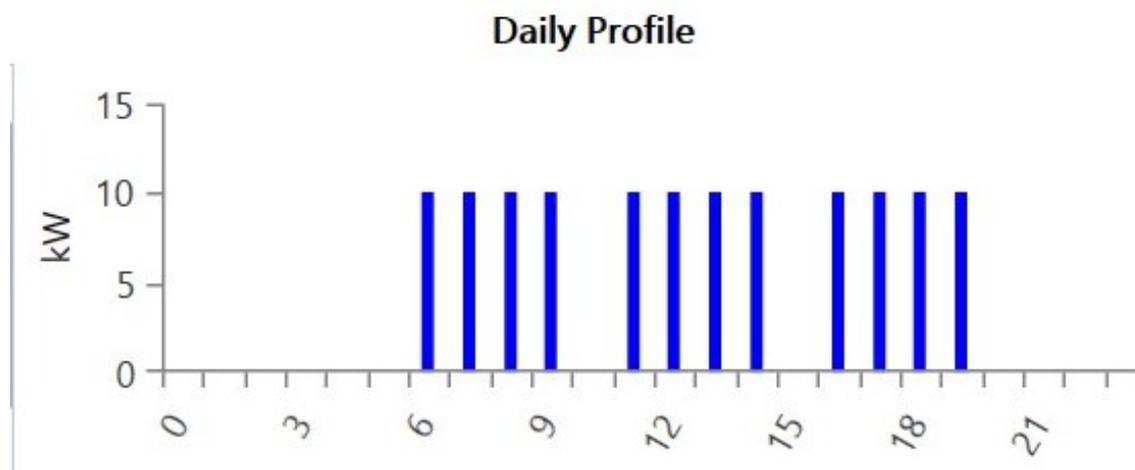


Figure II.11: Profil de charge de trois véhicules électriques pendant une journée

II.4.6 Résultats de simulation

La figure II.12 illustre trois courbes de puissance pour une journée typique de l'année: La production du champ photovoltaïque pendant une journée (en marron) en kW, la variation de la charge de trois batteries sur des périodes de 4 heures(en bleu) et l'évolution de la puissance des batteries (en vert). La puissance des batteries est positive lorsqu'elles se chargent et négative lorsque celles-ci se déchargent. De 0h à 6h la production photovoltaïque est nulle, et aucun véhicule n'est en train de se charger. Les batteries ne sont pas sollicitées. A partir de 6h, où la production photovoltaïque est faible et un véhicule électrique vient de commencer sa charge, les batteries se déchargent, mais au fur et à mesure que la production photovoltaïque augmente, la puissance délivrée par les batteries diminue. Entre deux charges (absence de véhicules dans la station), les batteries se chargent, profitant ainsi de l'abondance de l'énergie photovoltaïque en ce moment. Même en présence d'un deuxième véhicule pour la charge, les batteries continuent à se charger, car l'énergie photovoltaïque autour de midi est suffisante pour charger les batteries et le véhicule en même temps. Au fur et à mesure que le temps passe, la production de l'énergie photovoltaïque diminue et les batteries sont contraintes de se décharger pour venir au besoin du troisième véhicule qui doit se charger entre 16h et 20h.



Figure II.12: La consommation et la production

II.4.7 Aspect écologique et environnemental

Comme illustré dans la figure II.13, les émissions de CO₂ sont nulles grâce à l'utilisation d'une source d'énergie propre qui ne génère pas de gaz à effet de serre lors de la production d'électricité. L'énergie solaire, en comparaison avec les sources d'énergie classiques, comme les combustibles fossiles, aide à diminuer l'empreinte carbone et à atténuer l'effet sur le changement climatique. Cette représentation illustre l'importance de favoriser les énergies renouvelables afin de diminuer les émissions de CO₂ et de préserver l'écosystème.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

Figure II.13: Quantité des gaz émis par le système

II.5 Mise en place d'un système photovoltaïque avec réseau

Une fois le réseau ajouté à notre système énergétique, HOMER Pro optimisera le système hybride en tenant compte de la possibilité de se connecter au réseau en cas où les panneaux solaires et les batteries faillent à alimenter de manière continue et suffisante la charge des véhicules électriques.

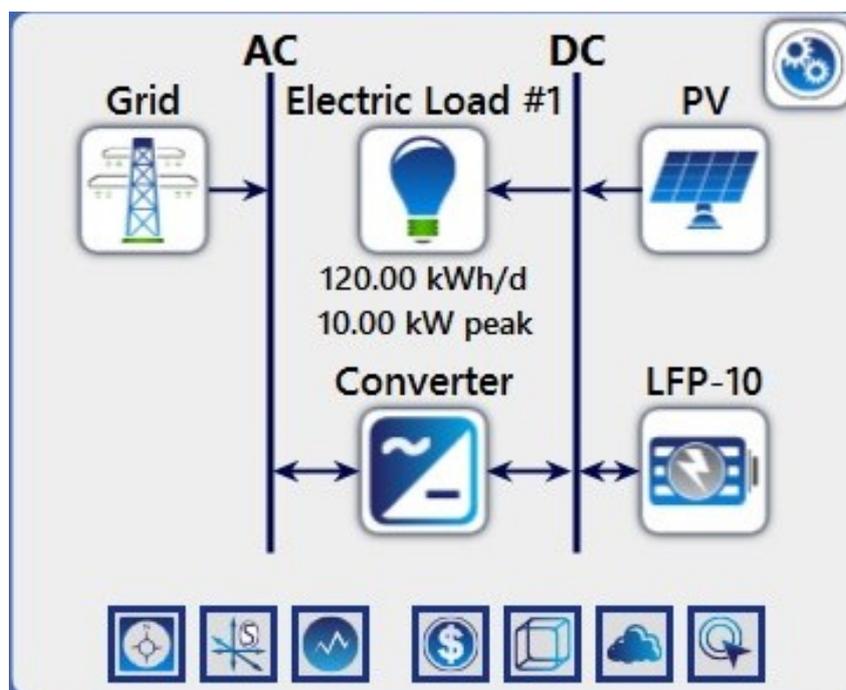


Figure II.14: Configuration de l'installation à dimensionner.

La figure II.14 met en évidence le rôle du réseau électrique dans l'approvisionnement en électricité. On observe que le réseau joue un rôle crucial en fournissant de l'électricité lorsque la production des panneaux solaires est limitée, notamment pendant la nuit ou en cas de conditions météorologiques défavorables. Ainsi, le réseau électrique compense les fluctuations de la production solaire et assure une alimentation continue en électricité. Il est à noter que la contribution du réseau est plus significative lors des périodes de faible production solaire, permettant de répondre aux besoins énergétiques des consommateurs. Cette représentation met en lumière la complémentarité entre la production solaire et le réseau électrique, assurant une alimentation électrique stable et fiable.

La figure II.15 montre que le nombre de solutions simulées par Homer Pro. est de 136. 105 parmi elles sont faisables et 31 non faisables, alors que 32 solutions ont été omises par Homer Pro.

136 solutions were simulated:
 105 were feasible.
 31 were infeasible due to the capacity shortage constraint.

32 were omitted:
 0 due to infeasibility.
 30 for lacking a converter.

Figure II.15: Nombre de solutions simulées par HOMER Pro en cas de la présence de réseau.

II.5.1 Production PV et consommation du système

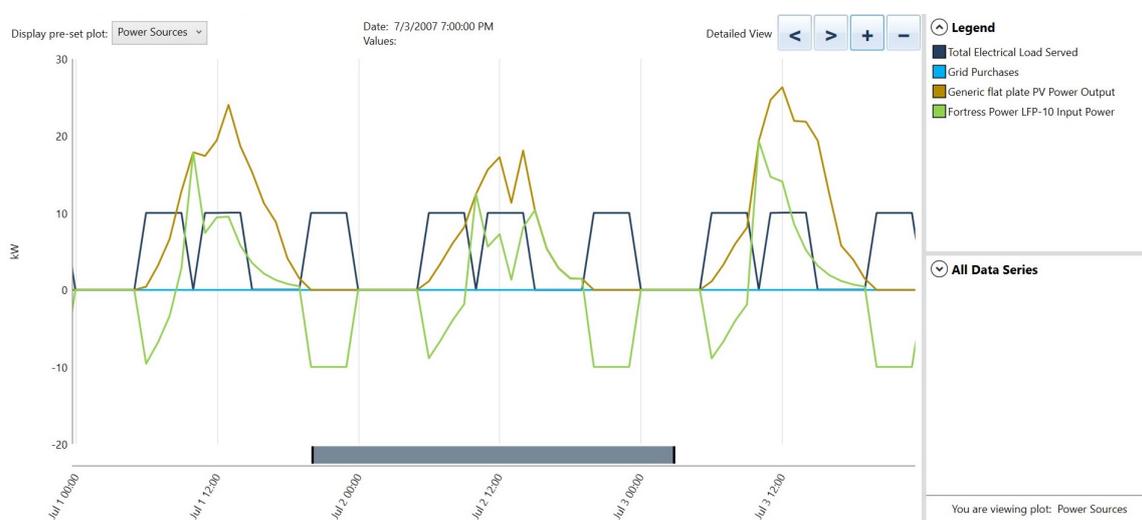
La figure II.16 présente la production mensuelle totale par les deux sources d'énergie (PV et réseau). Il est clair que, dans cette configuration, le réseau électrique ne contribue pas à l'alimentation de la charge des véhicules électriques. Cela est dû au fait que la production photovoltaïque, assistée par le stockage des batteries, est largement suffisante. En effet, la production annuelle de 51.192 kWh/année est entièrement assurée par les panneaux photovoltaïques. Cette indépendance vis-à-vis du réseau permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui est un objectif majeur de notre étude.



Figure II.16: Production électrique totale mensuelle .

II.5.2 Résultats de la simulation

La figure II.17 illustre les variations des puissances suivantes pendant trois jours consécutifs de l'année, à savoir: La puissance photovoltaïque (en marron), la puissance des batteries (en vert), la puissance de la charge (en vert) et la puissance fournie par le réseau (en bleu clair). Nous avons décalé à dessein la troisième période de charge qui a été fixée auparavant entre 16h et 20h vers une période entre 20h et 24h et ce pour tester l'autonomie des batteries lorsque la production photovoltaïque est nulle pendant la nuit. Nous remarquons que les batteries arrivent avec succès à alimenter le troisième véhicule sans avoir recours au réseau.



II.5.3 Aspect écologique et environnemental

Selon la Figure II.18, les émissions de CO₂ sont de 0.0333 kg/an, celles de dioxyde de soufre de 0.000144 kg/an et celle d'oxydes d'azote de 0.0000710 kg/an. Ces chiffres insignifiants sont l'effet de l'absence presque totale du réseau.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0.0333	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0.000144	kg/yr
Nitrogen Oxides	0.0000710	kg/yr

Figure II.18: Quantité des gaz émis par le système

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les principales étapes pour évaluer le dimensionnement d'un système de recharge autonome. Les besoins énergétiques spécifiques du système doivent être pris en compte, tels que la puissance des panneaux solaires, la capacité des batteries et les caractéristiques techniques du régulateur. Nous avons également étudié deux systèmes : le système photovoltaïque (PV) seul et le système hybride où le PV est combiné au réseau. Nous avons aussi proposé un profil de charge pour trois véhicules électriques pendant la journée d'une puissance pour chacune égale à 40 kW. L'utilisation du logiciel Homer Pro. nous a permis de simuler la variation des puissances photovoltaïque, de la charge et des batteries, en visualisant leurs courbes respectives pour une journée complète. L'addition du réseau n'a pas eu d'effet sur la production énergétique, du moment que les panneaux photovoltaïques, assistés par les batteries, arrivaient à alimenter sans discontinuité la charge des véhicules électriques. L'absence du réseau a permis d'éviter l'émission des gaz à effet de serre; ce qui est bien évidemment l'objectif de cette étude.

Chapitre N°03 :
Simulation d'une station de charge pour
véhicules électriques (VE)

III.1 Introduction

Le processus de simulation d'une station de charge pour véhicules électriques (VE) est complexe et demande une connaissance approfondie des divers éléments et des interactions entre eux. Les stations de charge constituent des installations électriques qui offrent la possibilité de recharger les batteries des véhicules électriques, ce qui est crucial pour leur bon fonctionnement et leur autonomie.

Dans ce chapitre, nous exposons une méthode de simulation d'une station de charge pour véhicules électriques, en mettant l'accent sur les éléments essentiels de la simulation, tels que la modélisation des éléments, la simulation du fonctionnement global, l'analyse des performances et l'optimisation itérative.

III.2 Méthodologie de recharge des véhicules électriques

III.2.1 Recharger les véhicules électriques grâce à des sources d'énergie renouvelables

Les technologies des énergies renouvelables sont une alternative aux combustibles fossiles classiques. Étant donné que ces sources d'électricité peuvent être localisées à proximité de la centrale électrique, il est possible d'améliorer considérablement l'efficacité du système en réduisant les pertes, les fluctuations de tension et les coûts de l'infrastructure électrique.

De plus, grâce aux avancées de la recherche, l'impact de la nature variable des sources d'énergie renouvelables (SER) sur les réseaux électriques a été amélioré, en utilisant, entre autres, des systèmes de stockage [15].

D'autre part, les emplacements des bornes de recharge à énergie solaire tiennent compte principalement des conditions de fonctionnement des véhicules électriques :

- Véhicules électriques sur les zones de travail (stationnement de la voiture plus d'une heure).
- Véhicules électriques à la maison.
- Véhicules électriques sur la route.

III.3 Modélisation du système

Le processus suggéré est réalisé avec MATLAB/SIMULINK pour concevoir une borne de recharge de 40 kWh alimentée par panneaux photovoltaïques (PV) pour les véhicules électriques. La figure III.1 présente la moyenne annuelle d'irradiation solaire et la température pendant la journée pour chaque mois de l'année du site Es-sénia, Oran. Selon cette figure, il est évident que les valeurs d'irradiance globale (énergie par unité de surface) augmentent pendant l'été et diminuent pendant l'hiver. En effet, les mois de mai, juin, juillet et août présentent les valeurs les plus élevées par rapport à tous les autres mois dans chaque colonne.

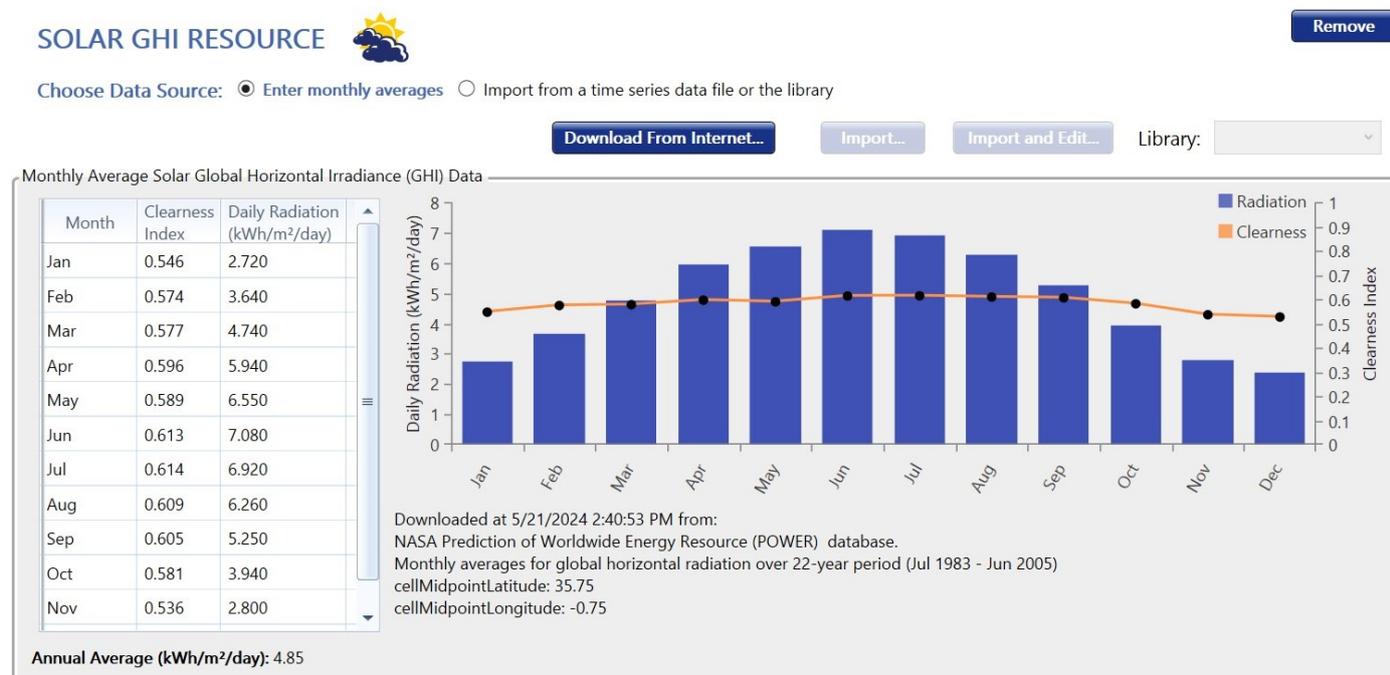


Figure III.1: Irradiation globale horizontale mensuelle à Es-sénia .

La figure III.2 illustre la conception de notre système de charge de véhicules électrique sur MATLAB/SIMULINK. La simulation fait intervenir un système de panneaux photovoltaïques, une borne de recharge pour véhicules électriques, un traqueur du point de puissance maximum (MPPT), une hacheur Boost et des batteries.

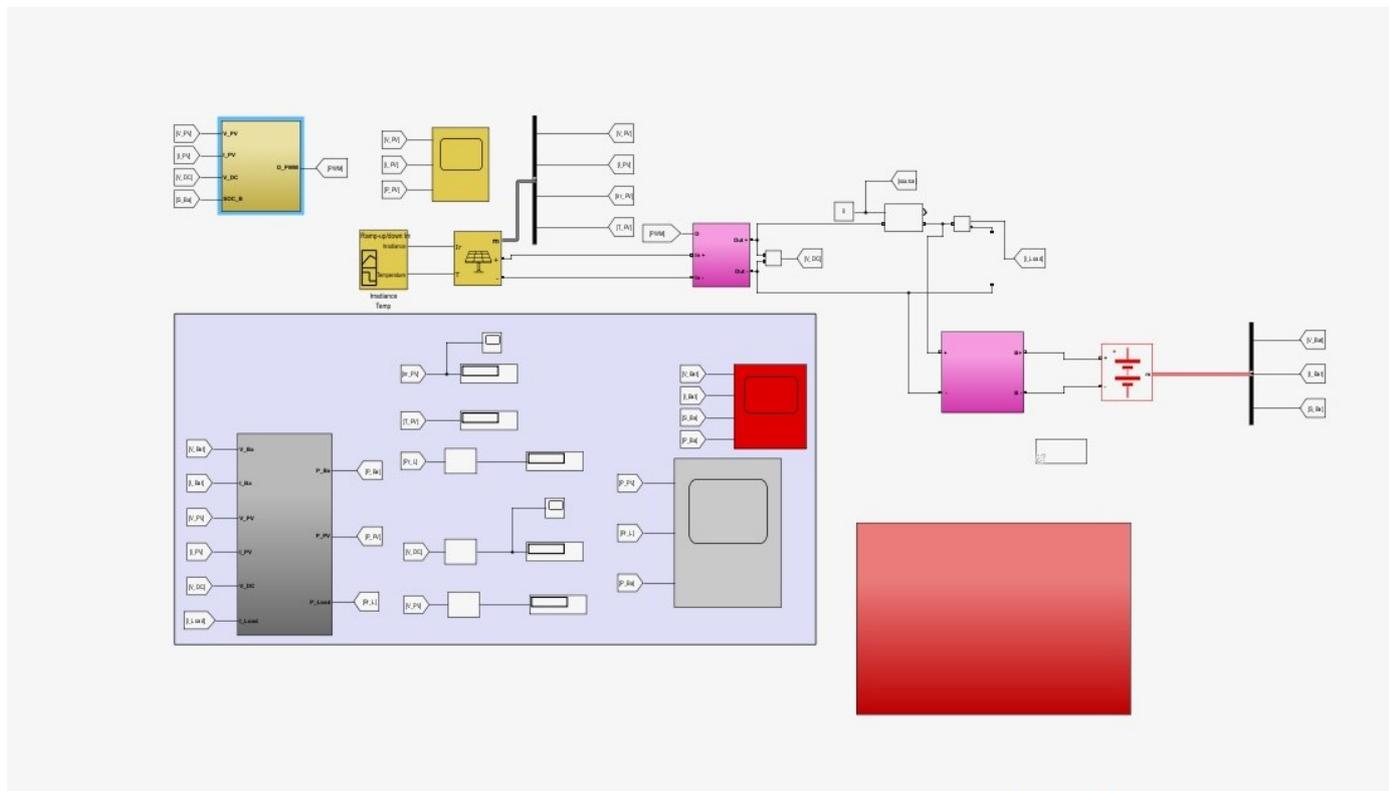


Figure III.2: Schéma bloc du système de charge sur Matlab/Simulink

III.3.1 Panneaux photovoltaïques sur Matlab/Simulink

Pour simuler la production d'électricité par énergie photovoltaïque nous avons utilisé un module photovoltaïque de puissance crête de $400 W_c$ et d'une tension (puissance maximum) de 48 V.

III.3.2 MPPT

Le MPPT, ou suiveur du point de puissance maximale, est un dispositif ou un algorithme utilisé dans les systèmes photovoltaïques pour optimiser la production d'énergie. Il permet de maximiser la puissance extraite des panneaux solaires en ajustant constamment la charge électrique de manière à ce que le panneau fonctionne à son point de puissance maximale (MPP) [27].

Les panneaux solaires génèrent une puissance maximale à un point spécifique de tension et de courant. Le MPPT (Maximum Power Point Tracking) identifie ce point de puissance maximale et ajuste constamment les paramètres électriques pour s'y adapter, ce qui garantit que le panneau solaire fonctionne toujours à son rendement optimal.

En maintenant les panneaux solaires à leur point de puissance maximale, le MPPT

peut améliorer l'efficacité globale du système photovoltaïque de 10 à 30% par rapport à un système sans MPPT. Il minimise les pertes d'énergie en ajustant continuellement les paramètres électriques pour correspondre aux conditions optimales.

Nous avons utilisé le MPPT autonome (Dispositifs séparés qui peuvent être ajoutés à un système existant pour améliorer l'efficacité de conversion de puissance).

III.3.3 Hacheur Boost

Nous utilisons un hacheur Boost pour augmenter la tension de sortie du MPPT pour qu'elle soit adaptée aux besoins du système de charge. En effet, l'énergie optimisée par le MPPT est ensuite amplifiée par ce convertisseur Boost pour atteindre la tension requise pour charger efficacement la batterie ou alimenter directement la charge.

III.3.4 Convertisseur bidirectionnel DC/DC

Un convertisseur bidirectionnel DC/DC est un dispositif électronique qui peut transformer la tension d'un courant continu (DC) d'un niveau à un autre, tout en fonctionnant dans les deux sens. Cela permet de convertir une tension plus élevée en une tension plus basse, ainsi que vice versa, en fonction des besoins spécifiques du système.

- Mode abaisseur (Buck) : Lorsque la tension d'entrée est plus élevée que la tension de sortie.
- Mode élévateur (Boost) : Lorsque la tension d'entrée est plus basse que la tension de sortie.

III.3.5 Batterie

Nous avons travaillé avec des batteries lithium-ion . tel que L'énergie totale est 120 kWh

III.4 Résultats des simulations et interprétations

la courbe I-V :

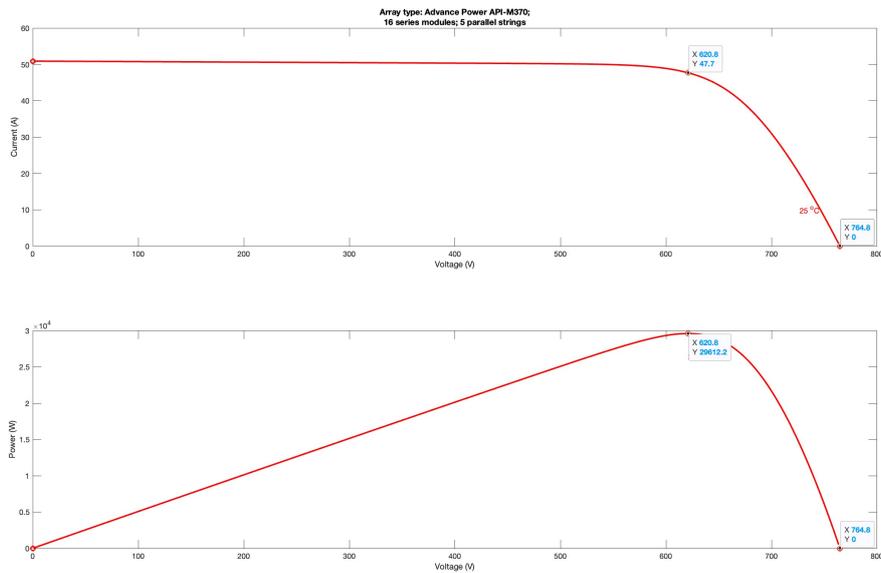


Figure III.3: l'état de charge (SOC) d'une batterie

Ces graphiques III.3 illustrent les caractéristiques typiques I-V (courant-tension) et P-V (puissance-tension) d'un ensemble PV, avec un point de puissance maximale (MPP) clair où l'ensemble délivre une puissance maximale.

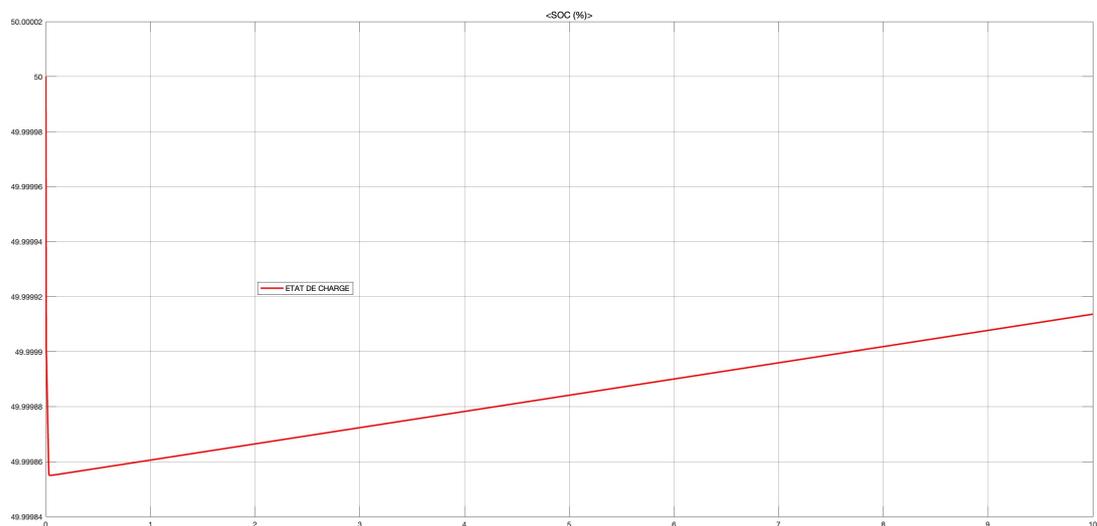


Figure III.4: L'état de charge d'une batterie

Le graphique III.4 montre la variation de l'état de charge d'une batterie en fonction du temps sur une période de 10 secondes. Nous y remarquons une diminution de l'état de charge à partir d'une valeur de 50% jusqu' à une valeur très proche 49.99986% ce

qui montre une décharge très rapide des batteries, puis une augmentation de l'état de charge sur le reste du temps pendant lequel les batteries se chargent.

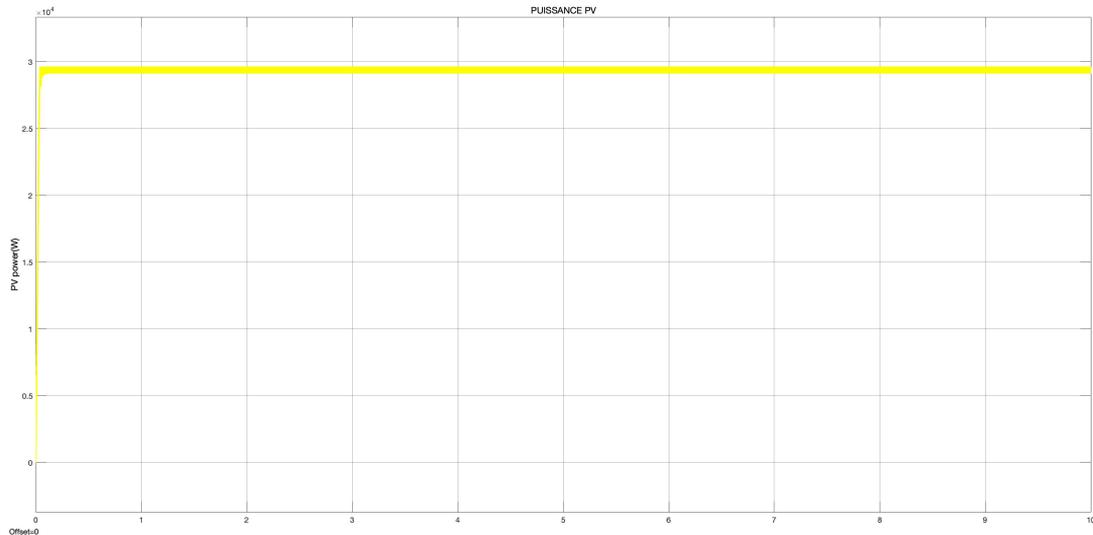


Figure III.5: Évolution de la Puissance d'un Système Photovoltaïque (PV) au Fil du Temps

Ce graphique montre l'évolution de la puissance d'un système photovoltaïque (PV) en fonction du temps. tel que :

a puissance PV commence à 0 W, indiquant que le système n'était pas encore opérationnel ou qu'il n'y avait pas de lumière solaire au début de la période observée.

La puissance PV atteint rapidement un plateau autour de 30 000 W et reste stable pendant toute la période observée. Cette stabilité indique une performance constante du système photovoltaïque sous des conditions de lumière stables.

III.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté une méthode de simulation d'une station de charge pour véhicules électriques (VE) en utilisant des sources d'énergie renouvelables, avec une mise en œuvre détaillée sous MATLAB/Simulink. Nous avons exploré les différents composants essentiels de la station de charge et leur modélisation, y compris les panneaux photovoltaïques, les convertisseurs DC/DC, les dispositifs MPPT, les batteries, et la charge simulée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons exploré les multiples facettes de la recharge des véhicules électriques à l'aide de systèmes photovoltaïques. En combinant des panneaux solaires performants avec des batteries de haute capacité, nous avons démontré la viabilité et l'efficacité de ce modèle dans la wilaya d'Oran, une région bénéficiant d'un ensoleillement considérable. De plus, nous avons intégré l'analyse des cycles de conduite pour mieux comprendre l'impact des variations des habitudes de conduite sur la performance du système.

Les résultats de nos simulations démontrent non seulement la faisabilité technique de ce système, mais aussi ses avantages économiques et environnementaux considérables. En effet, l'adoption de solutions énergétiques renouvelables pour la recharge des véhicules électriques permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles et de favoriser une mobilité durable.

Ce mémoire ouvre la voie à des perspectives prometteuses pour l'intégration des énergies renouvelables dans divers secteurs, notamment celui des transports. Nous sommes convaincus que notre étude constitue un pas important vers un avenir énergétique plus propre et plus durable. Les défis rencontrés, bien que nombreux, ont été surmontés grâce à l'innovation et à l'ingéniosité, ce qui renforce notre confiance dans la poursuite de ce type de solutions pour d'autres applications énergétiques.

Bibliographie

- [1] HAL Id: hal-01361703. Soumis le 7 septembre 2016.
- [2] Hwfet (highway fuel economy test) : Un cycle de conduite autoroutier américain utilisé pour mesurer l'économie de carburant des véhicules légers.
- [3] Installation photovoltaïque autonome. http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Installation_photovolt%C3%A4que_autonome. Consulté le 15 juin 2024.
- [4] Stellantis. Site Web.
- [5] Acca Software. Biblus : Le site de acca software, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [6] Aurian Arrigoni. *Installations photovoltaïques autonomes*.
- [7] Djamel Benoudjit. *Contribution à l'optimisation et à la commande d'un système de propulsion pour véhicule électrique*. PhD thesis, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences, 2010.
- [8] BEQ Technology. 4 solutions pour brancher un véhicule électrique dans un condo ou logement. <https://beqtechnology.com/blog/4-solutions-brancher-vehicule-electrique-condo-logement/>. Consulté le 15 juin 2024.
- [9] Caradisiac. Site caradisiac, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [10] CNRS. Vers l'utilisation d'halogénures dans les batteries li-ion, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [11] Energie+. Energie+ : Le site de la performance énergétique des bâtiments, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [12] Team France Export. Site web de team france export.
- [13] Adrien Fouquier and Yves Thomas. *Histoire de la voiture électrique et de ses constituants*. ISTE Group, 2017.

- [14] Frandroid. La recharge des voitures électriques en 5 minutes se déploie très rapidement en europe. https://www.frandroid.com/marques/nio/1490356_la-recharge-des-voitures-electriques-en-5-minutes-se-deploie-tres-rapidement-en- Consulté le 15 juin 2024.
- [15] S. J. Gunter, K. K. Afridi, and K. K. Perreault. Optimal design of grid-connected pev charging systems with integrated distributed resources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(2):956–967, 2013.
- [16] L’Automobile Magazine. Site de l’automobile magazine, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [17] Victor Mester. *Conception optimale systémique des composants des chaînes de traction électrique*. PhD thesis, Ecole Centrale de Lille, 2007.
- [18] Numerama. Voitures électriques : tous les modèles disponibles en france en 2020, 2020. Consulté le 10 juin 2024.
- [19] CNEV Post. Site web du cnev post.
- [20] RouteOvoltis. Bev : tout savoir sur les véhicules électriques à batterie, 2024. Consulté le 10 juin 2024.
- [21] Bouthaina Salem and Mahdi Abdelmalek. *Modélisation et simulation d’un véhicule électrique*. PhD thesis, 2023.
- [22] Simple et Solaire. Régulateur de charge solaire steca tarom mppt 6000. Site Web.
- [23] Akassewa Tchapo Singo. *Système d’alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l’habitat énergétiquement autonome*. PhD thesis, Université Henri Poincaré-Nancy 1, 2010.
- [24] Romdhane Ben Slama. Essais sur la production de l’hydrogène solaire par électrolyse de l’eau. In *JITH 2007*, page 5p. ENSTIMAC, 2007.
- [25] SOMABE. Installation photovoltaïque raccordée au réseau. <https://somabe.com.tn/nos-services/installation-photovoltaique-raccorde-au-reseau/>. Consulté le 15 juin 2024.

BIBLIOGRAPHIE

- [26] UNECE. Vehicle regulations, 2024. Accessed: 2024-06-17.
- [27] Wikipedia. Accumulateur lithium-ion. https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_lithium-ion. Consulté le 15 juin 2024.
- [28] Zeway. Lexique : Paradoxe de braess.