

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Electrotechnique Industrielle
Présenté par :

Hani Mohammed Salah

Fetni Abdrraouf

Thème:

Conception d'un convertisseur de puissance pour véhicules électriques

Soumis au jury composé de :

M ^r Djarah Djalal	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^r Bouhafs Ali	MAA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r Kouras Sid Ali	MCA	Examinateur	UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu le plus Puissant qui a bien voulu nous donner la force et le courage Pour effectuer Ce présent travail.

Mes profonds remerciements à nos parents de nous avoir soutenu moralement et financièrement durant ces longues années.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur " Mr. Ali Bouhafs " pour son sérieux et ses orientations.

Nous tenons à remercier aussi les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire.

Merci aussi à nos Enseignants à qui Nous exprimons tout notre respect Et profonde gratitude.

Dédicace

Je dédie ce travail

*Aux personnes les plus chères et les plus proches du cœur,
mon père et ma mère,*

qui ont été mon aide et mon soutien,

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin

Mes sœurs qui ont été une source de soutien pour moi

*Aux gens de crédit et à mes professeurs qui m'ont comblé
d'amour, d'appréciation et de conseils.*

Fetni Abdrraouf

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu durant mon parcours scolaire et durant toute ma vie, que Dieu leurs accorde une longue vie et une bonne santé

À mes très chers frères et mes sœurs

À toute mes amis

À toutes personnes qui nous ont aidés à réaliser ce mémoire

Hani Mohammed Salah

Table des matières

Remercîment.....	I
Dédicace.....	II
Liste des tableaux.....	X
Liste des figures.....	XI
Liste des abréviations.....	XIII
Résumé.....	XIV
Abstract.....	XV
Chapitre I : Généralités sur les véhicules électriques	
I.1 Histoire des véhicules électriques	4
I.2 Les sources d'énergie embarquée :	6
I.3 Véhicule électrique :	6
I.4 Fonctionnement d'un véhicule tout électrique.....	7
I.5 Véhicule hybride électrique :	7
I.5.1 Hybride série :	8
I.5.2 Hybride parallèle :.....	8
I.6 La différence entre une voiture électrique et une voiture hybride :	9
I.7 Types des véhicules électriques :	9
I.7.1 Véhicule électrique à batterie.....	9
I.7.2 Véhicule hybride électrique	9
I.7.3 Véhicule hybride rechargeable.....	10
I.7.4 Véhicule électrique à pile à combustible	10
I.8 Véhicules électriques purs.....	10
I.9 Les différentes architectures de traction	11
I.9.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu).....	11
I.9.2 Véhicules électriques bi moteur (machine à courant alternatif).....	11
I.10 Les sources d'énergies pour les véhicules électrique :.....	11
I.10.1 Les batteries :	11
I.10.2 Les super-condensateurs :	12
I.10.3 Une pile à combustible :.....	12
I.11 Les différents modes de charge pour véhicules électriques	13
I.11.1 Prise domestique :	13

I.11.2	Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection :	13
I.11.3	Prise spécifique sur un circuit dédié :	14
I.11.4	Connexion courant continu :	14
I.12	Moteur électrique	14
I.13	Types de moteurs à courant continu	14
I.13.1	Moteur série :	14
I.13.2	Moteur à excitation shunt ou en dérivation :	15
I.13.3	Le moteur série-parallèle (compound) :	15
I.13.4	Moteurs brushless :	15
I.13.5	Moteur universel :	16
I.13.6	Moteurs à courant alternatif :	16
I.13.7	Moteur asynchrone triphasé	16
I.13.8	Moteurs asynchrones monophasés :	17
I.13.9	Moteur synchrone :	18
I.14	Les convertisseurs de puissance	19
I.15	Les Auxiliaires	19
I.16	Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques	20
I.17	La différence entre un inverseur et un convertisseur DC/DC dans un véhicule électrique :	
		22
I.17.1	Les inverseurs	22
I.17.2	Des convertisseurs	22
I.18	La combinaison entre inverseur et convertisseur DC/DC :	22

Chapitre II : Structure de charge

II.1	Topologies existantes des convertisseurs conditionneurs d'énergie	24
II.2	Commandes des convertisseurs de puissance	29
II.3	Système de charge et niveaux de puissance :	29
II.4	Correction du facteur de puissance (PFC) :	30
II.5	Les types des convertisseurs :	30
II.5.1	Convertisseur alternatif/continu (redresseur) :	30
II.5.2	Convertisseur continu/continu (hacheur) :	31
II.5.3	Convertisseur continu/alternatif (Onduleur) :	32
II.6	Les batteries :	32
II.6.1	Batteries au plomb :	34
II.6.2	Batteries Nickel-Métal Hydrures :	34

II.6.3 Batteries lithium-ion :	34
II.6.4 Les batteries lithium polymère :	35
II.6.5 La batterie Ni-Cd :	35
II.6.6 La batterie ZEBRA	36
II.6.7 Les batteries lithium fer phosphate :	36
II.7 Etat de charge de la batterie (SOC)	39
II.8 Utilisation de la batterie:	39
II.9 Les bornes de recharge	41
II.10 Chargeurs des batteries :	41
II.10.1 Chargeur de type rapide :	41
II.10.2 Chargeur de type lent	41
II.10.3 Chargeurs à coupleur inductif manuel	42
II.10.4 Chargeur classique	42
II.10.5 Chargeur à coupleur inductif automatique	42
II.10.6 Chargeurs filaires	42
II.10.7 Chargeurs filaires unidirectionnels	43
II.10.8 Chargeurs filaires bidirectionnels	43
II.11 La conversion de puissance bidirectionnelle :	43
II.12 Les avantages de la conversion de puissance bidirectionnelle dans les systèmes automobiles :	44

Chapitre III : Simulation

III.1 Convertisseur DC/DC bidirectionnel :	47
III.2 Véhicule au réseau (V2G) :	47
III.3 Schémas-block :	49
III.4 Paramètre de simulation :	48
III.5 Simulation :	51
III.5.1 Etat réseau au véhicule (G2V) :	51
III.5.2 Résultat de simulation mode réseau au véhicule (G2V) :	54
III.6 Etat véhicule au réseau (V2G) :	55
III.6.1 Résultat de simulation mode réseau au véhicule (V2G) :	58

Liste des tableaux

Tableau I-1:Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.	20
Tableau II-1:Résumé des différents types de batteries les plus utilisés dans le domaine des véhicules électriques et hybrides[33].	38
Tableau II-2:Tableau comparatif des types de charge.....	42
Tableau III-1:paramètre de simulation	48
Tableau III-2:Résultat de simulation de mode G2V	54
Tableau III-3: Résultat de simulation de mode V2G.....	58

Liste des figures

Figure I-1:Exemple de véhicule électrique : « La jamais contente » réalisée en 1899.....	5
Figure I-2:Exemple de véhicule électrique d’aujourd’hui.....	6
Figure I-3:véhicule électrique.....	7
Figure I-4:Constitution d'un véhicule électrique.	7
Figure I-5:Automobile hybrides électrique.	8
Figure I-6:Architecture série d’un HEV.....	8
Figure I-7:Architecture parallèle d’un HEV.....	9
Figure I-8:Véhicule hybride rechargeable.	10
Figure I-9:Véhicule électrique à pile combustible.	10
Figure I-10:Architecture d’un véhicule électrique mono moteur.	11
Figure I-11:Architecture d’un véhicule électrique bi moteur.	11
Figure I-12:Super-condensateurs.....	12
Figure I-13:Principe de PAC.....	13
Figure I-14:Prise domestique.	13
Figure I-15:Schéma d'un moteur électrique à excitation série.	14
Figure I-16:Comparaison entre couples des moteurs électrique.....	16
Figure I-17:Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé.....	17
Figure I-18:Variation de couple en fonction de la fréquence de rotation du moteur.	17
Figure I-19:Principe du fonctionnement du moteur synchrone.....	19
Figure I-20:Les différents modes de charge proposés.....	21
Figure II-1:Topologie à couplage magnétique à tension électrique (CM V).....	25
Figure II-2:Topologie Bus DC à tension électrique (Bus-DC V).....	25
Figure II-3:Topologie à couplage magnétique à courant électrique (CM I).....	26
Figure II-4:(a) et (b) topologie combinatoire entre les deux topologies isolée et non isolée (Bus-DC, MC).	26
Figure II-5: Convertisseur DC-DC pour l'interfaçage des systèmes de stockage d'énergie dans les véhicules électriques hybrides à piles à combustible.	27
Figure II-6:Conditionneur multi sources.	28
Figure II-7:Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.	30
Figure II-8:Schéma détaillé d'un redresseur.	31
Figure II-9:Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.	31
Figure II-10:Schéma fonctionnel de la batterie.	33
Figure II-11:Courbe de charge et décharge d'une batterie.....	33
Figure II-12:Batteries au plomb.	34
Figure II-13:Batteries Nickel-Métal Hydrures.	34
Figure II-14:Les composants d’une batterie lithium-ion.....	35
Figure II-15:Les batteries lithium polymère.....	35
Figure II-16:La batterie ZEBRA.	36
Figure II-17:Schéma du fonctionnement d'une batterie LiFePO4.....	37
Figure II-18:Chargeur unidirectionnel.....	43
Figure II-19:Chargeur intégré bidirectionnel.	43
Figure II-20:Une alimentation bidirectionnelle.....	44
Figure III-1:Fonctionnement de véhicule au réseau.....	47
Figure III-2:Schéma-block générale.....	49

Figure III-3: Schéma global de convertisseur (Wall charger connection box)	49
Figure III-4: convertisseur DC-AC/AC-DC	50
Figure III-5: Buck Boost (hacheur)	50
Figure III-6: Convertisseur DC-DC (hacheur) Avec batterie contrôleur	51
Figure III-7: Constant (0) état (G2V)	51
Figure III-8: Courbes de (SOC, I, V) mode (G2V)	52
Figure III-9: Tension de réseau (G2V)	53
Figure III-10: Tension de l'onduleur	53
Figure III-11: Tension (réseau et onduleur)	53
Figure III-12: Courbes de puissance P, Q	54
Figure III-13: Constant (1) état (V2G)	55
Figure III-14: Courbes de (SOC, I, V) mode (V2G)	56
Figure III-15: Courbes de réseau (V2G)	57
Figure III-16: Courbes de l'onduleur (V2G)	57
Figure III-17: Tension en phase (réseau et onduleur) (V2G)	57
Figure III-18: Courbes de puissance P, Q	58

Liste des abréviations

CO2	dioxyde de carbone
V2G	véhicule vers le réseau (vehicle to grid)
G2V	réseau vers le véhicule (grid to vehicle)
PAC	pile à combustible
PEMFC	proton exchange membrane fuel cell (anglais)
DC	courant continu
AC	courant alternative
VE	véhicule électrique
PHEV	véhicule électrique hybride rechargeable
HEV	véhicule électrique hybride
FCEV	véhicules à pile à combustible
MCI	Millicurie
NDEC	New European Driving Cycle (anglais)
O2	oxygene
H2	hydrogene
MCC	moteur à courant continu
CM	couplage magnétique
SOC	état de charge de la batterie (state of charge)
DOD	taux de décharge (depth of discharge)
PFC	correction de facteur de puissance
MLI	modulation de largeur d'impulsion
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
Ni-Mh	Nickel-hydrure Métallique ;
Li-ion	Lithium-ion ;
Li-po	Lithium-ion Polymère ;

Abstract

The democratization of plug-in hybrids and pure electric vehicles implies an increased demand on the distribution networks. Vehicle-to-Grid (V2G) or Vehicle-to-Building (V2B) aim to meet this increased demand by using vehicles not as simple loads for the electrical grid but as actors performing bi-directional exchanges.

Résumé

La démocratisation des véhicules hybrides branchables ainsi que des véhicules purement électriques implique un surplus de demande sur les réseaux de distribution. Le Vehicle-to-Grid (V2G) ou le Vehicle-to-Building (V2B) visent à répondre à cette demande accrue en utilisant les véhicules non plus comme de simples charges pour le réseau électrique mais comme des acteurs effectuant des échanges bidirectionnels.

Introduction générale

Les enjeux énergétiques et environnementaux font aujourd'hui partie des préoccupations majeures au niveau international. L'accroissement de la population mondiale ainsi que l'activité industrielle des pays développés et des puissances économiques émergentes ont entraîné une explosion des besoins en énergie. L'utilisation des ressources fossiles pour satisfaire cette « boulimie » énergétique est responsable de la majeure partie des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ; cette pollution est à l'origine du réchauffement de la planète et des bouleversements climatiques qui en découlent. Outre les problèmes liés à l'environnement, les réserves d'énergies fossiles sont limitées et ne pourront satisfaire à moyen terme la demande mondiale.

Le nombre de véhicules dans le monde est de plus d'un milliard. Un nombre avec une croissance exponentielle surtout ces dernières années, le secteur de transport est le premier contributeur au réchauffement de la planète, sa part est estimée à 32% des émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

Pour résoudre ces problèmes, les constructeurs et le gouvernement ont pris acte des efforts nécessaires pour stabiliser ou réduire ces émissions. Ils pensent à un moyen de transport écologique indépendant du pétrole, beaucoup croyaient aux véhicules électriques. Le véhicule électrique, bien qu'il souffre toujours de son manque d'autonomie, se situe au premier plan de ces recherches. Ce nouveau moyen du transport, fait partie de la diminution de la pollution et de l'émission locale à effet de serre.

Les véhicules électriques à batteries, les véhicules électriques hybrides et les véhicules électriques à pile à combustible sont présentés par les spécialistes comme l'alternative la plus efficace, permettant un transport avec de très faibles et même zéro émissions de gaz à effet de serre. Dans le cas des véhicules électriques utilisant comme carburant l'hydrogène, les piles à combustible (PAC) ont beaucoup à offrir. En effet, les PAC sont devenues des éléments décisifs pour la génération de puissance dans les applications automobiles. Depuis le début du 21^{ème} siècle, la PAC à membrane échangeuse de protons, "Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)", a tiré profit d'un intérêt croissant de la part des chercheurs publics et privés en raison de sa densité de puissance élevée, un électrolyte solide, et des fonctionnements à faible température lui permettant un démarrage plus rapide. La disparité des niveaux des tensions et des courants entre les sources (pile à combustible, batteries, super-condensateurs) et les charges de la voiture (moteur de traction, auxiliaires) rend indispensable l'utilisation de tels dispositifs. La plupart de ces recherches proposent des topologies de convertisseurs à tension de bus continu (bus DC) constante dépassant souvent la centaine de volts.

La littérature dans le domaine de l'électronique de puissance embarquée démontre que les pertes énergétiques du convertisseur de conditionnement (convertisseur DC/DC) sont d'autant plus importantes (c-à-d un rendement d'autant plus faible) que les niveaux de tensions des sources et du bus DC sont éloignés. Les topologies de convertisseurs de

Introduction générale

puissance proposées dans la littérature pour le conditionnement de l'énergie à bord des VE n'intègrent pas vraiment ce paramètre dans leur choix.

Dans le premier chapitre, nous présentons un état de l'art sur la généralité des véhicules hybrides électriques, tels que l'historique, classification et mode de fonctionnement. Ensuite, nous donnerons les caractéristiques des différentes sources embarquées (batteries, pile à combustible et super-condensateur).

Le deuxième chapitre se portera sur l'étude des batteries et leurs chargeurs, des différents types de chargeurs de batteries seront présentées. Plusieurs critères permettent d'évaluer cette catégorie de convertisseurs d'électronique de puissance.

Enfin, le troisième chapitre, sera consacré à la simulation de convertisseur de puissance (bidirectionnelle), et les modes de charge réseau vers véhicule (G2V), et véhicule vers le réseau (V2G).

Et on a terminera par une conclusion générale.

Chapitre I

I. Généralités sur les véhicules électriques

Introduction

La voiture électrique a été souvent considérée comme une technologie pleine d'avenir et qui donne des espérances pour mettre fin à cette pollution alarmante de l'atmosphère due au secteur de transport routier, capable de prendre une importante part de marché, mais qui n'y est pas arrivée. Cet échec s'explique principalement par la concurrence, disposant d'une technologie bien établie : le moteur à explosion, qui a profité des économies d'échelle, du faible coût du carburant et des subsides. Conçues pour lutter efficacement contre la pollution, les véhicules électriques sont, malheureusement, freinés par leurs coûts élevés, leur autonomie limitée qui dépend de la capacité des batteries, le manque d'investissements et d'autres problèmes critiques qui handicapent cette invention. L'idée du véhicule électrique n'est pas récente et pourtant sa structure interne n'est pas figée. Plusieurs solutions sont actuellement en développement. La recherche dans le domaine des batteries est importante et donne lieu à de nombreux prototypes. L'objectif de ce premier chapitre est de présenter un bref historique, quelques généralités sur les véhicules électriques, et d'étudier son fonctionnement ainsi ses différentes architectures et les éléments constituant. [1]

I.1 Histoire des véhicules électriques

Contrairement aux idées reçues, les débuts de la voiture électrique coïncident avec ceux de l'histoire automobile, la première fut la JEANTAUD en 1894, c'était un phaéton deux places, La carriole électrique existait bien avant, la première a fait son apparition aux alentours de 1830 par un homme d'affaire écossais : Robert Anderson.

Les découvertes des lois de l'induction électromagnétique par Michael Faraday en 1831 ont permis le développement des moteurs électriques.[2]

Trois années plus tard, l'américain Thomas Davenport construit une petite locomotive électrique qui fut la première automobile à accumulateurs non rechargeables, cette dernière réussissait à parcourir un court trajet sur rail, Puis en 1838, Robert Davidson y ajouta quelques modifications pour arriver à un modèle similaire, qui peut rouler jusqu'à 6 km/h. Ces deux inventions n'utilisaient pas de batterie rechargeable, puisque cette dernière n'était pas encore inventée, ils fonctionnaient avec des batteries non rechargeables. La batterie rechargeable au plomb acide a été apparue plus tard, en 1859, inventée par le Français Gaston Planté et améliorée au fil du temps. Cette invention posa les bases des prochaines générations des véhicules électriques et marqua le début de leur essor. En novembre 1881, Gustave Trouvé présenta une automobile électrique, ou plutôt un tricycle électrique, à l'exposition Internationale d'Electricité à Paris. Néanmoins, ce n'était qu'un prototype et son utilisation était plus que délicate puisque le conducteur devait, grâce à un système de poulies, immerger des plaques de métal dans des récipients contenant de l'acide afin de moduler l'intensité du courant et donc la vitesse.[3]

Vers les années 1897 les premiers taxis électriques ont commencé à apparaître dans les rues de New York, puis en 1899 en Belgique, une société construite 'La Jamais Contente', c'était la première auto électrique à dépasser les 100 km/h. Bien que, en 1900, sur 4200 véhicules fabriqués aux Etats-Unis, 22 % étaient à essence, 38 % électrique et 40 % à vapeur, les faibles performances d'autonomie des véhicules électriques face aux thermiques eurent tôt fait de mettre fin au développement des véhicules électriques.[4]

Cette dernière a été alors rapidement devancé par les véhicules à moteur thermique à l'aube du XIXe siècle, à cause de leur vitesse trop basse, et leur manque de puissance, ainsi le blocage technologique des batteries de l'époque ayant une pauvre autonomie, et l'essor du pétrole à prix imbattable, et avec l'arrivée de la Ford T en 1908 d'un prix deux fois moins cher, le véhicule électrique a été donc complètement poussé vers le déclin. Mais à nos jours les voitures électriques ne cessent d'apparaître, beaucoup plus sophistiquées et pratiques, elles envahissent le marché de plus en plus, et commencent alors à se démocratiser petit à petit. On voit sur l'image juste en bas, la photo de la première voiture électrique à pouvoir franchir les 100 kilomètres par heure : la jamais contente.

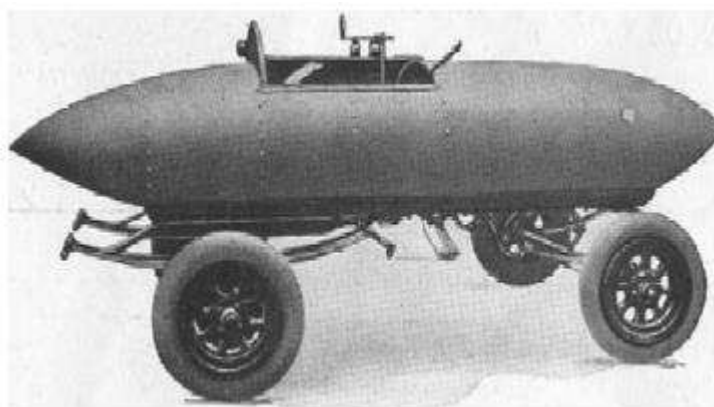


Figure I-1:Exemple de véhicule électrique : « La jamais contente » réalisée en 1899.

Le développement du véhicule électrique devenant impératif pour répondre au problème de la pollution des villes, des études portant sur le choix de la chaîne de traction sont menées par plusieurs équipementiers électriques (LEROY SOMER, AUXILEC, ...) ainsi que par de grands groupes automobiles (NISSAN, GENERAL MOTORS, ...) afin d'améliorer ses performances.[1]

Aujourd'hui, Les voitures électriques sont axées sur un usage urbain. Elles sont souvent de petite taille. Elles restent cependant assez chères, par exemple Mitsubishi commercialise une voiture électrique depuis 2009 au Japon, aux performances respectables d'une vitesse de 140KM/h et une autonomie flirtant avec les 160 km d'après leurs annonces.



Figure I-2: Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui.

Du point de vue source d'énergie, la plupart des véhicules électriques commercialisés ont été avec des batteries au plomb. La densité d'énergie de ces batteries a été améliorée d'environ 75% entre 1950 et 2012 (environ 40 Wh/kg pour de bonnes batteries au plomb), tout en restant infime à côté de celle de l'essence (environ 13.000 Wh/kg). On a bien mis au point pour les remplacer de nouveaux types de batteries, par exemple la batterie nickel-cadmium, ou encore les batteries nickel-hydrure métallique, mais ces nouvelles batteries continuent à poser de sérieux problèmes de coût et sont souvent encore au stade du développement.

I.2 Les sources d'énergie embarquée :

Depuis plus de 160 ans, les sources d'énergie restent toujours un problème majeur du véhicule électrique. Il y a trois principales technologies des sources embarquées utilisées dans le domaine de traction électrique (véhicule électrique). La première technologie est la batterie utilisée dans toutes les voitures électriques actuelles. La seconde technologie est la pile à combustible, une solution considérée comme étant une solution d'avenir d'après les spécialistes de ce domaine. Enfin, la dernière technologie est représentée par les super condensateurs, une source d'énergie d'appoint capable d'assurer les forts appels de puissance et la récupération d'énergie en cas de freinage. [4]

I.3 Véhicule électrique :

Un véhicule électrique (VE) est un véhicule qui utilise la batterie automobile comme source d'énergie pour conduire les roues par le moteur électrique. En tant que véhicule, il doit également suivre les spécifications routières, règles de sécurité et autres exigences de transport. Par rapport aux voitures conventionnelles, les véhicules électriques ont moins d'impact sur l'environnement. Ainsi, ses perspectives sont prometteuses largement.

Dans leurs systèmes d'alimentation, les véhicules électriques peuvent être classés en : véhicules électriques purs (VE), véhicule électrique hybride (PHEV) et véhicules à pile à combustible (FCEV). [5]

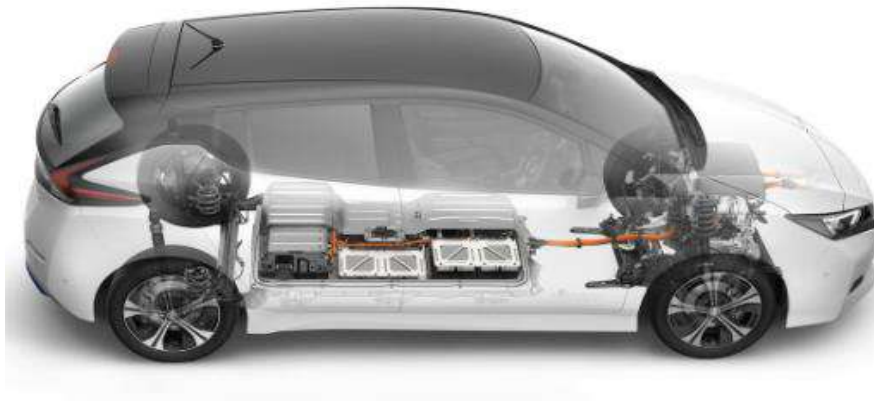


Figure I-3:véhicule électrique.

I.4 Fonctionnement d'un véhicule tout électrique

Le véhicule électrique comporte une batterie pour stocker l'énergie, un moteur à courant continu avec un système de contrôle et un chargeur de batteries (voir la figure I-IV). Ainsi, le ou les moteurs électriques de traction sont reliés aux roues motrices. L'ordinateur contrôle, gère et régule la puissance. Une fiche de raccordement au réseau électrique permet le chargement des batteries via une prise traditionnelle. [6]

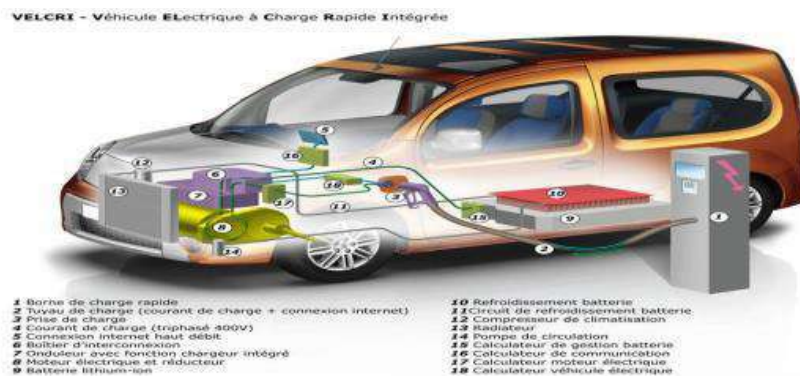


Figure I-4:Constitution d'un véhicule électrique.

I.5 Véhicule hybride électrique :

Une automobile hybride électrique est un véhicule automobile faisant appel à deux types d'énergie embarqués pour se mouvoir, dont l'un est de nature électrique (électrochimique ou électrostatique). L'architecture la plus répandue pour ce type de véhicule hybride associe un moteur électrique à un moteur thermique, généralement à essence.[7]

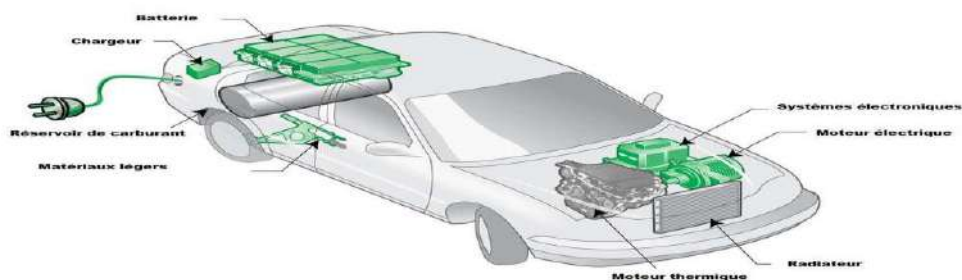


Figure I-5:Automobile hybrides électrique.

I.5.1 Hybride série :

La particularité forte de cette architecture est le découplage mécanique du moteur thermique aux roues et la possibilité de le placer au point de fonctionnement souhaité sans considérer les conditions externes, telles que la vitesse du véhicule ou de la demande de couple. Le Millicurie (MCI) est directement lié à une génératrice par une jonction mécanique. La propulsion du véhicule est intégralement assurée par le ou les moteurs électriques qui sont eux-mêmes alimentés par les batteries et/ou le groupe électrogène. Interdépendant de l'autonomie visée pour le dimensionnement des accumulateurs et du MCI, le moteur de traction est défini pour assurer seul l'ensemble de la puissance requise par le cycle de conduite. Le faible rendement global de la chaîne énergétique principalement dû à la cascade de rendement (l'énergie mécanique produite par le moteur thermique est transformée en énergie électrique par la génératrice pour être à nouveau transformée en énergie mécanique par le moteur électrique) confère un faible potentiel de réduction de l'énergie pour les HEVs composés d'une architecture série.[8]

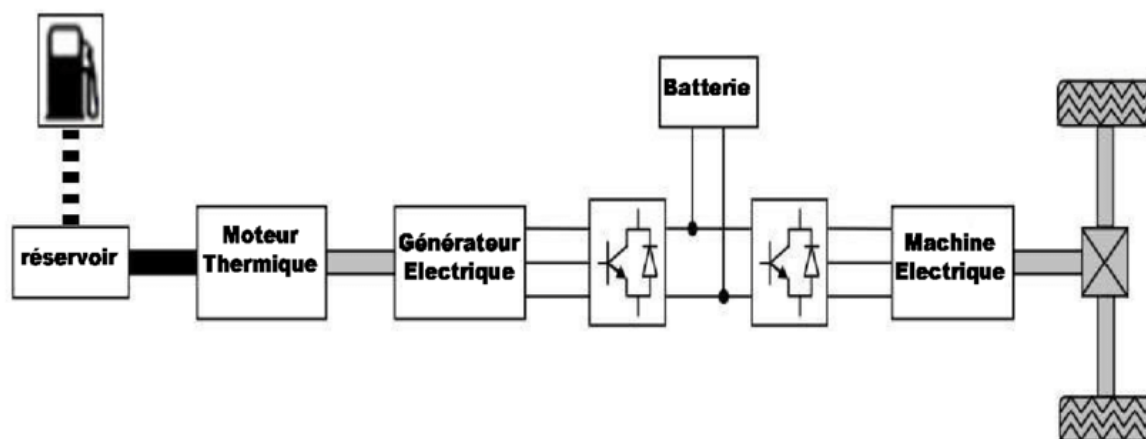


Figure I-6:Architecture série d'un HEV.

I.5.2 Hybride parallèle :

La propulsion d'un véhicule hybride électrique doté d'une architecture parallèle est réalisée conjointement par les moteurs thermiques et électriques puisque ces derniers sont connectés à la transmission et aux roues. Il en résulte des avantages considérables et des inconvénients mesurés. Ambivalentes à qualifier, les batteries sont chargées par le moteur électrique de

traction qui fonctionne alors en générateur. Ce fonctionnement devient problématique dans l'hypothèse où le procédé de gestion de l'énergie sollicite simultanément le moteur électrique pour la recharge des batteries et la participation à la propulsion du véhicule. En sus de cette difficulté, la répartition entre les deux sources de la demande de couple instantanée doit être aussi proche que plausible de l'optimalité sous peine de "trop" sous exploiter les capacités théoriques de minimisation de la consommation de carburant ou des émissions de polluants. Le contrôle d'un véhicule électrique hybride à architecture parallèle est délicat. Néanmoins, malgré l'utilisation de packs de batteries de faibles puissances, d'importants gains sont réalisables.

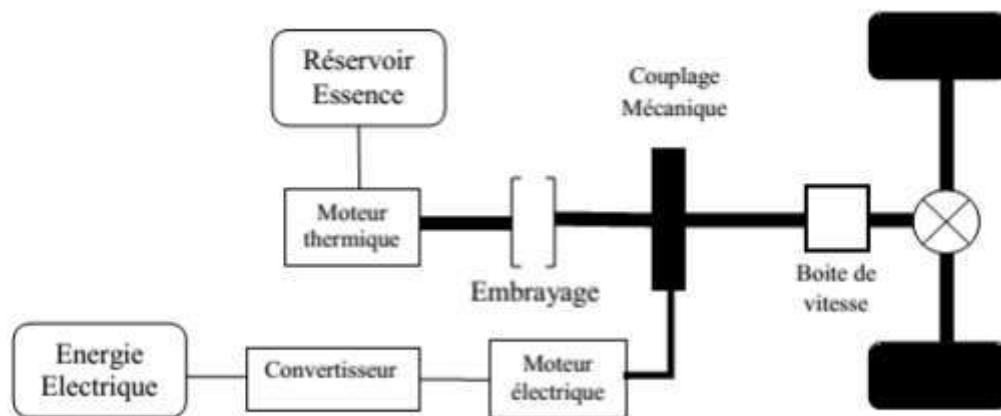


Figure I-7: Architecture parallèle d'un HEV.

I.6 La différence entre une voiture électrique et une voiture hybride :

Une voiture électrique possède un moteur spécifique alimenté uniquement avec de l'énergie électrique issue d'une batterie.

Une voiture hybride comporte un moteur thermique (essence, le plus souvent) combiné à un ou plusieurs moteur(s) électrique(s).

Au cours d'un trajet donné, le véhicule hybride alterne entre les tractions hybride, 100% électrique et 100% thermique, tandis que le véhicule électrique utilise uniquement la traction 100% électrique.

La voiture électrique émet donc moins de CO₂ qu'une voiture hybride, laquelle reste moins polluante qu'un véhicule 100% thermique.[9]

I.7 Types des véhicules électriques :

I.7.1 Véhicule électrique à batterie

La batterie intégrée au véhicule alimente un ou plusieurs moteurs électriques. Il suffit de la brancher au réseau électrique pour la recharger.[10]

I.7.2 Véhicule hybride électrique

Ce modèle combine un moteur à combustion interne et un moteur électrique. La batterie est rechargée par des mécanismes internes, et non pas en étant branchée au réseau électrique.[10]

I.7.3 Véhicule hybride rechargeable

Ce modèle est doté d'un moteur à combustion interne et d'un moteur électrique. Pour recharger la batterie, il suffit de la brancher au réseau électrique.[10]



Figure I-8: Véhicule hybride rechargeable.

I.7.4 Véhicule électrique à pile à combustible

Les piles à combustible génèrent de l'électricité en combinant de l'oxygène et de l'hydrogène. Quelques véhicules de ce type commencent à faire leur entrée sur le marché, mais il existe actuellement peu de stations de ravitaillement pouvant les accommoder.[10]

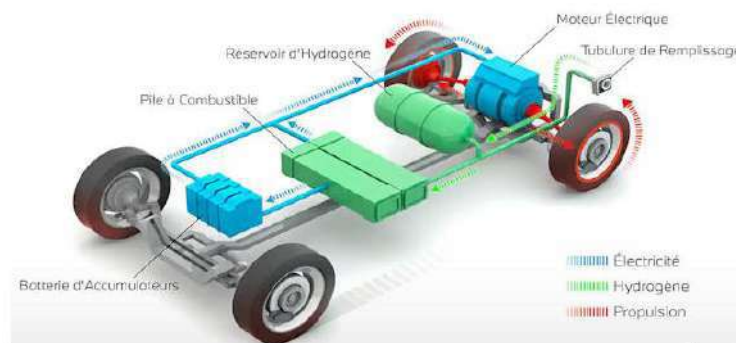


Figure I-9: Véhicule électrique à pile combustible.

I.8 Véhicules électriques purs

Le véhicule électrique pur est le véhicule qui est entraîné par un moteur électrique. Son alimentation provient d'une batterie rechargeable ou d'autres dispositifs de stockage d'énergie. La plupart des véhicules électriques sont entraînés directement par un moteur qui est installé dans les compartiments moteurs. Cependant, certains véhicules utilisent les moteurs à quatre roues. La difficulté réside dans les technologies de stockage d'énergie. Le véhicule électrique n'émet pas de gaz nocifs dans l'atmosphère. Cependant, l'électricité pour recharger le véhicule provient principalement de la centrale thermique et une petite partie provient de l'hydroélectricité ou d'une autre source. L'électricité pour la recharge peut être obtenue à partir de certaines ressources renouvelables telles que : l'hydroélectricité, l'éolien, le solaire, la chaleur, etc. Cela soulage temporairement le manque de fossiles ressources énergétiques. Sans aucun doute, les véhicules électriques purs sont l'excellente technologie de transition.[5]

I.9 Les différentes architectures de traction

Pour faire rouler un véhicule électrique, il existe deux types de moteurs : les moteurs à courant continu, et les moteurs à courant alternatif

I.9.1 Véhicules électriques mono moteur (machine à courant continu)

C'est une architecture avec moteur à courant continu, une batterie, un variateur (un hacheur réversible), une machine à courant continu, un réducteur différentiel (réduction de la vitesse, augmentation du couple).[11]

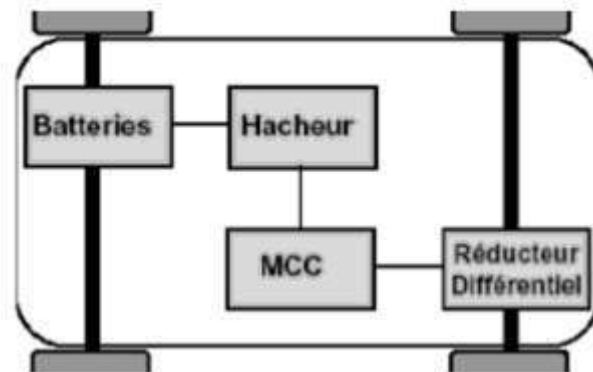


Figure I-10:Architecture d'un véhicule électrique mono moteur.

I.9.2 Véhicules électriques bi moteur (machine à courant alternatif)

Dans ce type, la chaîne énergétique est doublée, c'est une architecture avec moteur synchrone (dans la roue), une batterie, deux variateurs (onduleur), deux machines synchrones. L'onduleur est utilisé pour convertir le courant électrique continu fourni par la batterie en courant alternatif nécessaire au moteur de la voiture électrique.[11]

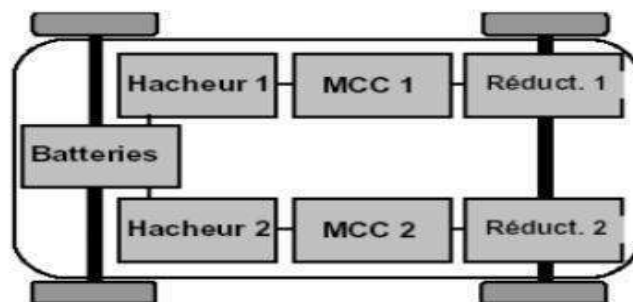


Figure I-11:Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.

I.10 Les sources d'énergies pour les véhicules électrique :

I.10.1 Les batteries :

La batterie du véhicule électrique transforme une énergie chimique en énergie électrique lors de l'alimentation électrique du véhicule et inverse le processus pour sa recharge. [12]

I.10.1.1 Les inconvénients de la batterie de voiture électrique :

La batterie de voiture électrique peut comporter certains inconvénients en matière d'autonomie, de temps de recharge et de coût. [12]

I.10.1.2 Autonomie :

Selon les mesures prises par le cycle d'homologation NDEC (New European Driving Cycle), une batterie de voiture électrique peut tenir de 160 à 200 km. Pourtant, en utilisation réelle, la batterie d'un VE tient rarement plus de 100 km.

Quelques astuces simples de conduite ou d'utilisation du chauffage ou de la climatisation par exemple permettent de préserver l'autonomie de la batterie. [12]

I.10.1.3 Recharge :

La recharge de la batterie est souvent longue et tributaire des types de prises utilisées :

La prise domestique 220 V, disponible partout, mais nécessitant une recharge de 10 à 13 heures.

La prise de recharge rapide « wallbox », permet une recharge de 8 à 10 heures en version 16A et 4 à heures en version 32A. Le coût de cette borne est de 600 €, hors installation.

La station de recharge rapide (parkings souterrains, grandes surfaces, etc.) permet une recharge en 30 minutes (900 €, hors installation). [12]

I.10.1.4 Poids :

Actuellement, le poids des batteries des VE est de 250 kg : pour avoir aujourd'hui l'autonomie d'un véhicule thermique, le poids des batteries devrait s'élever à 1 250 kg.[12]

I.10.2 Les super-condensateurs :

Les super-condensateurs sont des dispositifs de stockage d'énergie capable de fournir des salves de très haute puissance avec des temps de rechargement très rapides. Ils sont utilisés dans PHEBUS pour fournir suffisamment de puissance aux moteurs-roues lors des phases d'accélération et pour récupérer l'énergie cinétique lors du freinage du véhicule pour la stocker. Il ne peut pas stocker autant d'énergie par unité de masse qu'une batterie mais il la délivre beaucoup plus vite. [13]



Figure I-12: Super-condensateurs.

I.10.3 Une pile à combustible :

Une pile à combustible est un convertisseur d'énergie qui transforme directement et de façon continue de l'énergie chimique en énergie électrique ceci à partir de la réaction chimique entre oxygène O₂ et hydrogène H₂ (réaction inverse de l'électrolyse de l'eau).

Une pile à combustible se différencie des autres piles (ou batteries) électrochimiques par le fait que les réactifs sont renouvelés et les produits évacués en permanence.

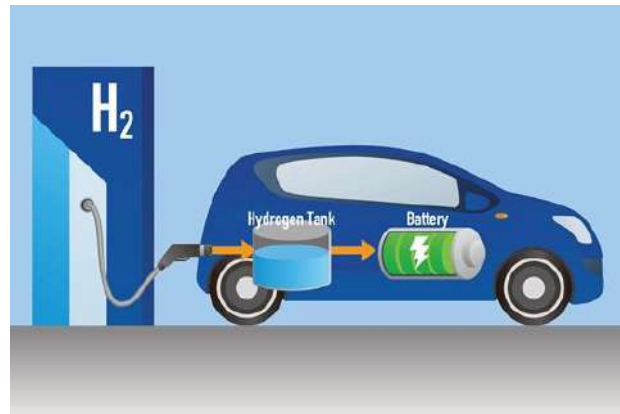


Figure I-13:Principe de PAC.

I.11 Les différents modes de charge pour véhicules électriques

I.11.1 Prise domestique :

C'est une prise domestique toute simple. Le véhicule électrique est branché directement sur le réseau électrique de la maison. Il n'existe que très peu de véhicules dotés d'une 'simple' prise, la Renault Twizy en fait partie. Le temps de charge s'établit entre 8 et 11 heures, dépendant de l'état du réseau électrique de la maison. En tout état de cause, l'intensité de charge ne dépassera pas 8 A. [14]



Figure I-14:Prise domestique.

I.11.2 Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection :

Constitué d'une prise domestique (1,8 kW) sur laquelle on trouve un boîtier intelligent. C'est à lui qu'incombent le bon déroulement et la sécurité de la charge. Depuis ce boîtier, il est possible de sélectionner l'intensité de charge désirée, sans que celle-ci ne dépasse les 8 A. Il existe néanmoins des prises en 3,2 kW/14 A, mais l'intensité restera bloquée à 8 A. En cas de problème, le boîtier peut stopper à tout moment le processus de recharge estimé entre 8 heures et 11 heures.[14]

I.11.3 Prise spécifique sur un circuit dédié :

Branchement direct du véhicule électrique au réseau principal de distribution AC avec une fiche spécifique et un circuit dédié d'une puissance de 3,7 kW/16 A ou 22 kW/32 A (triphase). On peut avoir chez soi ce genre de matériel, appelé alors « Wallbox » et installé par un électricien. Ce genre de borne particulière, préconisée par les constructeurs automobiles de voitures électriques ou d'hybrides rechargeables, doit posséder sa propre ligne électrique dédiée afin « d'apporter » le courant adéquat. Le temps de charge (normale ou rapide) oscille entre 1 heure et 8 heures.[14]

I.11.4 Connexion courant continu :

Le véhicule est alimenté en courant continu par l'intermédiaire d'un chargeur externe lui-même raccordé à l'installation électrique fixe. Dans ce mode, le câble de recharge du véhicule est fixé à demeure à l'installation. Les connecteurs de raccordement sont spécifiques. Le mode de charge en courant continu est réservé à la charge rapide (de l'ordre de 30 min), à des niveaux de puissance et de tension élevés (50 kW sous 500 V).[14]

I.12 Moteur électrique

Cette fois-ci, c'est la machine électrique assure à elle seule la traction du véhicule. C'est le mode « zéro émission » avec une consommation nulle en carburant. La durée d'activité de ce mode dépend de la charge des éléments de stockage ; tandis que les performances dynamiques de traction dépendent des puissances maximales que peuvent fournir les machines électriques qui lui sont associées.[15]

I.13 Types de moteurs à courant continu

Les moteurs apparaissent sous formes différentes :

I.13.1 Moteur série :

Le moteur série, comme son nom l'indique, signifie que le bobinage de l'inducteur est branché en série avec l'induit. La figure suivante montre le branchement d'un moteur série

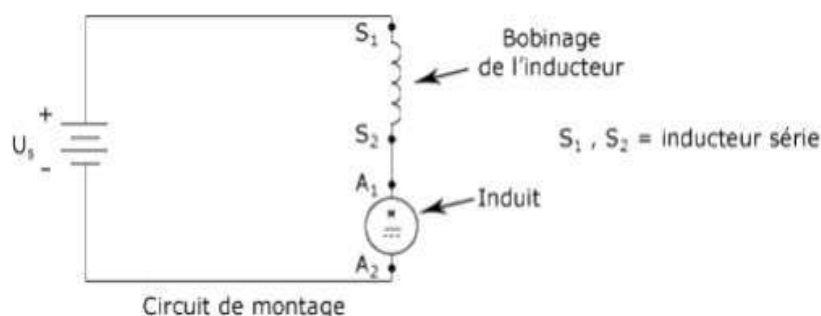


Figure I-15:Schéma d'un moteur électrique à excitation série.

Il serait impossible, en raison de la rotation de l'induit, de brancher des fils directement sur celui-ci la façon de permettre le passage du courant consiste à employer des balais fabriqués à partir d'un type de charbon doux qu'on appelle graphite.

Le principal avantage de ce type de moteur est qu'il possède un fort couple de démarrage, ce qui lui permet d'entraîner une bonne charge dès le départ. Il peut également supporter facilement des surcharges temporaires.

En ce qui a trait aux inconvénients, on peut souligner le fait que la vitesse du moteur série varie avec la charge. Ainsi, une augmentation de celle-ci aura tendance à faire diminuer la vitesse de rotation du moteur.

D'autre part, ce type de moteur ne doit jamais tourner sans charge, car cela entraîne une dangereuse augmentation de sa vitesse qui, à la limite, pourrait le détruire.[16]

I.13.2 Moteur à excitation shunt ou en dérivation :

Comme le titre l'indique, cette fois, l'enroulement de l'induit et l'enroulement de l'inducteur sont liés non plus magnétiquement cette fois, mais électriquement de manière à ce qu'ils soient montés en dérivation ou (en parallèle). Quelle que soit la charge la vitesse du moteur est relativement constante, le couple de démarrage est moyen.[17]

I.13.3 Le moteur série-parallèle (compound) :

Conçu pour obtenir les avantages du moteur série et parallèle (shunt). Il comporte deux enroulements inducteurs dont l'un est placé en série avec l'induit et l'autre en parallèle.

Il est à flux additif si les deux enroulements ajoutent leurs effets magnétisants.

Il est à flux soustractif si les deux enroulements soustraient leurs effets magnétisants (très peu utilisé car fonctionnement instable pour les fortes charges).[16]

I.13.4 Moteurs brushless :

Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais. Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages. Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur, Le moteur brushless est un moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le système de tensions qui l'alimente. Tant que le couple moteur est supérieur à la charge à entraîner, la rotation du rotor est synchronisée avec le champ magnétique. Si le couple résistant devient supérieur au couple moteur, et que la tension d'alimentation n'est pas ajustée en conséquence, il y a un risque de décrochage, c'est-à-dire que le rotor risque de ne plus suivre le champ magnétique. À partir de ce moment-là, le rotor va se mettre à osciller, sans pouvoir se resynchroniser avec le champ magnétique, ce qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cela, le système d'asservissement doit être en mesure de réagir si le couple résistant augmente, et ajuster la tension d'alimentation en conséquence.[16]

I.13.5 Moteur universel :

Un moteur universel peut être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif.

Dans la pratique, ces moteurs ont un mauvais rendement, mais un coût de fabrication très réduit. Leur couple est faible, mais leur vitesse de rotation est importante.

Ils sont principalement utilisés dans l'électroménager et l'outillage électrique de faible puissance (perceuses...), jusqu'à environ 1 200 W. Leur vitesse est facilement réglée par des dispositifs électroniques peu coûteux.[16]

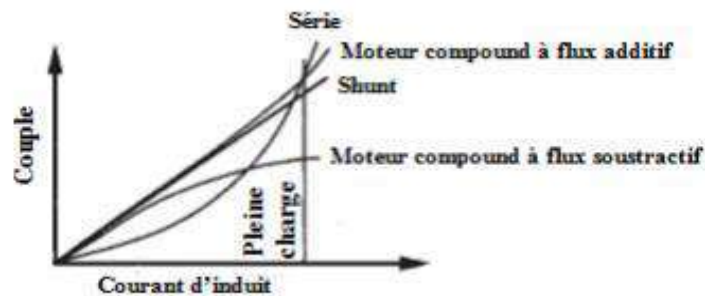


Figure I-16: Comparaison entre couples des moteurs électrique.

I.13.6 Moteurs à courant alternatif :

La grande majorité de nos maisons, bureaux, ainsi que nos usines sont alimentés par le courant alternatif. Parce qu'il peut facilement être transformé à partir de la haute tension pour la transmission en basse tension pour l'utilisation, plusieurs moteurs à courant alternatif sont en cours d'utilisation plus que tous les autres types de moteurs mis ensemble.[17]

I.13.7 Moteur asynchrone triphasé

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault.

Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit 50 tr/s.

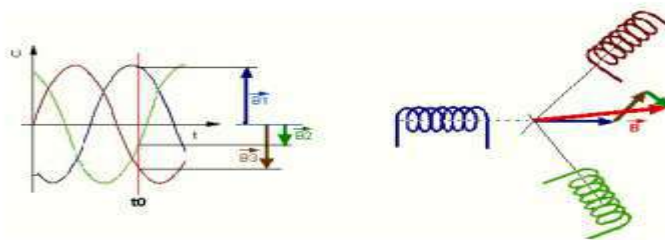


Figure I-17: Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé.

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.[18]

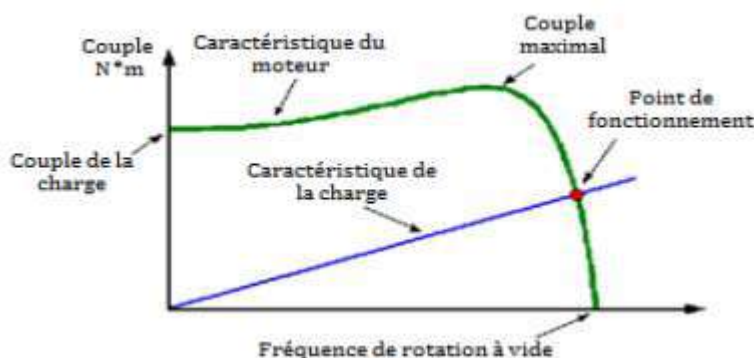


Figure I-18: Variation de couple en fonction de la fréquence de rotation du moteur.

I.13.8 Moteurs asynchrones monophasés :

La machine asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor de ces machines n'est pas exactement déterminée par la fréquence des courants qui traversent leur stator.

La machine asynchrone est utilisée dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, automobiles électriques), dans l'industrie et dans l'électroménager. Elle était à l'origine uniquement utilisée en moteur mais, grâce à l'électronique de puissance, elle est de plus en plus souvent utilisée en génératrice, par exemple dans les éoliennes.

La machine asynchrone pourrait être attribuée à trois inventeurs, en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone^{4,5}, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 18886. En 1889, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891.

Quand la machine asynchrone est alimentée par un réseau à fréquence fixe, il est difficile de faire varier sa vitesse. En outre, au démarrage, le couple est faible et le courant appelé est très élevé.

Pour démarrer ce moteur il faut créer un champ tournant de démarrage, pour se faire, il suffit de deux phases décalées spatialement de 90° et parcourues par des courants déphasés au plus le déphasage entre les courants est proche de 90° , au plus le champ aura une variation "circulaire" et le couple produit par le rotor sera grand et constant. La réalisation des deux phases consiste à rajouter un bobinage supplémentaire (bobinage de démarrage), en parallèle avec le bobinage principal, à 90° degrés du bobinage principal (bobinage de marche).

La création du déphasage entre les courants de chaque bobinage consiste à son tour de donner diamètre différent aux deux bobinages (moteurs à phase auxiliaire résistive), ou en rajoutant une capacité en série avec le bobinage de démarrage (moteurs à phase auxiliaire capacitive).[18]

I.13.9 Moteur synchrone :

La machine synchrone se compose d'une partie tournante, le rotor, et d'une partie fixe, le stator. Le rotor peut se composer d'aimants permanents ou être constitué d'un bobinage alimenté en courant continu et d'un circuit magnétique (électro-aimant). Il est dit synchrone car la vitesse de rotation est fixe et égale à la vitesse synchrone qui est indépendante de la charge et de la tension d'alimentation. Concernant les connexions électriques le stator est alimenté par un système triphasé équilibré de tensions ses enroulement peuvent être connectés en étoile ou en triangle, or les enroulements du rotor : alimentés par du courant continu (ou aimants permanents).

Étant donné que le rotor tourne à la même vitesse que le champ tournant, ce moteur ne peut pas être démarré directement sur le réseau 50 Hz. On peut utiliser un convertisseur de fréquence dont la fréquence augmente progressivement lors de la phase de démarrage (rampe). On peut aussi démarrer ce moteur en " asynchrone ", en utilisant l'enroulement inducteur comme secondaire. Ce moteur peut également être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation. Dans ce cas, il doit être " surexcité ". Il fournit alors de la puissance réactive au réseau (charge capacitive)

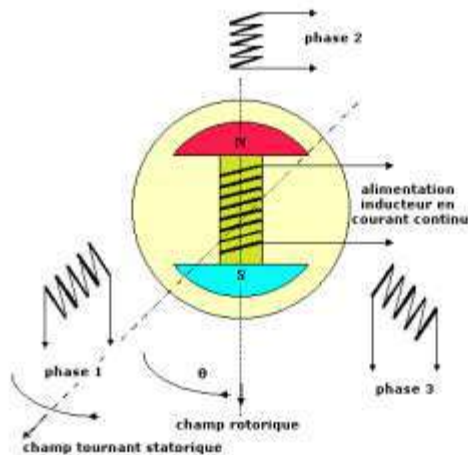


Figure I-19: Principe du fonctionnement du moteur synchrone.

Les moteurs à courant continu de type série sont disponibles à partir de nombreuses sources, ils fonctionnent bien, les contrôleurs sont facilement disponibles, les adaptateurs pour les différents véhicules sont faciles à faire ou acheter, et le prix est convenable.

Actuellement, l'option la plus économique et la plus fréquente pour les véhicules électriques est le moteur à courant continu série, il est celui que nous pouvons l'utiliser avec la plupart des convertisseurs des Véhicules électrique d'aujourd'hui. Cependant, il est probable que tous les moteurs à commutation seront éliminés au cours de la prochaine décennie ou la suivante, puisque la fonctionnalité d'un commutateur peut être remplacée par un système électronique intelligent qui devient moins cher tous les jours, et avec une meilleure fiabilité et efficacité. À présent, les moteurs asynchrones et brushless à aimant permanent sont les meilleures technologies disponibles, avec des rendements allant jusqu'à 98 pour cent, un fonctionnement silencieux, et presque pas d'entretien nécessaire.[18]

I.14 Les convertisseurs de puissance

L'utilisation de plusieurs sources d'énergie de caractéristiques différentes, à bord du véhicule électrique (VE) nécessite l'adoption des convertisseurs statiques. Ces derniers peuvent avoir la fonction de conditionneur d'énergie conversion DC/DC, ou onduleur conversion DC/AC, ou hacheur conversion DC/DC.[19]

I.15 Les Auxiliaires

Il s'agit de tous les équipements électriques, pneumatiques et hydrauliques qui ne participent pas à la traction du véhicule. Comme le véhicule thermique, le véhicule électrique possède les mêmes auxiliaires. De très nombreuses fonctions sont apparues au cours des trente dernières années. Citons le verrouillage centralisé et la protection contre le vol, la direction assistée, les vitres électriques, la climatisation, les airbags qui deviennent incontournables vers 1995, citons aussi les essuie-glaces électriques, l'éclairage intérieur, les clignotants, le poste radio, les tableaux de bord avec lampes témoin qui sont apparus après la 1^{er} guerre mondiale.

Tableau I-1: Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionnel.

Ordres de grandeur de puissances électrique	Puissance (W)
Phares et éclairage additionnel	250
Feux de brouillard avant	110
Feux de brouillard arrière	30
Radio, système audio	15-100
Vitre arrière dégivrante	150
Chauffage de siège	150
Essuie –glace avant	50
Chauffage	5000

Les auxiliaires ne consomment pas toujours de façon simultanée leurs puissances maximales. Par exemple la consommation du chauffage est modifiable en fonction de la température extérieure. [20]

I.16 Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques

Actuellement, pour répondre au problème du rechargement des batteries, la mise en place d'un réseau de stations de rechargement ou échange de batteries en station avec Renault Nissan, au Danemark, aux États-Unis et Australie, ex... Furent proposées, mais le travail et le coût de la mise en place de ce type d'infrastructures est démentiel. De plus il serait indispensable de prévoir un format de batterie standard pour tous les véhicules, ce qui rend la tâche encore plus complexe. Les chercheurs de l'EPFL ont inventé un système de stockage intermédiaire. De quoi découpler les stations de recharge du réseau tout en garantissant une rapidité d'exécution inégalée. Concrètement, ce stockage d'électricité est constitué d'une batterie lithium-fer de la taille d'un conteneur maritime. Cette batterie s'alimente en continu et à petite puissance sur le réseau. Lorsqu'arrive une voiture électrique, c'est cette batterie tampon qui fournit, sur le champ et sans avoir à solliciter le réseau, la puissance indispensable à une charge ultrarapide. Le démonstrateur, construit par l'équipe de l'EPFL et ses partenaires, prend la forme d'une remorque transportant la batterie tampon. Celle-ci se charge sur le réseau basse tension et est capable de fournir, dans le quart d'heure, les 20 à 30 kWh nécessaires à la charge d'une batterie de voiture électrique standard. Selon le coordinateur de l'équipe, il reste encore une belle marge de progression.

Avec l'essor du véhicule électrique, toutes nos habitudes risquent de se trouver bouleversées. Par le passé, les pompistes évaluaient la taille de leurs citernes en fonction de diverses données. Dans le futur, ils devront peut-être estimer la taille de leur stockage tampon en fonction des statistiques du trafic, de l'estimation du nombre de véhicules électriques, de la capacité de charge des batteries, etc. Les simulations réalisées par les chercheurs de l'EPFL montrent ainsi qu'une station qui assurerait la recharge rapide de 200 véhicules par jour aurait besoin d'une capacité de stockage intermédiaire de 2,2 MWh. C'est le même ordre de

grandeur que l'énergie consommée par un foyer en un an ! Cependant, en volume, cela correspond « seulement » à quelque quatre conteneurs maritimes. [21]

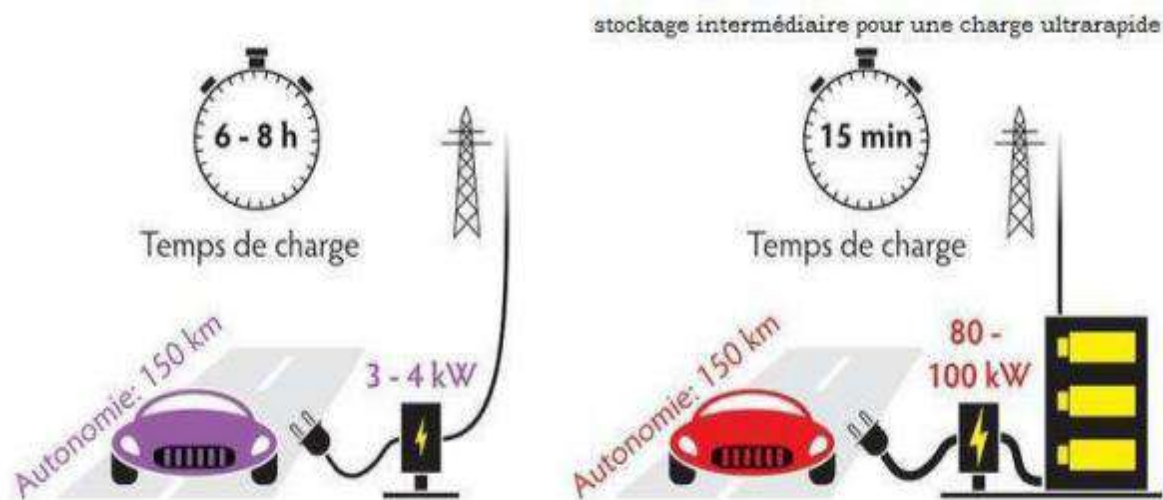


Figure I-20: Les différents modes de charge proposés.

La borne de recharge rapide permet de récupérer près de 80 % des capacités batteries en moins de 15-30 minutes. Néanmoins, ces bornes ne sont pas encore normalisées à l'échelle européenne et requièrent de forte puissance avec un impact important sur le réseau électrique qui doit être pris en compte.

L'une des autres solutions proposées pour limiter la variation du courant de décharge et de charge dans les batteries consiste à utiliser des sources auxiliaires de puissance comme les super-condensateurs. Par la suite, l'étude d'un système d'assistance en puissance avec un système de stockage d'énergie embarqué est présentée. Son but principal est d'alléger les contraintes en puissance qui sont appliquées sur les batteries et donc de supprimer les inconvénients énumérés ci-dessus. De plus, la solution retenue permet de récupérer l'énergie de freinage et de limiter les variations du courant de charge/décharge dans les packs de batteries de manière optimale.

En ce qui concerne les prix des véhicules électriques très élevés, la plupart des grands constructeurs travaillent, en partenariat avec les fournisseurs de batteries, à la construction d'usines qui permettront, grâce à la production de masse, de diminuer l'écart de coût entre un véhicule électrique et un véhicule conventionnel. D'autres s'intéressent davantage à certains modèles économiques, comme la location de batteries, qui permettent de "gommer" ce coût initial plutôt rébarbatif. Des fonds sonores peuvent être également installés pour signaler l'arrivée de la voiture électrique afin de résoudre le problème du moteur silencieux. Certains constructeurs, comme Renault avec la Zoé, ont déjà pris les devants et ont équipés leurs véhicules électriques d'un bruit simulé à faible vitesse. [22]

I.17 La différence entre un inverseur et un convertisseur DC/DC dans un véhicule électrique :

Tout comme les moteurs à combustion interne et les alternateurs fonctionnent ensemble sur les véhicules conventionnels, les voitures hybrides et les moteurs électriques utilisent des inverseurs et des convertisseurs pour délivrer et récupérer l'énergie entre la batterie, les moteurs et autres systèmes embarqués. [22]

I.17.1 Les inverseurs

Transforment le courant continu (DC) de la batterie en courant alternatif (CA) pour alimenter le véhicule. Les inverseurs contrôlent également le moteur et le convertissent en générateur, transférant l'énergie de freinage dans la batterie. [22]

I.17.2 Des convertisseurs

Contrôlent la tension continue de la batterie, en l'augmentant ou en la diminuant en fonction du système et de la puissance nécessaire. Les convertisseurs DC/DC réduisent généralement la haute tension de la batterie aux 12 volts utilisés par les radios, les phares. [22]

I.18 La combinassent entre inverseur et convertisseur DC/DC :

Le combiné inverseur et convertisseur DC/DC de Delphi Technologies est rentable et permet d'économiser un poids et un espace vitale dans les véhicules hybrides (HEV), les véhicules hybrides électriques rechargeables (PHEV) et les véhicules électriques (EV). En tirant parti de la technologie OE brevetée- **le refroidissement double face de l'inverseur « Viper »** - il s'attaque au problème de la surchauffe, ce qui permet d'obtenir une puissance plus élevée avec un boîtier plus petit et une autonomie accrue. [22]

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté une généralité pour le véhicule électrique et les bases origine de leur création, ensuite on a donné les différents types de cette machine qui a plusieurs manières de fonctionnement, et on a présenté et détaillé les différents modes de charge ainsi on a donné des solutions pour améliorer les véhicules électriques, et on a indiqué le cœur de cette machine c'est le moteur et leurs différents types.

Dans le 2eme chapitre on va présenter et donne une explication bien détaillée pour le convertisseur proposé.

Chapitre II

II. Structures de charge

Introduction

La charge des batteries est considérée comme étant le point le plus important pour le développement du véhicule électrique.

Le domaine des batteries étant en pleine évolution, la structure de charge devra pouvoir s'adapter à une large gamme de tension variant de 100 à plus de 350 V.

Un chargeur de batterie doit être efficace et fiable. Son fonctionnement dépend des composants, du contrôle, et des stratégies de changement. Actuellement, plusieurs systèmes mise en place permettent de répondre à l'attente des utilisateurs. Le chargeur intégré est né à partir de l'idée de réutiliser les éléments déjà existants dans le véhicule tel que les convertisseurs et le moteur, sa conception est conditionnée par la chaîne de traction implantée dans le véhicule.

Le deuxième chapitre se portera alors sur l'étude des batteries et leurs chargeurs, essentiel au développement du véhicule électrique.[11]

II.1 Topologies existantes des convertisseurs conditionneurs d'énergie

Dans un système de traction d'une voiture électrique, les sources d'alimentation embarquées sont soit une batterie d'accumulateur de capacité appropriée à l'autonomie souhaitée de véhicule, soit une pile à combustible (PAC), avec une source auxiliaire de type super-condensateur ou batterie. La chaîne de traction assure la transmission mécanique du mouvement, ainsi que le moteur de traction qui peut-être un moteur à courant alternatif (MSAP, MAS, MRV...) ou un moteur à courant continu (MCC). Entre les deux, un système d'adaptation gère l'énergie entre les sources et les charges. Ce système est un convertisseur d'électronique de puissance qui doit conditionner et gérer l'énergie via un Bus DC. Ce dernier peut être fixe ou variable suivant le cahier des charges et le mode de fonctionnement du système.

Dans la littérature, les recherches qui ont été effectuées sur les conditionneurs d'énergie d'une source ou multi sources d'entrée sont limitées. Selon la littérature il existe trois types d'architecture des convertisseurs multi-sources d'entrée : la première résulte d'une mise en parallèle ou mise en série des sources à travers un Bus DC, ou interface non isolée, la seconde résulte à travers un couplage magnétique (CM) ou interface isolée. La troisième résulte de la combinaison des deux topologies ensembles (Bus DC, CM). Selon la propriété des éléments de transfert d'énergie entre les sources et les charges, on distingue deux types d'alimentations : l'une à courant électrique ou l'utilisation d'une inductance de stockage d'énergie est indispensable pour le transfert d'énergie entre différents étages de puissance de système, et l'autre l'alimentation à tension électrique ou l'utilisation de l'inductance n'est pas nécessaire pour le transfert d'énergie. Donc, on peut dire que toutes les topologies des conditionneurs de

conversion d'énergie entre les sources et les charges peuvent être répertoriées en cinq classes comme suite :

- Topologie Bus DC à courant électrique (Bus-DC I).
- Topologie Bus DC à tension électrique (Bus-DC V).
- Topologie à couplage magnétique à courant électrique (CM I).
- Topologie à couplage magnétique à tension électrique (CM V)
- Topologie hybride entre les deux topologies isolée et non isolée (Bus-DC, MC)

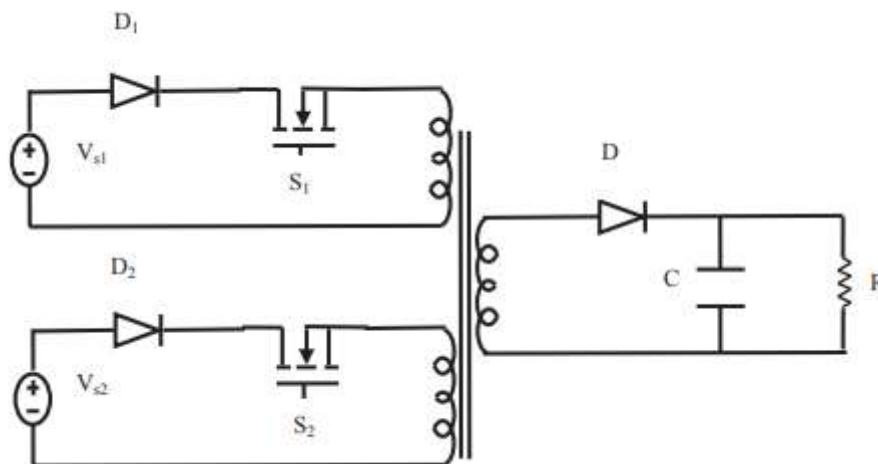


Figure II-1: Topologie à couplage magnétique à tension électrique (CM V).

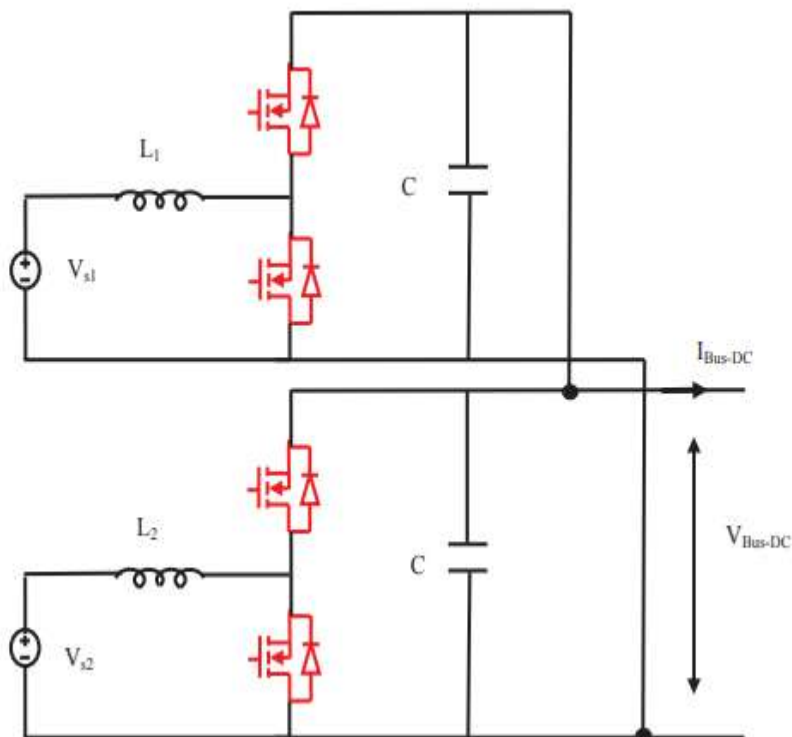


Figure II-2: Topologie Bus DC à tension électrique (Bus-DC V).

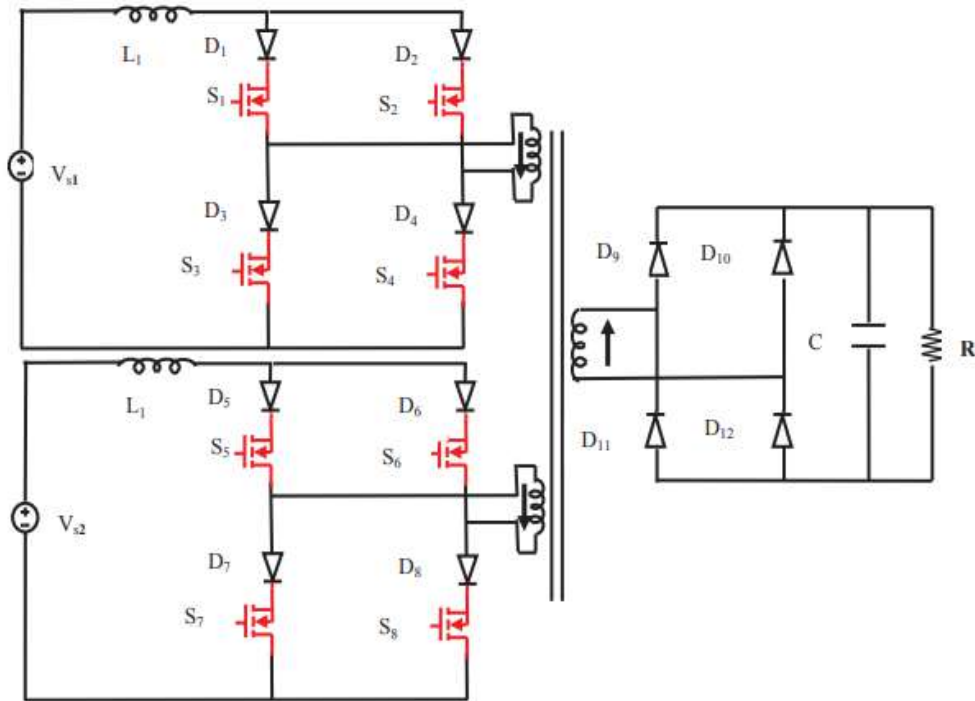


Figure II-3: Topologie à couplage magnétique à courant électrique (CM I).

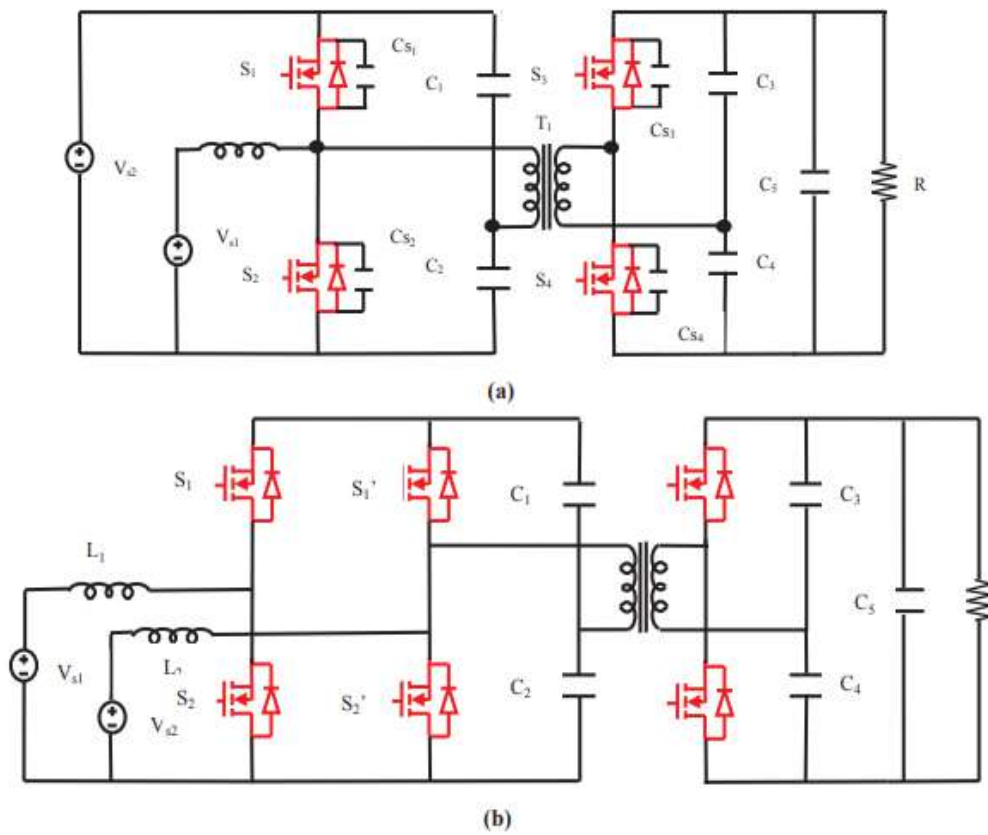


Figure II-4: (a) et (b) topologie combinatoire entre les deux topologies isolée et non isolée (Bus-DC, MC).

Parmi les avantages des trois topologies à couplage magnétique (CM I, CM V, Bus DC, MC) on trouve leur rendement énergétique estimé à environ 80% et l'isolation galvanique qui sont les plus importantes. En revanche leur poids et leur encombrement restent très conséquents même lorsqu'on adopte un fonctionnement à hautes fréquences de découpage donc le coût est très élevé. Un autre inconvénient majeur de ces derniers est leur Bus DC fixe qui est imposé par le secondaire de transformateur ainsi que la complexité de la commande. Les convertisseurs isolés à la base d'un transformateur de fréquence sont essentiellement avantageux dans les applications des petites puissances jusqu'à 5kW environ. Concernant les convertisseurs DC-DC multi-sources non isolée. Cette topologie consiste à mettre en parallèle des convertisseurs Buck-Boost où chaque sources et reliée au Bus DC à travers un convertisseur DC-DC bidirectionnel qui transfère l'énergie en mode Boost vers le Bus DC et la charge, l'autre mode est le mode de récupération à travers le Buck pour charger la supercapacité ou la batterie. Parmi les avantages de cette topologie nous avons :

- La simplicité de montage (deux semi-conducteurs pour chaque source).
- La commande est aisée.

Parmi les inconvénients :

- Chaque étage et relié à un condensateur pour rejoindre le Bus DC
- La tension de Bus DC est constante et élevée quel que soit le mode de fonctionnement de convertisseurs.
- Le fonctionnement permanent de mode Boost augmente les pertes par conduction et par commutation qui va influencer directement sur le rendement de système.
- En cas de défaillance d'un composant le système est bloquer.
- Les modes de fonctionnement sont limités.

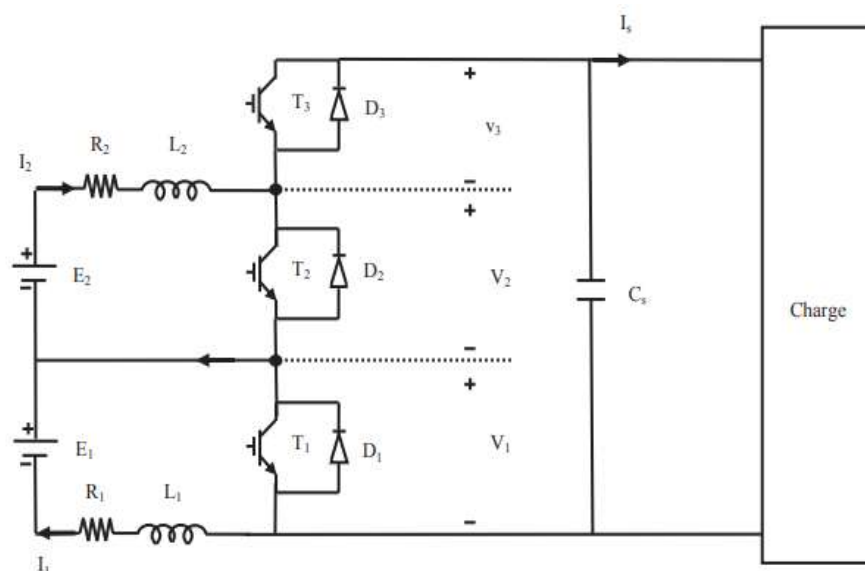


Figure II-5: Convertisseur DC-DC pour l'interfaçage des systèmes de stockage d'énergie dans les véhicules électriques hybrides à piles à combustible.

Une Autre topologie a été proposé par les auteurs de c'est une structure de conditionneur concurrente à la topologie proposée par Mario Marchesoni, Member, IEEE, and Camillo Vacca. New DC.DC Converter for Energy Storage System Interfacing in Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS Jan. 2007. Parmi les avantages de cette topologie :

- La simplicité avec son étage de trois interrupteurs reliant les sources avec la charge
- La bidirectionnalité dans le cas de freinage c'est-à-dire mode de récupération.
- La commande est aisée.

En revanche cette structure présente quelques inconvénients

- La tension permanente élevée de Bus DC quel que soit le mode de fonctionnement du système qui va diminuer la durée de vie des composants et augmenter les pertes.
- Le rendement reste toujours limité.
- En cas de défaillance, le système est bloqué aussi.
- Les modes sont limités.

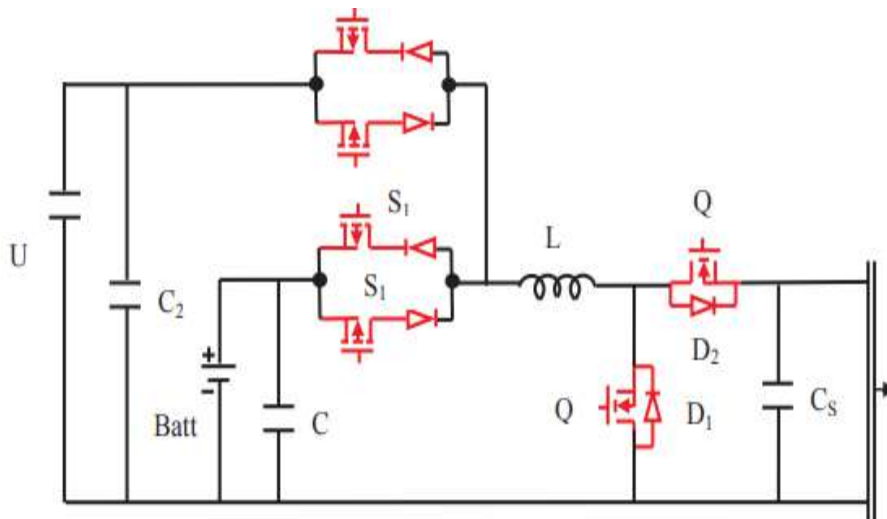


Figure II-6:Conditionneur multi sources.

Le principe de fonctionnement de cette topologie reste le même que les topologies présentées précédemment c'est-à-dire un mode Boost dans le cas de traction et un mode Buck dans le cas de freinage par récupération d'énergie. Parmi les avantages de cette topologie nous avons :

- Utilisation d'un seul élément de stockage d'énergie qui s'adapte avec les deux modes de fonctionnements Boost et Buck qui réduit le poids et par conséquent le coût.
- La simplicité de commande.

Cette topologie présente aussi quelques inconvénients :

- La tension de Bus DC fixe est élevée quel que soit le mode de fonctionnement
- Dans le cas de défaillance d'un élément de la structure de conditionneur, le système est bloqué.
- Le rendement reste toujours limité.

En recensant les conditionneurs d'énergie proposés par les chercheurs dans le cas de domaine de conversion d'énergie et précisément dans l'application automobile multi-sources, on remarque bien que les topologies proposées sont basées sur deux modes principaux l'un pour élever la tension le cas de Boost, l'autre un abaisseur de tension mode Buck très utilisé dans le cas de récupération d'énergie (freinage). On a distingué que ces derniers présentent tous les mêmes avantages ainsi que les inconvénients, et les inconvénients majeurs s'étant :

- L'utilisation permanente de la tension Bus DC très élevée et fixe quel que soit le mode de fonctionnement. Ceci augmentant les pertes et par conséquent le rendement, l'autre conséquence, est la diminution de la durée de vie des composants et les sources qui vont influencer directement sur le coût.
- La limitation des modes de fonctionnement.[23]

II.2 Commandes des convertisseurs de puissance

Observons la configuration générale d'un système d'électronique de puissance. Notons que ce système comprend des convertisseurs statiques ainsi qu'une charge. Cette charge peut être une machine ou une installation électrique. Soulignons que ce système comprend par ailleurs des dispositifs de réglage et de commande ou encore des organes de mesure et capteurs. Chaque système d'électronique de puissance a besoin de dispositifs de réglage appropriés.

Ils permettent de régler une grandeur au niveau de la charge et de limiter des grandeurs internes afin d'éviter des surcharges sur la charge et le convertisseur statique.

Ainsi, les circuits de réglage sont complexes et nécessitent des signaux, fournis par les organes de mesure. Il est nécessaire également de compter des dispositifs de commande pour commander le convertisseur. On note une influence de signaux (flèches en trait continu) au départ du convertisseur statique, au travers de la charge, des organes de mesure vers les dispositifs de réglage, les dispositifs de commande et se terminant sur le convertisseur statique composant une boucle fermée. C'est le circuit de réglage.

Il est indispensable de prévoir des dispositifs de protection contre une défaillance comme le court-circuit, surchauffement, ou encore défaillance des composants de semiconducteurs.[24]

II.3 Système de charge et niveaux de puissance :

Dans la plupart des véhicules électriques, on se trouve confronté à la compatibilité des sources d'énergie à courant continu et à courant alternatif et à l'intérieur d'une même catégorie à des compatibilités entre les tensions des sources et des récepteurs. Ce problème de compatibilité sous-entend la présence à bord des véhicules électrique de convertisseurs électroniques dont le rôle est de lever les incompatibilités de fonctionnement. De ce fait on pourra trouver à bord des véhicules

- Des convertisseurs de courant alternatif en courant continu (AC/DC), que l'on appelle redresseurs.
- Des convertisseurs de courant continu en courant continu de tension différée (DC/DC), que l'on appelle hacheurs.

- Des convertisseurs de courant continu en courant alternatif (DC/AC), que l'on appelle onduleurs.

Dans cette partie on va expliquer le rôle de ces convertisseurs à bord d'un véhicule électrique. La figure II représente le schéma qui montre les différents convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques.[14]

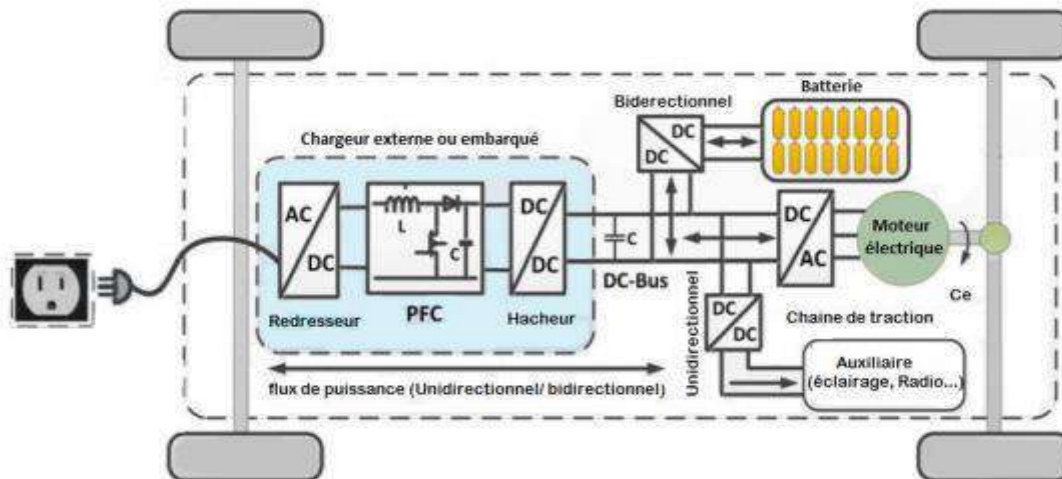


Figure II-7: Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.

II.4 Correction du facteur de puissance (PFC) :

Le PFC (Correction du Facteur de Puissance) sert principalement à éliminer les déformations du réseau électrique sur le courant absorbé pour éviter l'apparition de courants harmoniques néfastes au réseau. Il aura aussi pour rôle de mettre le courant et la tension bien en phase. Autrement dit, un PFC fera en sorte que le réseau voit l'alimentation comme une résistance pure et non pas comme une charge non linéaire.

II.5 Les types des convertisseurs :

II.5.1 Convertisseur alternatif/continu (redresseur) :

Les redresseurs sont des convertisseurs d'énergie qui transforment une source électrique à courant alternatif en une source électrique à courant continu. Nous pouvons distinguer :

- des redresseurs à diodes : ces convertisseurs établissent une relation rigide entre la tension continue de sortie et la tension alternative d'entrée.
- des redresseurs à thyristors, qui permettent de faire varier de manière continue le rapport entre la tension continue récupérée à leurs bornes de sortie et la tension alternative appliquée à leurs bornes d'entrée en agissant sur l'angle d'amorçage des thyristors.
- des redresseurs mixtes associant des diodes et des thyristors.
- des groupements de redresseurs à thyristors destinés à améliorer les performances et à diminuer les perturbations.

- des redresseurs MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) qui associent des IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) et des diodes.

Dans un véhicule électrique, les redresseurs sont utilisés pour transformer l'énergie électrique à courant alternatif fournie, soit par le réseau de distribution général, soit par un alternateur placé à bord du véhicule et accouplé à un moteur thermique. En énergie électrique à courant continu qui peut être stockée dans une batterie d'accumulateurs électrochimiques et/ou dans une batterie de grande capacité.[26]

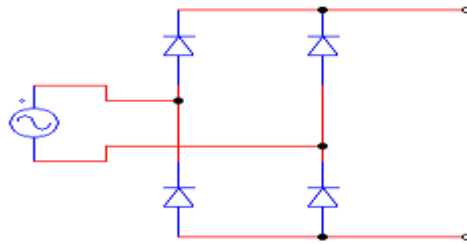


Figure II-8:Schéma détaillé d'un redresseur.

II.5.2 Convertisseur continu/continu (hacheur) :

Le hacheur est un convertisseur statique continu/continu (DC/DC) qui nous permet d'obtenir à partir d'une source de tension continue fixe, une source de tension continue de valeur moyenne réglable de plus forte ou faible valeur (élévateur ou abaisseur de tension). Il est essentiellement constitué d'interrupteurs de puissance (transistors, diodes...) et de composants passifs (inductances, condensateurs...)

Ce dernier agit en hachant le courant du circuit de charge, par la commutation ouverture fermeture, périodique d'un interrupteur unidirectionnel. Le rôle du convertisseur continu/continu dans un véhicule électrique est :

- Assurer l'alimentation du réseau de bord basse tension du véhicule (l'éclairage, Calculateurs, climatisation...).
- Recharger la batterie basse tension à partir de la batterie haute tension.

Le schéma de principe de base du convertisseur DC/DC est représenté dans la figure II

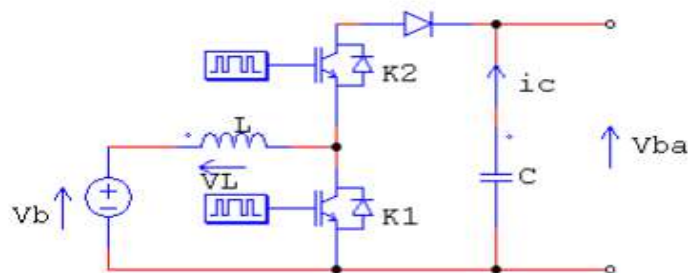


Figure II-9:Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.

Dans les véhicules électriques, la tension d'entrée du convertisseur continu/continu (hacheur) est la tension de la batterie. Le courant qui passe par ce système peut circuler dans les deux sens selon le mode de fonctionnement du véhicule, c'est un convertisseur bidirectionnel.

L'utilisation d'un hacheur dans les véhicules électriques permet de maintenir le courant moteur à la valeur souhaitée tout en assurant le réglage progressif et sans perte notable de la tension du moteur. Il permet également de régler le couple et la vitesse du moteur et donc du véhicule en traction mais aussi en freinage électrique.

II.5.3 Convertisseur continu/alternatif (Onduleur) :

Dans les véhicules électriques équipés d'un moteur à courant alternatif, il est nécessaire d'interposer entre la source d'énergie et le ou les moteurs de traction un dispositif de conversion appelé onduleur, qui transforme l'énergie électrique à courant continu en énergie électrique à courant alternatif et qui permet de réaliser la commande du couple des moteurs et le réglage de la vitesse du véhicule tant en mode traction qu'en mode freinage.

La conversion DC/AC peut être réalisée de multiples manières. Mais l'usage, les particularités des véhicules routiers et la rationalisation des solutions industrielles ont conduit à privilégier une structure d'onduleur à six interrupteurs bidirectionnels constitués par l'association d'un IGBT et d'une diode montés en antiparallèle et commandés selon une loi du type de montage permet d'associer une source de tension (de type batterie) et un récepteur de type source de courant (moteur asynchrone, moteur synchrone bobiné, à aimant permanent ou à variable).[11]

II.6 Les batteries :

Les batteries constituent l'élément-clé limitatif du développement des véhicules électriques. Une batterie ou une batterie d'accumulateurs, est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques reliés entre eux de façon à créer un générateur de courant continu de capacité et de tension données. Ces accumulateurs sont parfois appelés éléments de la batterie ou cellule. En fonction du nombre de cellules choisi et de leur agencement (série, parallèle ou série- parallèle), nous avons la possibilité d'avoir la configuration de batterie désirée en termes de tension en sortie et de capacité.[27]

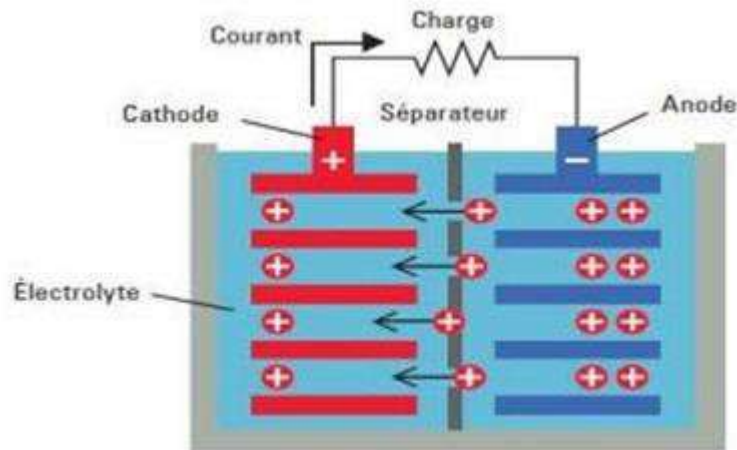


Figure II-10:Schéma fonctionnel de la batterie.

Les critères de choix des différents types de batteries utilisées dans la traction électrique sont généralement les suivants

- Les performances énergétiques
- Le rendement sur un cycle
- La durée de vie (cyclique ou temporelle)
- L'autodécharge et l'impact environnemental
- L'énergie massique exprimée en Wh/kg qui détermine l'autonomie du véhicule électrique
- La puissance massique exprimée en W/kg dont dépend la capacité du véhicule électrique à changer de régime (accélération, dépassement, etc.).[28]

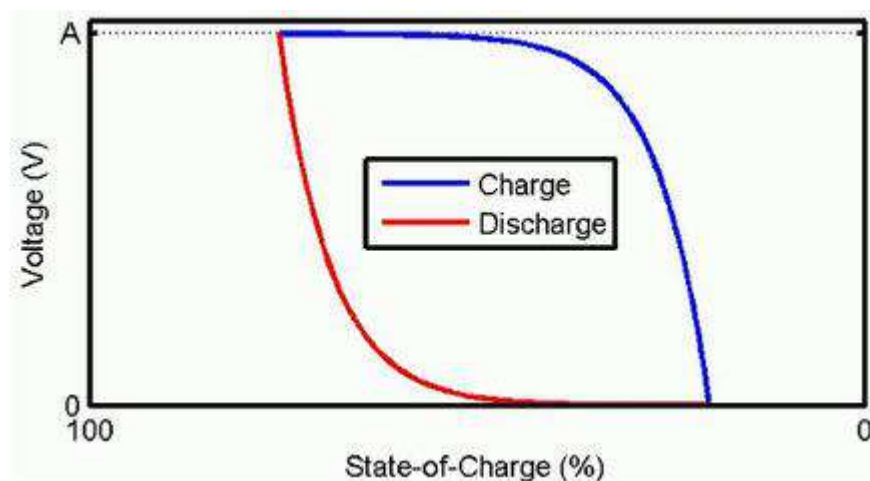


Figure II-11:Courbe de charge et décharge d'une batterie

II.6.1 Batteries au plomb :

Les batteries au plomb alimentent le circuit électrique des équipements ou accessoires thermiques, comme le démarreur.

Elles ont un poids élevé et restent très encombrantes, mais sont économiques et simples à produire. Autre bon point : elles se recyclent aisément.

Les batteries au plomb ne sont plus utilisées pour des voitures électriques depuis le milieu des années 80, d'autres technologies performantes ayant vu le jour.[29]

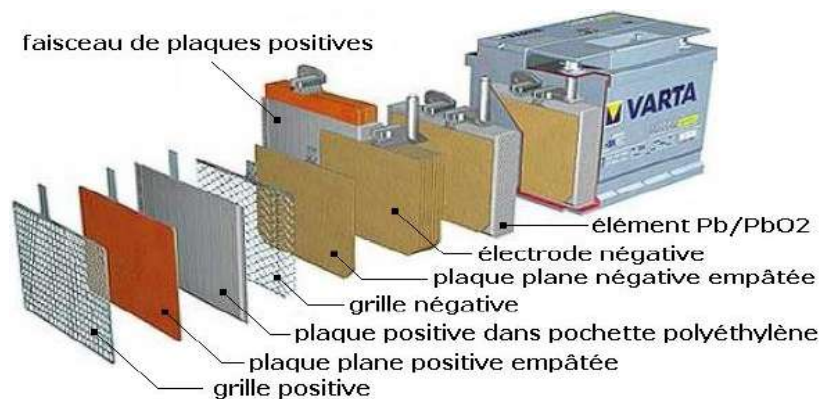


Figure II-12: Batteries au plomb.

II.6.2 Batteries Nickel-Métal Hydrures :

Ces batteries ont fait les beaux jours des années 2000. Avec de belles performances, les accumulateurs Nickel-Métal Hydrures ont rencontré un succès durable, notamment grâce à l'absence de métaux lourds.

Leur point fort était leur faible coût. En effet, cette technologie de batteries rechargeables portables était tout simplement la plus économique au début des années 2000. Elles ne connaîtront le déclin que lors de l'avènement de la technologie lithium-ion, qui reste à ce jour la technologie la plus utilisée pour les batteries de voitures électriques.[29]



Figure II-13: Batteries Nickel-Métal Hydrures.

II.6.3 Batteries lithium-ion :

La batterie lithium-ion a été élaborée au début des années 90 et s'est imposée comme LA référence. Sa grande durée de vie est son avantage principal, tout comme sa densité d'énergie nettement supérieure à celle des technologies concurrentes.

Cependant, les batteries lithium-ion nécessitent un conditionnement adapté, tout comme un pilotage précis de la recharge. Celui-ci est le plus souvent assuré par un circuit électronique dédié.

Ces batteries sont par exemple utilisées par Renault pour tous ses véhicules électriques, et notamment la célèbre Zoé.[29]

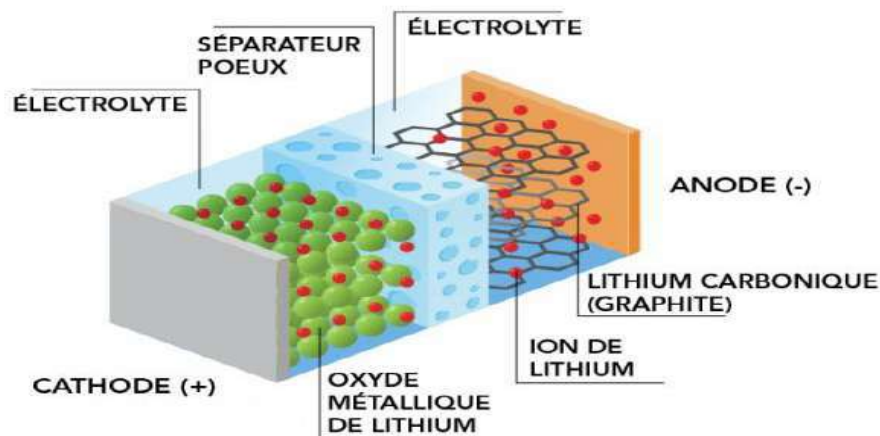


Figure II-14: Les composants d'une batterie lithium-ion.

II.6.4 Les batteries lithium polymère :

Les batteries lithium polymère (Li-Po) sont une variante de la technologie lithium ion. L'électrolyte est à base de gel, ce qui la rend un peu moins dangereuse que le lithium ion. Elles ont une densité énergétique et des caractéristiques à peu près similaires que les lithiums ion. Elles sont beaucoup utilisées dans le modélisme pour une question de poids. Cette technologie est un peu plus stable que le lithium ion. Sa recharge est plus compliquée et nécessite un chargeur adapté. Si la recharge n'est pas faite correctement la batterie prend feu. Son prix la rend moins attractive que la lithium ion.[30]



Figure II-15: Les batteries lithium polymère.

II.6.5 La batterie Ni-Cd :

La batterie nickel-cadmium (batterie Ni-Cd ou batterie Ni Cad) est un type de batterie rechargeable utilisant de l'hydroxyde d'oxyde de nickel et du cadmium métallique comme électrodes. L'abréviation Ni-Cd est dérivée des symboles chimiques du nickel (Ni) et du cadmium (Cd), l'abréviation Ni Cad étant une marque déposée de SAFT Corporation, bien que ce nom de marque soit couramment utilisé pour décrire toutes les batteries Ni-Cd.

II.6.6 La batterie ZEBRA

La batterie ZEBRA est un type de batterie rechargeable à sel fondu à base de matériaux couramment disponibles, principalement le nickel métal et le sodium et le chlorure du sel de table conventionnel. Il est techniquement connu sous le nom de batterie sodium-nickel-chlorure, et parfois comme batterie sodium-métal-halogénure. Le nom commun vient de son développement dans le cadre du Zeolite Battery Research Africa Project (ZEBRA), lancé en Afrique du Sud en 1985.[31]



Figure II-16:La batterie ZEBRA.

II.6.7 Les batteries lithium fer phosphate :

Les batteries lithium fer phosphate (LiFePO_4) sont apparues en 1997. Cette technologie stocke un peu moins d'énergie que la technologie lithium ion mais elle est entièrement stable, sans risque d'incendie ou d'explosion. Son point fort est son grand nombre de cycles. Elle est capable de réaliser 4 fois plus de charge/décharge qu'une batterie lithium ion classique et 5 fois plus qu'une batterie au plomb. Elle commence à être utilisée dans beaucoup de domaines industriels. Elle présente l'avantage d'avoir une tension proche d'une batterie 12V plomb (12,8V au lieu de 12V). Cette technologie devrait remplacer à terme les batteries plomb. C'est cette technologie qui est proposée par SOLISE.

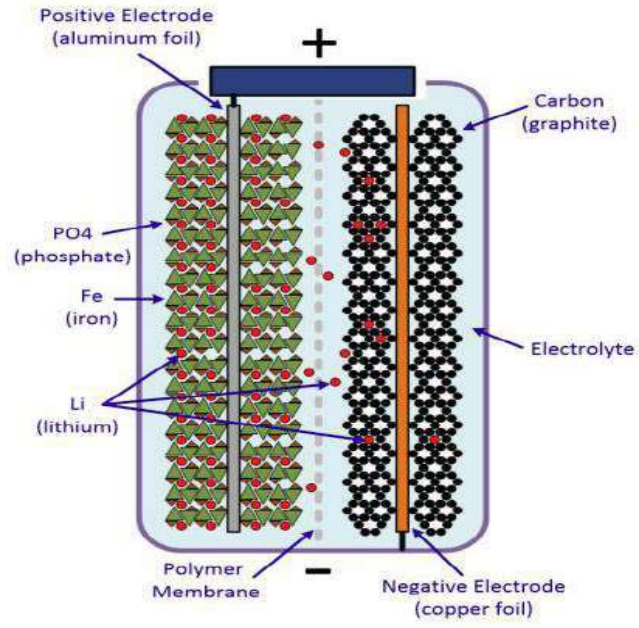


Figure II-17:Schéma du fonctionnement d'une batterie LiFePO₄

Tableau II-1:Résumé des différents types de batteries les plus utilisés dans le domaine des véhicules électriques et hybrides [33].

T-B Carac	Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Zébra	Li-Phosphate	Li-Ion	Li-Polymère
Énergie massique [Wh/kg]	30-50	45-80	60-110	120	120-140	150-190	150-190
Densité d'énergie [W h/litre]	75-120	80-150	220-330	180	190-220	220-330	220-330
Puissance Massique (W/kg)	Jusqu' à 700		Jusqu'à 900	200	Jusqu'à 800	Jusqu'à 1500	Jusqu'à 250
Nombre de cycles	400-600	2000	1500	800	>2000	500-1000	200-300
Auto décharge par mois	5%	20%	30%	12%par jour	5%	10%	10%
Tension nominale d'un élément [v]	2	1.2	1.2	2.6	3.2	3.6	3.7
Gamme de température de fonctionnement	-20°C à 60°C	-40°C à 60°C	-20°C à 60°C	-20°C à 50°C	-0°Cà température 45°C (charge) -20°C à 60°C (Décharge)	20°C à 60°C	0°C à 60°C
Avantages	Faible coût	Fiabilité performance à froid	Très bonne densité énergétique	Bonne densité énergétique Bonne cyclabilité	Très bonne densité d'énergie sécurité Coût cyclabilité	Excellente énergie et puissance	Batteries minces possibles
Inconvénients	Faible énergie , mort subite	Relativement basse énergie, toxicité	Coût des matériaux de base, danger quand température élevée	Puissance limité auto consommation	Charge à température positive	Sécurité des gros éléments Coût	Performance à froid Coût
Coûts indicatifs Euros/kWh	200 à 250	600	1500 à 2000	800 à 900	1000 à 1800	2000	1500 à 2000
Autonomie [Km]	70-120	70-120	150-200	100-140	80-120	150-200	120-200

II.7 Etat de charge de la batterie (SOC)

Le SOC (State Of charge), couramment utilisé en génie électrique, est un paramètre estimé pendant que la batterie est traversée par un courant électrique. Le SOC est donné par le rapport entre la capacité actuelle disponible et la capacité totale effective disponible à l'instant qui précède l'utilisation (à ne pas confondre avec la capacité initiale de la batterie neuve).

(1)

$$SOC = \frac{C_{actuel}}{C_{totale}} = SOC(t_0) - \frac{1}{c} \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt$$

Où, SOC (t₀) est l'état de charge initial, et i(t) représente le courant traversant la batterie. Tout comme la capacité, cet indicateur dépend des conditions de mesures, notamment, la température.

L'état de charge de la batterie est souvent donné en %. Par exemple, quand la batterie est pleinement chargée, l'état de charge (SOC) vaut 100% et quand la batterie est complètement déchargée, le SOC vaut 0%.

À partir de la définition de l'état de charge, nous avons aussi la notion de taux de décharge (Depth of Discharge, DOD). Si l'on considère une batterie chargée avec SOC = 100 % alors DOD en pourcents est : DOD = 100 - SOC.[25]

II.8 Utilisation de la batterie:

L'un des inconvénients souvent mentionnés concernant la technologie V2G est l'usure potentiellement plus élevée de la batterie par rapport à celle de la conduite régulière, réduisant ainsi la durée de vie de la batterie et endommageant les propriétaires de VE. L'usure de la batterie peut être mesurée par l'état de santé de la batterie (SOH), elle-même fonction de nombreuses variables, telles que la température ambiante et de la cellule, la profondeur de décharge (DOD), le nombre de cycles de charge et de décharge, les taux de charge et de décharge, l'énergie totale retirée de la batterie, l'état de charge (SOC) et la chimie de la batterie.[34]

En raison du nombre élevé de facteurs qui influent sur l'état de la batterie, il est souvent difficile de développer des modèles précis pour prédire et évaluer l'usure de la batterie au fil du temps, avec de nombreux modèles de batterie actuellement à l'étude, tels que les modèles de débit d'énergie et d'électricité, qui sont adaptés à différents besoins. Étant donné que les batteries sont les composants les plus coûteux des véhicules électriques, l'évaluation ou l'estimation de l'usure que les services V2G pourraient causer est une étape importante pour déterminer sa faisabilité, tant sur le plan technique que financier.

Cependant, l'impact réel de ce nombre plus élevé de cycles n'a pas encore été évalué avec précision, les études abordant cette question en appliquant différentes méthodes d'analyse et en parvenant à des conclusions différentes.

Du côté favorable, Peterson, Apt et Whitacre[35] a conclu que le soutien V2G à l'aide d'une batterie de VHR cause environ la moitié de la perte de capacité par rapport à celle associée à la conduite régulière, la profondeur de décharge n'étant pas pertinente dans les deux cas. Wang, Coignard, Zeng et coll. sont arrivés à une conclusion semblable, estimant que les pertes de capacité découlant de la régulation de la fréquence et du rasage de la charge de pointe, en supposant un scénario

extrême dans lequel les VE fourniraient des services de soutien 2 heures par jour pendant 10 ans. N'augmenter que de 3,62 % pour la régulation de la fréquence et de 5,6 % pour le rasage de pointe par rapport à un scénario de base dans lequel les VE ne sont entraînés et chargés que de façon non contrôlée. Wang, Coignard, Zeng et coll. [36] également considéré comme un scénario dans lequel les VE ne sont utilisés qu'à l'occasion pour fournir les services V2G.

Pour ce scénario, les pertes de capacité moyennes sur 10 ans sont de 0,38 %, 0,21 % et 1,18 % supérieures à celles du scénario de base, si les VE fournissent des services de rasage de charge de pointe, de régulation de fréquence et de lissage de charge nette 20 fois par année. Kempton et Letendre [37] laisser entendre que, même en supposant des répercussions défavorables sur la durée de vie des batteries de VE, les véhicules à propulsion électrique pourraient servir de stockage ou de production pour le réseau d'alimentation électrique et générer des revenus plus élevés que le coût estimatif pour le propriétaire.

Un résultat défavorable a été constaté par Mgr Axon, Bonilla et al. [38], qui a affirmé que la fourniture de services énergétiques auxiliaires ou en vrac entraînera une usure importante de la batterie après avoir effectué des simulations de cellules lithium-ion dans les VEHR et les VEB, ce qui donne un taux d'usure environ 57 fois plus élevé pour les services auxiliaires par rapport à la conduite régulière et 115 fois plus élevé pour les services énergétiques en vrac.

Cela signifie que les clients pourraient devoir remplacer le groupe motopropulseur du véhicule chaque année, contestant ainsi l'allégation selon laquelle le V2G entraîne une perte de capacité de la batterie plus faible que la conduite. Dubarry, Devie et McKenzie [39] a également obtenu un résultat défavorable, confirmant qu'un cycle supplémentaire en déchargeant les batteries du véhicule sur le réseau électrique raccourcit la durée de vie du véhicule. Sur la base des résultats de ces études, on peut dire que les auteurs n'ont pas été en mesure de tirer des conclusions uniformes concernant l'usure des batteries subie par le fonctionnement du V2G, notamment en tenant compte des différentes méthodologies d'analyse utilisées par les différents auteurs, comme la modélisation du fonctionnement du V2G, la chimie des batteries et les cycles de charge.

Malgré les résultats non concluants, il semble y avoir un consensus selon lequel l'utilisation de V2G comme support de grille entraînera une usure supplémentaire de la batterie à moins qu'une stratégie d'optimisation supplémentaire ne soit utilisée [40] l'impact du V2H sur la durée de vie de la batterie n'a pas encore été exploré, les recherches actuelles étant axées sur l'élaboration de solutions à des problèmes tels que la transition transparente entre le support de grille (V2G) et la formation de grille (V2H). Les modes, la conception de différentes topologies avec des distorsions harmoniques plus faibles et des pertes de puissance, ou l'hypothèse sur les opportunités V2H à l'avenir, par exemple. L'usure de la batterie dans un scénario V2H, en raison de la rareté relative des pannes de courant et, dans la plupart des cas, de leur courte durée, est très probablement plus faible par rapport au scénario V2G, dans lequel la batterie pourrait être en permanence soutenir le réseau et en conséquence subir un plus grand nombre de cycles de charge et de décharge.

L'usure de la batterie pourrait être réduite au minimum par un certain nombre de stratégies d'optimisation qui tiennent compte des besoins de chacun des propriétaires de VE, ainsi que d'autres facteurs, comme leur état de charge et la composition chimique de la batterie dans les

véhicules. Un facteur crucial déterminant l'usure de la batterie comme conclusion de l'analyse menée par Marongiu, Roscher et Sauer [41].

Un exemple de méthode d'optimisation a été proposé par Uddin, Jackson, Widanage et al. [42] qui a développé un algorithme de réseau intelligent qui réduit la capacité des batteries lithium-ion jusqu'à 9,1 % et la puissance jusqu'à 12,1 %. Cet algorithme, associé à d'autres techniques d'optimisation avancées et de communications réseau et véhicule dans un environnement de réseau intelligent, pourrait encore améliorer la viabilité financière de (V2G), au détriment de la dépendance de (V2G) aux avancées dans d'autres domaines.

II.9 Les bornes de recharge

Ces dispositifs sont destinés à être placés sur la voie publique. Ils possèdent un système de paiement intégré comme le sont aujourd'hui les stations-services dites 24h 1 24h. Plusieurs systèmes sont actuellement développés sur ce principe. Dans le cadre du projet européen "EUREKA 93", les Sociétés SAGEM et E.D.F. ont développé une borne de recharge rapide.[44]

Elle se connecte directement sur le pack de batteries par l'intermédiaire d'une prise spécialement étudiée. La puissance qui a été choisie pour ce système est de 35 kW. Cela permet à la batterie d'un petit véhicule (Clio, AX, 106, ...) d'atteindre 70 % de sa capacité en 20 minutes. Sa large plage de tension (45 V - 425 V) lui permet de s'adapter à beaucoup de véhicules et de jouer ainsi parfaitement son rôle de "station-service".[45]

II.10 Chargeurs des batteries :

Il existe différentes structures d'électronique de puissance qui sont classées en deux catégories, la première catégorie concerne les chargeurs de fortes puissances, ils sont qualifiés de chargeurs rapides. Le second type est réservé aux recharges de moyenne puissance, on parle de chargeurs lents.

II.10.1 Chargeur de type rapide :

Les chargeurs de type rapide sont les structures dont la puissance transitée est supérieure à 10KW, La puissance maximale atteint aujourd'hui est 150 kW.[43]

Ce type de chargeurs permet une recharge partielle (80 %) des batteries de stockage pendant une courte période (inférieur à 30 min.). Deux types de structures de charge ont été développés.

II.10.2 Chargeur de type lent

Le chargeur de type "lent" est un dispositif d'une puissance moyenne, généralement de 3 kW. Ce dispositif permet la charge continue d'une batterie de stockage pour compenser ses fuites interne normales. Il nécessite pour une charge complète du pack de batteries une durée de 5 à 8 heures. Cette opération peut donc s'effectuer en heures creuses. Pour pallier le problème de la "panne sèche" en cours de journée. Un système de charge à régime lent comprend un chargeur et une batterie branchés à la charge en permanence. Lorsqu'il y'a une alimentation secteur, le courant de charge est fourni par le chargeur. La batterie est chargée à régime lent et n'est utilisée que pour couvrir des surintensités de charge dépassant le régime du chargeur. Lorsque l'alimentation secteur s'arrête, la batterie fournit le courant à pleine charge. Deux types de chargeur "lent" sont actuellement développés.

Tableau II-2:Tableau comparatif des types de charge.

Type de charge	Durée de recharge	Alimentation	Tension	Courant maximum
Lente	6 à 8 heures	Monophasée 3.3 KW	230 V	16 A
	2 à 3 heures	Triphasée 10 KW	400 V	16 A
	3 à 4 heures	Monophasée 7 KW	230 V	32 A
Rapide	1 à 2 heures	Triphasée 22 KW	400 V	32 A
	20 à 30 min	Triphasée 43 KW	400 V	63 A
	20 à 30 min	Continue 50 KW	400 à 500 V	100 à 125 A

II.10.3 Chargeurs à coupleur inductif manuel

Du point de vue de l'utilisateur, ce genre de structure n'apporte pas de différence notable par rapport aux bornes de recharge type "SAGEM". La différence réside dans le système de prise de raccordement. Elle ressemble dans le cas de ces structures à une "raquette" que l'on introduit dans une fente se situant sur le véhicule.

II.10.4 Chargeur classique

Ce chargeur est généralement embarqué dans le véhicule. Il se connecte sur le réseau 230 V - 16 A. Les structures utilisées pour la charge "lente" sont généralement à absorption sinusoïdale ou quasi-sinusoïdale, permettant ainsi de répondre aux normes régissant les harmoniques basses fréquences et incluent une isolation galvanique.

Les principaux avantages du chargeur "classique" sont de pouvoir se connecter facilement (utilisation de la prise classique 16 A - 230 V) et de permettre une charge complète du pack de batteries assurant sa longévité. Ses principaux inconvénients sont de nécessiter un temps de charge important et d'occasionner un supplément de poids et de prix non négligeables pour le véhicule.[46]

II.10.5 Chargeur à coupleur inductif automatique

Le système de connexion automatique a été développé afin de rendre le processus de charge complètement transparent pour l'utilisateur. Il stationne son véhicule sur l'emplacement réservé à la charge, un dispositif mécanique effectue le couplage magnétique. Le système gère alors toute la charge sans aucune manipulation pour l'automobiliste et se met bien sûr en fonctionnement une fois le paiement validé. Le Tableau ci-dessous présente les caractéristiques des différents types de charge. [47]

II.10.6 Chargeurs filaires

Les chargeurs filaires nécessitent obligatoirement une connexion par câble pour pouvoir alimenter la batterie. Ces derniers peuvent être externes ou embarqués, suivant l'application et surtout les

niveaux de puissance mis en jeu. Les structures de chargeurs sont diverses et variées, mais elles peuvent se classer dans deux catégories, qui sont les unidirectionnelles et les bidirectionnelles.

II.10.7 Chargeurs filaires unidirectionnels

Dans le cadre d’une structure unidirectionnelle, le transfert d’énergie s’effectue du réseau à la batterie, les véhicules électriques avec chargeurs unidirectionnels peuvent donc charger mais ne pas injecter d’énergie dans le réseau électrique. La figure II présente le schéma d’un chargeur unidirectionnel.[14]

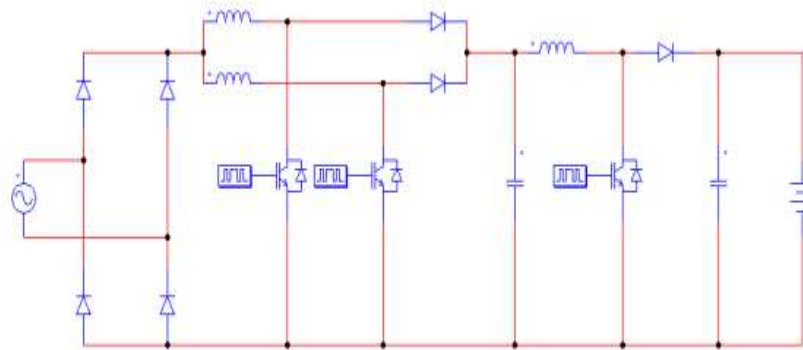


Figure II-18:Chargeur unidirectionnel.

II.10.8 Chargeurs filaires bidirectionnels

Les chargeurs bidirectionnels sont embarqués au sein du véhicule, pour la charge des batteries on utilise des éléments de la chaîne de tractions. Tout chargeur bidirectionnel peut être utilisé lors de phases de freinage récupératif. Le véhicule électrique peu charger et injecter l’énergie dans le réseau électrique. La figure II représente le schéma d’un chargeur intégré bidirectionnel.[14]

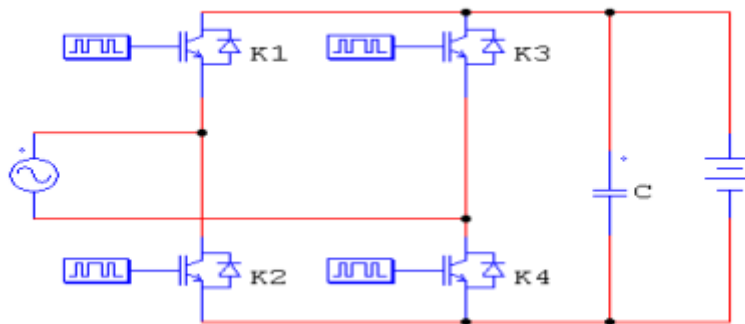


Figure II-19:Chargeur intégré bidirectionnel.

II.11La conversion de puissance bidirectionnelle :

Dans un véhicule électrique hybride à architecture bi-tension 12 V/48 V, une alimentation bidirectionnelle relie les systèmes de 12 V et 48 V de sorte que l'une des batteries peut être rechargée par l'autre. Elle permet également à chaque batterie de fournir une puissance supplémentaire pour l'un ou l'autre rail de tension en cas de surcharge (figure 1). Les concepteurs peuvent ainsi utiliser des batteries plus petites pour chacun d'entre eux, ce qui se traduit par une plus grande fiabilité, un meilleur rendement et un coût moindre.[48]

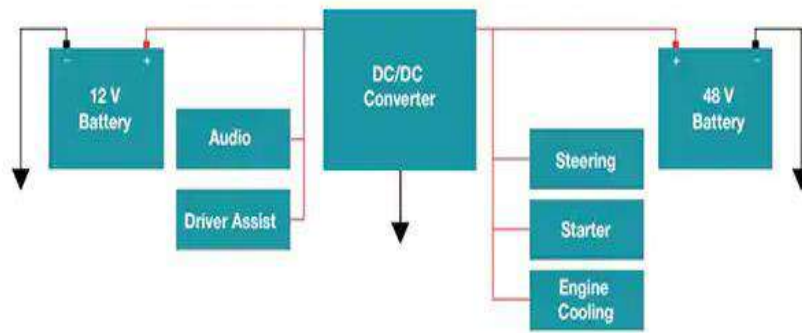


Figure II-20: Une alimentation bidirectionnelle

Une alimentation bidirectionnelle au cœur d'une architecture bi-tension relie les systèmes de 12 V et 48 V afin que chaque batterie puisse être rechargée par l'autre et fournisse une puissance supplémentaire en cas de surcharge.

II.1 Les avantages de la conversion de puissance bidirectionnelle dans les systèmes automobiles :

Les concepteurs de systèmes d'alimentation pour véhicules électriques hybrides et véhicules électriques à batterie sont soumis à une pression constante pour améliorer le rendement et la fiabilité tout en réduisant les coûts. Si le passage à des rails d'alimentation doubles de 12 V et 48 V a contribué à améliorer le rendement en réduisant le poids du câblage du châssis, les concepteurs ont besoin de solutions spécifiques pour mieux gérer les deux sources d'alimentation afin qu'elles puissent mieux fonctionner ensemble, tout en permettant au véhicule de prendre en charge des applications bidirectionnelles véhicule-réseau (V2G).

Ce besoin a conduit au développement de convertisseurs bidirectionnels et de systèmes de correction bidirectionnelle du facteur de puissance (PFC) qui permettent aux concepteurs d'optimiser les performances globales d'un véhicule électrique double 12 V/48 V et de le connecter au réseau pour un flux de puissance bidirectionnel.

Conclusion

La batterie constitue l'élément central de la transmission d'énergie, La durée de charge de cette dernière dépend de la puissance de l'alimentation électrique, en effet, plus la puissance de recharge est élevée plus la durée de recharge est courte.

Les chargeurs varient en fonction de la source d'alimentation électrique mais aussi du type de recharge désiré. La mise en place de ces infrastructures nécessite de gros moyens financiers, ce qui limitera leur nombre et donc leur intérêt.

Les caractéristiques des chargeurs de type "rapide" permettent de compléter parfaitement la fonction du chargeur de type "lent" qui reste indispensable pour assurer une plus grande longévité aux batteries.

Les chargeurs lents sont généralement embarqués au sein du véhicule, alors que les chargeurs rapides jouant un rôle de stations-services se trouvent à l'extérieur sous forme de bornes de recharge.

Les chargeurs filaires sont de plus en plus intégrés au véhicule pour plus de fonctionnalité, Contraignant ainsi leur conception.

Le chapitre suivant nous permette de présenter une modélisation suivie par une simulation de convertisseur de puissance bidirectionnelle. [25]

Chapitre III

III. Simulation

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter une simulation de notre convertisseur bidirectionnel, on va détailler le principe de fonctionnement des modes véhicule au réseau (V2G) et réseau au véhicule (G2V) par simuler chaque mode individuel.

III.1 Convertisseur DC/DC bidirectionnel :

Le convertisseur DC/DC bidirectionnel (BDC) est un convertisseur survolteur qui fonctionne alternativement en mode abaisseur et en mode élévateur pour respectivement charger (G2V) et décharger la batterie (V2G et V2H). Il est constitué de l'une des trois branches d'un onduleur triphasé à source de tension.

III.2 Véhicule au réseau (V2G) :

La technologie véhicule-réseau (Vehicle-to-Grid), ou V2G, est une technologie de recharge intelligente qui permet aux batteries des voitures de contribuer au réseau électrique. En fait, ces batteries à haute capacité ne sont pas seulement des outils pour alimenter les véhicules électriques, mais aussi des cellules de stockage de secours pour le réseau électrique.[49]

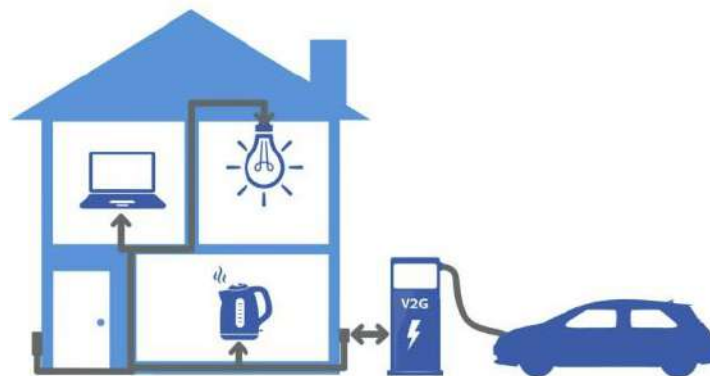


Figure III-1:Fonctionnement de véhicule au réseau.

III.3 Paramètre de simulation :

Tableau III-1: paramètre de simulation

Paramètres	Valeur
Tension nominale (batterie) V	230
La réponse de la batterie (S)	1e-3
Etat de charge initial %	60
R (ohms) (DC-AC / AC-DC) convertisseur	0.004332
L (H) (DC-AC / AC-DC) convertisseur	0.0013789184
L (H) (convertisseur buck boost)	1e-3
R (ohms) (convertisseur buck boost)	0.0001
C (F) (convertisseur buck boost)	1000e-6
R (ohms) (convertisseur DC-DC avec contrôleur de batterie)	0.05
L (H) (convertisseur DC-DC avec contrôleur de batterie)	5.7e-4
R (ohms) convertisseur DC-DC avec contrôleur de batterie	10
Fréquence (HZ)	50
Tension entre phases (V)	380
Puissance active (W)	10e3

III.4 Schémas-block :

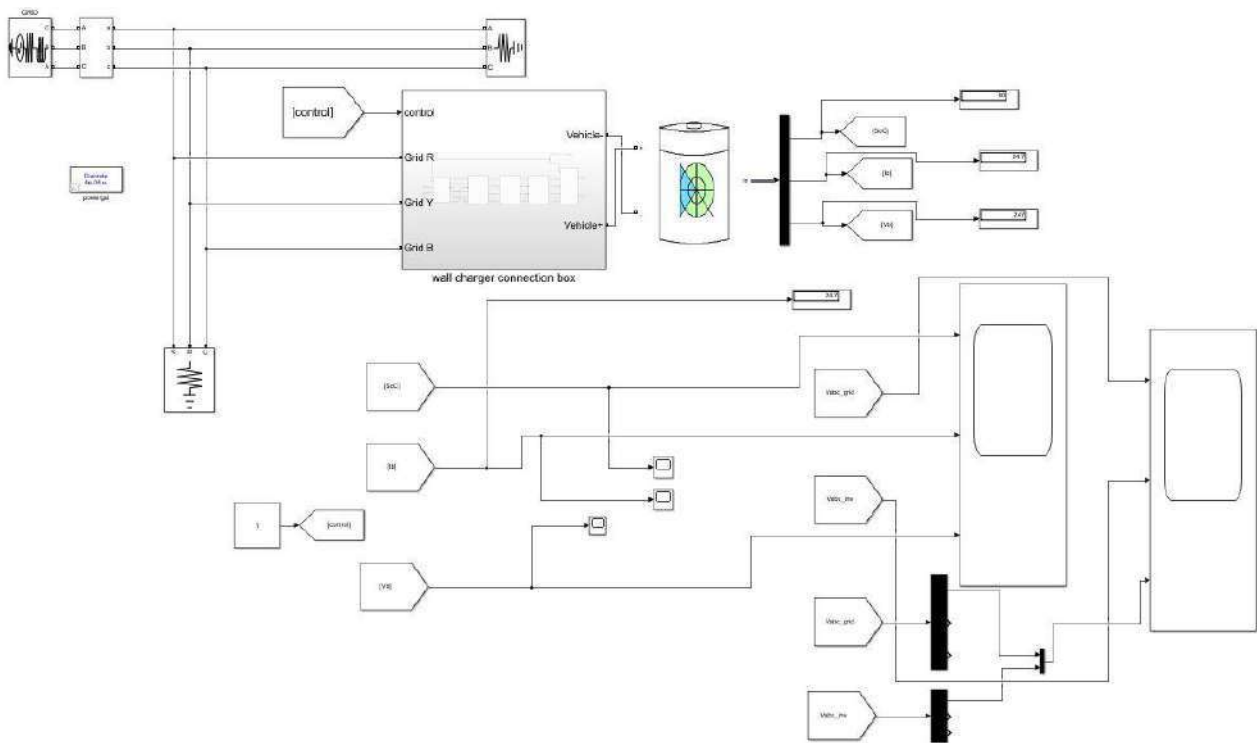


Figure III-2:Schéma-block générale

La figure ci-dessus présenter le schéma-block qui quotient tous les composants de notre simulation.

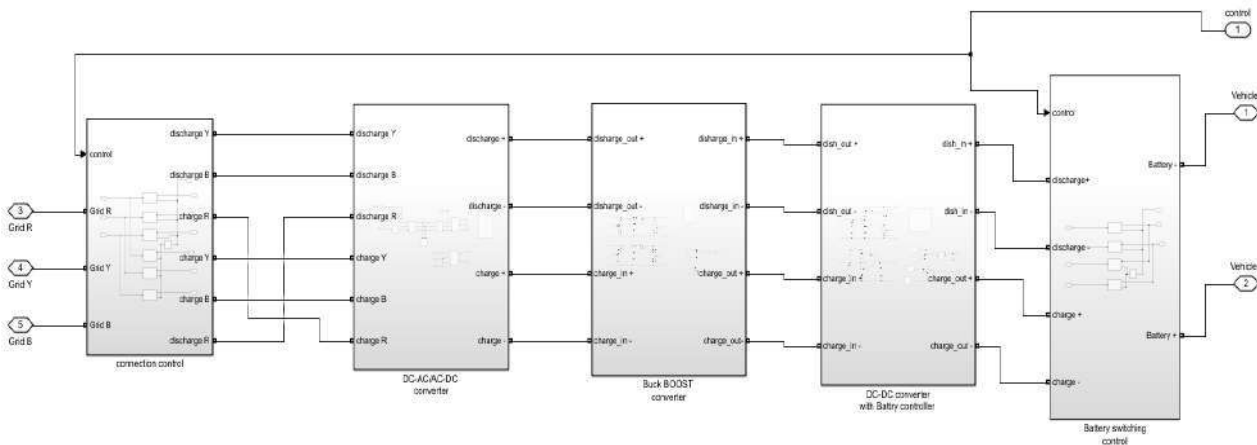


Figure III-3: Schéma global de convertisseur (Wall charger connection box)

Le schéma-block ci-dessus Schéma global de convertisseur (Wall charger connection box) contient tous les composants des figures ci-dessous

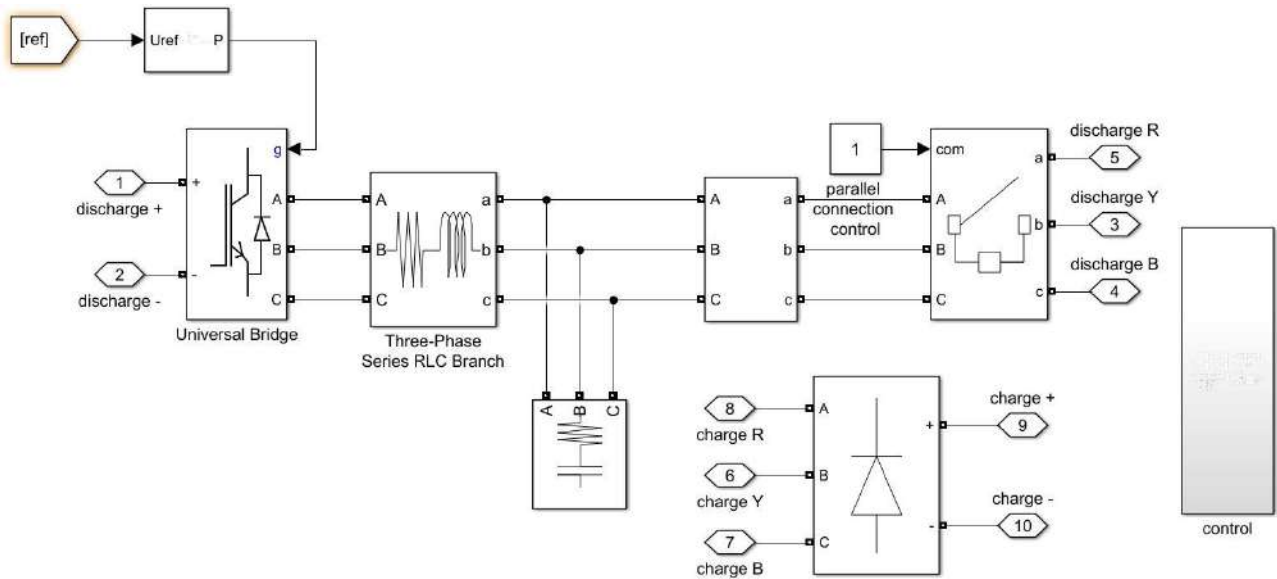


Figure III-4: convertisseur DC-AC/AC-DC

Dans la figure (III-4) on peut voir qu'on un redresseur et onduleur, son rôle dans cette simulation c'est de fonctionné l'état de charge et décharge pour la batterie (G2V) et (V2G) onduleur pour charger et redresseur pour décharger.

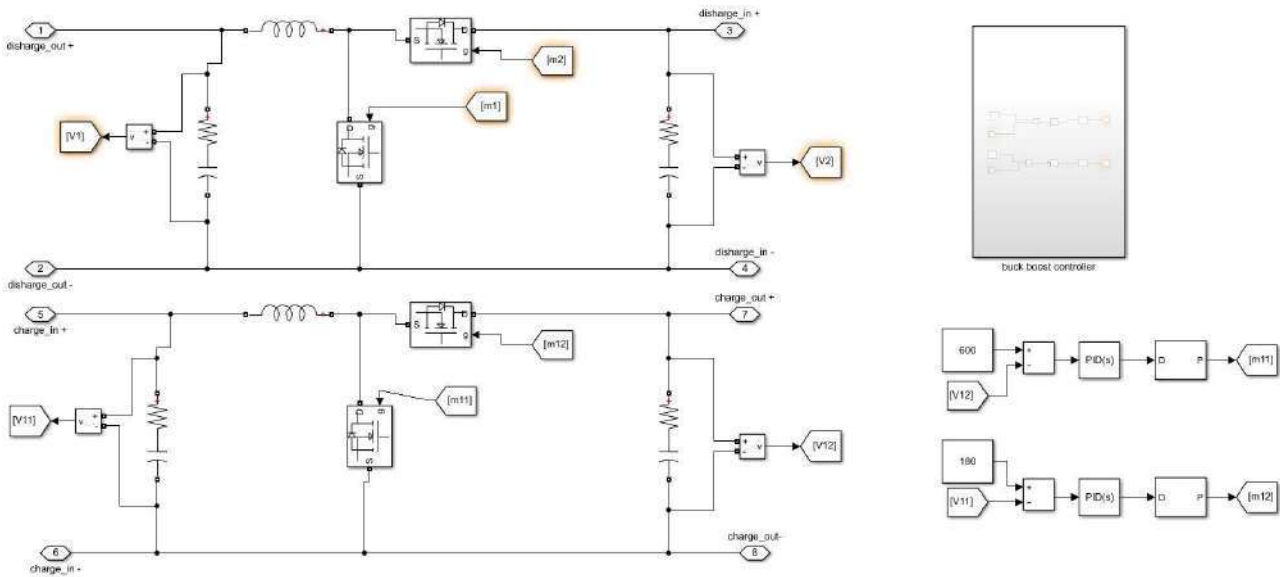


Figure III-5: Buck Boost (hacheur)

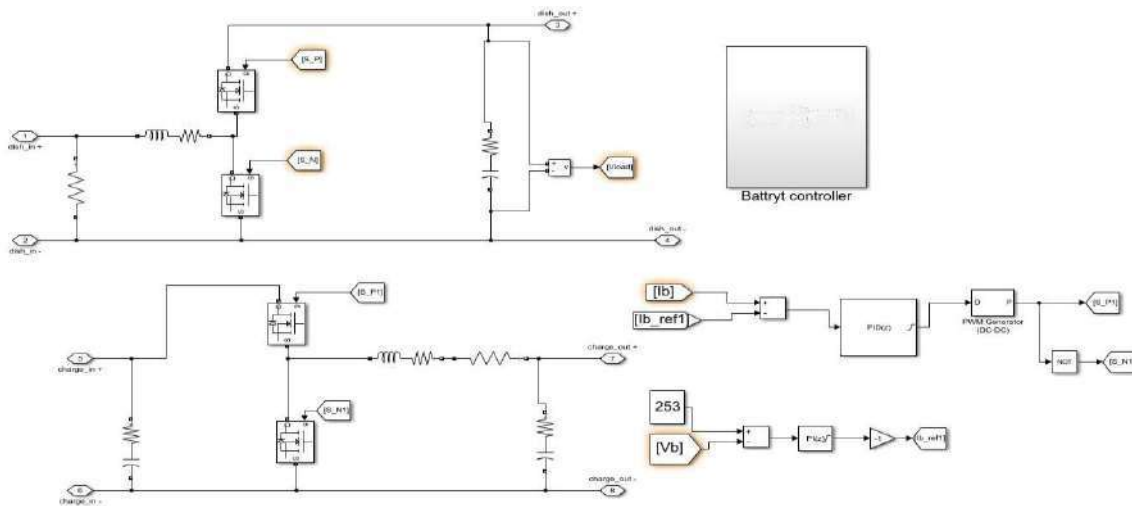


Figure III-6: Convertisseur DC-DC (hacheur) Avec batterie contrôleur

Convertisseurs DC/DC assurant la régulation du chargeur de VE.

Le système est connecté à une grille triphasée, modélisée avec trois sources de tension monophasée.

Le modèle de batterie est choisi comme un type Li-ion car il peut fournir une efficacité plus élevée et a une plus grande valeur de puissance spécifique par rapport aux autres produits chimiques.

III.5 Résultats de Simulation :

Dans notre simulation on a utilisé une batterie de type Lithium-Ion (les paramètres dans le tableau (III-1)).

III.5.1 Etat réseau au véhicule (G2V) :

Tout d’abord on va varier dans notre schéma block générale (figure III-2) le constant au (0) pour active le mode réseau au véhicule (G2V).

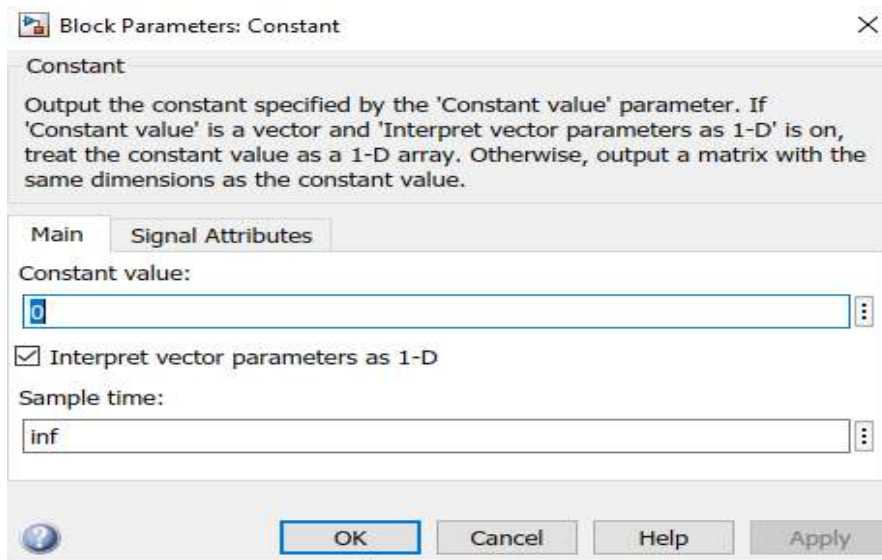


Figure III-7: Constant (0) état (G2V)

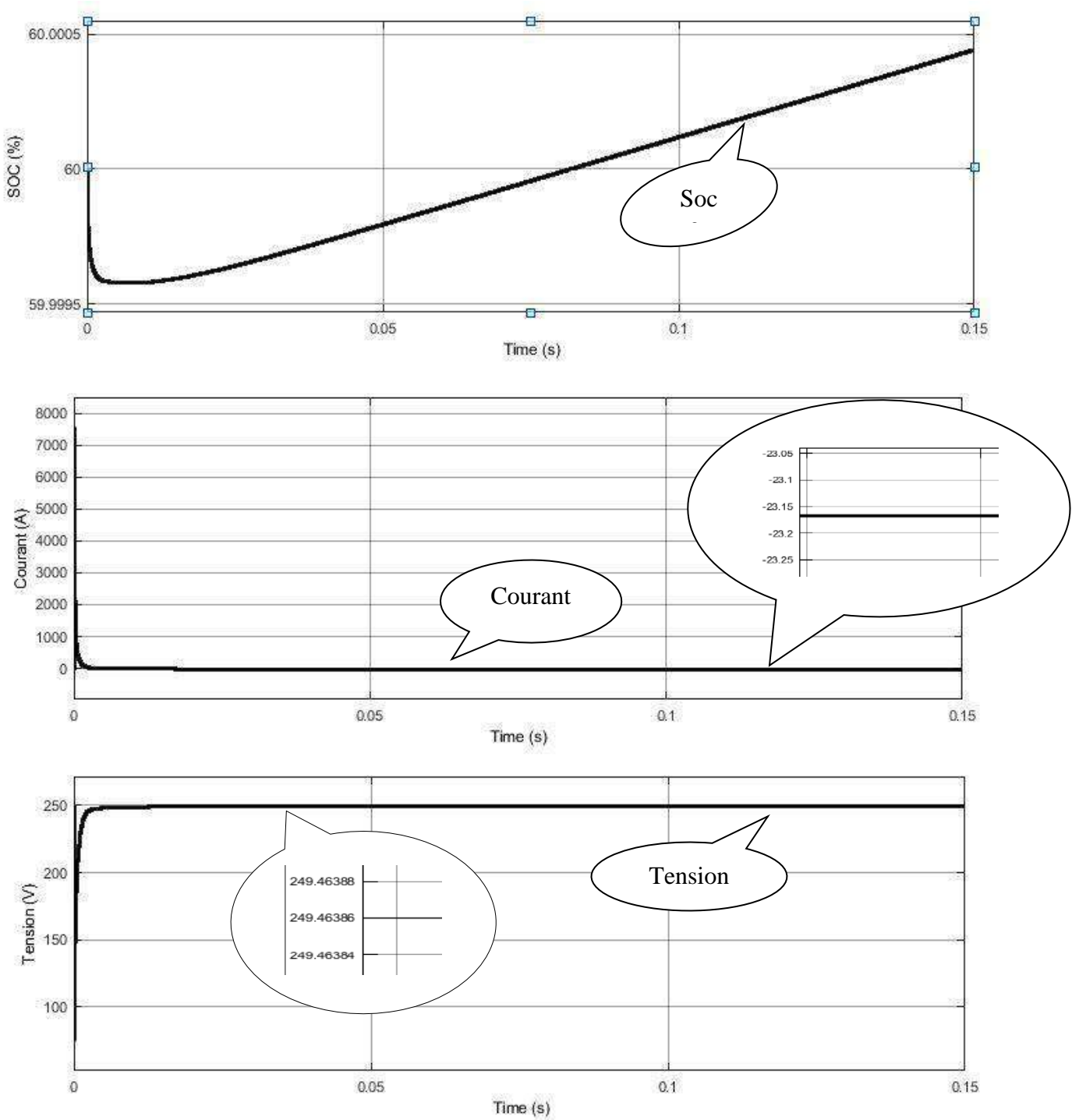


Figure III-8: Courbes de (SOC, I, V) mode (G2V)

Lorsque on charge la batterie ((G2V) réseau au véhicule), l'état de batterie (SOC) augmente et le courant de la batterie est négatif, la tension de la batterie est positive.

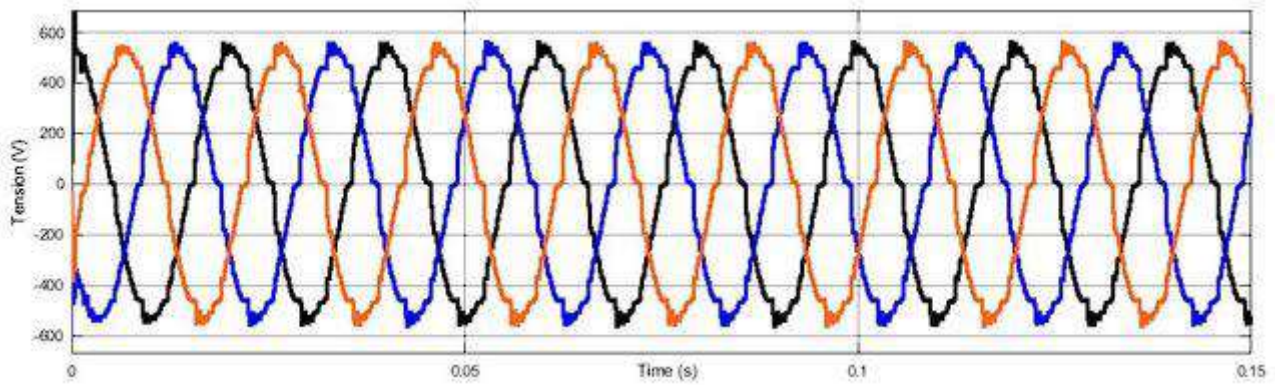


Figure III-9: Tension de réseau (G2V)

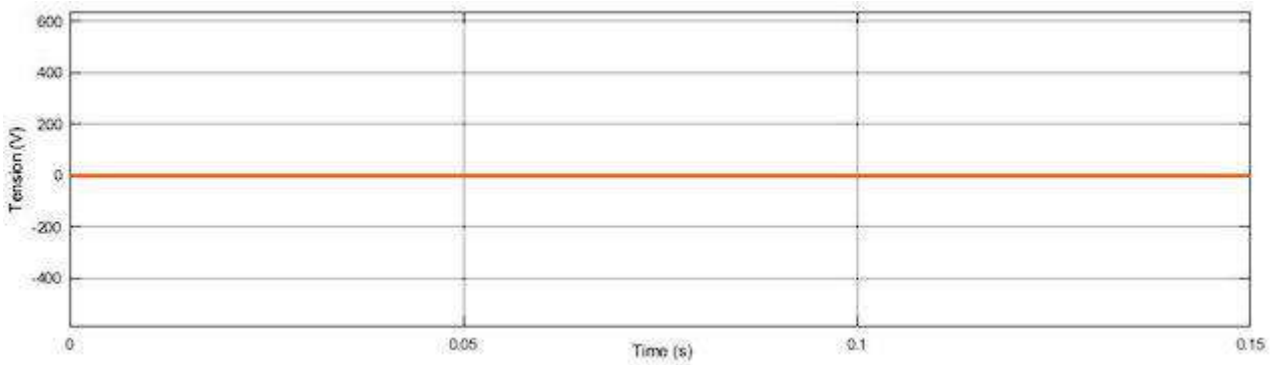


Figure III-10: Tension de l'onduleur

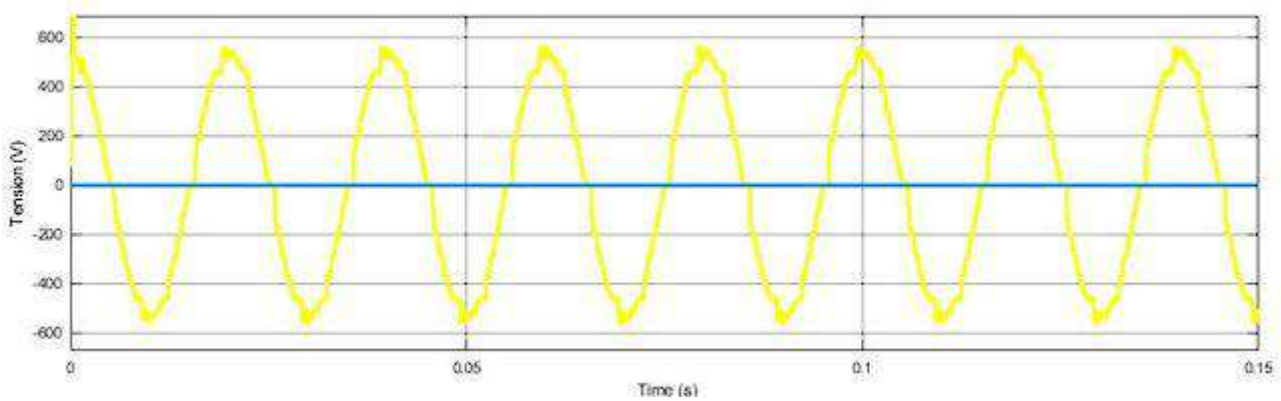


Figure III-11: Tension (réseau et onduleur)

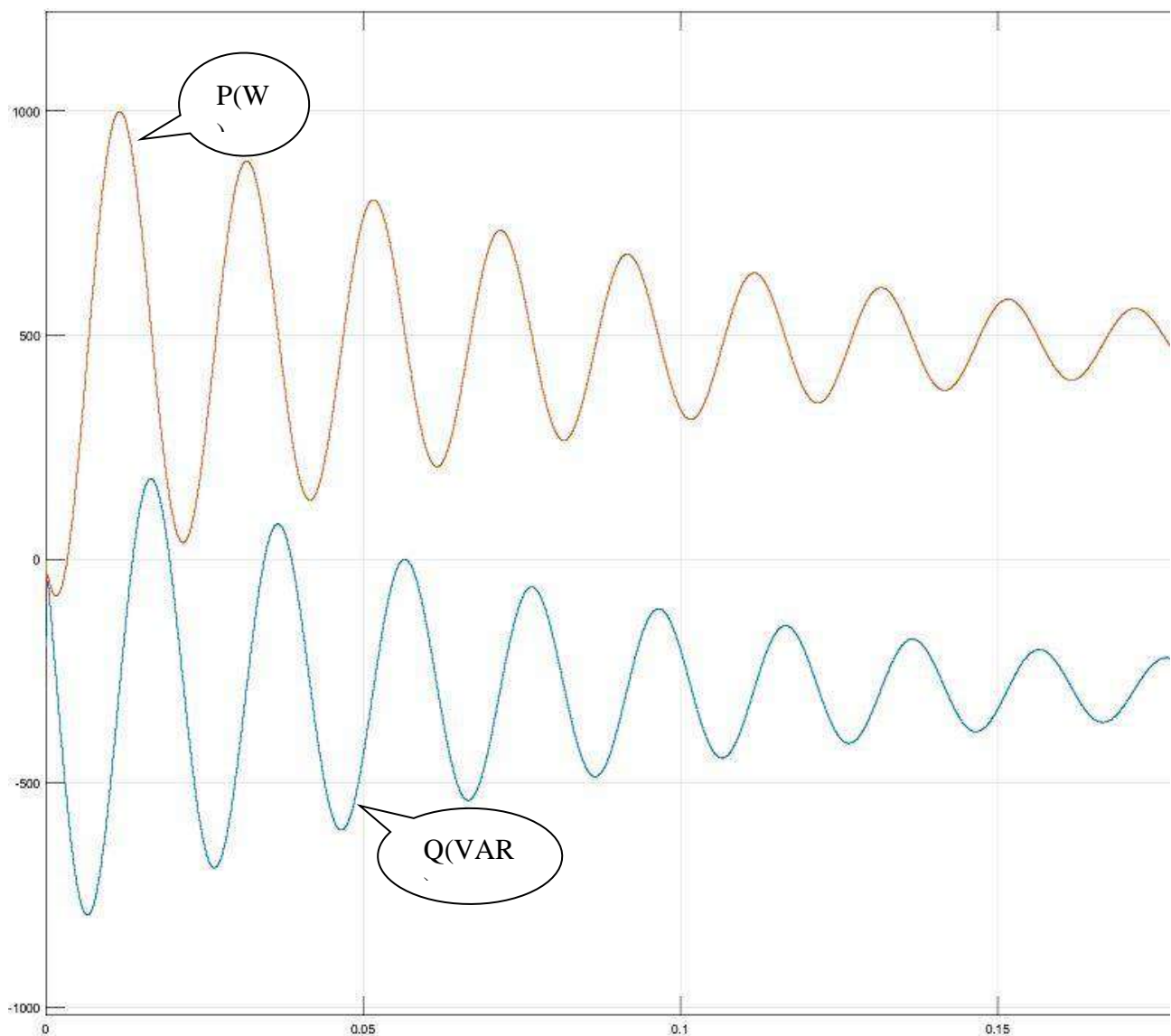


Figure III-12: Courbes de puissance P, Q

III.5.2 Résultat de simulation mode réseau au véhicule (G2V) :

Tableau III-2: Résultat de simulation de mode G2V

Etat de charge (SOC)	60.01 %
Courant I	-23.19 A
Tension V	249.6 V

III.6 Etat véhicule au réseau (V2G) :

Il existe un interrupteur virtuel dans l'application mobile de la voiture par exemple (application Tesla mobile), en activant cet interrupteur, le fonctionnement V2G peut être activé.

Nous on cette simulation on va changer le constant dans le schéma-block générale (figure III-2) au (1) pour active le mode véhicule au réseau (V2G).

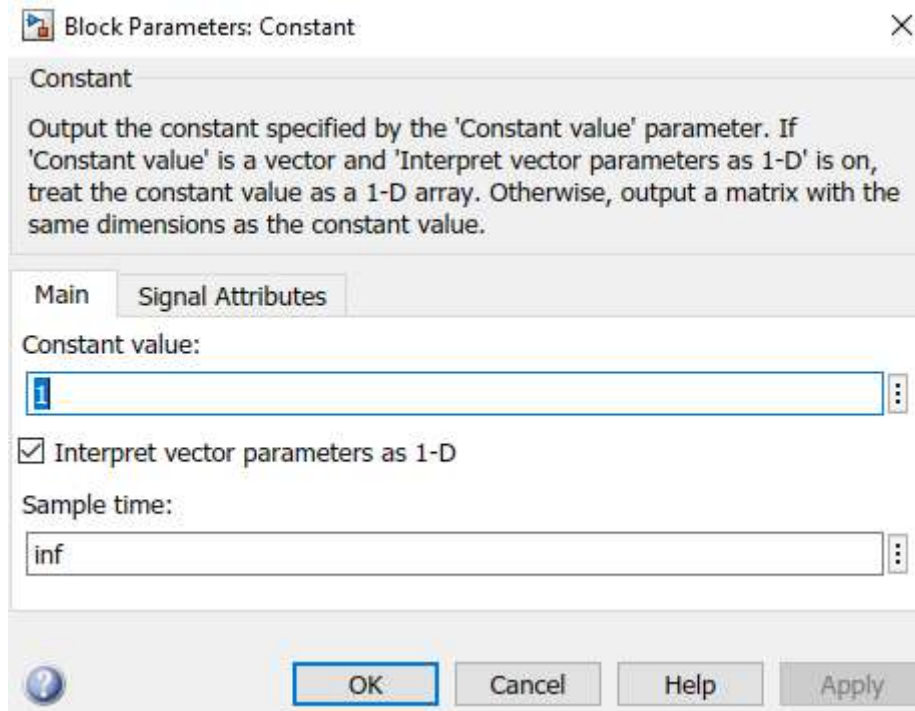


Figure III-13:Constant (1) état (V2G)

Pendant le fonctionnement véhicule au réseau (V2G), l'état de charge (SOC) diminue et le courant et la tension de la batterie sont positifs.

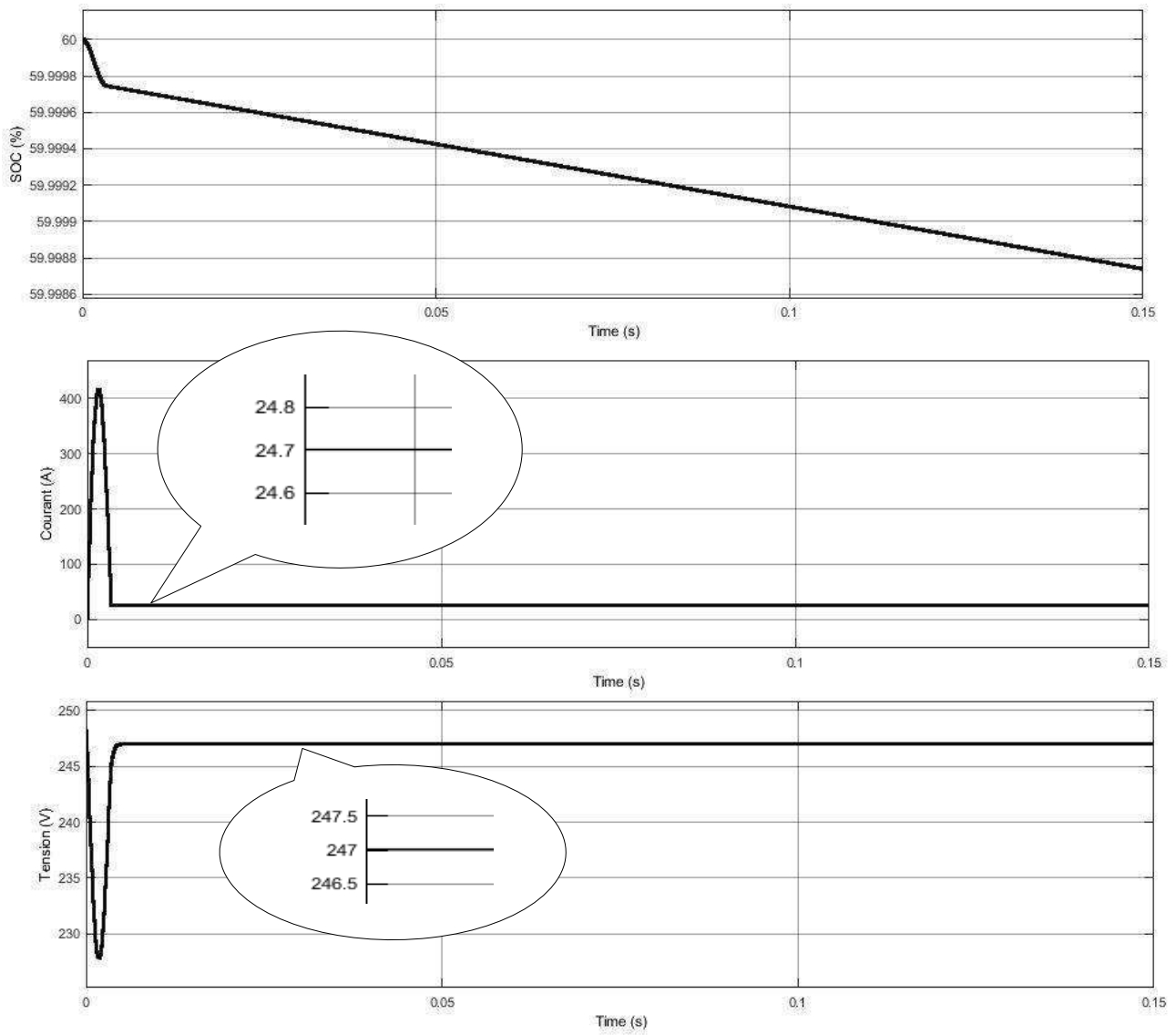


Figure III-14: Courbes de (SOC, I, V) mode (V2G)

Dans le scope de V2G, la tension de l'onduleur et la tension du réseau doivent être en phase.

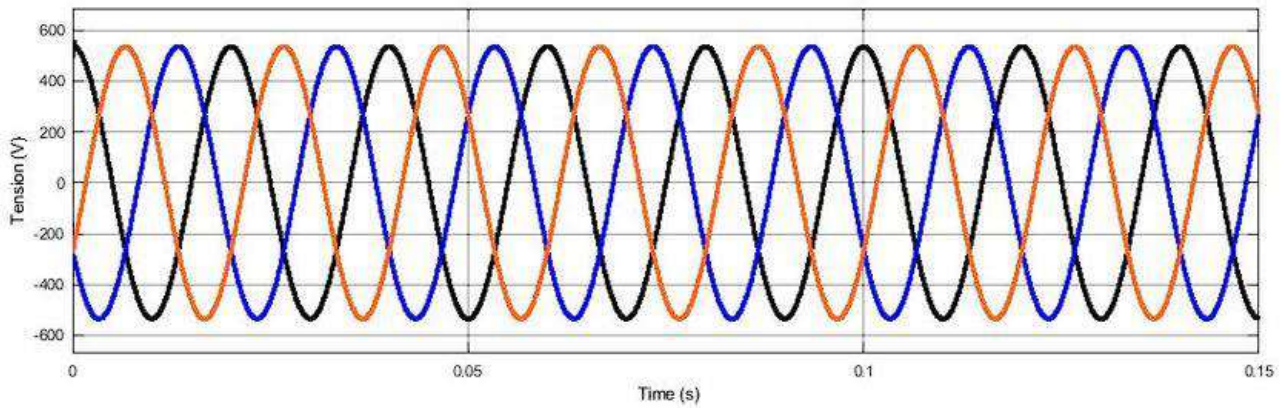


Figure III-15: Courbes de réseau (V2G)

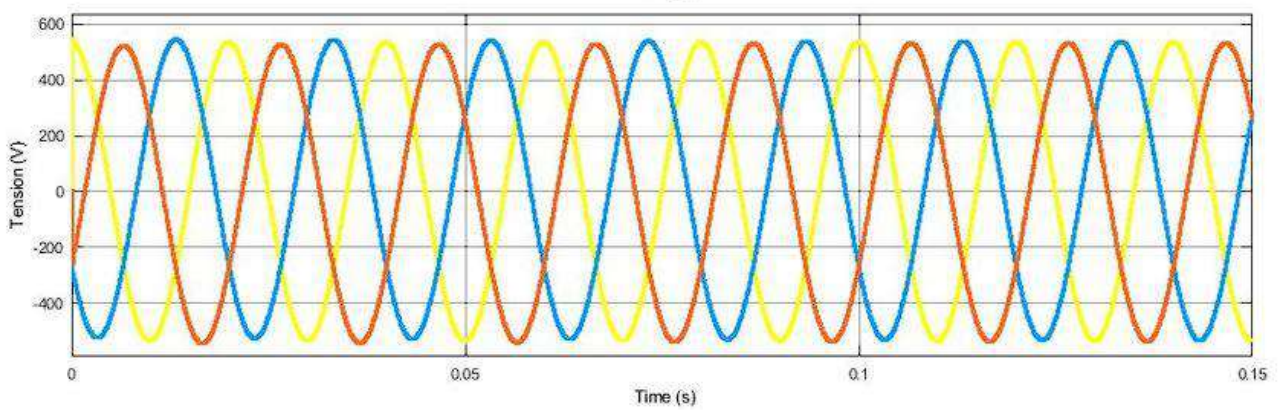


Figure III-16: Courbes de l'onduleur (V2G)

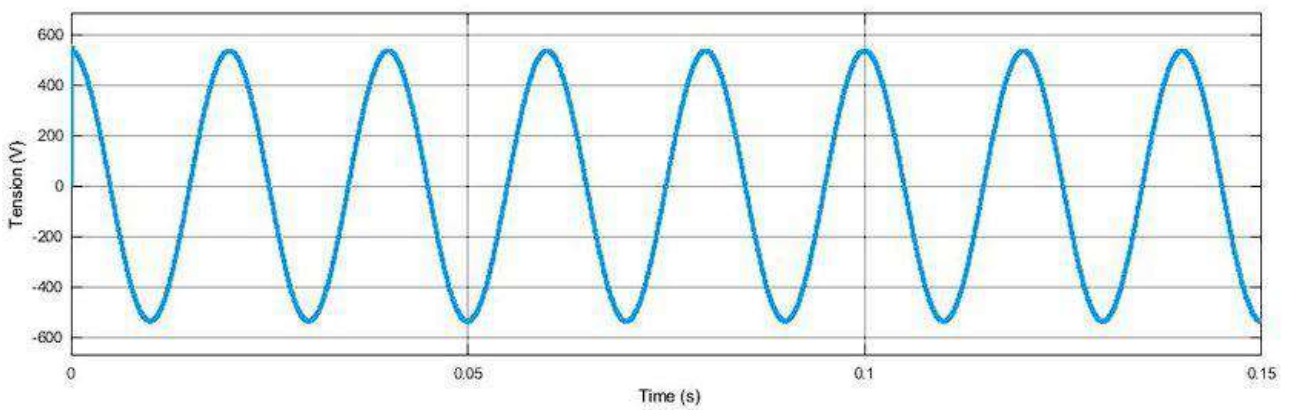


Figure III-17: Tension en phase (réseau et onduleur) (V2G)

Comme nous pouvons le voir, la tension du réseau et la tension de l'onduleur sont en phase.

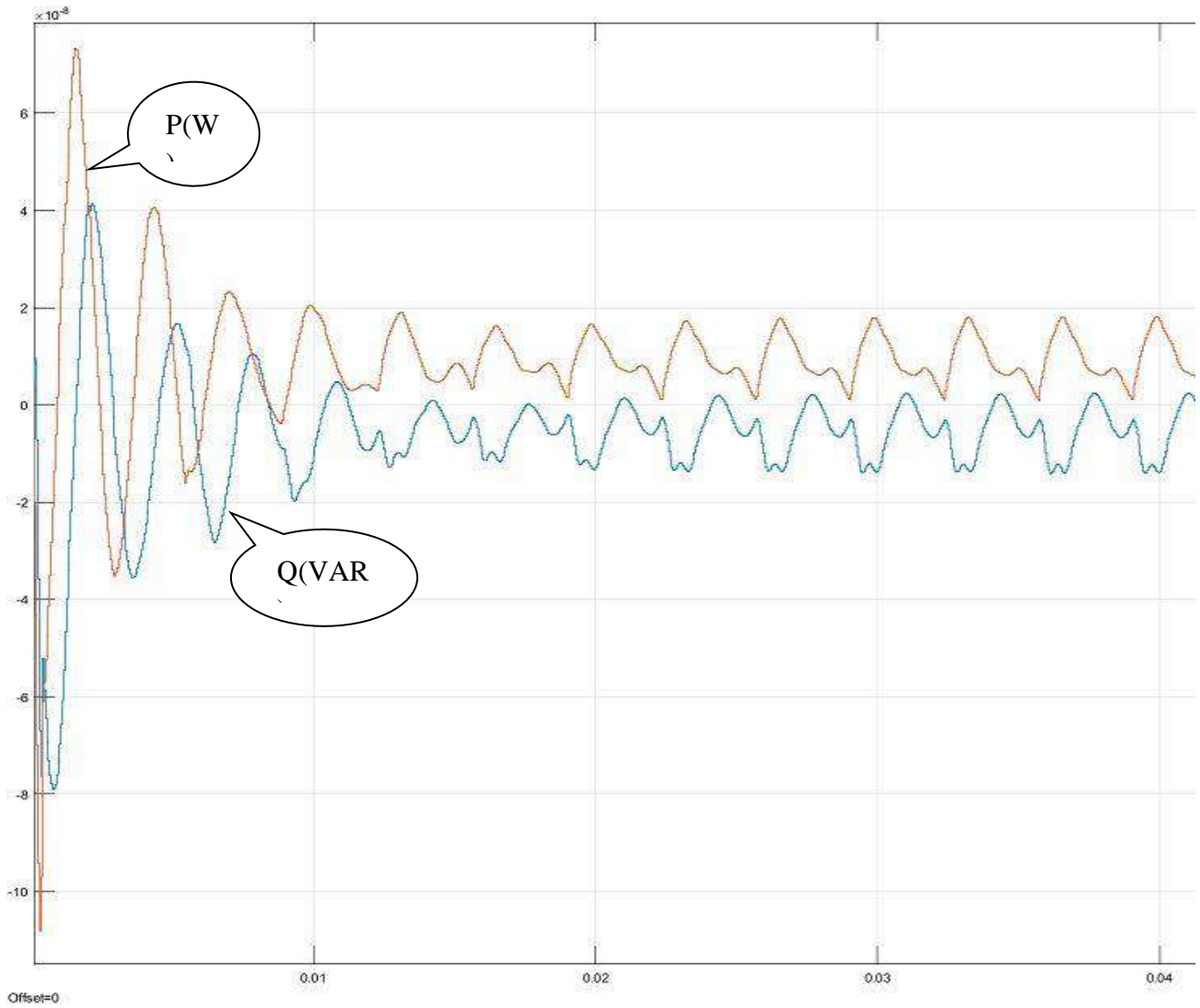


Figure III-18: Courbes de puissance P, Q

III.6.1 Résultat de simulation mode réseau au véhicule (V2G) :

Tableau III-3: Résultat de simulation de mode V2G

Etat de charge (SOC)	60 %
Courant I	24.7 A
Tension V	247 V

III.7 Discussion :

Un modèle de chargeur de VE bidirectionnel triphasé connecté au réseau est proposé, conçu et simulé pour assurer à la fois la charge de la batterie du véhicule en mode G2V et le support de la puissance réactive ou la puissance inverse pour le réseau électrique en mode V2G.

Le système se compose de deux étapes, dont l'une est un convertisseur PWM AC/DC responsable de la conversion entre la tension de réseau AC et la tension de liaison DC.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une simulation de notre convertisseur bidirectionnelle par MATLAB/SIMULINK.

Nous avons présenté les schéma block et tous les détaille pour fonctionne cette simulation.

On a donné des résultats et des courbes pour donner une bonne description pour l'opération de charge vers le véhicule et décharge vers le réseau.

L'objet de ce chapitre est consacré pour simuler et donner des résultats pour cette simulation.

Conclusion générale

Un modèle de chargeur de véhicule électrique bidirectionnel triphasé connecté au réseau est proposé, conçu et simulé pour assurer à la fois la charge de la batterie du véhicule en mode G2V et le support de la puissance réactive ou la puissance inverse pour le réseau électrique en mode V2G.

L'objet de notre travail dans ce mémoire est de conception un convertisseur de puissance pour un véhicule électrique.

Afin d'aborder ce travail, on a commencé en premier chapitre par un bref historique des voitures électriques et les d'origines de ce véhicule. En outre, on a donné les composants principaux pour fonctionner un véhicule électrique ainsi les facteurs qui contrôlent son fonctionnement avec quelque définition de chaque une. A la fin de ce chapitre on a proposé quelque solution pour l'amélioration.

Dans le chapitre deux, nous avons également présenté les différentes topologies existantes de notre convertisseur avec ses types. Ensuite, on a donné les différents types de batterie et les ses types des chargeurs.

Le troisième chapitre est consacré pour la simulation de ce convertisseur par MATLAB/SIMULINK, avec des définitions de fonctionnement.

Bibliographie

- [1] Bertrand CHAUCHAT. « Chargeur de batteries intégré pour véhicule électrique », thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, France, 1997.
- [2] Harun TURKER. « Véhicules Electriques Hybrides Rechargeables, Evaluation des Impacts sur le Réseau Electrique et Stratégies Optimales de Recharge », thèse de doctorat, université de Grenoble, France, 2012.
- [3] <https://www.mobilitytechgreen.com/dossier-lhistoire-de-la-voiture-electrique/> (2022/04/20)
- [4] Dr. Ernest H. Wakefield The electric phoenix an illustrated history of electric cars, motors, controllers, and batteries Vehicular Technology Conference, 1978. 28th IEEE Volume: 28 Digital Object Identifier: 10.1109/VTC.1978.1622512 Publication Year: 1978, pp: 73 74.
- [5] CHAO LI « THE OPTIMIZATION OF HYDROGEN CONSUMPTION BASED ON THE CONTROLLING OF CHARGING CIRCUIT IN NEMO HYBRID ELECTRIC VEHICLE “L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES MARS 2015
- [6] <https://sites.google.com/site/waag78/la-voiture-dans-sa-complexite/fonctionnement-de-la-voiture-%20%20electrique> (2022/03/10)
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Automobile_hybride_électrique (2022/05/12)
- [8] Thèse de Doctorat : Modélisation, Conception et Expérimentation d'un véhicule hybride léger pour usages urbains : Destiny LOUKAKOU BOUNZEKI MBEMBA ; Edition SPIM ; version 1 ; 17 Sep 2013
- [9] <https://www.renault.fr/faq-electrique/differences-voiture-electrique-voiture-hybride.html> (2022/02/14)
- [10] <https://www.caa.ca/fr/transport-durable/vehicules-electriques/types-de-ve/> (2022/03/19)
- [11] ZAOUZAOU Sabrina, MEZIANI Sabrina:Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique : Université Abderrahmane Mira, Bejaia » 2016-2017
- [12] <https://entretien-voiture.ooreka.fr/astuce/voir/511041/batterie-de-voiture-electrique> (2022/05/04)
- [13] <https://entretien-voiture.ooreka.fr/astuce/voir/481853/supercondensateur> (2022/04/24)

- [14] Bordji Abdelmalek et Flitti Hamza « Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique » Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem : 2018/2019
- [15] Ahmed NEFFATI. (Stratégies de gestion de l'énergie électrique d'un système multi-source : décision floue optimisée pour véhicule électrique hybride.) Thèse de doctorat. Université de Toulouse III France. Le 11 avril.2013
- [16] Build your own Electric Vehicle de Seth Leiman and Bob Brant, deuxième Edition, 2009.
- [17] <https://www.rapport-gratuit.com/generalites-sur-les-voitures-electriques/> (2022/05/04)
- [18] <http://arnaud.meunier.chez-alice.fr/> (2022/05/10)
- [19] M. Becherif and M.Y. Ayad “Advantages of variable DC bus voltage for Hybrid Electrical Vehicle”VPPC 2010 LILLE FRANCE.
- [20] Lekweiry Ahmed Digue, Mohamed Benselloua Mouad: Etude Comparative de la Commande des Eléments de Chargeurs Intégrés pour Véhicule Electrique, « Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem » 2021
- [21] Article initial de Nathalie Mayer paru le 27/01/2016.
- [22] <https://www.delphiautoparts.com/fra/fr/product/combine-inverseur-et-convertisseur-dcdc#:~:text=Des%20convertisseurs%20contrôlent%20la%20tension,radios%2C%20les%20phares%2C%20etc> (2022/03/27)
- [23] Ahmed Boucherit : Conception d'un convertisseur de puissance pour véhicules électriques multi-sources Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2011
- [24] Ahmed Boucherit. Conception d'un convertisseur de puissance pour véhicules électriques multi- sources. Autre [cond-mat.other]. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2011. Français. NNT : 2011BELF0171. Tel-00823565
- [25] Redah SADOUN, « Intérêt d'une Source d'Energie Electrique Hybride pour véhicule électrique urbain – dimensionnement et tests de cyclage », thèse de doctorat ECOLE CENTRALE DE LILLE, France, 2013
- [26] Joseph Bretta, le génie électrique automobile, la traction électrique, ouvrage page 99.
- [27] Rania MKAHL Contribution à la modélisation, au dimensionnement et à la gestion des flux énergétiques d'un système de recharge de véhicules électriques : étude de l'interconnexion avec le réseau électrique, thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD, 2015.
- [28] Adrian Florescu. Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique. Energie électrique. Université de Grenoble, 2012.
- [29] <https://blog.euromaster.fr/conseils-experts/quel-est-le-type-de-batterie-sur-les-voitures-electriques> (2022/04/11)
- [30] <https://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie> (2022/04/13)

- [31] https://en.wikipedia.org/wiki/ZEBRA_battery (2022/04/15)
- [32] <https://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie> (2022/05/11)
- [33] R. Mosdale. Transport électrique routier batteries pour véhicules électriques. Techniques de l'ingénieur, (D5565), 2003.
- [34] A. W. Thompson, "Economic implications of lithium-ion battery degradation for Vehicle-to-Grid (V2X) services", *Journal of Power Sources*, vol. 396, pp. 691 –709, 2018, ISSN: 0378-7753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.06.05>
- [35] S. B. Peterson, J. Apt, and J. Whitacre, "Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization", *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 8, pp. 2385 –2392, 2010, ISSN: 0378-7753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.10.10>
- [36] D. Wang, J. Coignard, T. Zeng, C. Zhang, and S. Saxena, "Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services", *Journal of Power Sources*, vol. 332, pp. 193 –203, 2016, ISSN: 0378-7753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.09.16>
- [37] W. Kempton and S. E. Letendre, "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, no. 3, pp. 157 –175, 1997, ISSN: 1361-9209. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00001-1)
- [38] J. D. Bishop, C. J. Axon, D. Bonilla, M. Tran, D. Banister, and M. D. McCulloch, "Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV", *Applied Energy*, vol. 111, pp. 206 –218, 2013, ISSN: 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.09>
- [39] M. Dubarry, A. Devie, and K. McKenzie, "Durability and reliability of electric vehicle batteries under electric utility grid operations: Bidirectional charging impact analysis", *Journal of Power Sources*, vol. 358, pp. 39 –49, 2017, ISSN: 0378-7753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.05.15>
- [40] K. Uddin, M. Dubarry, and M. B. Glick, "The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective", *Energy Policy*, vol. 113, pp. 342 –347, 2018, ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.15>
- [41] A. Marongiu, M. Roscher, and D. U. Sauer, "Influence of the vehicle-to-grid strategy on the aging behavior of lithium battery electric vehicles", *Applied Energy*, vol. 137, pp. 899 –912, 2015, ISSN: 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.06>
- [42] K. Uddin, T. Jackson, W. D. Widanage, G. Chouchelamane, P. A. Jennings, and J. Marco, "On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system", *Energy*, vol. 133, pp. 710 –722, 2017, ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.11>

- [43] Sif Eddine Guenidi, « Modélisation, Commande et gestion de l'énergie d'un véhicule électrique hybride », Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Algérie, 2016.
- [44] Bezian, Systèmes de Piles à Combustibles pour la Cogénération - Etat de l'Art. Rapport réalisé pour l'ADEME, Octobre 1998.
- [45] Modélisation et simulation des systèmes électriques, Modélisation d'une chaîne de traction d'un véhicule électrique. Document
- [46] Samantha LACROIX. « Modélisation et commande d'une chaîne de conversion pour véhicule électrique intégrant la fonction de charge des batteries », thèse de doctorat, école doctorale, Paris, France, 2013.
- [47] P. Brendel, "Véhicules électriques et infrastructures de recharge", Les cahiers de l'Observatoire du Véhicule d'Entreprise, mars 2011 [26] : Mounir MARZOUK. « Développement de chargeurs intégrés pour véhicules hybrides plug-in », thèse de doctorat, université de Grenoble ALPES, France, 2015
- [48] <https://www.digikey.fr/fr/articles/use-bidirectional-power-converters-and-pfc-to-improve-efficiency> (2022/05/23)
- [49] <https://www.evconnect.com/blog/what-is-vehicle-to-grid-for-electric-vehicles#:~:text=Vehicle-to-grid%2C%20or,cells%20for%20the%20electrical%20grid> (2022/05/10)