

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira, Bejaia
Faculté de technologie
Département de l'électronique, télécommunication et automatique



Mémoire de fin d'étude

Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique

Réalisé par :

- ZAOUZAOU Sabrina
- MEZIANI Sabrina

Membres de jury :

Mr. W.GUENOUNOU
Mm. S.IDJDARENE

Encadré par :

Mr A.CHARIKH

Année universitaire 2016-2017

Remerciements

On tient à remercier tout d'abord notre directeur de recherche, Professeur CHARIKH AHMED, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude. On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, ainsi que le personnel et les enseignants de l'université de Bejaia qui ont contribué à notre formation.

*On tient aussi à remercier monsieur le chef du département de électronique, télécommunication et d'automatique de l'Université:
Mr LOUHOUCHE HOUCINE.*



Dédicace

*A travers ces quelques lignes, je souhaite tout d'abord exprimer ma plus grande reconnaissance à mon **père**, très cher papa, tu es tout ce qu'il y'a de beau sur cette planète, tu m'as aidé dans tout les difficultés que j'ai rencontré dans ma vie, je te remercie, très cher papa, de m'avoir traiter comme une petite princesse, pour ton aide, ta confiance, et pour tout ce que t'a fais pour que ma vie soit confortable, grâce a toi ma vie a été facile. Que dieu te garde pour nous.*

*A ma **mère**, très chère maman, la lumière de ma vie, loin de toi je vois tout noir, je te remercie chère Mama pour toutes tes prières pour moi, ma sœur et mon frère, je te remercie d'avoir veillé sur moi et de m'avoir aidé à tout surmonté juste avec quelques paroles comme du miel qui sort de ta bouche. Que dieu te garde pour nous.*

*A ma sœur **Lynda** et mon frère **Yacine**, les êtres les plus chers pour mon cœur, vous êtes ceux avec qui j'ai partagé et je partage encore toute ma vie, vous êtes mes vrais amis a qui je peux faire confiance les yeux fermer, vous le savez peut être, je vous aime beaucoup, je vous remercie tous les deux d'avoir été toujours la pour moi, et surtout d'avoir écouté attentivement mes histoires sans fin ! Que dieu vous garde pour moi.*

*Je tien aussi a remercier une personne qui est, malgré la distance qui nous sépare, très proche de moi. **Nassim**, je te remercie de m'avoir aidé, encourager, et de m'avoir remonté le morale quand je déprime, t'a toujours su me faire rire dans les moments les plus stressant de ma vie, je ne sais plus quoi faire pour te rendre tout ça !*

*Je n'oublie pas mon binôme **Sabrina** et ma copine **Selma**, avec les quelles j'ai passé des super moments durant mon parcours universitaire, je vous remercie, très chères copines pour ces beaux souvenir. Je te remercie Sabrina d'avoir supporté mes crises de colères.*

Je remercie toutes les personnes que j'ai côtoyées, tout mes amies et amis qui m'ont soutenu et encouragé. Je ne fais pas la liste de peur d'oublier quelqu'un. Merci à tous.

ZAOUZAOU Sabrina

Dédicace

À MES CHERS PARENTS & SŒUR ET FRÈRES

*Éternel et mon Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect,
mon amour considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour
mon*

Instruction et mon bien être.

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez
Depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne
toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés,
le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en
N'acquitterai jamais assez.*

*Je tien a remercier en premier ma binôme SABRINA merci pour
tout les bons moments que on a passé ensemble ,pardon pour les jour que
j'arrive en retard sache que si pas de ma faute, je te souhaite que de bon
chose pour la suite .je tien aussi a remercie SELMA pour tout et
j'espère Que tu changeras jamais tu resteras toujours merveilleuse.*

*A la fin je tien a remercie celui qui as été a mes coté depuis mes
études a lycée jusque a l'université merci pour ton aide, tes conseille,
tout les bons moments que on a passé ensemble grâce a toi que je suis
arrivé jusque au la « SALIM »*

SABRINA MEZIANI

Table des matières

Liste des abréviations	I
Liste des symboles	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : généralités sur les véhicules électriques

I.1. Introduction	03
I.2. Histoire des véhicules électriques	03
I.3. Nouvelle réalisations.....	06
I.4. Éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement.	06
I.4.1. Les sources d'énergie.....	07
I.4.2. Les systèmes de propulsion électrique	08
I.4.2.1. Moteur électrique.....	09
I.4.2.2. Convertisseur de puissance	09
I.4.2.3. Commande des convertisseurs de puissances.....	09
I.4.3. Les auxiliaires.....	10
I.5. Les différentes architectures de traction	12
I.5.1. Véhicules électriques mono moteur.....	12
I.5.2. Véhicules électriques bi moteur.....	12
I.6. Les différents modes de charge pour véhicules électriques	13
I.7. Les avantages des véhicules électriques.....	14
I.8. Les point faible des véhicules électriques	14
I.9. Performances des véhicules électriques.....	15
I.9.1. La distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique.....	16
I.9.2. La vitesse maximale d'un véhicule électrique.....	16
I.9.3. Les normes de sécurité dans les véhicules électriques.....	17
I.9.4. La durée de vie d'une batterie et le cout de remplacement.....	17
I.9.5. La performance d'un véhicule électrique en hiver.....	17
I.10. Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques.....	17
I.11. Conclusion.....	20

Chapitre II : Structure de charge

II .1. Introduction.....	21
II .2. Stockage d'énergie.....	21
II .2.1. La batterie.....	21
II .2.1.1. Les différents types de batteries.....	23
II .2.1.2. Les risques engendrés par la batterie.....	26
II .2.1.3. Modélisation de la batterie.....	27
II .2.1.4. Etat de charge de la batterie.....	27
II .3. Système de charge et niveaux de puissance	28
II.3.1. Convertisseur alternatif/continu (redresseur).....	29
II.3.2. Correction du facteur de puissance (PFC)	30
II.3.3. Convertisseur continu/continu (le hacheur)	30
II.3.4. Convertisseur continu/alternatif (Onduleur)	31

II .4. Chargeurs de batteries	32
II .5. Présentation des chargeurs des batteries.....	32
II .5.1. Chargeur de type rapide.....	32
II .5.1.1. Les bornes de recharges.....	33
II .5.1.2. Chargeurs à coupleur inductif manuel.....	33
II .5.2. Chargeur de type lent	33
II .5.2.1. Chargeur classique.....	33
II .5.2.2. Chargeur à coupleur inductif automatique.....	34
II .6. Chargeurs filaires	35
II .6.1. Chargeurs filaires unidirectionnels.....	35
II .6.2. Chargeur filaires bidirectionnels.....	35
II .7. Conclusion.....	36

Chapitre III : Modélisation et simulation

III.1. Introduction	37
III.2. Simulation du redresseur	37
III.3. Modélisation du hacheur	38
III.3.1. Simulation du hacheur	39
III.4. Modélisation de l'onduleur de tension	40
III.4.1. Principe de la commande MLI	41
III.4.2. Simulation d'un onduleur de puissance avec la commande MLI	42
III.5. Simulation du schéma globale du véhicule électrique	43
III.6. Conclusion	46
 Conclusion générale	 47

Liste des abréviations

DC	Courant continu (Direct current) ;
AC	Courant alternatif (alternative current) ;
MCC	Machine à courant continu ;
MCA	Machine à courant alternatif ;
CO ₂	Dioxyde de carbone ;
CO	Monoxyde de carbone ;
NO	Monoxyde d'azote ;
SO ₂	Dioxyde de soufre ;
EPFL	Extra Packages for Enterprise Linux;
Ni-Cd	Nickel-Cadmium ;
Ni-Mh	Nickel-hydrure Métallique ;
Li-ion	Lithium-ion ;
Li-po	Lithium-ion Polymère ;
SOC	Etat de charge de la batterie ;
DOD	Depth of Discharge (taux de décharge) ;
PFC	Correction du facteur de puissance ;
F.E.M	Force Electro –Motrice;

Liste des symboles

Ebat	Tension à vide de la batterie [V] ;
Ibat	Le courant fourni par la batterie [A] ;
Rbat	La résistance interne de la batterie [Ω] ;
Vbat	Tension a la sortie de la batterie [V] ;
L	Inductances [H] ;
C	Capacité [F] ;

Liste des figures

Figure I.1 :	Exemple de VE : « La jamais contente » réalisée en 1899.....	05
Figure I.2 :	Exemple des véhicules électrique d'aujourd'hui.....	05
Figure I.3 :	Schéma des composantes et de fonctionnement d'un véhicule électrique.....	11
Figure I.4 :	Architecture d'un véhicule électrique mono moteur	12
Figure I.5 :	Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.....	12
Figure I.6 :	Les différents modes de charge proposés.....	18
Figure II.1 :	La vue interne d'une batterie	22
Figure II.2 :	Recharge et décharge d'une batterie au plomb.....	23
Figure II.3 :	Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération.....	24
Figure II.4 :	Principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion.....	25
Figure II.5 :	Schémas représentant les différents designs de batteries Li-ion actuelles: cylindrique, b) plate, c) prismatique et d) mince et plate.....	26
Figure II.6 :	Circuit équivalent de la batterie (pour une cellule) Modèle statique.....	27
Figure II.7 :	Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.....	29
Figure II.8 :	Schéma détaillé d'un redresseur réalisé avec des thyristors.....	30
Figure II.9 :	Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.....	31
Figure II.10 :	Chargeur unidirectionnel.....	35
Figure II.11 :	Chargeur intégré bidirectionnel.....	36
Figure III.1 :	Schéma détaillé d'un redresseur.....	37
Figure III.2 :	Signaux caractéristiques de la sortie d'un redresseur	38
Figure III.3 :	Schéma du redresseur associé au PFC.....	38
Figure III.4 :	Schéma détaillé d'un hacheur.....	38
Figure III.5 :	Résultat de la simulation du hacheur.....	40
Figure III.6 :	Circuit de puissance d'un onduleur triphasé.....	40
Figure III.7 :	Principe de la commande MLI naturel.....	41
Figure III.8 :	Circuit de puissance d'un onduleur triphasé avec la commende MLI.....	42
Figure III.9 :	L'allure de tension a la sortie de l'onduleur.	42
Figure III.10 :	Schéma global du circuit de puissance.	43
Figure III.11 :	Tension a la sortie de la batterie.	44
Figure III.12 :	La tension a la sortie de l'onduleur	44
Figure III.13 :	La tension a la sortie de l'onduleur.	45
Figure III.14 :	La tension a la sortie de la batterie qui alimente les auxiliaires.....	45

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Puissances consommées par les auxiliaires des véhicules conventionne...	10
Tableau II.1 : Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles.....	26
Tableau II.2 : Tableau comparatif des types de charge.....	34

Introduction générale :

L'économie d'énergie, La protection et la préservation de l'environnement, sont les maîtres mots de ce XXI^e siècle. C'est un objectif écologique qui ne pourra être atteint sans apporter des changements radicaux au niveau des activités humaines qui sont fortement responsable de la pollution, et de l'accroissement de la consommation d'énergie dont le moyen de transport le plus utilisé par l'homme : la voiture.

Parmi les solutions avancées par les constructeurs automobiles, on retrouve les voitures fonctionnant aux carburants biologiques tels que l'essence à éthanol, celles utilisant l'énergie solaire ou fonctionnant à l'aide d'une batterie, autrement dit, des voitures électriques. [1]

Les voitures électriques sont les véhicules les plus propres, dont la propulsion est assurée par un moteur fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique au lieu du carburant qui représente 90% de la pollution dans les villes. Elles sont alors une excellente solution aux problèmes liés à la dégradation de la nature, à moyen et à long terme, elles pourraient remplacer les véhicules thermiques et modifier de manière radicale notre manière de considérer le moyen de transport.

La voiture éclectique est composée de divers matériaux, les matériaux composant le moteur, ceux composant la batterie et ceux composant le véhicule en lui-même. Le moteur est un élément indispensable, composé de matériaux conducteurs et non conducteurs. Les matériaux conducteurs sont placés dans le moteur de façon à ce que l'électricité puisse passer jusqu'à l'élément voulu; les matériaux non conducteurs, eux sont placés autour du moteur de manière à ce que le courant n'atteigne pas le conducteur lors de son trajet. La plupart des matériaux utilisés sont en métal ou en plastique pour faciliter l'isolation.

La batterie étant l'élément important pour le fonctionnement des véhicules électrique, mais aussi un des majors problèmes à cause de son volume important et le temps de recharge. Il existe différentes sortes de batteries, le plomb-acide, le nickel cadmium (NiCd), le nickel métal hydrure (NiMh), le lithium-ion (Li-Ion), le lithium polymère. Chacune de ces batteries à ses particularités de fonctionnement.

Les chargeurs associés aux batteries sont aussi des éléments importants à prendre en compte lors de la phase de conception. Plusieurs systèmes ont été développés en essayant de répondre aux mieux aux exigences relatives à la fonction de charge du véhicule électrique et aux exigences normatives vis-à-vis du réseau électrique. [2]

Le véhicule électrique est loin d'être une nouvelle idée, bien au contraire c'est une invention qui date depuis le XIX^e siècle et qui est améliorée durant les années suivantes, ce qu'on va justement voir dans le premier chapitre ainsi quelques généralités sur cette dernière.

Le deuxième chapitre se portera sur l'étude des batteries et leurs chargeurs, des différents types de chargeurs de batteries seront présentés. Plusieurs critères permettent d'évaluer cette catégorie de convertisseurs d'électronique de puissance. Bien sûr, chaque solution possède ses atouts et ses faiblesses qui bien souvent dépendent de l'application finale.

Enfin, le troisième chapitre, sera consacré à la modélisation et la simulation des différentes composantes des véhicules électriques et le schéma global de circuit de puissance.

CHAPITRE I

Généralités sur les véhicules électriques

I.1. 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. [3]

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.

I.2. 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. [4]

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. [5]

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 a construit '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 devancée 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.

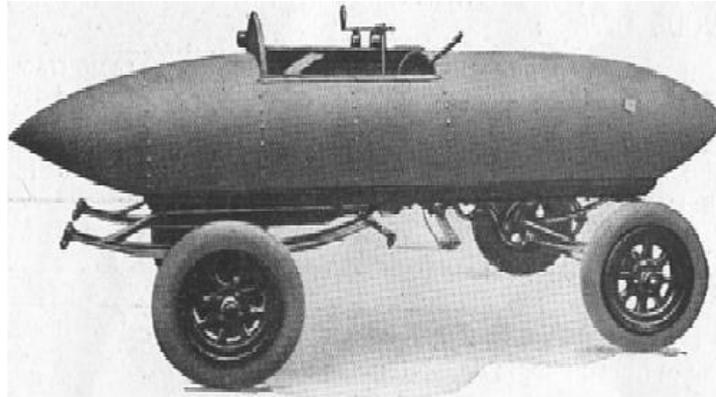


Figure I.1: Exemple de véhicule électrique : « La jamais contente » réalisée en 1899.

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. [3]

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 conçus 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.3. Nouvelles réalisations :

Depuis quelques années, le développement du véhicule électrique a connu une avancée significative, grâce à la prise de conscience globale de l'enjeu environnemental énoncé précédemment et la volonté des constructeurs automobiles de réaliser la transition énergétique et technologique. Dès 2010, plusieurs constructeurs ont lancé la commercialisation de leurs modèles de véhicule électrique. La plupart de ces véhicules sont de taille relativement petite pour réduire la consommation. Ils se présentent en bonne alternative aux véhicules essence et diesel à usage urbain, la Bluecar mise en est un bon exemple. Elle est équipée d'une batterie Lithium Métal Polymère qui offre, selon ses concepteurs, une autonomie de 250km et une recharge complète en 8 heures. En ce qui concerne la recharge de la batterie, Renault propose pour la Fluence.ZE trois procédés : la charge lente sur secteur (8h environ), la charge partielle rapide sur bornes (80% en 20 minutes environ), et enfin un système d'échange rapide de batteries, «Quickdrop » permettant de remplacer la batterie en 3 minutes. Pour ce type de véhicule, l'autonomie annoncée est de 160km. [7]

I.4. Éléments constituant un véhicule électrique et son fonctionnement:

Les composants présents dans les voitures électriques ne sont jamais les mêmes selon le constructeur du modèle et la technologie utilisée. Cependant certains sont indispensables pour pouvoir qualifier un véhicule automobile comme électrique.

Le véhicule électrique comporte une batterie haute tension dont le volume et la masse sont importants (environ 300 kg). La batterie fournit l'énergie provenant soit de la charge par câble depuis une source extérieure, soit de la décélération du véhicule. La capacité des batteries est de l'ordre de 5 à 40 kWh, leur tension totale de 300 à 500 V.

La voiture est aussi équipée de plusieurs convertisseurs, des chargeurs de batterie et quelques accessoires ainsi d'un ou plusieurs moteurs électriques.

L'utilisation des panneaux solaire dans des véhicules électriques est aussi possible, cette dernière permet de recharger la batterie en petite quantité, malheureusement ce ci n'est pas toujours une bonne idée, puisque La voiture doit être très légère, toute charge supplémentaire réduirait encore ses performances, sans parler du coût très élevé.

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux éléments impotents utilisés dans un véhicule électrique comme les sources d'énergie électrique et les systèmes de propulsion électrique ainsi les auxiliaires.

I.4.1. Les sources d'énergie :

I.4.1.1. La batterie :

Permet de stocker l'énergie pour l'utiliser plus tard. Elle se compose de plusieurs éléments formés chacun d'une anode, une cathode, un séparateur convenable pour isoler électriquement les électrodes à l'intérieur, un électrolyte et d'un récipient. Le major problème de cette dernière c'est la durée de vie qui n'est pas très grande, et le temps important qu'elle prend pour se charger.

On distingue deux grandes familles de systèmes de stockage électrique direct :

- Les accumulateurs :

Ils stockent l'énergie par transformation de l'énergie chimique. Les accumulateurs sont constitués de deux couples électrochimiques composés de deux électrodes, immergées dans un électrolyte. Dès qu'interviennent des réactions d'oxydation ou de réduction qui échangent des électrons, les ions générés circulent dans l'électrolyte. Pour disposer d'une grande énergie stockée, il faut d'une part un nombre important d'électrons échangés, une réaction associant, un élément très oxydant et un élément très réducteur et d'autre part, il faut une parfaite réversibilité des processus électrochimiques ainsi que des matériaux de faible masse ou volume molaire [8].

- Les super-condensateurs :

Ils stockent l'énergie électrique sous forme électrostatique, Le principe général de fonctionnement des super-condensateurs repose sur la formation d'une double couche électrochimique à l'interface d'un électrolyte et d'une électrode polarisable de grande surface spécifique. L'application d'une différence de potentiel aux bornes du dispositif entraîne le stockage ionique de charges aux deux interfaces électrode-électrolyte qui se comportent comme deux condensateurs en série. Les super-condensateurs sont caractérisés par une énergie spécifique 10 à 20 fois plus faible que celle des accumulateurs, mais leur puissance spécifique peut être jusqu'à 10 fois plus élevée que celle des batteries au plomb par exemple [9].

Les batteries les plus utilisées dans les véhicules électriques sont celles constituées d'accumulateurs, par exemple les batteries au plomb, qui n'ont jamais quitté la scène depuis plus d'un siècle, et les accumulateurs Nickel/Cadmium et les batteries lithium-ion ou li-ion qui sont plus récentes, d'une densité énergétique beaucoup plus supérieure à celle des batteries plomb/acide, et les accumulateurs Nickel/ Métal Hydrure qui peuvent stocker deux fois plus d'énergie que les batteries au plomb et 35 % de plus que les Nickel/Cadmium à poids égal.

Des nombreux travaux [10], [11] proposent d'utiliser les super-condensateurs au sein des véhicules électriques. L'utilisation des Super-condensateurs permet essentiellement de faire fonctionner la batterie à un régime nominal de fonctionnement et donc d'augmenter sa durée de vie.

L'utilisation des super-condensateurs dans le cadre du secteur automobile, répondent particulièrement aux besoins suivants :

- Démarrage et contraintes à basse température.
- Assistance à l'accélération et récupération d'énergie.
- Alimentation des organes auxiliaires.

I.4.2. Le système de propulsion électrique :

Le système de propulsion électrique se compose d'un ou plusieurs moteurs électriques dont la puissance totale peut aller de 15 kW à plus de 400 kW, selon la taille du véhicule, l'usage et les performances recherchées, exemple pour une petite berline 4 places : 48 kW (65 CV). Il se compose aussi de convertisseurs de puissance et de leurs commandes.

I.4.2.1. Moteur électrique :

C'est un composant très simple au cœur de la voiture électrique, il joue sur les forces d'interactions (vecteurs forces) entre un électroaimant et un aimant permanent. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique qui provient de la source, en énergie mécanique utilisée pour propulser le véhicule durant les phases de traction, ou inversement l'énergie mécanique en énergie électrique lors des phases de freinage, pour permettre la récupération d'énergie (régénération).

Lors du freinage, la chaîne mécanique devient en partie la source de puissance, et la source d'énergie principale (batterie) devient le récepteur.

I.4.2.2. Convertisseur de puissance :

Le convertisseur de puissance est utilisé pour alimenter le ou les moteurs électriques dans les limites admissibles de tension et de courant. Actuellement il existe une grande diversité de structures envisageables pour les véhicules électriques. Dans ces applications, la structure se décompose en deux parties avec des rôles différents, DC et AC. Il faut utiliser des convertisseurs DC/DC, des convertisseurs DC/AC ou des convertisseurs AC/DC.

Les deux types de convertisseurs sont couplés via un bus continu et la distribution de l'énergie électrique dans les véhicules électriques est réalisée par le bus DC.

Les principaux composants dans les convertisseurs de puissance sont les semi-conducteurs.
[12]

Les semi-conducteurs de puissance actuels peuvent être classés en trois catégories :

- Diode, état fermé ou ouvert contrôlé par le circuit de puissance.
- Thyristor, fermé par un signal de commande, mais doit être ouvert par le circuit de puissance.
- Transistor (Interrupteur commandable à l'ouverture et à la fermeture) ouvert et fermé par un signal de commande.

I.4.2.3. Commande des convertisseurs de puissances :

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. [13]

Le système de contrôle-commande fournit des signaux de commande et des références à poursuivre en couple ou en vitesse suivant les desiderata du conducteur et de la mission pour permettre la bonne gestion de tous les composants qui constituent le système de propulsion électrique.

I.4.3. Les Auxiliaires :

Il s'agit de tous les équipements électriques, pneumatiques et hydrauliques qui ne participent pas à la traction du véhicule. Comme la voiture thermique, la voiture 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.

Dans le tableau I.1, nous listons la consommation des auxiliaires répertoriés dans la majorité des véhicules électriques. [13]

Ordres de grandeur De puissances électriques	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

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

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.

La figure I.3 présente les différents éléments qui le composent le véhicule électrique et son fonctionnement.

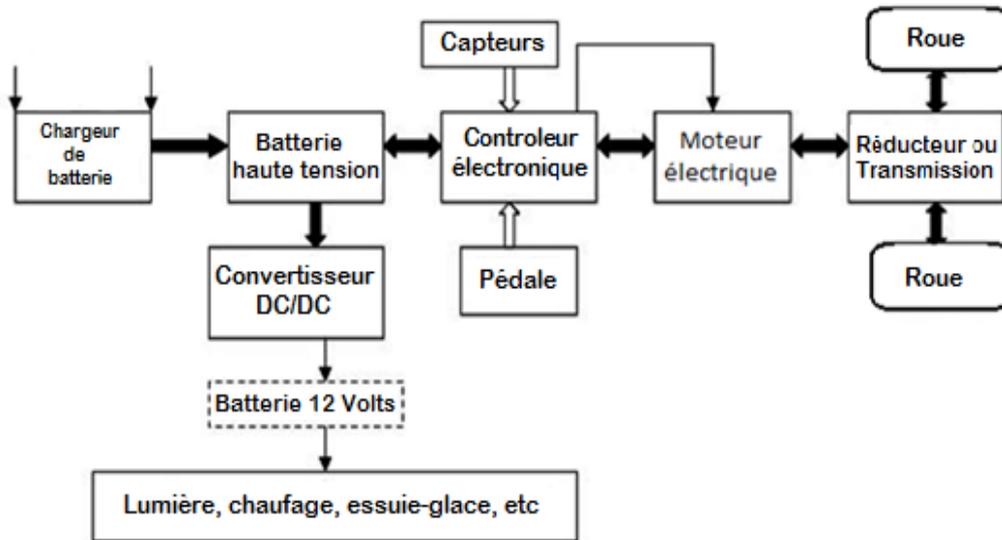


Figure I.3 : Schéma des composantes et de fonctionnement d'un véhicule électrique.

La voiture électrique fonctionne à partir des trois éléments principaux dont elle est constituée : la batterie, le ou les moteurs électriques et le système de commande.

Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont elles mêmes rechargées par un chargeur à partir d'une source extérieure pendant les périodes de repos. Cette dernière est connectée au moteur électrique par l'intermédiaire d'un contrôleur et d'un convertisseur continu/continu (DC/DC).

L'énergie des batteries est donc envoyée vers le contrôleur électronique et le convertisseur continu/continu (DC/DC). Le contrôleur sert à régler l'intensité du courant qui alimente le moteur.

Du convertisseur DC/DC, l'énergie est transformée et envoyée vers une batterie 12 volts si présente ou directement aux accessoires.

Du contrôleur, l'énergie est envoyée au moteur pour être convertie en mouvement qui passe dans un réducteur ou une transmission vers les roues.

En phase de décélération, l'électronique fait fonctionner le ou les moteurs électriques en générateurs, l'énergie délivrée par ces générateurs est utilisée pour recharger la batterie. Ainsi la consommation d'énergie est réduite.

I.5. 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.5.1. 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).

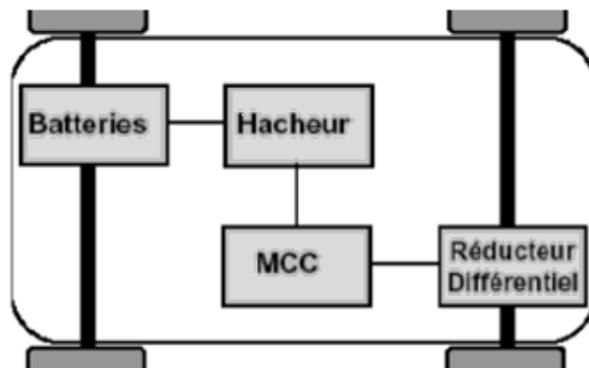


Figure I.4 : Architecture d'un véhicule électrique mono moteur.

I.5.2. 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.

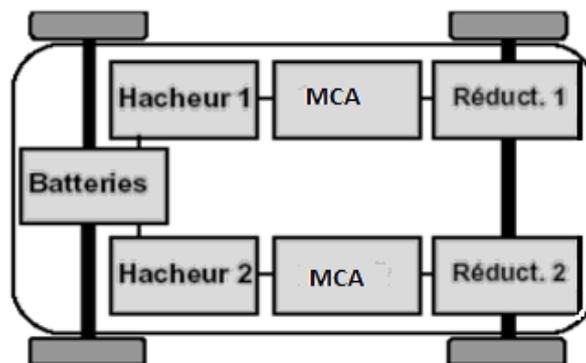


Figure I.5 : Architecture d'un véhicule électrique bi moteur.

I.6. Les différents modes de charge pour véhicules électriques :**-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.

-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.

-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.

-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)

I.7. Les avantages des véhicules électriques :

Il est très connu que les voitures thermiques qu'elles soient essence ou diesel polluent l'atmosphère d'une manière très excessive, elles rejettent d'abord du gaz carbonique: le CO₂, bien entendu, une voiture thermique lorsqu'elle parcourt un kilomètre elle rejette 217 gramme du gaz carbonique dans l'atmosphère, Elle rejette également l'oxyde carbone du symbole CO qui est un vrai poison ainsi le NO, SO₂ et d'autres particules de poussières, en revanche, une voiture électrique nous permet d'éviter tout ces gaz, et nous permet de rouler sans polluer notre environnement, ce qui est considéré comme étant le principale avantage des véhicules électriques.

En plus d'être écologique, le véhicule électrique est économique, il ne consomme pas d'énergie pendant les phases de ralenti, et les batteries se rechargent pendant les phases de décélération. Et les dépenses d'entretien sont réduites (pas de vidange ni de filtre).

Le véhicule électrique est un véhicule très fiable, son moteur électrique est quasi-incroyable, et aussi un véhicule agréable à conduire puisque le moteur ne cale jamais.

I.8. Les points faibles des véhicules électriques :

Bien que le véhicule électrique présente de nombreux avantages, mais possède aussi des points critiques :

La voiture électrique n'est réellement propre que si l'électricité dont elle se sert pour fonctionner est produite à partir des énergies propres (dans un barrage hydraulique, énergie éolienne, énergie solaire,...), par contre, si elle est produite dans une centrale thermique, qui fonctionne au charbon, alors c'est comme si la voiture électrique rejetait 350g de gaz carbonique par kilomètre, De plus, la batterie risque d'être polluante et très dangereuse.

La faible autonomie, et la petite durée de vie des batteries, représentent les principaux problèmes de ce type de véhicule. En effet, leur densité de puissance exprimée en W/kg est limitée et leur durée de vie est directement liée aux contraintes qui leur sont appliquées.

Le prix important des véhicules électriques, ainsi celui des batteries et leurs entretiens, représente aussi un des grands problèmes en ce qui concerne l'économie, La voiture revient

donc assez chère, ce qui n'encourage pas beaucoup à en faire l'acquisition lorsque l'on se base sur ses performances.

Le volume du coffre est plus petit que celui du véhicule thermique comparable, en raison du volume des batteries placées pour l'instant sous le plancher, une conception nouvelle du véhicule électrique permettra de porter remède à cet inconvénient.

Son moteur silencieux n'est pas seulement un avantage, c'est un inconvénient lorsque il s'agit de la sécurité puisque il n'est pas toujours bien entendu par les usagers faibles de la route (motards, cyclistes, piétons). Le problème se pose notamment en zone urbaine (à plus de 60 km/h, le bruit des pneumatiques domine celui du moteur).

I.9. Performances des véhicules électriques :

Si on les compare directement aux véhicules thermiques actuels, dont la technologie n'a cessé d'évoluer depuis plus d'un siècle de façon continue, il est clair que les véhicules électriques sont largement perdants en termes de performances. Les véhicules électriques "purs" sont clairement cantonnés à une utilisation citadine à l'heure actuelle, utilisation dans laquelle ils font merveille. Pour les longs trajets à vitesse soutenue, on leur préférera dans un premier temps les véhicules hybrides qui sont plus aptes à ce genre d'exercice.

La faible performance des véhicules électriques a pour cause première la capacité de leurs batteries. Les batteries au plomb qui équipent actuellement bon nombre de véhicules électriques peuvent emmagasiner au maximum 40 Wh/kg d'énergie électrique, ce qui est infime à côté de la densité d'énergie de l'essence (environ 13.000 Wh/kg). Néanmoins, le moteur électrique transforme la puissance électrique en couple avec un rendement à peu près trois fois supérieur au taux de conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique dans un moteur thermique. Et ce avec un bruit de fonctionnement quasi nul !

En plaçant dans un véhicule électrique des batteries d'un poids qui représente quelque dix fois le contenu du réservoir d'un véhicule à essence, on peut en augmenter l'autonomie de croisière pour atteindre entre le quart et le dixième de celle de ce dernier. En effet, si on prend le cas d'un véhicule équipé de 344 kg de batteries au plomb ayant une densité d'énergie théorique de 42 Wh/kg, on dispose de 14,4 kWh d'énergie emmagasinée. C'est le contenu

énergétique de 1,85 litre d'essence seulement. Même en tenant compte du rapport des rendements énergétiques entre moteur électrique et moteur thermique, l'équivalent n'est jamais que de 5,5 litres.

De plus, le chauffage et le refroidissement de l'habitacle d'un véhicule électrique consomment entre 20 et 30 % de l'énergie stockée dans les batteries, ce qui ampute encore l'autonomie. C'est la raison pour laquelle de nombreux véhicules électriques sont pourvus de systèmes de chauffage auxiliaire fonctionnant au carburant liquide, essence ou autre.

Enfin, les performances des véhicules électriques se trouvent limitées par un autre facteur : la puissance des batteries, autrement dit la quantité d'énergie que la batterie est capable de débiter par unité de temps.

Pour les véhicules électriques se pose également le problème du temps qu'il faut pour charger les batteries. Le temps standard de recharge des batteries d'un véhicule électrique branché sur une prise secteur classique (courant de recharge typique : 16 A) varie de 6 à 10 heures. Ce facteur, joint à la faiblesse de la distance que les véhicules électriques peuvent effectuer sur une seule charge, a pour effet de limiter les utilisations possibles. On perd par-là l'intérêt principal des véhicules à moteur thermique, qui sont disponibles n'importe quand pour se rendre n'importe où.

I.9.1. La distance parcourue avant d'avoir à recharger le véhicule électrique :

La distance pouvant être parcourue peut bien sûr varier en fonction des conditions routières et des habitudes de conduite, mais la moyenne observée à ce jour va de 140 à 450 km d'autonomie théorique selon la marque de voiture. Les conducteurs de véhicules électriques finissent par adopter des habitudes de conduite par exemple, laisser la voiture perdre naturellement de la vitesse jusqu'à un arrêt, ce qui permet de réduire la consommation électrique et de parcourir des distances nettement plus grandes avant d'avoir besoin de recharger.

I.9.2. La vitesse maximale d'un véhicule électrique :

Cela dépend grandement de la marque et du modèle du véhicule, ainsi que du type de moteur électrique qui le propulse. En général, les véhicules électriques conçus pour aller sur les autoroutes atteignent une vitesse maximale avoisinant les 140 km/h et présentent un taux d'accélération semblable ou supérieur à celui des véhicules à moteur à combustion interne.

Tout comme les sous-compactes à moteur thermique, les véhicules électriques plus petits atteignent une vitesse et présentent un taux d'accélération moins élevés.

I.9.3. Les normes de sécurité dans les véhicules électriques :

Comme c'est le cas pour tous les véhicules à moteur à combustion interne, les constructeurs de véhicules électriques doivent respecter toutes les normes fédérales en matière de sécurité. De plus, puisque les constructeurs accordent une grande importance au succès et à la durabilité de l'industrie des véhicules électriques, ils ont tout intérêt à ce que la sécurité de ces véhicules constitue une priorité. Selon des essais réalisés par la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), le Tesla Model S a reçu la cote la plus sécuritaire jamais accordé à un véhicule en 2014

I.9.4. La durée de vie d'une batterie et le coût de remplacement

Les batteries des véhicules électriques sont couvertes par une garantie de fabrication de 8 ans, mais elles ont généralement une durée de vie beaucoup plus grande. Actuellement, le prix de remplacement des batteries est effectivement élevé (environ le tiers de la valeur du véhicule), mais on s'attend à ce que ce prix baisse grandement dans les prochaines années.

I.9.5 La performance d'un véhicule électrique en hiver :

Le principal effet du froid sur les véhicules électriques est de réduire la distance qu'ils peuvent parcourir. Un véhicule a été testé par temps chaud : il pouvait alors parcourir 155 km. Sa moyenne en hiver se réduisait à 100 km d'autonomie, et même à 75 km par temps très froid (-25 °C). [14]

I.10. 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. [15]

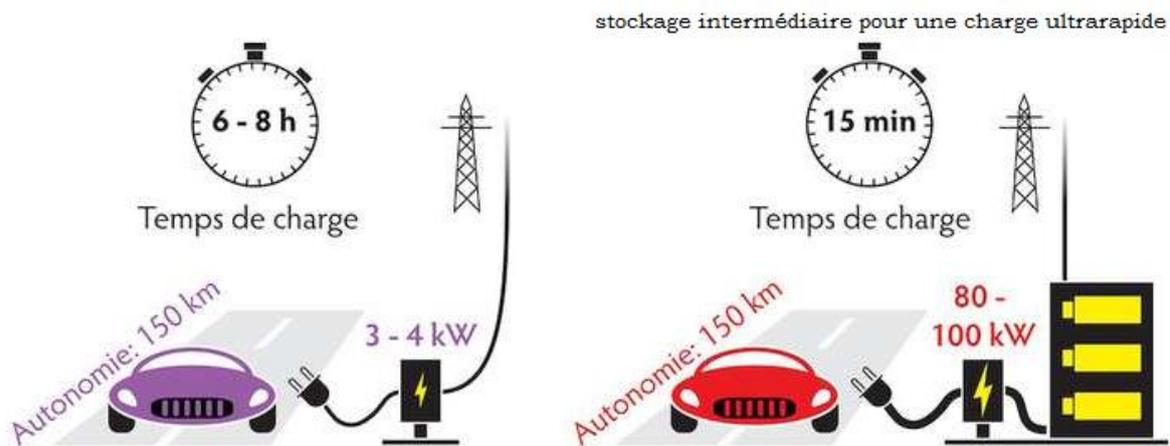


Figure I.6: Les différents modes de charge proposés.

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. [16]

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.

I.11. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art sur les véhicules électriques, un bref historique et les éléments qui composent ce genre de véhicule a été présenté au premier lieu, les avantages et les inconvénients ont été aussi discutés.

Les véhicules électriques, étant écologiques et propres, vont certainement être le nouveau moyen de transport qui va prendre une place de plus en plus importante au marché dans un avenir proche, et vont donc remplacer dans les prochaines années les voitures thermiques qui sont beaucoup trop polluantes, et surtout non éternelles.

La production d'énergie nécessaire au fonctionnement et à la fabrication des véhicules électriques, prennent part au réchauffement climatique, ce qui nous permet de dire que finalement la voiture électrique n'est pas aussi écologique, sauf si cette dernière est produite à partir des énergies renouvelables, comme l'énergie solaire ou hydraulique.

Plusieurs architectures de véhicules électriques sont actuellement possibles et présentent des performances et des fonctionnalités variées.

Les points qui bloquent l'arrivée complète du véhicule électrique sont aujourd'hui connus, les constructeurs proposent des solutions très performantes en termes de technologie et de puissance malgré cela, certains points demandent encore à être améliorés pour permettre la réelle immersion du véhicule électrique au sein des populations, notamment en ce qui concerne l'autonomie, le prix et les infrastructures indispensables à son expansion, ainsi des réaménagements qui ne semblent pas être envisageables à court terme.

CHAPITRE II

Structure de charge

II.1. 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. [3]

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.

II.2. Stockage d'énergie :

La source de stockage d'énergie est la batterie bien évidemment, cette dernière, est associée à un convertisseur continu/continu qui doit être bidirectionnel.

Le stockage de l'énergie est un obstacle majeur à une vaste adoption des véhicules électriques. La densité énergétique des batteries est inférieure à celle des produits pétroliers ce qui résulte en un poids supérieur pour une autonomie moindre.

Le coût des batteries et leur rechargement bien plus long qu'un passage à la pompe à essence est encore un autre frein.

II.2.1. La batterie :

La batterie est un système de stockage d'électricité sous forme chimique, pouvant fonctionner de manière réversible (en courant pas en tension), caractérisée par sa capacité et son énergie massique, a fin d'alimenter le véhicule d'une façon permanente. L'énergie chimique stockée dans chaque pile est convertie directement en énergie électrique lorsque les bornes de la batterie sont connectées à un consommateur électrique.

La figure II.1 représente la vue interne d'une batterie utilisée dans les véhicules électriques.

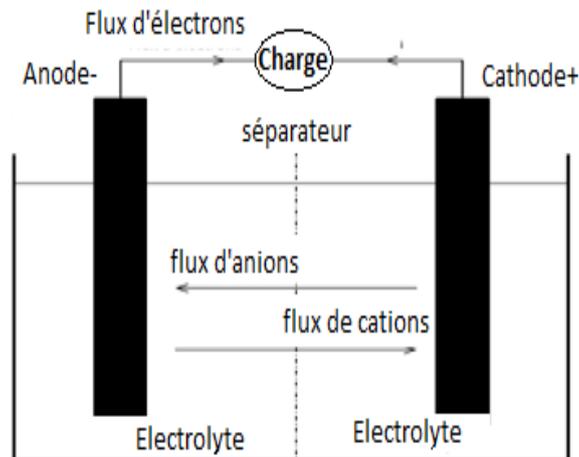


Figure II.1. La vue interne d'une batterie.

Le principe de fonctionnement de celle-ci est que la réaction chimique entre les électrodes et l'électrolyte provoque une oxydoréduction. Dans ce cas, l'électrode négative subit une oxydation, c'est-à-dire que la réaction chimique libère des électrons, tandis que l'électrode positive subit une réduction, autrement dit elle absorbe des électrons. Ce déséquilibre des charges électriques génère la F.E.M (Force électro Motrice) de l'accumulateur. [17]

Il existe des batteries de différentes formes (structure ou technologie), par contre l'utilisation de ces différentes technologies dans les voitures électriques doit respecter certaines conditions [18], parmi lesquelles :

- Une bonne puissance massique (rapport puissance /poids en W/kg) permettant des accélérations importantes.
- Une bonne énergie massique (Wh/kg) synonyme d'une bonne autonomie.
- Une tension stable engendrant des performances régulières.
- Une durée de vie élevée, calculée en nombre de cycles charge/ décharge, conduisant à une diminution du coût pour l'utilisateur.
- Entretien faible et recyclable.

II.2.1.1. Les différents types de batteries :

Il existe différents types de batteries disponibles à l'heure actuelle sur le marché mais aucune d'elles ne parvient à égaler ou surpasser la densité énergétique des carburants fossiles.

- La batterie Plomb Acide :

C'est la plus ancienne des technologies de batteries et la moins onéreuse actuellement. Inventée en 1859 par le français Gaston Planté et améliorée en 1881 grâce au luxembourgeois Henri Owen Tudor qui la rend plus robuste et efficace en remplaçant les feuilles de plomb baignant dans de l'acide sulfurique par des plaques de plomb enduites d'une pâte active.

Lors de sa charge une batterie au plomb dégage de l'oxygène et de l'hydrogène, la boîte n'étant pas fermée hermétiquement, la batterie doit être utilisée à plat et le niveau d'eau ajusté régulièrement. D'autre part les vapeurs et/ou projections d'acide sulfurique provoquent de la corrosion si l'emplacement de la batterie n'est pas entretenu (avec de l'eau et bicarbonate de soude). Ce type de batterie supporte très mal la décharge complète et la surcharge, elles sont faites pour rester chargées en permanence.

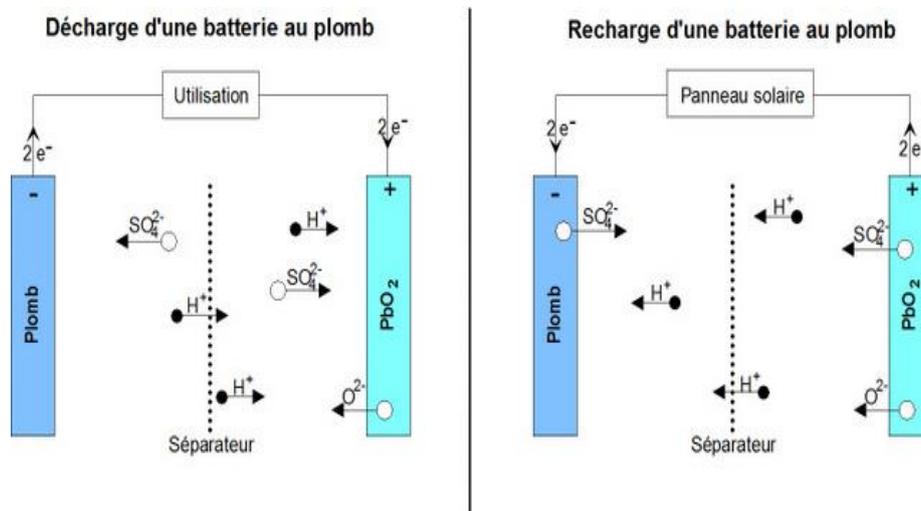


Figure II.2. Recharge et décharge d'une batterie au plomb.

- Les batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd) :

C'est une technologie très ancienne aussi, inventée par le suédois Waldemar Jungner en 1899. Elle était très répandue pour les appareils électriques nécessitant un courant électrique important comme les téléphones portables ou les appareils photos numériques. Ce type de

batterie a une longévité assez importante (environ 1000 cycles) Mais le passage aux puissances et aux tailles de batteries exigés pour la motorisation automobile pose des problèmes de fonctionnement et de fiabilité non encore résolus à ce jour.[19]

- **Les batteries Nickel-hydrure Métallique (Nickel-Métal hybride Ni-Mh) :**

C'est la technologie qui a succédé aux batteries Ni-Cd, commercialisée en 1990. Ces batteries ont une architecture similaire aux batteries Ni-Cd pour une densité énergétique doublée mais une résistance supérieure qui impose une phase de rodage des éléments pour débiter de forts taux de courants. C'est une technologie assez fragile car ne supportant pas la surcharge.

Un avantage certain de cette technologie est qu'elle n'a pas d'effet mémoire mais a une capacité d'autodécharge importante. Ce type de batterie est adapté pour une transition vers les voitures électriques mais sa durée de vie n'est pas satisfaisante. La technologie Ni-Mh est la mieux adaptée pour les véhicules électriques grâce notamment à un coût financier qui est plus faible que les batteries Li-ion.

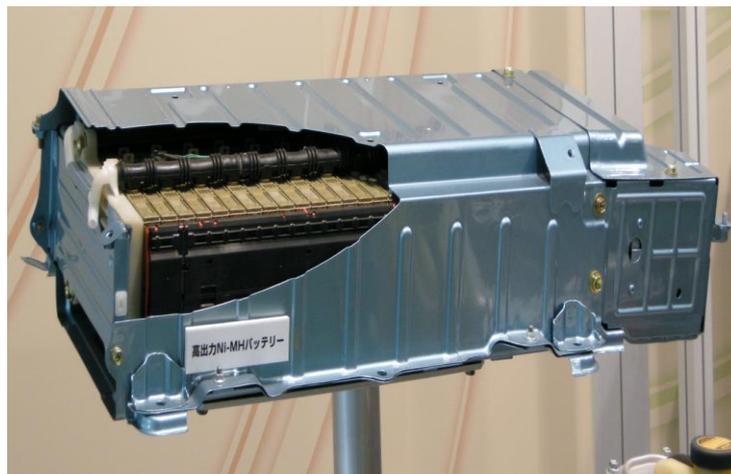


Figure II.3. Batterie Ni-Mh d'une Toyota Prius seconde génération.

- **Les batteries Lithium-ion (Li-ion) :**

Bien que le principe en soit connu depuis les années 1980 les premiers éléments rechargeables au lithium n'ont été commercialisés qu'en 1991. Cela à cause du caractère instable du lithium métallique pendant la phase de charge. Le problème a été résolu en utilisant des ions de lithium. Le lithium-ion (Li-ion) ne présente pas de danger si certaines précautions sont prises lors de la charge. En revanche il y a un risque de surchauffe et d'explosion si elles sont chargées dans de mauvaises conditions, la plupart des fabricants équipent donc leurs blocs de batteries de circuits de protection. Avec un faible taux de décharge dans le temps et sans effet

mémoire, cette batterie offre une densité énergétique importante (le double du Ni-Mh) mais une durée de vie inférieure aux batteries Ni-Mh. [19]

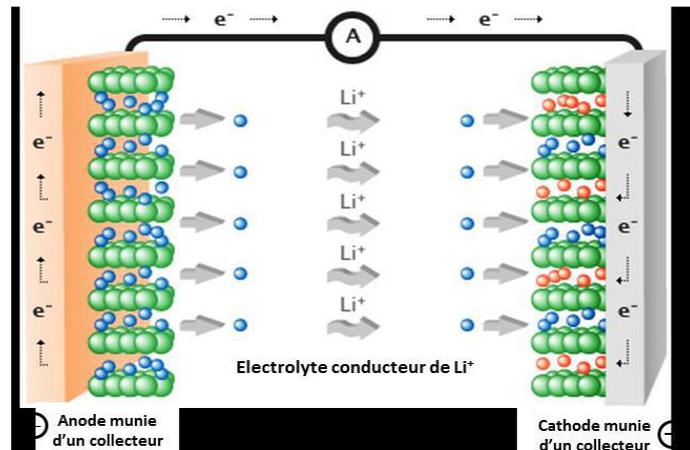


Figure II.4. Principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion. [7]

- Les batteries Lithium-ion Polymère (Li-po) :

Depuis 1999 est apparue une nouvelle génération d'accumulateurs Li-ion : Le Lithium ion Polymère (Li-po). L'électrolyte est un polymère gélifié qui permet d'obtenir des éléments très fins et plats pouvant prendre toutes les formes possibles. Encore chère aujourd'hui cette technologie récente est promise à beaucoup d'avenir. Elle doit, à terme, revenir moins chère à la réalisation que le Li-ion classique.

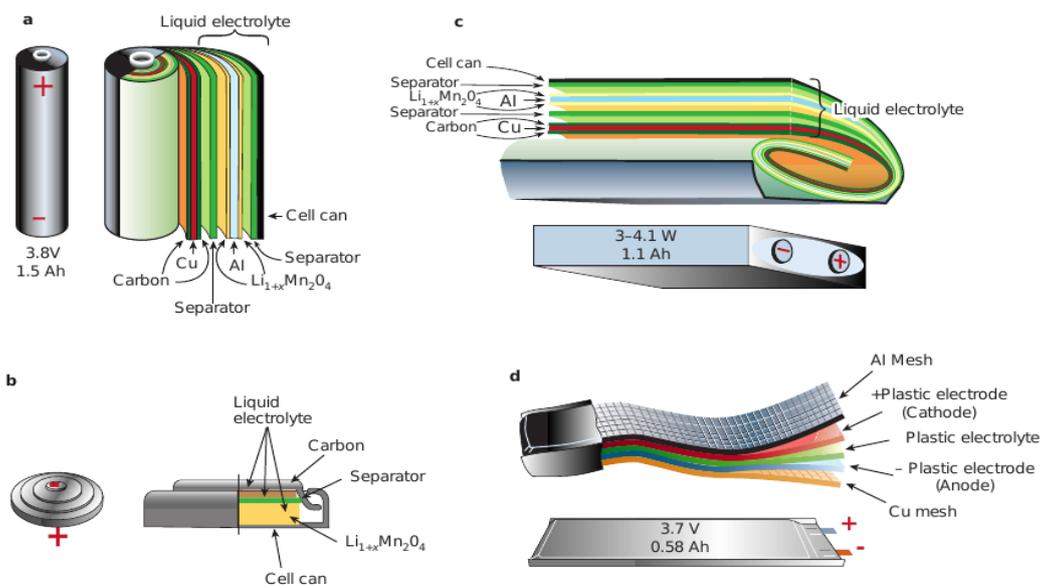


Figure II.5. Schémas représentant les différents designs de batteries Li-ion actuelles:

a) cylindrique, b) plate, c) prismatique et d) mince et plate. [20]

Le tableau II.1 présente les différentes caractéristiques pour différents types de batteries utilisées dans les véhicules électriques.

Batterie	Plomb Acide	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion	Li-po
Densité énergétique (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	160-200	100-130
Nombre de cycles (Charge décharge)	500 à 800	1000 à 2000	600 à 1500	400 à 1200	400 à 600
Temps de charge	6 à 12h	1h à 2h	2 à 4h	2 à 4h	2 à 4h
Température de Fonctionnement	-20 à 60°C	-40 à 60°C	-20 à 60°C	-20 à 60°C	0 à 60°C

Tableau II.1. Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles. [20]

La batterie influe directement sur les performances et l'autonomie du véhicule électrique. Aujourd'hui, l'invention des batteries lithium ou li-ion a permis d'améliorer les caractéristiques techniques des véhicules électriques puisque le lithium permet de stocker énormément de charges électriques sous forme d'ions sur les électrodes et de manière très compacte. Cette dernière assure une autonomie de 100 à 200 km environ pour un temps de charge d'une demi-heure à plusieurs heures.

II.2.1.2. Les risques engendrés par la batterie :

Le manque de sécurité engendre plusieurs risques non négligeables lors de l'utilisation de la batterie tel que :

- Un court-circuit pourrait se produire en cas de choc, ce qui présente un danger direct pour les passagers (incendie, explosion, électrocution, etc.).
- Une batterie en mauvais état serait susceptible de provoquer un incendie.
- Autre risque, celui de la surcharge de la batterie au lithium, qui pourrait ainsi entraîner son implosion. Une cellule de la batterie (l'unité de base) qui se dégrade provoquerait un effet domino avec les autres cellules qui prennent feu aussitôt.
- La combustion des cellules de la batterie pourrait provoquer l'émission de substances chimiques nocives pour l'homme, ce qui peut provoquer la mort.

II.2.1.3. Modélisation de la batterie :

Dans notre étude, la batterie est modélisée comme un générateur de tension parfait en série avec la résistance interne de la batterie, comme dans la figure II.6

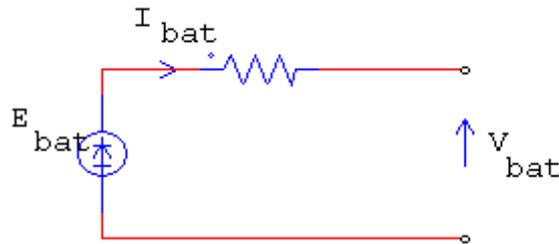


Figure II.6. Circuit équivalent de la batterie (pour une cellule),
Modèle statique.

Pour calculer la tension de la batterie on utilise l'équation suivante :

$$V_{bat} = E_{bat} - R_{bat} * I_{bat} \tag{II.1}$$

Tel que : E_{bat} est la tension à vide, R_{bat} est la résistance interne, et I_{bat} est le courant fourni par la batterie.

Comme nous pouvons observer dans l'Equation (II.1) la résistance interne de la batterie dépend du signe du courant. On distingue donc deux cas de résistances, une résistance en charge et une résistance en décharge.

II.2.1.4. 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). [7]

$$SOC = \frac{C_{actuelle}}{C_{totale}} = SOC(t_0) - \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_1} i(t)dt \tag{II.2}$$

Où, $SOC(t_0)$ 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 : $DOD = 100 - SOC$.

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.7 représente le schéma qui montre les différents convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques.

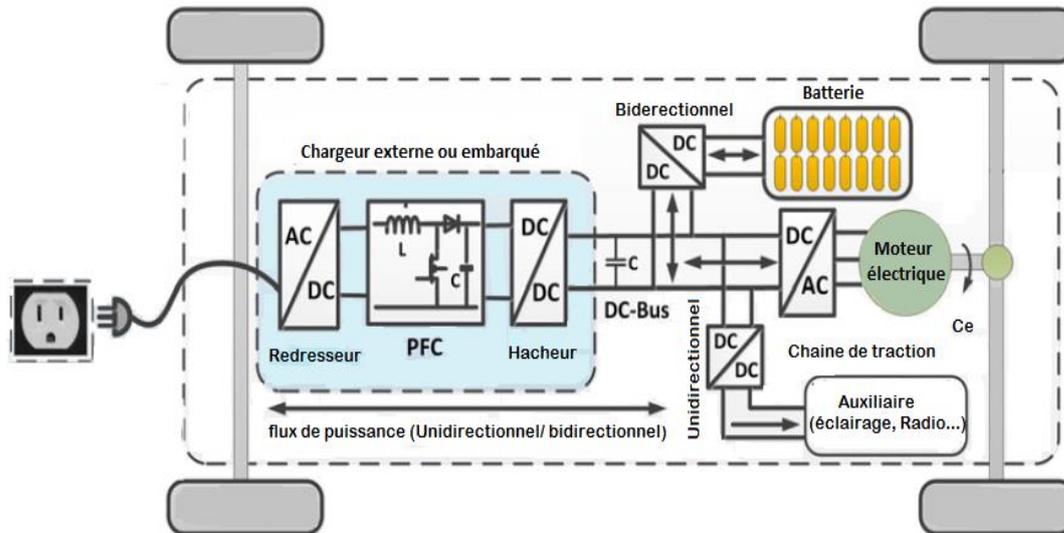


Figure II.7. Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique.

II.3.1. Convertisseur alternatif/continu (redresseur) :

Les redresseurs sont des convertisseurs d'énergie qui transforme une source électrique à courant alternatif en une source électrique à courant continu. Nous pouvons distinguer [21] :

- 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.

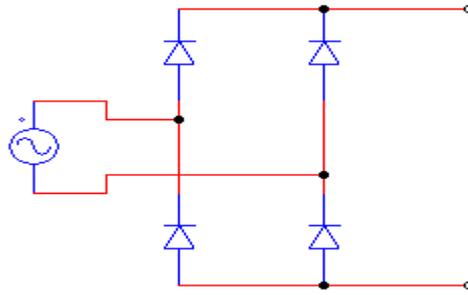


Figure II.8. Schéma détaillé d'un redresseur.

II.3.2. 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.3.3. Convertisseur continu/continu (le 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.9

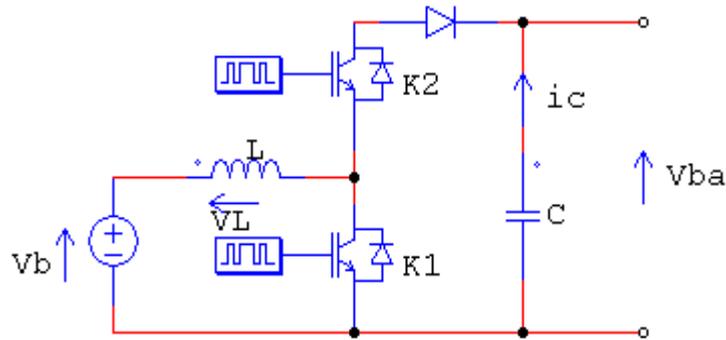


Figure II.9. Schéma détaillé d'un Hacheur élévateur bidirectionnel.

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.3.4. 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).

II.4. Chargeurs de batteries :

Le chargeur de batterie est aussi important que tout les autres composantes des véhicules électriques, ce dernier joue le rôle de la ‘station service’. Pour cela plusieurs systèmes de recharge ont alors été conçus. Il s’agit d’une part des chargeurs de type externe (off-board) appelés chargeurs "inductifs". Et d’autre part des chargeurs de type embarqué (on-board) autrement dit chargeurs ‘conductifs’.

- Chargeur externe :

Installé à l’extérieur du véhicule, l’énergie électrique est fournie directement au véhicule à partir d’un mode de connexion choisi par l’utilisateur (prise domestique, prise domestique et câble équipés d’un dispositif de protection, prise spécifique sur un circuit dédié, Connexion courant continu). Les chargeurs externes réutilisent les éléments de la chaîne de propulsion du véhicule pour recharger les batteries.

- Chargeur embarqué :

Intégré au sein du véhicule, l’énergie électrique délivrée par le réseau est transmise au véhicule. Ils sont dotés d’un dispositif totalement indépendant de la chaîne de traction électrique, Cette configuration ne nécessite pas de convertisseur supplémentaire au sol.

II.5. Présentation des 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.5.1. Chargeur de type rapide :

Les chargeurs de type rapide sont les structures dont la puissance transmise est supérieure à 10KW, La puissance maximale atteint aujourd’hui est 150 kW. [22]

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.5.1.1. 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 / 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 [23]. 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". [24].

II.5.1.2. 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.5.2. 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 :

II.5.2.1. 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 [1] ou quasi-sinusoïdale [2] 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.

II.5.2.2. 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 II.2 présente les caractéristiques des différents 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 10KW	400 V	16 A
	3 à 4 heures	Monophasée 7KW	230 V	32 A
rapide	1 à 2 heures	Triphasée 22 KW	400 V	32 A
	20 à 30 min	Triphasée 43KW	400 V	63 A
	20 à 30 min	Continue 50Kw	400 à 500 V	100 à 125 A

Tableau II.2 : Tableau comparatif des types de charge. [25]

II.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. [26]

II.6.1. 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.10 présente le schéma d'un chargeur unidirectionnel.

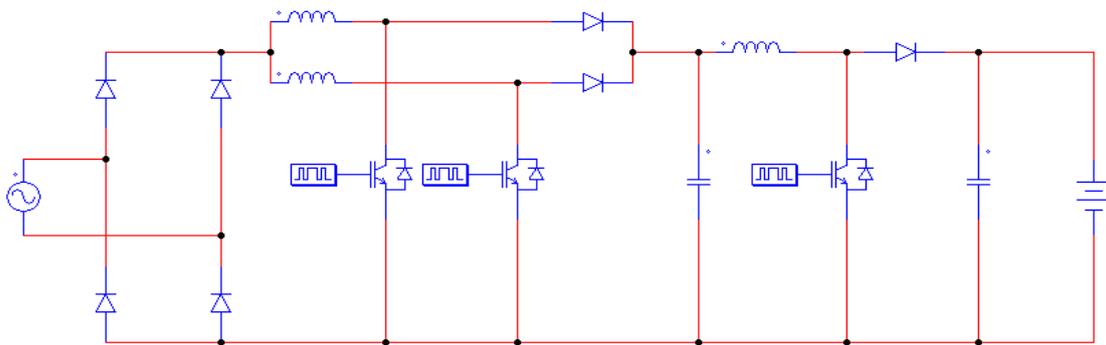


Figure II.10. Chargeur unidirectionnel

II.6.2. 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 peut charger et injecter l'énergie dans le réseau électrique. La figure II.11 représente le schéma d'un chargeur intégré bidirectionnel.

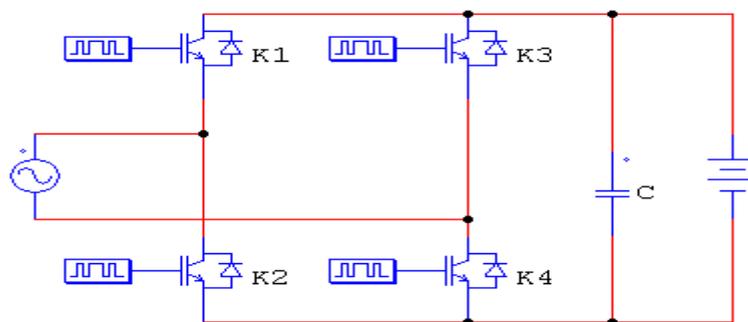


Figure II.11. Chargeur intégré bidirectionnel.

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de batteries ainsi les différents types de chargeurs.

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.

CHAPITRE III

Modélisation et simulation

III.1. Introduction :

L'objectif de cette partie est de présenter une modélisation ainsi qu'une simulation des différents composants d'un véhicule électrique en utilisant le logiciel PSIM.

Les composants essentiels considérés sont les convertisseurs qui sont connectés au sein du véhicule électrique.

Pour établir le modèle du véhicule, on considère chaque élément de façon séparée.

III.2. Simulation du redresseur :

Le schéma détaillé d'un redresseur utilisé pour la simulation est présenté dans la figure III.1

La résistance utilisée est à 12Ω .

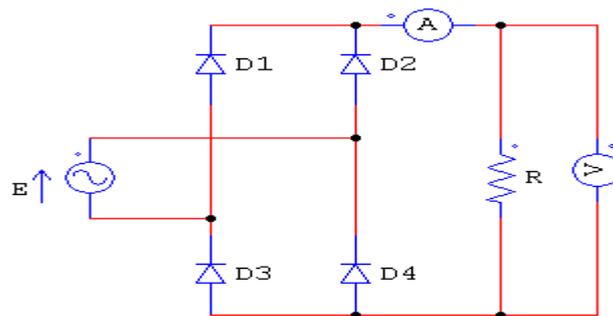


Figure III.1. Schéma détaillé d'un redresseur

Résultats obtenus :

D1 et D4 passantes et D2 et D3 bloquées :

$$I=I1=I4 \geq 0, U_{D1}=U_{D4}=0$$

$$E=RI \geq 0$$

D1 et D4 bloquées et D2 et D3 passantes :

$$I=I2=I3 \geq 0, U_{D2}=U_{D3}=0$$

$$E=-RI \leq 0$$

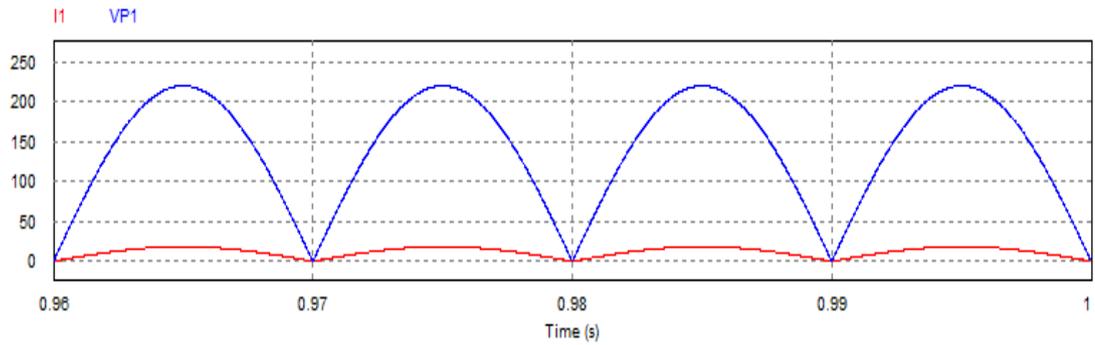


Figure III.2. Signaux caractéristiques de la sortie d'un redresseur

Dans les chargeurs utilisés pour les véhicules électriques on associe un PFC comme le montre la figure III.3

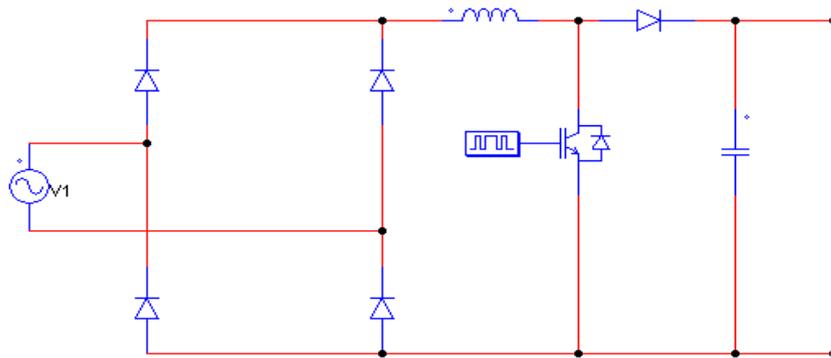


Figure III.3. Schéma du redresseur associé au PFC.

Le but du PFC est de protéger le réseau, puisque le redresseur représente une source de pollution pour le réseau.

III.3. Modélisation du Hacheur :

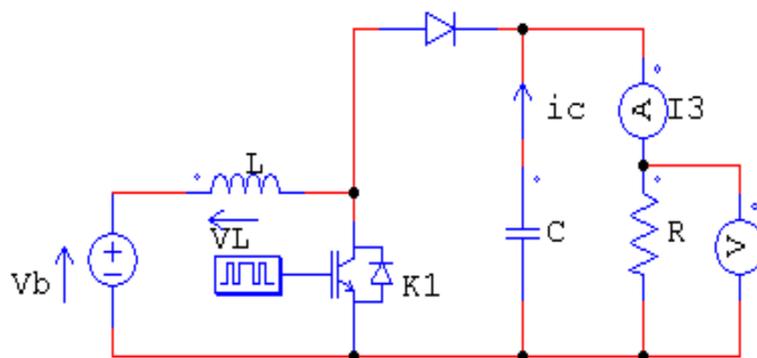


Figure III.4. Schéma détaillé d'un hacheur.

Dans notre étude, le hacheur utilisé est composé d'un transistor IGBT, et une bobine, branchés comme présenté dans la figure III.4.

Pour contrôler l'ondulation du courant dans l'inductance L, il faut étudier les deux états de l'interrupteur K1 : [15]

a. K1 fermé :

Lorsque K1 est fermé, la tension aux bornes de l'inductance et le courant traversant le condensateur sont égaux à :

$$V_L = V_B \quad (III.1)$$

$$i_c = -V_B/R \quad (III.2)$$

A noter que les ondulations dans le convertisseur sont négligées.

b. K1 ouvert :

Dans ce cas, la tension au borne de l'inductance et le courant traversant le condensateur sont égaux à :

$$V_L = V_b - V_{ba}$$

$$i_c = i_L - V_{ba}/R$$

A noter que les oscillations sont négligées dans ce cas aussi.

Donc :

$$V_L = V_b - V_{ba}$$

$$i_c = i_L - V_{ba}/R$$

Enfin, on peut déduire des équations précédentes la tension aux bornes de l'inductance au cours d'une période de commutation :

$$\int_0^T i_c(t) dt = -\frac{V_{ba}}{R} \cdot a \cdot T + \left(1 - \frac{V_{ba}}{R}\right) \cdot a' \cdot T \quad (III.3)$$

En regroupant les termes semblables et en égalant la dernière équation à zéro, l'équation obtenue est la suivante :

$$-\frac{V_{ba}}{R} \cdot (a + a') + I \cdot a' = 0 \quad (III.4)$$

La résolution de l'équation précédente nous donne le courant traversant le convertisseur :

$$I = \frac{V_{ba}}{R \cdot a'} \quad (III.5)$$

Résultat de la simulation du hacheur :

Les résultats de la simulation du hacheur bidirectionnel utilisé sont présentés sur la figure III.5.

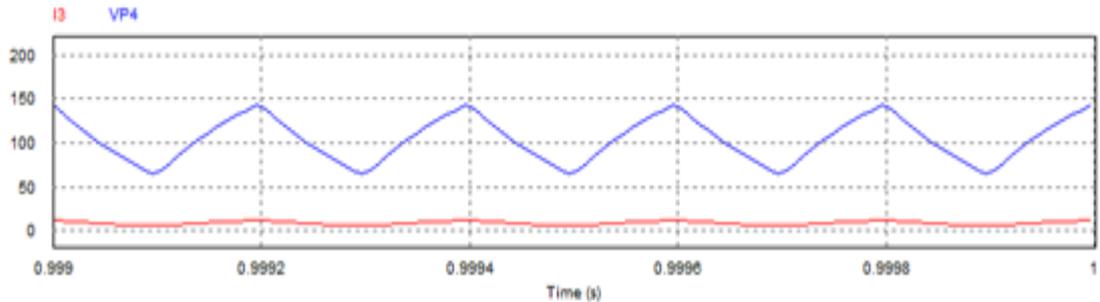


Figure III.5. Résultat de la simulation du hacheur.

III.4. Modélisation de l'onduleur de tension :

Un onduleur est un convertisseur continu - alternatif, il est généralement constitué d'une alimentation continue, d'un circuit de puissance et d'un circuit de commande. Selon la commande adoptée il existe plusieurs types, notons la commande 120°, la commande 180°, et la commande MLI.

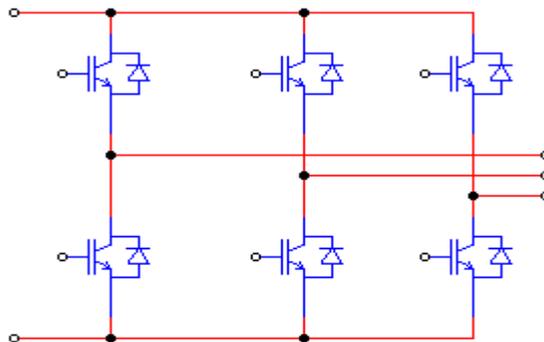


Figure III.6. Circuit de puissance d'un onduleur triphasé.

III.4.1. principe de la commande MLI :

La commande MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) est un signal numérique à période constante mais à rapport cyclique réglable, la tension peut prendre deux valeurs seulement. Dans certains cas très spécifiques (onduleurs à MLI par exemple) on fabrique un troisième niveau en inversant la tension du niveau haut.

Les signaux de commande des interrupteurs de l'onduleur sont déterminés par l'intersection du signal de référence appelé 'modulatrice' avec un signal triangulaire de haute fréquence appelé 'porteuse'. Dans le cas de la MLI triphasée la porteuse est commune pour les trois phases et la modulatrice est propre à chaque phase. On définit deux paramètres caractérisant cette commande

- L'indice de modulation m , égal au rapport f_p/f_r des fréquences de la porteuse et de la référence.
- Le coefficient de réglage en tension r , égal au rapport de l'amplitude de la tension de référence à valeur crête de l'onde de modulation.

La modulation est dite synchrone si f_p est multiple entier de f_r , elle est asynchrone dans le cas contraire. Si le rapport des fréquences f_p à f_r est multiple de trois les signaux de commande pour les trois phases seront les mêmes mais décalés d'un tiers de période.

La commande MLI est utilisée pour l'onduleur car elle permet d'obtenir un courant dont la forme est très proche d'une sinusoïde.

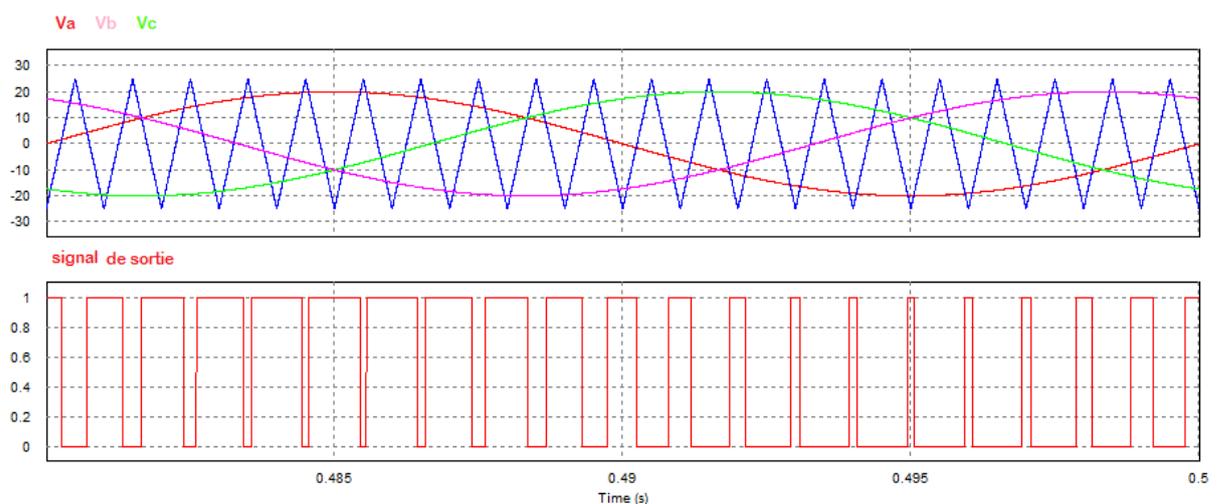


Figure III.7. Principe de la commande MLI naturel.

III.4.2. Simulation d'un onduleur de puissance avec la commande MLI :

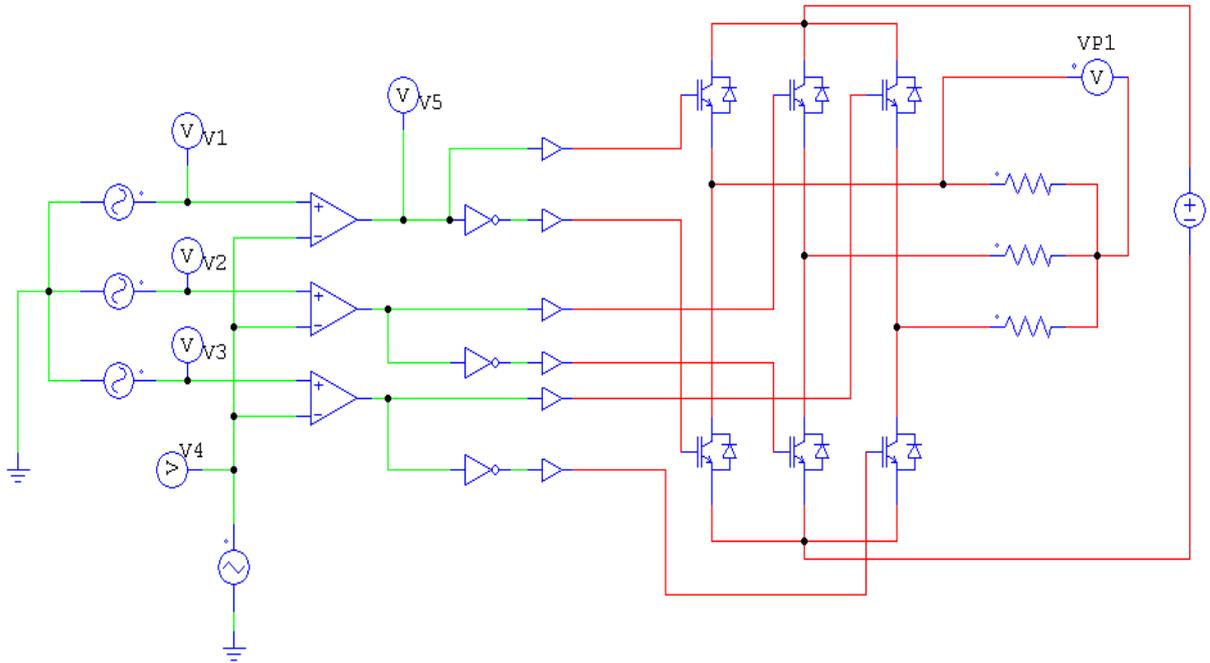


Figure III.8. Circuit de puissance d'un onduleur triphasé avec la commande MLI.

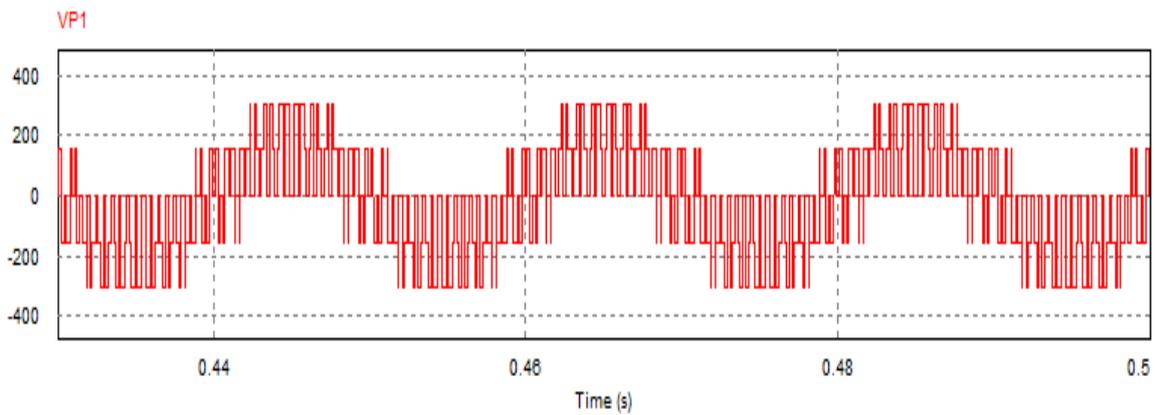


Figure III.9. L'allure de tension a la sortie de l'onduleur.

La figure III.9 présente la tension à la sortie de l'onduleur qui alimente la machine de traction. Ce résultat confirme que la technique MLI est satisfaisante pour la commande de l'onduleur.

III.5. Simulation du schéma globale du véhicule électrique :

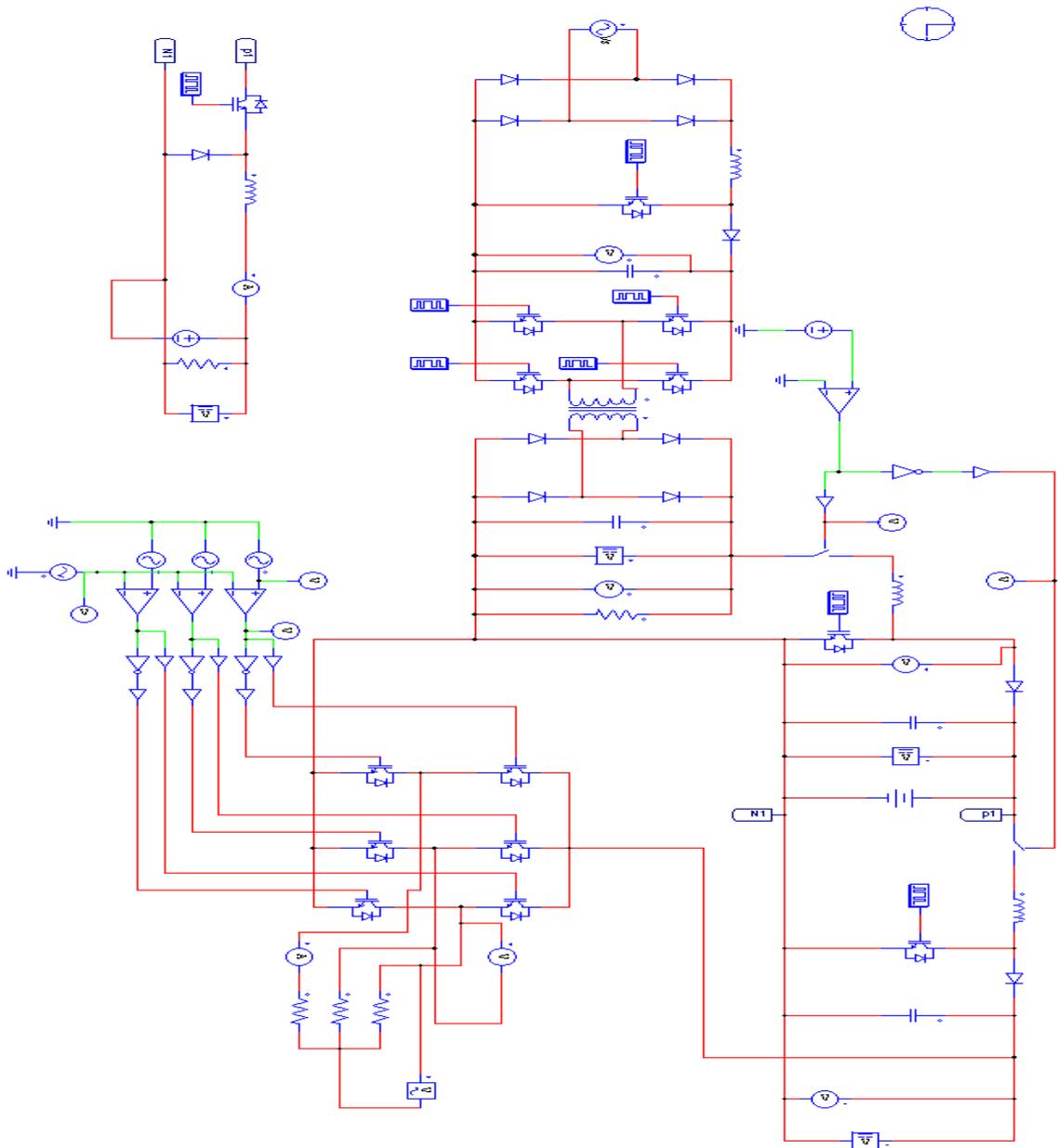


Figure III.10. Schéma global du circuit de puissance.

La figure III.10 présente le circuit de puissance réalisé avec le logiciel PSIM, il regroupe le système de charge global d'un véhicule électrique dans son ensemble : redresseur, PFC (power factor correction), hacheur, et enfin l'onduleur qui alimente le moteur.

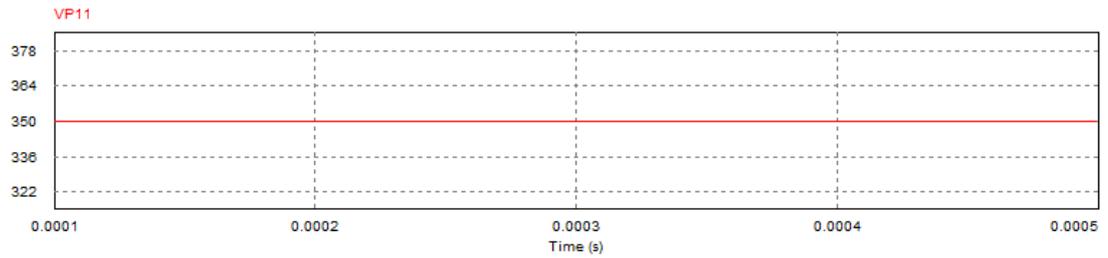


Figure III.11. Tension a la sortie de la batterie.

La figure III.11 représente la tension aux bornes de la batterie quand celle-ci est chargée. La tension de la batterie choisie pour notre étude est 350 V ce qui est indiqué sur la figure précédente.

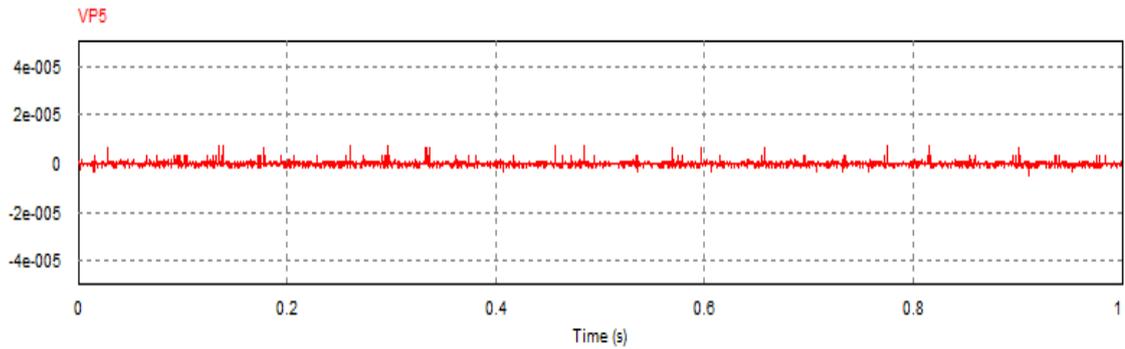


Figure III.12. La tension a la sortie de l'onduleur.

La figure III.12 présente la tension a la sortie de l'onduleur quand l'amplitude de la source de tension est égale à 1, c'est-à-dire le premier interrupteur est fermé ce qui permet la charge de la batterie, et donc l'onduleur n'est pas alimenté.

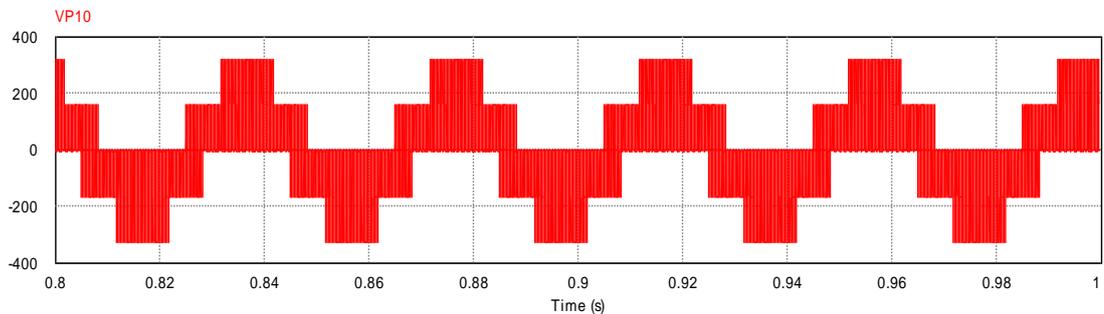


Figure III.13. La tension a la sortie de l'onduleur.

La figure III.13 présente la tension a la sortie de l'onduleur quand l'amplitude de la source de tension est égale à 0, c'est-à-dire le deuxième interrupteur est fermé, ce qui permet d'alimenter l'onduleur a partir de la batterie, puis alimenter le moteur qui est représenté par des résistances de 12Ω .

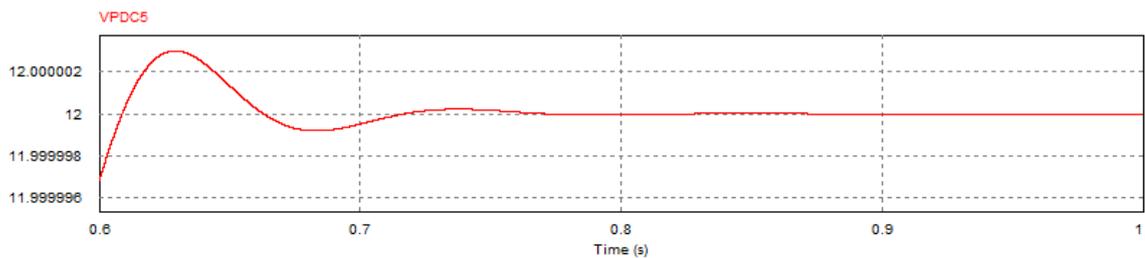


Figure III.14. La tension a la sortie de la batterie qui alimente les auxiliaires.

La figure III.14 représente une tension de 12 V qui est la tension de sortie de la batterie qui alimente les accessoires (lampes, radio, chauffage...)

On peut se passer de la batterie de 12V et mettre directement le hacheur abaisseur pour alimenter les accessoires, mais la batterie est importante elle permet de réguler la tension et d'assurer la sécurité des auxiliaires.

III.6. Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons présenté les équations mathématiques utilisées pour la modélisation des convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques, ainsi cette validation s'est effectuée par des simulations qu'on a également présenter.

La technique de commande MLI utiliser pour la commande de l'onduleur qui alimente le moteur et les résultats de simulation on été aussi présenté.

Conclusion générale :

Le véhicule électrique a connu plusieurs étapes qui lui ont permis d'évoluer au cours des temps. Bien sûr plusieurs facteurs rentrent en compte, parfois ces derniers n'ont pas agi en sa faveur.

Le travail exposé dans ce mémoire donne comme but l'étude de la simulation des véhicules électriques.

Au cours du premier chapitre nous avons dressé l'historique du véhicule électrique afin de mieux comprendre son arrivée dans le marché de l'automobile. De plus, nous avons vu que les batteries représentent une de ses majeures faiblesses, plusieurs solutions furent proposées afin d'améliorer ceci. Quelques généralités théoriques de base, dont les composantes des véhicules électriques, leurs performances, leurs avantages ainsi que leurs inconvénients, sont également présentés.

Dans le deuxième chapitre, on a d'abord vu les différents types de batteries utilisées dans les véhicules électriques, ainsi qu'une petite comparaison. Deux grandes familles de chargeurs ont été présentées ensuite afin de mettre en évidence la segmentation du marché de la recharge (chargeurs externes et embarqués). Plusieurs types de recharge peuvent être classés suivant leur durée et la puissance de la source. On a pu voir deux principaux types de chargeurs, la première catégorie concerne les chargeurs de moyenne puissance (en générale 3 kW), qui sont les chargeurs lents. Le second type est réservé aux recharges de fortes puissances (supérieures à 10 kW), ils sont qualifiés de chargeurs rapides.

Le temps de recharge est directement lié à la puissance, plus la source est puissante, plus le temps de charge est réduit. Par contre, il est fortement conseillé de privilégier la recharge lente à la recharge rapide. En effet, la recharge lente permet une charge complète de la batterie (mais plus longue), et surtout elle n'engendre pas les mêmes contraintes en courant que la charge rapide. De ce fait, la durée de vie des batteries est anormalement réduite avec des recharges rapides répétitives, ce dernier type de recharge doit être occasionnel. Ces différents scénarios de recharges exigent que les structures d'électronique de puissance soient capables de s'adapter facilement à la source d'énergie disponible.

Le troisième chapitre traite la modélisation et la simulation des différents convertisseurs utilisés pour assurer la charge et la décharge des véhicules électriques, un schéma global présentant le circuit de puissance des véhicules électriques réalisé avec le logiciel PSIM a été aussi proposé.

Bibliographie :

[1] : <https://www.auto-electrique.org/histoire-voiture-electrique>.

[2] : 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.

[3] : Bertrand CHAUCHAT. « Chargeur de batteries intégré pour véhicule électrique », thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, France, 1997.

[4] : 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.

[5] : <https://www.mobilitytechgreen.com/dossier-lhistoire-de-la-voiture-electrique/>.

[6] : Jean Syrota, P. Hirtzman, D. Auverlot, "La voiture de demain : carburants et électricité", Centre d'analyse stratégique, Rapport & Document, juin 2011.

[7] : Redah SADOON, « 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

[8]: « Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques: Données de la base sur les différentes technologies de stockage d'énergie », 2010.

[9]: F. BELHACHEMI, « Modélisation et caractérisation des super-condensateurs à couche double électrique utilisés en électronique de puissance », Thèse de doctorat, l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2001.

[10]: A. BURKE, « Ultracapacitor Technologies and Application in Hybrid and Electric Vehicles », International Journal of Energy Research, June 2009.

[11]: B. DESTRAZ, « Assistance énergétique à base de super-condensateurs pour véhicules à propulsion électrique et hybride », Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne 2008.

[12] : K. AMMOUS, « Contribution à la construction systématique des modèles moyens de convertisseurs de puissance », Thèse de doctorat, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2002.

[13] : Ahmed BOUCHERIT, « Conception d'un convertisseur de puissance pour les véhicules électriques multi-sources », thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort Montbéliard, France, 2011.

[14] : BENNANI Samy et MERAHI Sofiane, «La commande non linéaire d'un véhicule électrique entraîné par un moteur asynchrone », Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, 2015

[15] : Article initial de Nathalie Mayer paru le 27/01/2016.

[16] : Adrian FLORESCU. « Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique », thèse de doctorat, université de Grenoble, France, 2012.

[17] : AOUZELLAG Haroun. « Stratégies de commande d'un véhicule hybride », mémoire de master : université A-Mira Bejaia, 2013.

[18] : Nouh Aiman, « Contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électriques routiers ». Thèse doctorat 26 mars 2008.

[19] : Marc DEBRUYNE « Apport de l'électronique de puissance pour la traction électrique» technique d'ingénieur. 2010

[20] : Kevin Tanguy, « Modélisation et optimisation de la recharge bidirectionnelle de véhicules électriques Application à la régulation électrique d'un complexe immobilier », Québec, Canada, 2013.

[21] : Joseph Bretta, le génie électrique automobile, la traction électrique, ouvrage page 99.

[22] : Sif Eddine Guenidi, « Modélisation, Commande et gestion de l'énergie d'un véhicule électrique hybride », Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Algérie, 2016.

[23] : Bezian, .Systèmes de Piles à Combustibles pour la Cogénération -Etat de l'Art. Rapport réalisé pour l'ADEME, Octobre 1998.

[24] : Modélisation et simulation des systèmes électriques, Modélisation d'une chaîne de traction d'un véhicule électrique. Document

[25] : 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.