

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Gestion de l'énergie dans un système embarqué

Présenté par :

.....
.....
.....
Mr.ZINE Bachir

Président
Examineur
Examineur
Encadreur

- HOMMADI Sami
- SOUAKER Hamza
- ABDELJOUAD Taher

2019-2020

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

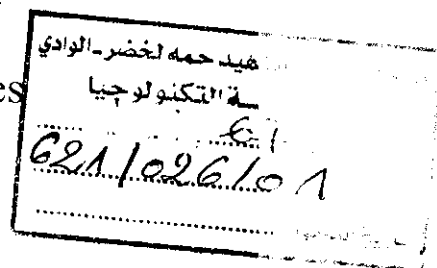
Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique



Thème

Gestion de l'énergie dans un système embarqué

Présenté par :

.....
.....
.....
Mr.ZINE Bachir

Président
Examineur
Examineur
Encadreur

- HOMMADI Sami
- SOUAKER Hamza
- ABDELJOUAD Taher

2019-2020

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des symboles et abréviations.....	VII
Liste des figures et tableaux.....	XI
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Généralité sur les véhicules électriques

I.1. Introduction.....	2
I.2. Histoire des véhicules électriques.....	2
I.3. Véhicules électriques commercialisés.....	4
I.4. Les sources d'énergies	6
I.4.1. La batterie	6
I.4.2. Les différents types de batteries	7
a) La batterie Plomb Acide	7
b) Les batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd)	8
c) Les batteries Nickel-hydrure Métallique (Nickel-Métal hybride Ni-Mh)	8
d) Les batteries Lithium-ion (Li-ion)	9
e) Les batteries Lithium-ion Polymère (Li-po)	10
I.4.3. Les super-condensateurs.....	11
I.5. Différentes machines qui interviennent pour la traction desVE.....	11
I.5.1. Machines à courant continu (MCC).....	11
I.5.2. Machine synchrone à rotor bobiné (MSRB)	12
I.5.3. Machine synchrone aimant permanent (MSAP).....	12
I.5.4. Machine asynchrone (MAS).....	12

1.6. Avantages et inconvénients de quelques types de machines	12
1.7. Système de charge et niveaux de puissance	13
1.8. Principales configurations des véhicules	14
1.8.1. Les véhicules hybrides thermiques électriques.....	14
a) Configuration hybride série	15
b) Configuration hybride parallèle	15
c) Configuration hybride série-parallèle	16
d) Configuration hybride complexe	17
1.8.2. Les véhicules électriques.....	18
1.9. Conclusion.....	20
 Chapitre II: Modélisation de la gestion d'énergie.	
II.1. Introduction	22
II.2. Modèle de la batterie	22
II.2.1. Equation électrique de charge et décharge.....	23
II.2.2. Equation de l'état de charge	24
II.3. Modèle du Supercondensateur	24
II.3.1. Equation électrique de charge et décharge.....	25
II.3.2. Equation de l'état de charge.....	25
II.4. Modèle moyen du convertisseur bidirectionnel de la batterie	25
II.4.1. Séquences de fonctionnement et équations d'état	26
II.5. Modélisation de MCC à excitation série sur les axes « d, q »	27
II.5.1. Equations électriques	27
II.5.2. Equations mécaniques.....	28
II.6. Dimensionnement des systèmes.....	28
II.6.1. Dimensionnement de la batterie	28
II.6.2. Dimensionnement des Supercondensateurs	28

II.6.3. Dimensionnement de hacheur	28
II.6.4. Dimensionnement de MCC.....	28
II.7. Conclusion	28
 Chapitre III: Gestion d'Énergie à Bord du Véhicule.	
III.1. Introduction.....	29
III.2. Architecture du système hybride à bord.....	29
III.3. Principe de la gestion d'énergie	30
III.4. Résultats de simulation et discussion.....	31
III.5. Conclusion.....	34
Conclusion générale.....	35
Références bibliographiques.....	36
Résumé	

Liste des symboles et abréviations

Liste des symboles:

SOC_{bat}	L'état de charge de la batterie
DoD	Profondeur de décharge de la batterie
V_{bat}	Tension de la batterie (V)
i_{bat}	Courant de la batterie (A)
r_{bat}	Résistance série d'une cellule de la batterie (Ω)
n	Nombre de cellule
E_{bat}	Tension à vide (V)
C_N	La capacité nominale de la batterie (F)
$SoC_{bat_{int}}$	L'état de charge initiale de la batterie
v_{sc}	Tension de supercondensateur (V)
i_{sc}	Courant de supercondensateur (A)
SOC_{cc}	L'état de charge de supercondensateur
c_l	La capacitance (F)
Q	La charge électrique (c)
V_l	La tension appliquée (V)
ϵ	Constante diélectrique du matériau isolant A La surface (m2)
$vcsc$	La tension au borne de la capacité C_{sc} (V)
R_{sc}	La résistance interne du supercondensateur (Ω)
C_{sc}	La capacité du supercondensateur (F)
d	L épaisseur (m)
W	L'énergie électrostatique stockée (J)
U_a	La tension L'inducteur en volte [V].
U_s	La tension d'induiten volte [V].
f	La fréquence de réseau en [Hz].

Liste des symboles et abréviations

$Ra = r$	Résistance d'inducteur ohm [Ω].
$Rs = R$	Résistance d'induit ohm [Ω].
La	Inductance d'inducteur en henry [H].
Ls	Inductanced'induit en henry [H].
I	Amplitude du courant réseau en ampère [A].
U	amplitude de la tension de réseau en volte [V].
Iq	Courant d'inducteur sur les axes " d, q" en ampère [A].
Is	Courant d'induit sur les axes " d, q" en ampère [A].
Cr	Couple résistive en Newton foi mètre [N.m].
$fr = F$	Coefficient de frottement.
Msd	Matrice des inductances mutuelles entre le stator et le rotor [H].
ωr	vitesse de rotation [rad/s].
J :	Moment d'inertie [$Kg. m^2$].

Liste des abréviations:

VE	Véhicule électrique.
DC	Courant continu (Direct current)
AC	Courant alternatif (alternative current)
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
Ni-Mh	Nickel-hydrure Métallique ;
Li-ion	Lithium-ion ;
Li-po	Lithium-ion Polymère
MCC	Machines à courant continu
MAS	Machine asynchrone
MSRB	Machine synchrone à rotor bobiné
MSAP	Machine synchrone aimant permanent
BA	Batteries.
SC	Supercondensateurs.
ME	Moteur électrique.

Liste des figures et tableaux:

Liste des figures:

Chapitre I: Généralité sur les véhicules électriques.

Figure (I.1): Les 1ers véhicules électriques.3

Figure (I.2): Représentation des ventes des VE en France en 2012.....4

Figure (I.3): Répartition des ventes de VE par modèle sur 20124

Figure (I.4) Peugeot Partner ion.5

Figure (I 5): Renault Kangoo.5

Figure (I.6): La vue interne d’une batterie6

Figure (I.7): Recharge et décharge d’une batterie au plomb.6

Figure (I.8): Batterie Ni-Mh d’une Toyota Prius seconde génération.....7

Figure (I.9): Principe de fonctionnement d’une batterie Li-ion.7

Figure (I.10): Schémas représentant les différents designs de batteries Li-ion actuelles9

Figure (I.11): Les différentes technologies de condensateurs 10

Figure (I.12): Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique 14

Figure (I.13): Schéma de principe de l’architecture hybride série 11

Figure (I.14): Schéma de principe de l’architecture hybride parallèle 12

Figure (I.15): Schéma de principe de l’architecture hybride série-parallèle 13

Figure (I.16): Schéma de principe de l’architecture hybride complexe 14

Figure (I.17): Schéma de principe d’un véhicule électrique standard..... 15

Figure (I.18): Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs,
Topologie A 16

Figure (I.19): Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs,
Topologie B..... 16

Chapitre II: Modélisation de la gestion d’énergie.

Figure (II.1) Cellule électrochimique de base28

Figure (II.2): Modèle équivalent électrique simple d’une batterie.....28

Liste des figures et tableaux

Figure (II.3): Modèle d'un Supercondensateur28

Figure (II.4): Convertisseur associé aux batteries28

Figure (II.5): Le schéma de principe de la première séquence de conduction.29

Figure (II.6): Le schéma de principe de la deuxième séquence de conduction.30

Figure (II.7): Schéma du MCC à excitation série sur les axes « d, q ».30

Chapitre III: Gestion d'Énergie à Bord du Véhicule.

Figure (III.1): Architecture du système hybride à bord.....48

Figure (III.2): Profil de consommation la courant.49

Figure (III.3): Courants de Supercondensateurs49

Figure (III.4): Courants des batteries 50

Figure (III.5): Tension des batteries52

Figure (III.6): Tension des Supercondensateurs53

Figure (III.7): État de charge des batteries.56

Figure (III. 8): État de charge des supercondensateurs56

Liste des tableaux:

Tableau (I.1): L'évolution de l'industrie automobile entre 1830 et 190021

Tableau (I.2): Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles21

Tableau (I.3): Avantages et inconvénients des différents machines utilisées dans les VEH's 22

Tableau (III.1): principe de la gestion d'énergie.....60

Introduction générale:

Au niveau de la consommation d'énergie et la pollution environnementale, le secteur des transports routiers est l'un des plus polluants en termes d'émission de gaz à effet de serre. Pour cela, les scientifiques et experts proposent une solution prometteuse à ce problème qui est la conception et le développement des véhicules électriques hybrides .

Le véhicule électrique hybride à batteries Plomb Acide est un système équipé d'une propulsion intégralement électrique et composé de :

- Source complémentaire assurant le manque d'énergie par rapport à la source Principale.
- Source d'appoint remplissant le rôle d'une source auxiliaire qui fournit l'énergie pour les opérations de démarrage.
- Moteur électrique permettant d'assurer la recharge de la source auxiliaire d'énergie en cas de freinage.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la gestion de l'énergie d'un véhicule composé de :

- Source principale représentée par un pack de batteries au Plomb Acide.
- Super condensateurs qui sont employés comme sources complémentaires et d'appoints.
- Convertisseurs statiques d'interface entre les sources d'énergie et un bus continu de tension constante.
- Moteur électrique de traction.

Afin d'arriver aux objectifs soulignés, ce mémoire sera organisée en trois chapitres :

- Un premier chapitre détaillera les généralités sur les véhicules électriques.
- Un deuxième chapitre présentera les modélisations de la gestion d'énergie.
- Un troisième chapitre précisera la gestion d'énergie à Bord du Véhicule.

Finalement, ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale.

1.1. 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[1].

L'idée du véhicule électrique n'est pas récente et pourtant sa structure interne n'est pas figée. Plusieurs solutions sont actuellement en développement. La recherche dans le domaine des batteries est importante et donne lieu à de nombreux prototypes.

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter un bref historique, quelques généralités sur les véhicules électriques, et d'étudier son fonctionnement ainsi ses différentes architectures et les éléments constituant.

1.2.Histoire des véhicules électriques:

Avant les années 1830, les moyens de transport utilisaient seulement de la puissance à vapeur, car les lois de l'induction électromagnétique n'ont pas été développées, les moteurs électriques et les générateurs, venaient juste d'être découvertes. Faraday a démontré le principe du moteur électrique en 1820 par une barre de fer portant un courant électrique et un aimant. En 1831 il a découvert les lois de l'induction électromagnétique qui ont permis le développement et la démonstration des moteurs électriques et des générateurs essentiels pour le transport électrique. [1]

Tableau I.1: L'évolution de l'industrie automobile entre 1830 et 1900[2-3].

transport à puissance de vapeur	
1831	loi de Faraday, ensuite l'invention de moteur à courant continu
1834	voiture électrique à batteries non rechargeables
1859	développement d'un accumulateur de plomb
1885	véhicules à moteur à essence
1900	4200 automobiles se sont vendues dont 40% à puissance de vapeur, 38% à puissance électrique et 22% à moteur à essence

A la fin du 19^{ème} siècle, plusieurs automobiles électriques alimentées par des accumulateurs électrochimiques, furent réalisées et testées en pensant à leur industrialisation.

A cette époque où les moteurs thermiques étaient loin du stade actuel, il semblait que la propulsion électrique avait ses chances, grâce aux performances honorables atteintes par les prototypes qui furent réalisés. Ainsi, la fameuse Jamais Contente roula à 105 km/h ,en 1899, et en 1901, un trajet de 307 km sans recharge fut parcouru [4-5].

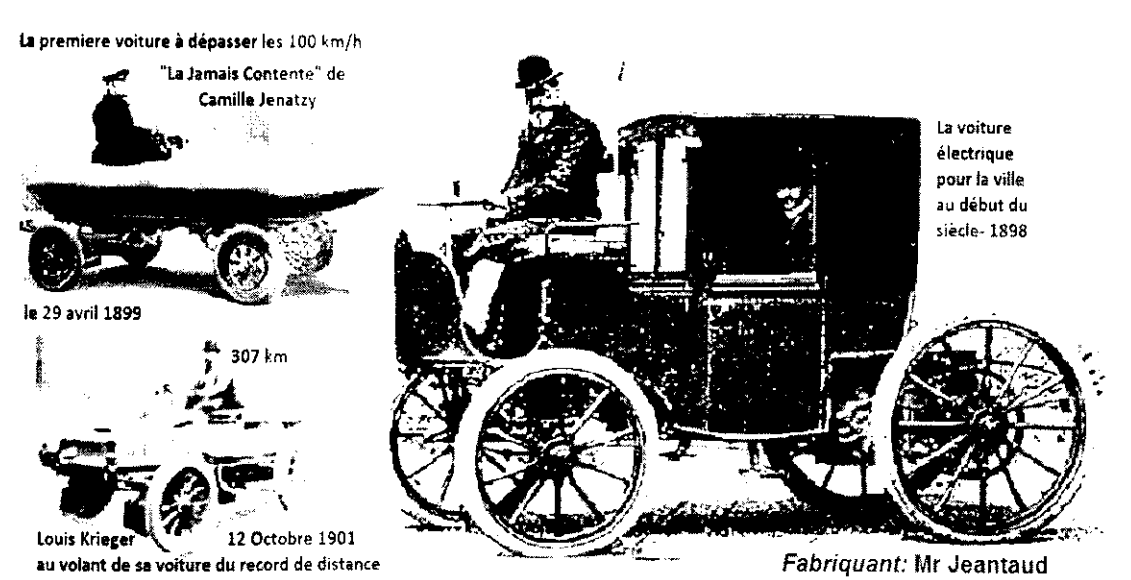


Figure I.1: Les 1ers véhicules électriques[10]

I.3.Véhicules électriques commercialisés:

Non seulement ils existent des VE commercialisée pour les agglomérations mais les constructeurs ne se sont pas limiter à ça, ils c'attaquent à un marché important qui est le véhicule utilitaire, on c'est penché sur ce marché pour voir la commercialisation de ces VE en2012 et on trouve alors deux exemples en France. [6]

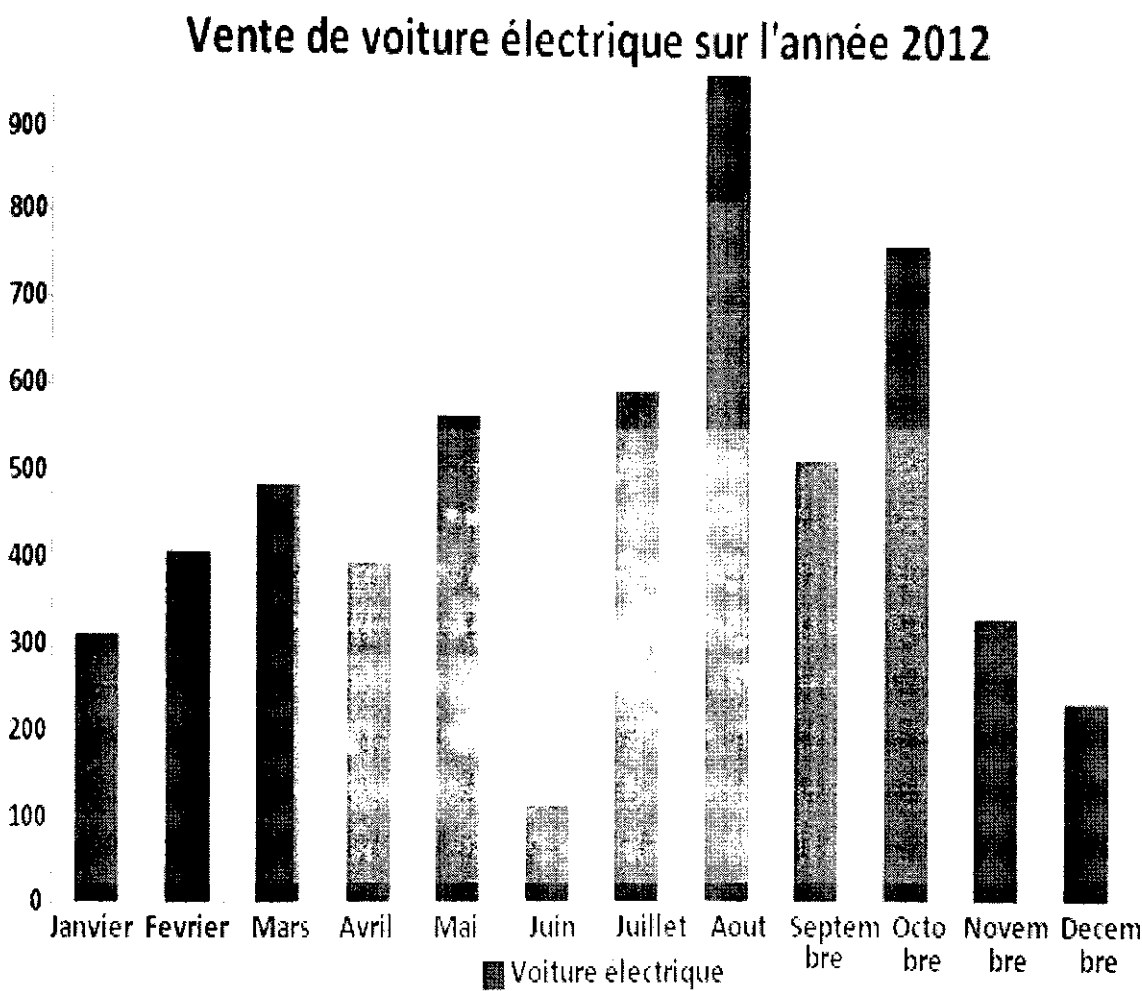


Figure I.2: Représentation des ventes des VE en France en 2012[10]

Sur le marché européen, ils existent plusieurs constructeurs de véhicules électriques, on se penche sur deux constructeurs français pour faire une évaluation du marché et une étude sur les ventes de leur produit [6].

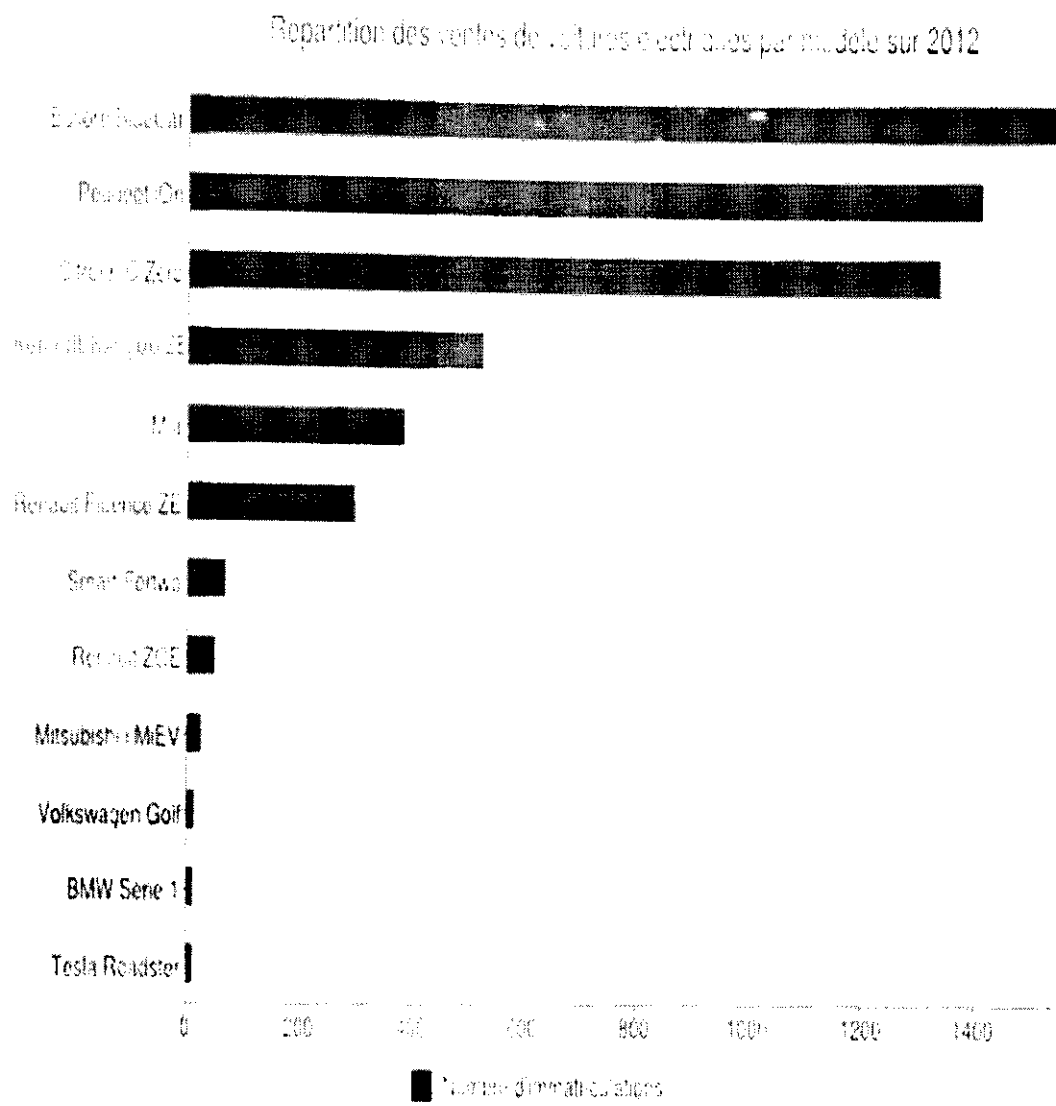


Figure I.3: Répartition des ventes de VE par modèle sur 2012[10]

On se concentre sur le Kangoo ZE et le Peugeot Ion, qui se concurrencent le marché du véhicule utilitaire, avec leur exploits le deux marques on pue atteindre les 170 Km sur un cycle normalisée avec des batteries de capacité de 22,5 KWh et un moteur qui développe 67 Cv et un couple disponible au démarrage de 200 Nm tout ça pour attendre une vitesse de pointe de 110Km/h.(ces configuration sont les même pour les deux marques)[6].



Figure I.4: Peugeot Partner ion [6]

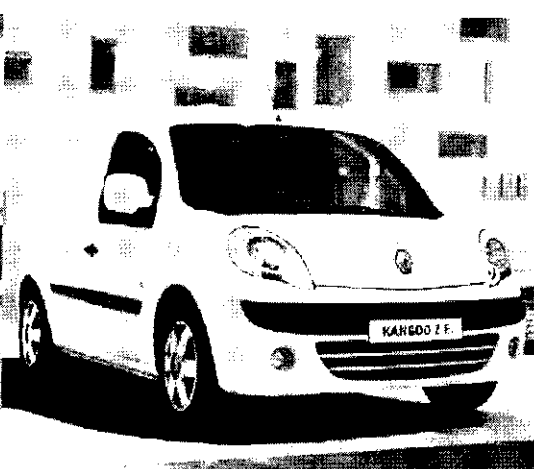


Figure I.5: Renault Kangoo ZE [6]

Le Partner Ion possède aussi un nouveau système de récupération d'énergie capable d'assurer seul les légers freinages. Il permet de récupérer jusqu'à 10% d'autonomie suivant leparcours [6].

I.4.Les sources d'énergies:

I.4.1.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.6 représente la vue interne d'une batterie utilisée dans les véhicules électriques[9].

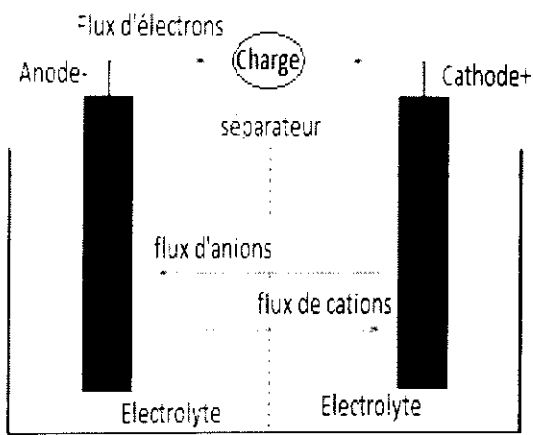


Figure I.6: La vue interne d'une batterie[9].

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. [7]

Il existe des batteries des différentes formes (structure ou technologie), par contre l'utilisation de ces différentes technologies dans les voitures électriques doit respecter certaines conditions [8], 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.

1.4.2.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.

a) 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[9].

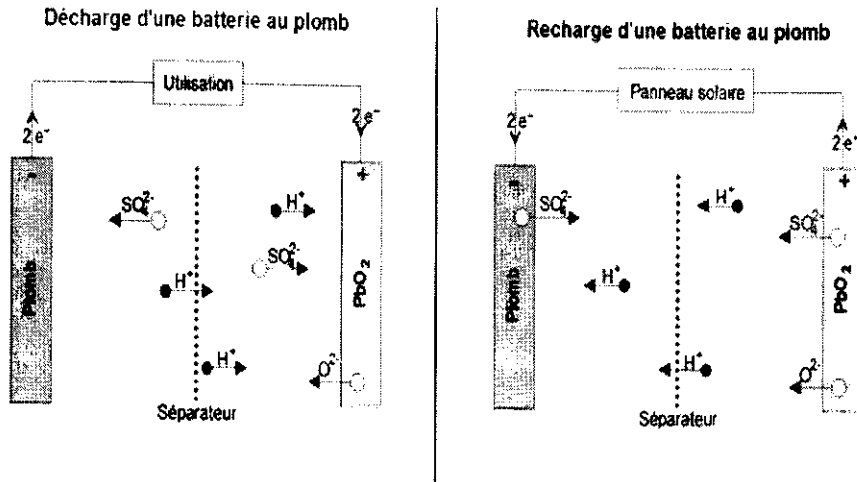


Figure I.7: Recharge et décharge d'une batterie au plomb[9].

b) 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.[11]

c) 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[9].

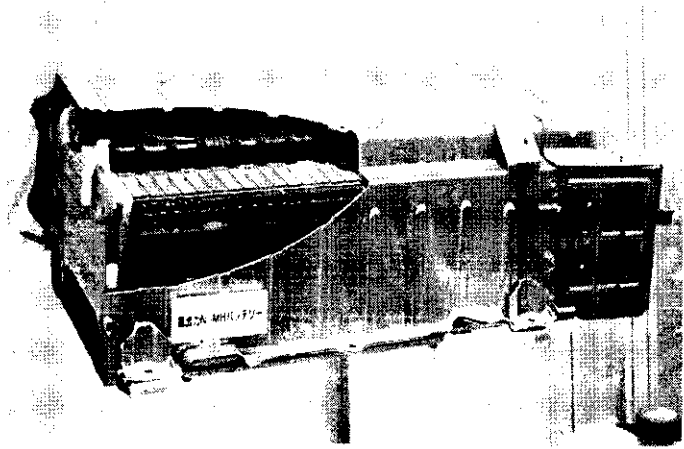


Figure 1.8: Batterie Ni-Mh d’une Toyota Prius seconde génération[9].

d) 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 [11].

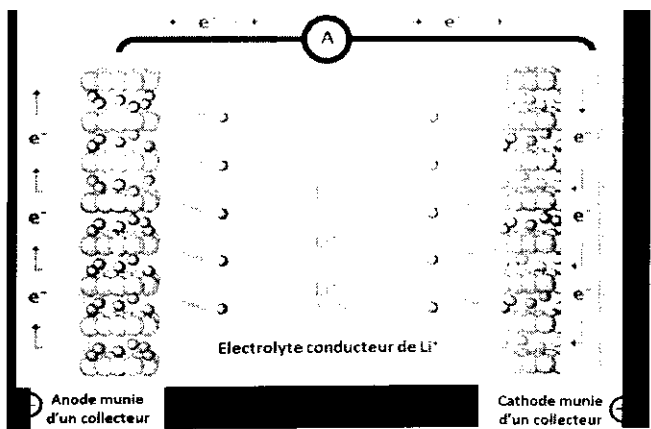


Figure 1.9: Principe de fonctionnement d’une batterie Li-ion. [12]

e) 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.

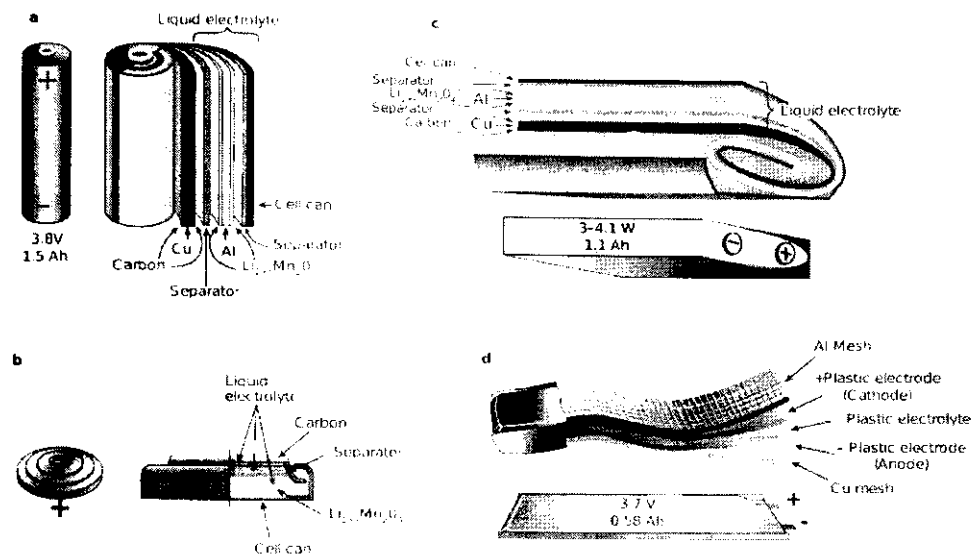


Figure I.10: Schémas représentant les différents designs de batteries Li-ion actuelles: a) cylindrique, b) plate, c) prismatique et d) mince et plate. [13]

Tableau I.2: Tableau comparatif des technologies de batteries actuelles. [20]

	30-50	45-80	60-120	160-200	100-130
Densité énergétique (Wh/kg)					
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

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.

I.4.3. 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].

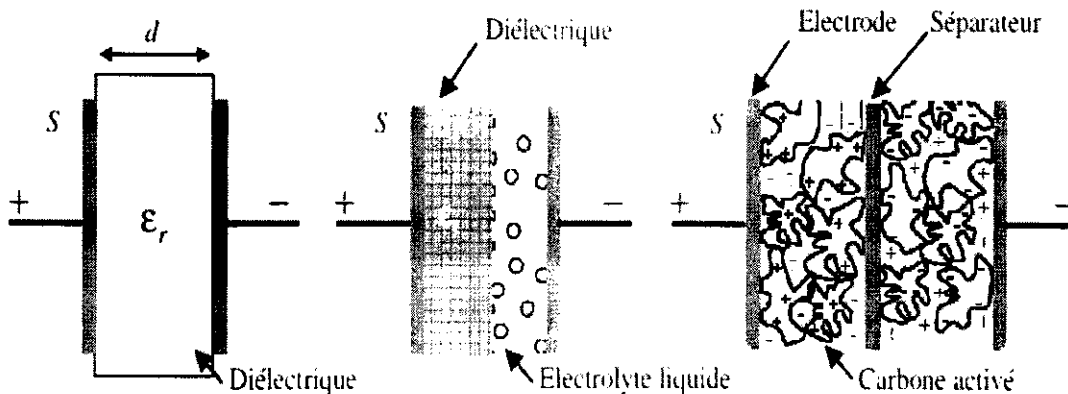


Figure I.11: Les différentes technologies de condensateurs : a) électrostatique, b) électrolytique, c) double couche électrochimique.

I.5. Différentes machines qui interviennent pour la traction des VE:

I.5.1. Machines à courant continu (MCC):

Ce sont les machines les plus utilisées dans les véhicules électriques de première génération, surtout celles à collecteurs et excitation indépendante. Utilisant un convertisseur d'induit de type hacheur et aussi une alimentation par un hacheur de petite puissance pour l'inducteur, ces machines ont été retenues par de nombreux constructeurs pour la traction dans

les VE's. Néanmoins, la machine à courant continu reste une technologie à multiple inconvénients tel la difficulté de refroidissement, l'usure des balais et le coût élevé de construction due à la complexité de la machine : collecteurs, bobinage de l'induit. [15]

1.5.2.Machine synchrone à rotor bobiné (MSRB):

Ayant des caractéristiques proches des machines CC à excitation indépendante, la MSRB permet d'optimiser facilement son rendement. Son fonctionnement à puissance maximale constante est aisé à obtenir sur une très large plage de vitesse. Cependant, son rotor bobiné constitue un inconvénient majeur avec des pertes considérables mais aussi sa vitesse qui est limitée[17].

1.5.3.Machine synchrone aimant permanent (MSAP):

Ce sont des machines dont le rendement et la puissance massique sont élevés avec des aimants permanents à terre rare. Mais le prix élevé de ces derniers reste un grand obstacle du point de vue économique. Reste les modèles avec d'autres types d'aimants comme les ferrites qui sont susceptibles d'être utilisés dans la technologie des VE's. Mais ce type d'aimants doit encore faire des progrès concernant sa tenue en température et le prix. Il y a aussi les MSAP's avec des aimants AlNiCo, ces derniers dont le prix est abordable et la production se fait en grande série peuvent être envisagés. Cependant, ils ne confèrent à la machine que de modestes performances[17].

1.5.4.Machine asynchrone (MAS):

Fabriquée en grande série, ces machines sont bien connues et constituent une solution envisagée par de nombreux constructeurs. Ayant de très bonnes performances de l'arrêt aux vitesses élevées avec un contrôle vectoriel et aussi la possibilité d'optimiser le rendement en associant un contrôle approprié du flux même si ce dernier reste moins bon que le rendement de la MS. Dans ce type de machines, le fonctionnement à puissance constante limite la vitesse par le rapport couple maximal sur le couple nominal ce qui amènera à une sous utilisation de la machine en couple pour étendre sa plage de vitesse[17].

1.6.Avantages et inconvénients de quelques types de machines:

Les avantages d'une machine électrique peuvent lui valoir d'être utilisé comme élément de traction dans un véhicule électrique hybride, mais ces inconvénients peuvent

aussi lui valoir d’être écarté de la solution de traction. Néanmoins, le tout ou rien n’existent pas et toute les machine peuvent prétendre à être choisi comme solution de traction, reste que le choix se porte souvent sur une machine qui a plus d’avantage que d’inconvénients.

Tableau I.3: Avantages et inconvénients des différents machines utilisées dans les VEH’s[17].

Type de machine	Avantages	Inconvénients
<i>Machine asynchrone (MAS)</i>	-Fabrication maîtrisée. -Puissance massique élevée. - Moteur robuste. -Montée en survitesse aisée. - Longue durée de vie.	-Rendement faible. -Pertes Joule rotorique. -Faible couple de démarrage. -Electronique coûteuse. -Commande complexe.
<i>Machine synchrone à rotor bobiné (MSRB)</i>	-Flux variable : facilité de contrôle. -Absence d’aimants. -Large plage de vitesse.	-Plus volumineux et plus lourd que les MSAP. -Nécessite de l’électronique supplémentaire (hacheur). - fragilité des systèmes bague balais.
<i>Machine synchrone à aimant permanent (MSAP)</i>	-Technologie devenue Courante. -Puissance massique élevée. -Pas d’échauffement au rotor. -Très bon rendement. -Refroidissement aisé.	-Ondulations de couple. -Coût élevé des aimants. -Technologie coûteuse. - Survitesse pénalisante. -Difficulté de défluxage.
<i>Machine synchrone à double excitation (MSDE)</i>	-Bon rendement. - Puissance massique relativement élevée. -Large plage de vitesse. -défluxage facile.	-Fragilité des bague balais. -Nécessite de l’électronique supplémentaire (hacheur).

I.7.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[9].

La figure I.12 représente le schéma qui montre les différents convertisseurs utilisés dans les véhicules électriques.

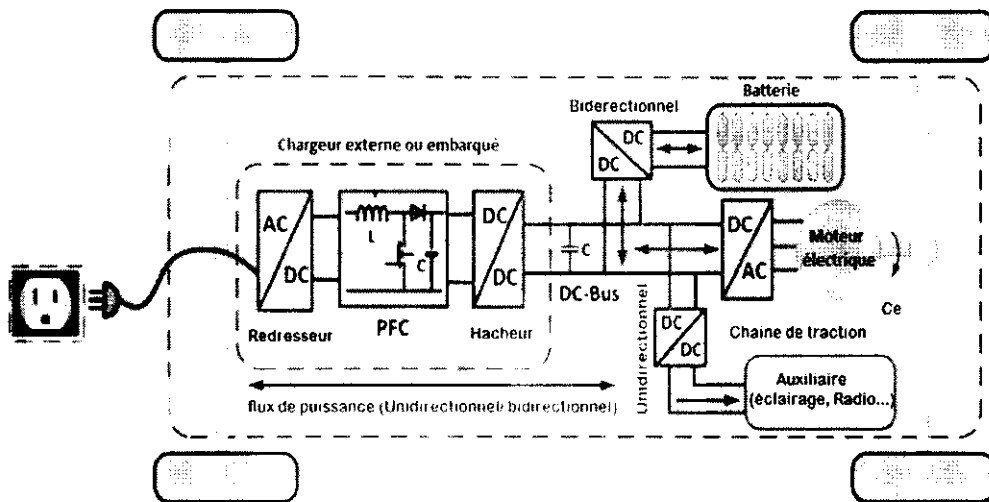


Figure I.12 Système de charge et niveaux de puissance pour véhicule électrique[9].

I.8.Principales configurations des véhicules:

I.8.1.Les véhicules hybrides thermiques électriques:

Les deux principales raisons pour lesquelles les concepts hybrides sont intéressants sont l'économie de l'énergie et la diminution des polluants. Traditionnellement les véhicules hybrides thermiques électriques (VHTE) sont divisés en deux grands groupes : série et parallèle. Aujourd'hui nous pouvons les classer en quatre groupes : hybride série, hybride parallèle, hybride série-parallèle et complexe. Nous citerons par la suite les différentes topologies de véhicules hybrides [18-19].

a) Configuration hybride série:

La configuration du véhicule hybride série est la configuration du véhicule dans lequel les deux sources d'énergie alimentent un seul groupe motopropulseur qui propulse le véhicule. Dans ce type de véhicule (Figure I.13), le moteur thermique est mécaniquement découplé des roues (transmission) et est lié à une génératrice soit sur le même arbre, soit par un assemblage mécanique. La source principale d'énergie assure la recharge de la source secondaire d'énergie et l'alimentation de la motorisation électrique. Lors d'une demande d'énergie supplémentaire, pour les reprises lors des dépassements ou dans les côtes par exemple, c'est la source secondaire d'énergie qui fournit ce supplément d'énergie. Cette source peut être un moteur diesel ou essence[21].

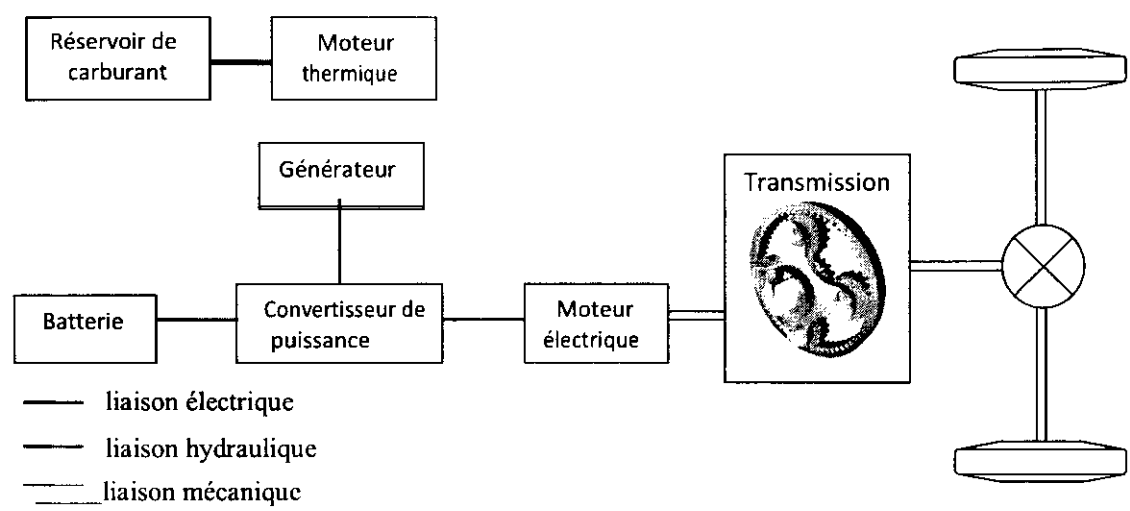


Figure I.13: Schéma de principe de l'architecture hybride série[21].

L'avantage principal de cette structure vient du découplage total entre le moteur thermique et la transmission mécanique, ce qui permet de faire travailler le moteur dans sa plage de rendement maximal ou d'émissions polluantes minimales.

En revanche, l'inconvénient majeur de l'architecture hybride série est son faible rendement global. En effet, l'énergie mécanique produite par le moteur thermique est ensuite transformée en énergie électrique via la génératrice, puis à nouveau transformée en énergie mécanique par le moteur électrique. Ainsi, la cascade de rendement du train moteur est assez défavorable à la réduction de l'énergie consommée.

b) Configuration hybride parallèle:

Dans la configuration parallèle (Figure I.14) les deux moteurs, thermique et électrique, sont liés directement à la transmission et donc aux roues. Ils peuvent participer à la traction du véhicule d'une façon parallèle car les flux énergétiques provenant des deux sources d'énergie

arrivent simultanément aux roues. Des liaisons mécaniques entre l'arbre du moteur électrique et l'arbre du moteur thermique via une boîte à vitesse permettent d'assurer la transmission de la puissance aux roues[21].

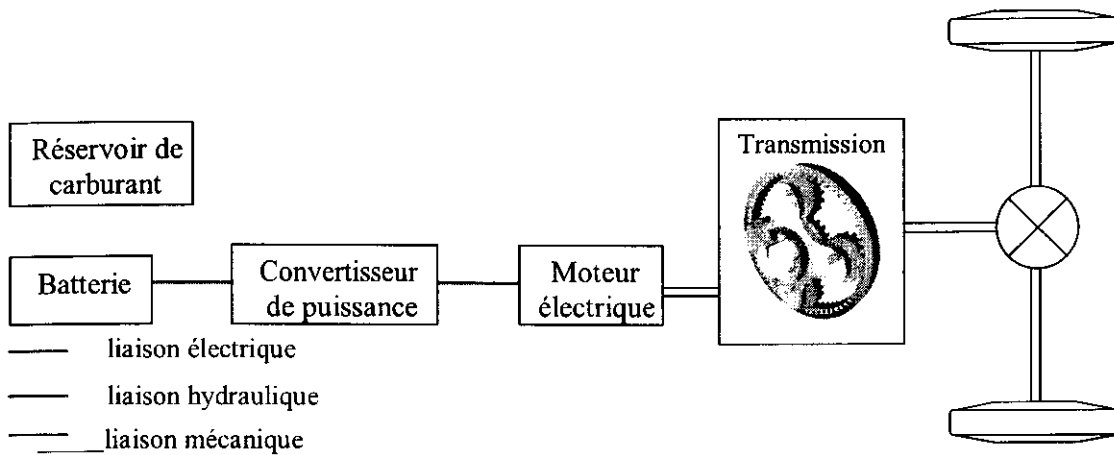


Figure I.14: Schéma de principe de l'architecture hybride parallèle[21].

Cette structure a un rendement global meilleur que l'architecture série.

La taille du moteur thermique peut être réduite, c'est pour cette architecture que l'on obtient une meilleure économie de carburant, avec la possibilité de faire fonctionner le moteur électrique et le moteur thermique ensemble pour des fortes demandes de puissance.

L'inconvénient majeur est la complexité de l'architecture contrôle-commande et la liaison rigide entre le moteur thermique et les roues.

c) Configuration hybride série-parallèle:

Cette architecture série-parallèle est appelée aussi « hybride parallèle à dérivation de puissance », elle intègre un moteur électrique, une génératrice et un moteur thermique (Figure I.15). Utilisant une gestion efficace des puissances demandées d'un côté, et fournies de l'autre, il est possible de contrôler le régime de fonctionnement avec le maximum de rendement concernant le moteur thermique et de partager la puissance entre les demandes du véhicule (charge) et la recharge de la batterie[21].

Les combinaisons entre les avantages de la configuration série et les avantages de la configuration parallèle permettent de tirer un bon parti de cette configuration.

L'architecture série-parallèle nécessite au moins deux moteurs électriques en plus du moteur thermique ce qui la rend onéreuse et augmente la complexité de la structure contrôle-commande.

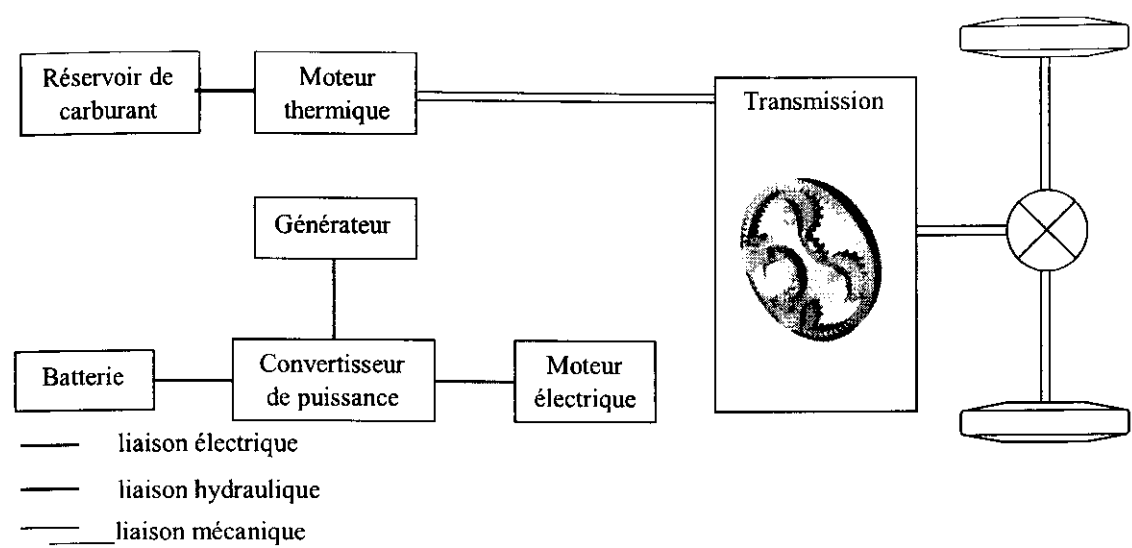


Figure I.15: Schéma de principe de l'architecture hybride série-parallèle[21].

d) Configuration hybride complexe:

L'architecture de type complexe (Figure I.16) est une architecture composée de trois moteurs électriques avec une interface de puissance associée et d'un moteur thermique. D'un point de vue énergétique, cette solution n'est pas une solution idéale. Grâce à une gestion efficace des puissances demandées d'un côté, et fournies de l'autre, il est possible de contrôler en régime le moteur thermique à son rendement maximum, et de partager son couple entre les demandes du véhicule et la recharge de la batterie. L'idée est de faire quelques changements dans la conception classique (architecture série, parallèle ou série-parallèle). L'une de ces approches consiste à placer un petit moteur électrique (alimenté par une batterie par exemple) derrière le moteur thermique et de le faire fonctionner comme un démarreur pour le moteur thermique et comme un générateur pour charger la batterie. De cette manière il peut contribuer à fournir la puissance pour le groupe motopropulseur dans le cas où il y a une forte demande de puissance, et servir à la récupération de l'énergie cinétique lors du freinage du véhicule [20].

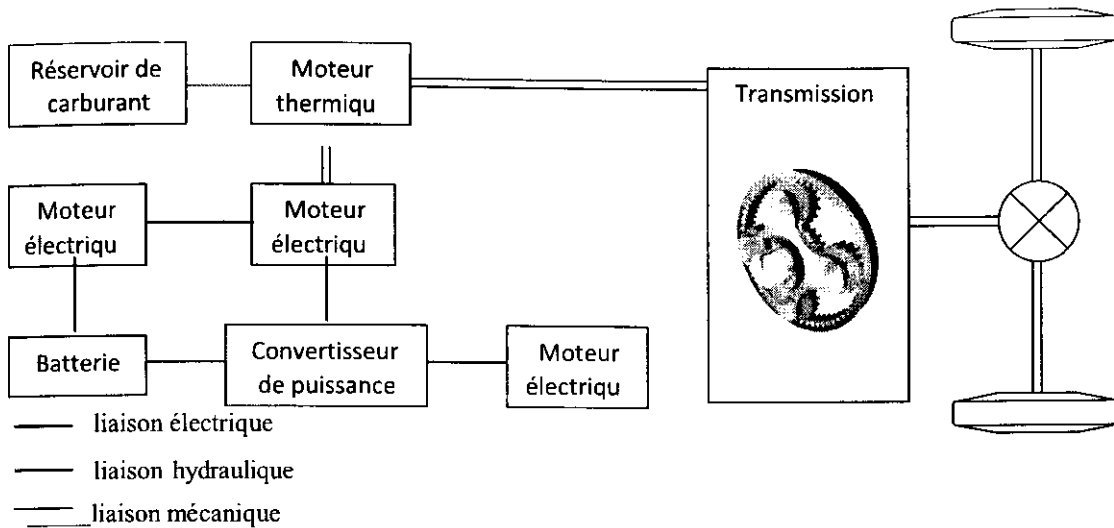


Figure I.16: Schéma de principe de l'architecture hybride complexe[21].

I.8.2. Les véhicules électriques

La Figure I.17 présente le schéma bloc d'un véhicule électrique (VE) typique. Dans ce cas, la seule source d'énergie à bord est composée de batteries qui sont rechargées en utilisant un système de recharge et souvent avec la récupération d'énergie pendant le freinage.

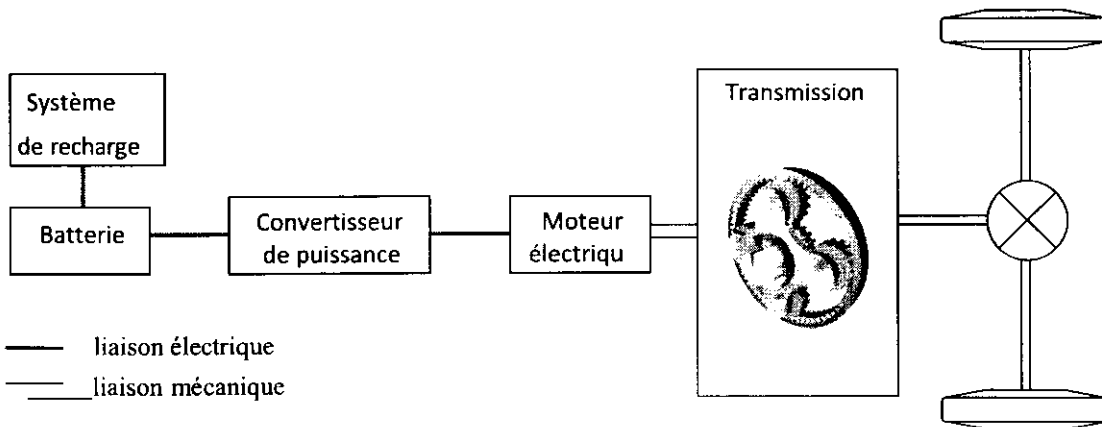


Figure I.17: Schéma de principe d'un véhicule électrique standard[21].

Le point faible dans ce type de véhicule concerne la source principale d'énergie (les batteries).

La batterie électrique est l'organe clé des voitures électriques. Elle influe directement sur les performances et surtout sur l'autonomie de l'automobile à propulsion électrique. 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. Ainsi, leur courant de charge et de décharge doit être limité pour garantir une durée de vie compatible avec un véhicule hybride.

Concernant la charge des batteries, la solution consiste à utiliser un faible courant durant une longue période par exemple la charge du véhicule pendant la nuit. Une limitation

du courant de décharge qui est fonction du cycle de roulage, est synonyme d'une diminution des performances dynamiques du véhicule. Ceci n'est pas envisageable pour un véhicule électrique avec une seule source d'énergie. Le courant prélevé sur les batteries lors d'une accélération (contrainte en puissance élevée) reste donc important. Dans de nombreux cas dans le domaine des transports, les batteries doivent être dimensionnées principalement selon un critère en puissance (lié à la durée de vie, puis selon un critère énergétique).

Dans un VE, l'énergie de freinage peut être théoriquement récupérée. Dans ce cas, le moteur électrique fonctionne en générateur et réinjecte dans les batteries l'énergie cinétique du véhicule transformée en énergie électrique. Pour les batteries de type standard, le courant maximal de charge est plus faible que le courant maximal de décharge. La puissance de freinage qui peut être récupérée est directement liée au courant maximal de recharge de l'élément de stockage d'énergie électrique ; de ce fait, il arrive que l'on ne récupère pas toute l'énergie du freinage. Bien entendu le freinage par friction reste toujours présent.

Le principal avantage de la propulsion purement électrique en comparaison avec ce que nous avons présenté auparavant est que le VE ne dégage pas de gaz polluants lors de son utilisation et que l'énergie à bord du véhicule est stockée dans des batteries. Le véhicule électrique est « propre » au niveau de l'utilisateur final, c'est-à-dire qu'il n'émet pas de gaz polluants localement. Par contre, le recyclage des batteries usagées et la production de l'électricité pour la recharge doivent être pris en compte. Dans le cas le plus défavorable, l'énergie électrique est produite à partir de carburant fossile libérant du CO₂ dans l'atmosphère. Pour qu'un véhicule électrique puisse être qualifié de « propre », l'énergie nécessaire à la charge doit être produite par des énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, etc.). En plus de la problématique concernant l'approvisionnement électrique pour la charge des batteries, les principaux inconvénients avec ce type de véhicules utilisant des batteries sont les suivants :

- la durée de vie des batteries est courte, surtout si les contraintes instantanées en puissance leur étant appliquées sont importantes ;
- l'autonomie qu'il est possible d'atteindre avec des batteries de type conventionnel est limitée.
- le courant maximal de charge des batteries est faible, la charge nécessite en général plusieurs heures et l'énergie de freinage ne peut que partiellement être récupérée.

Aujourd'hui l'une des autres solutions pour limiter la variation du courant de décharge et de charge dans les batteries consiste à utiliser des sources auxiliaires de puissance comme les supercondensateurs.

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[21].

Nous présenterons ci-dessous deux topologies pour un véhicule électrique (Figure I.18 et Figure I.19), topologie A et B.

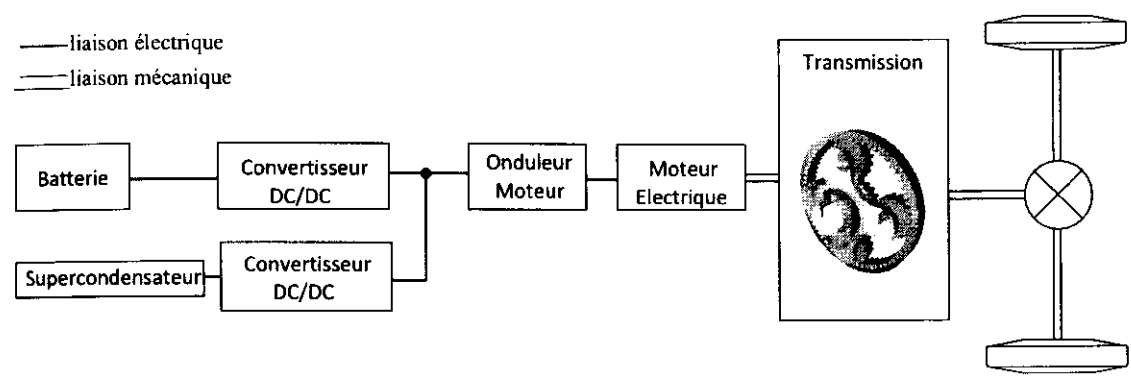


Figure I.18: Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie A[21].

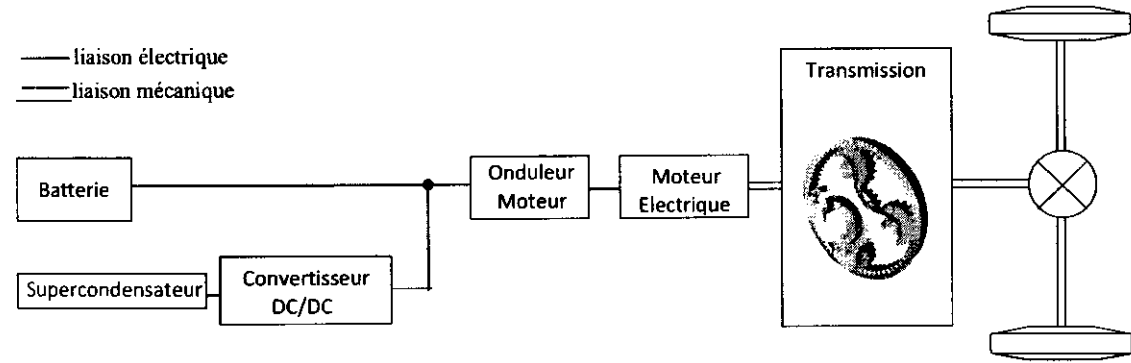


Figure I.19: Architecture hybride proposée pour le véhicule électrique à supercondensateurs, Topologie B[21].

La topologie A est la topologie qui nous donne le plus de degrés de libertés. Elle assure également une tension stable sur le bus DC. La topologie B avec un étage de conversion en moins a une tension du bus DC variable mais moins de pertes. La variation de la tension du bus DC est due à une variation de charge en fonction du cycle de roulage.

I.9.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref aperçu de l'histoire de la voiture électrique en plus des composants de base d'une voiture électrique (batterie, moteur, Super condensateur, convertisseur), et ses différents types.

Dans ce chapitre, nous avons également abordé les différentes configurations d'un véhicule électrique (série, parallèle, etc...).

II.1.Introduction

Avant d'étudier le problème de la gestion d'énergie électrique à bord du véhicule, nous débuterons par une modélisation des différents composants du véhicule électrique considéré.

Les composants essentiels du véhicule électrique considéré sont la batterie de type plomb, le supercondensateur, les convertisseurs qui y sont connectés et le groupe motopropulseur dont la modélisation nous permet de relever la dynamique du mouvement du véhicule.

L'objectif de cette partie est de présenter une méthode de dimensionnement et de modélisation des sources d'énergie (batterie au plomb et supercondensateur) dans un véhicule électrique équipé des supercondensateurs comme sources d'énergie auxiliaires. L'utilisation des supercondensateurs permet de réduire la variation instantanée du courant dans la batterie, en diminuant ainsi la contrainte en puissance sur la source principale d'énergie, à savoir la batterie.

Le système électrique du véhicule étudié contient :

- deux sources d'énergie : une batterie comme source principale et un supercondensateur comme source auxiliaire .
- deux convertisseurs DC-DC de type Buck-boost pour la topologie A, qui permettent d'adapter les niveaux de tension entre les sources et le bus continu commun (bus DC). En fonction de la configuration des cellules de la batterie et du supercondensateur, les convertisseurs de puissance permettent d'élever la tension des sources à la tension du bus continu, soit 150 V. Ils sont de type Buck-boost bidirectionnels. Ils fonctionnent en mode Boost lorsque les supercondensateurs fournissent de l'énergie électrique à la charge et en mode Buck dans le cas où les sources sont chargées ;
- le convertisseur connecté au bus continu ;
- une machine à courant continu (MCC) permettant d'entraîner le véhicule.

II.2.Modèle de la batterie:

Toute batterie est un ensemble d'éléments ou des cellules électrochimiques capables de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique, puis de la restituer partiellement par la suite, grâce à la réversibilité des réactions mises en jeu. Ces réactions consistent en des oxydations et des réductions au niveau des électrodes, où le courant circule sous forme d'ions dans l'électrolyte et sous forme d'électrons dans le circuit raccordé à la batterie (fig. (II.1)) [1].

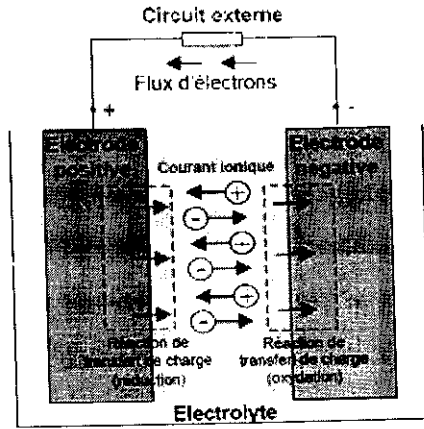


Figure II.1: Cellule électrochimique de base[1].

Actuellement, la technologie la plus largement utilisée pour les applications photovoltaïques est la technologie au Plomb (Pb)[2]. C'est encore la technologie la plus compétitive et la mieux maîtrisée. Nous présentons ici le modèle de cet accumulateur.

Le modèle de la batterie adopté est celui permettant de prédire l'autonomie du système ascenseur, c'est-à-dire permettre à chaque instant d'estimer l'énergie restante (état de charge SOC_{bat} ou profondeur de décharge DoD) dans la batterie [3]. Le modèle choisi est, par conséquent, un modèle équivalent électrique (fig. (II.2)) composé d'une source de tension en série avec une résistance (résistance interne) [4-3].

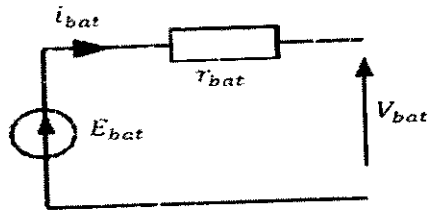


Figure II.2: Modèle équivalent électrique simple d'une batterie.

II.2.1. Equation électrique de charge et décharge:

La tension en charge est déduite directement à partir de la tension à vide et de la chute de tension due à la résistance interne série [5]:

$$V_{bat} = E_{bat} - r_{bat} \cdot i_{bat} \quad (II.1)$$

La tension à vide E_{bat} est approximativement proportionnelle à l'état de charge de la batterie [6]. En considérant la variable DoD comme paramètre variant entre 0 et 1, selon que la batterie est chargée ou déchargée pleinement, l'équation (II.2) présente un modèle valide l'équation électrique.

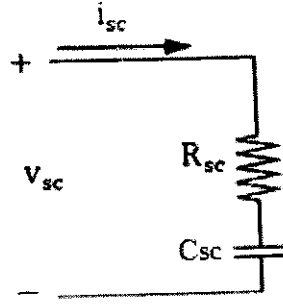


Figure II.3 : Modèle d'un Supercondensateur

II.3.1. Equation électrique de charge et décharge:

Pour analyser le circuit du modèle précédent, on admet que le courant du supercondensateur i_{sc} est positif pendant la phase de décharge et il est négatif pendant la phase de charge. La tension aux bornes des super condensateurs peut être présentée par :

$$V_{sc} = V_{c_{sc}} + R_{sc} \cdot I_{sc} \quad (II.7)$$

II.3.2. Equation de l'état de charge:

L'état de charge, appelé SOC_{cc} , caractérise la quantité d'énergie présente dans les supercondensateurs. Il vaut 100% lorsqu'ils sont complètement chargés et 0% lorsqu'ils sont chargés à leur valeur minimale. L'équation (II.8) présente le modèle adopté dans ce travail [11].

$$SOC_{sc} = \frac{V_{sc}^2}{V_{scmax}^2} \quad (II.8)$$

II.4. Modèle moyen du convertisseur bidirectionnel de la batterie:

Dans le cas de l'hacheur utilisé pour adapter la tension aux bornes du générateur PV, le transfert d'énergie s'effectue dans un seul sens, de la source (générateur PV) vers le bus continu. Dans le cas de l'Hacheur utilisé pour la charge/décharge des batteries, le courant électrique doit être réversible. Ainsi, pour réaliser le transfert d'énergie dans les deux sens, un hacheur survolteur et un hacheur dévolteur ont été associés comme l'indique la Figure (II.4) [12].

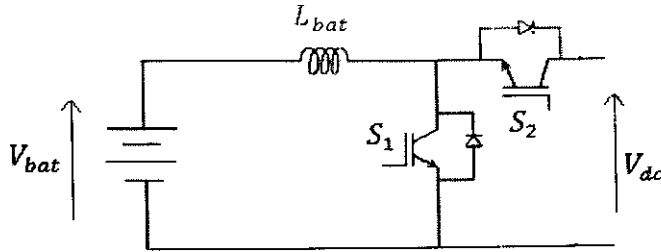


Figure II.4 : Convertisseur associé aux batteries

II.4.1.Séquences de fonctionnement et équations d'état:

De même, le modèle moyen du convertisseur réversible en courant de la batterie est adopté. Ce dernier permettra de tester les algorithmes de commande dans des modèles continus du système global. On distingue les deux phases de commutation des IGBT, représentés par un fil lorsqu'ils sont fermés et l'absence de connexion lorsqu'ils sont ouverts. Ainsi, la période de découpage (T_{pwm}) est scindée en deux [3].

- Première séquence de conduction $t \in [0; \alpha_{bat}, T_{PWM}]$:

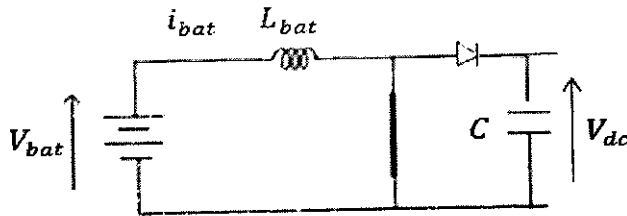


Figure II.5 : Le schéma de principe de la première séquence de conduction

L'équation dynamique du courant de la bobine s'écrit :

$$V_{bat} = L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} \quad (II.9)$$

- Deuxième séquence de conduction $t \in [\alpha_{bat}, T_{PWM}; T_{PWM}]$:

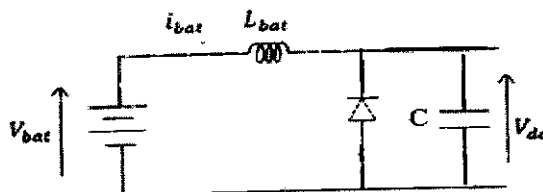


Figure II.6 : Le schéma de principe de la deuxième séquence de conduction

$$V_{bat} = L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} + V_{dc} \quad (II.10)$$

La moyenne temporelle de ces deux équations donne ainsi un modèle moyen de ce convertisseur :

$$L_{bat} \frac{di_{bat}}{dt} = V_{bat} - (1 - \alpha) V_{dc} \quad (II.11)$$

Le modèle de l'équation (II.11) reproduit le comportement de la batterie en cas de charge ($i_{bat} < 0$) et en décharge ($i_{bat} > 0$). Remarque : Le convertisseur bidirectionnel du supercondensateur est modélisé de façon analogue à celui de la batterie :

$$L_{sc} \frac{di_{sc}}{dt} = V_{sc} - (1 - \alpha_{sc}) V_{dc} \quad (II.12)$$

II.5. Modélisation de MCC à excitation série sur les axes « d, q »:

Le modèle de la figure suivante représente, le modèle du moteur à excitation série sur les axes « d, q » [13].

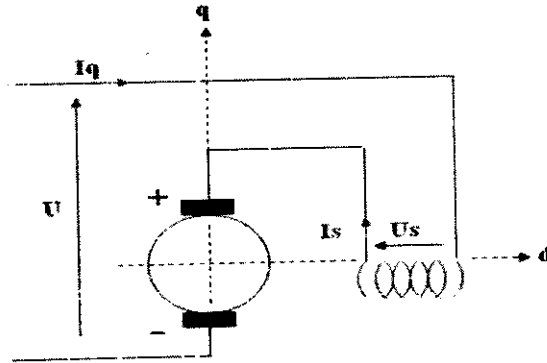


Figure II.7: Schéma du MCC à excitation série sur les axes « d, q »

Pour le moteur à excitation série, le circuit d'induit est en série avec l'inducteur alors le même courant parcourt les deux circuits, et la tension est égale à la somme des deux tensions, ce qui nous conduit à écrire :

$$\begin{cases} U = U_a + U_s \\ I_q = I_s \end{cases} \quad (II.13)$$

II.5.1. Equations électriques:

$$U_s = R_s \cdot I_s + L_s \cdot \frac{dI_s}{dt} \quad (\text{II.14})$$

$$U_a = R_a \cdot I_q + L_a \cdot \frac{dI_q}{dt} + \omega_r \cdot M_{sd} \cdot I_q$$

$$U = (R_a + R_s + \omega_r \cdot M_{sd}) \cdot I_q + (L_a + L_s) \cdot \frac{dI_q}{dt}$$

$$C_e = M_{sd} \cdot I_q^2$$

II.5.2. Equations mécaniques:

$$J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = C_e - C_r \quad (\text{II.15})$$

En remplaçant C_e par son expression, on obtient:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{M_{sd} \cdot I_q^2}{J} - \frac{C_r}{J} \quad (\text{II.16})$$

II.6. Dimensionnement des systèmes:

II.6.1. Dimensionnement de la batterie

Quatre batteries sont connectées en série afin d'obtenir une tension de 48 V. Les batteries doivent donc avoir une capacité (Q_{bat}) minimale de 139 Ah, afin de stocker une journée de production. Finalement quatre batteries de 12 V d'une capacité de 200 Ah sont utilisées [3].

II.6.2. Dimensionnement des Supercondensateurs

Le banc de super condensateurs est constitué de 4packs et possède une capacité totale (C_{sc}) de 14.5F sous une tension nominale de 60V, soit une énergie disponible de 9575J. La tension du banc évolue entre 30V et 60V [3].

II.6.3. Dimensionnement de hacheur:

Convertisseur associé: $L_{bat} = 250\mu H$

Convertisseur associé : $L_{sc} = 250\mu H$

II.6.4. Dimensionnement de MCC:

$U=220V$; $R_s=92\Omega$; $L_s=5.257H$; $R_a=2.52\Omega$; $L_a=0.084H$; $M_{sd}=0.284H$; $J=0.017Kg.m^2$

II.7. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation des composants de base d'un véhicule électrique, représentés par: batterie , Supercondensateur , hacheur et MCC.

Chapitre III:

Gestion d'Énergie à Bord du Véhicule

III.1.Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons gérer les flux énergétiques entre une source hybride composée de deux : batteries et supercondensateurs, d'une part, une charge, d'autre part.

Pour cela, les modèles présentés précédemment seront utilisés et implantés sous « Matlab ». Différents résultats de simulation seront présentés et discutés.

III.2.Architecture du système hybride à bord:

Pour faire une connexion d'un bus continu avec deux sources, il faut prendre en considération le coût, volume, masse totale, et efficacité du système.

La structure représentée sur la figure (III.1) permet :

- D'assurer la continuité de puissance quelque soit la demande de la charge.
- Donner une énergie très élevée durant des brèves périodes.

Cette architecture est composée de :

- Un bus continu de nature capacitive d'une tension égale à 100V.
- Une source principale d'énergie représentée par un stack des batteries Plomb Acide, reliées au bus continu par un convertisseur Buck/Boost bidirectionnel en courant. Ils ont une tension V_{ba} et une puissance P_{ba} .

Une source auxiliaire d'énergie :

- Une source de puissance représentée par un stack de supercondensateurs, possédant une tension V_{sc} , fournissant et absorbant une puissance P_{sc} . Les supercondensateurs sont connectés au bus continu à l'aide d'un convertisseur Buck/Boost bidirectionnel en courant.

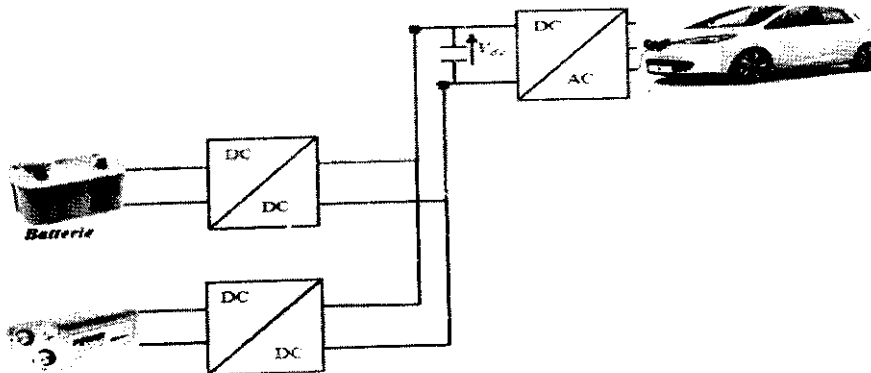


Figure III.1 : Architecture du système hybride à bord

III.3.Principe de la gestion d'énergie:

Le but principal de la gestion d'énergie est la satisfaction de la puissance demandée par la charge, donc trouver la meilleure distribution des puissances entre les sources d'énergie du système.

Le principe de la gestion d'énergie repose sur l'assurance de la continuité de la puissance requise par la charge tout en respectant différentes contraintes de fonctionnements tels que les batteries et supercondensateurs. Pour ce la, nous avons suivi le principe indiqué dans le tableau ci- dessous.

Tableau III.1 : principe de la gestion d'énergi

	Modes	Schéma des flux énergétiques	Description
Traction	Mode 1		Le batterie et la supercondensateur alimentent ensemble le véhicule électrique
	Mode 2		Les batteries alimentent seuls le véhicule électrique
Freinage	Mode 3		Les batteries et supercondensateurs récupèrent l'énergie issue du freinage
Arrêt	Mode 4		Aucun flux énergétique

BA : Batteries

SC : Supercondensateurs

ME : Moteur électrique

III.4. Résultats de simulation et discussion:

Afin de vérifier le principe de gestion d'énergie proposée, nous avons :

- Proposé le profil de consommation indiqué dans la figure III.2 tenant en compte trois phases : phase de démarrage, phase normale, et phase de récupération.
- Utilisé l'outil « Matlab/Simulink ».

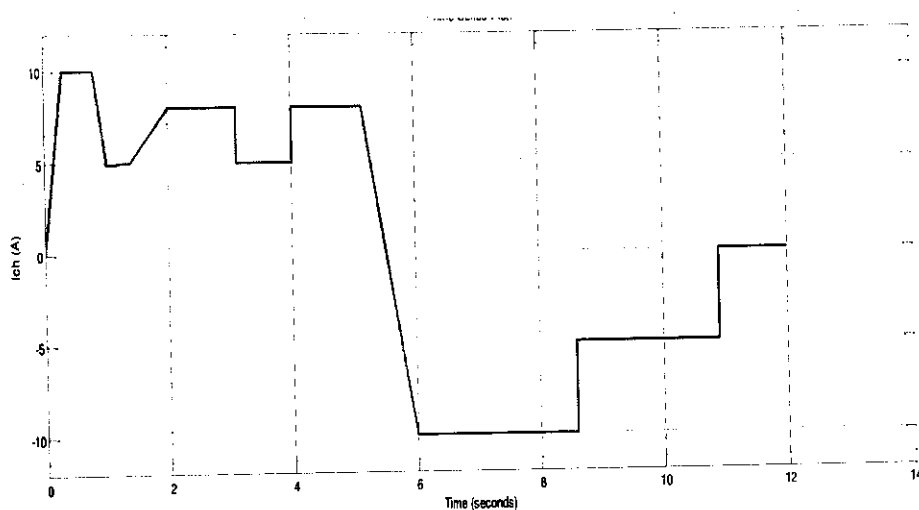


Figure III.1 : Profil de consommation la courant.

La figure III.2 montre l'allure de la courant consommée par la charge et celle fournit par la source hybride.



Figure III.2 : Courants de Supercondensateurs.

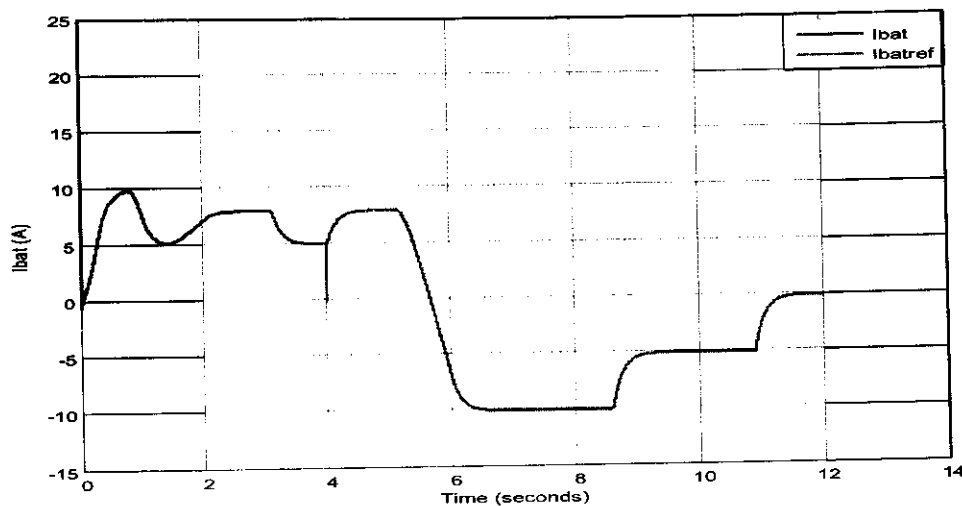


Figure III.3 : Courants des batteries

Comme la variation de la puissance consommée par la charge conduira à de la source hybride, les figures III.2 et III.3 prouvent que le courant de chaque source suit sa référence fournit par la stratégie de gestion d'énergie.

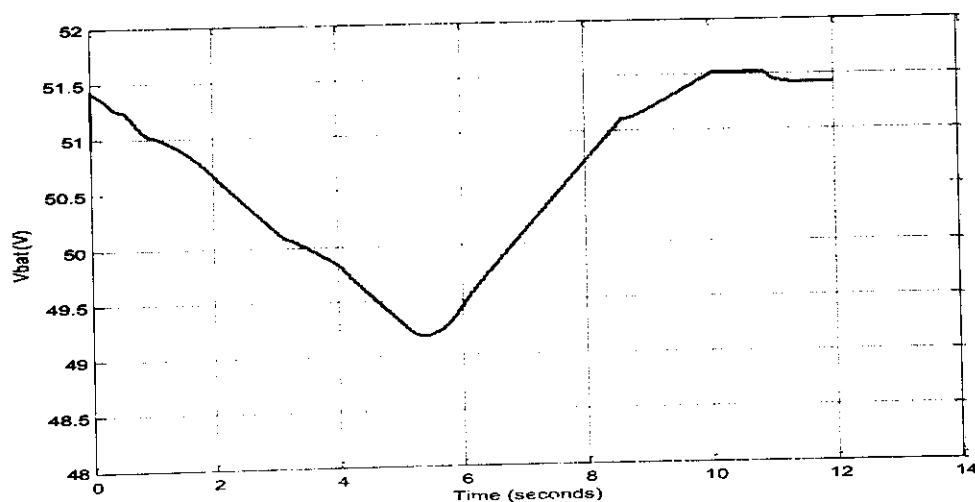


Figure III.4 : Tension des batteries.

Dans un premier temps, on remarque que la tension de la batterie diminue et cela indique que la batterie est dans un état déchargé (phase de démarrage).

Puis, à un instant de 5 secondes, il commence à monter progressivement, prouvant que la batterie est en état de charge (phase freinage).

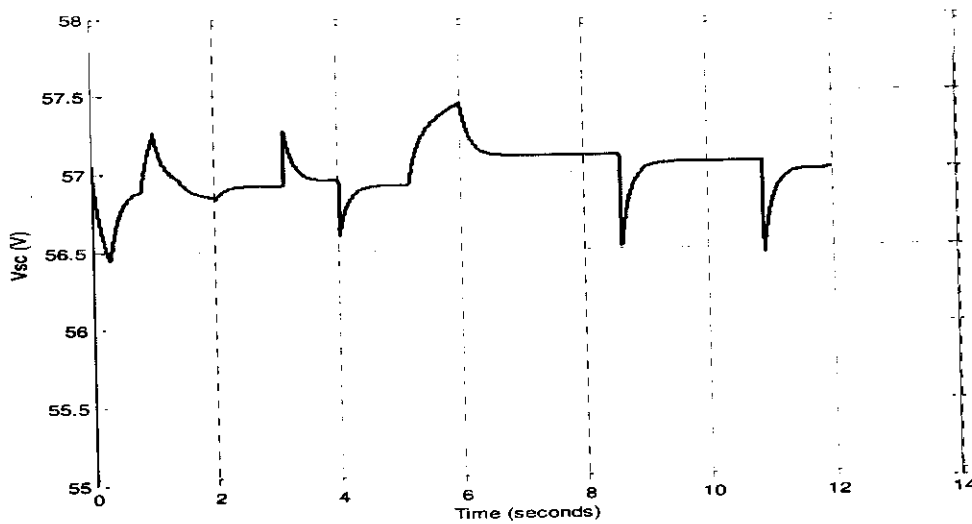


Figure III.5 : Tension des Supercondensateurs.

Remarque: les supercondensateurs donnent la tension en très peu de temps.

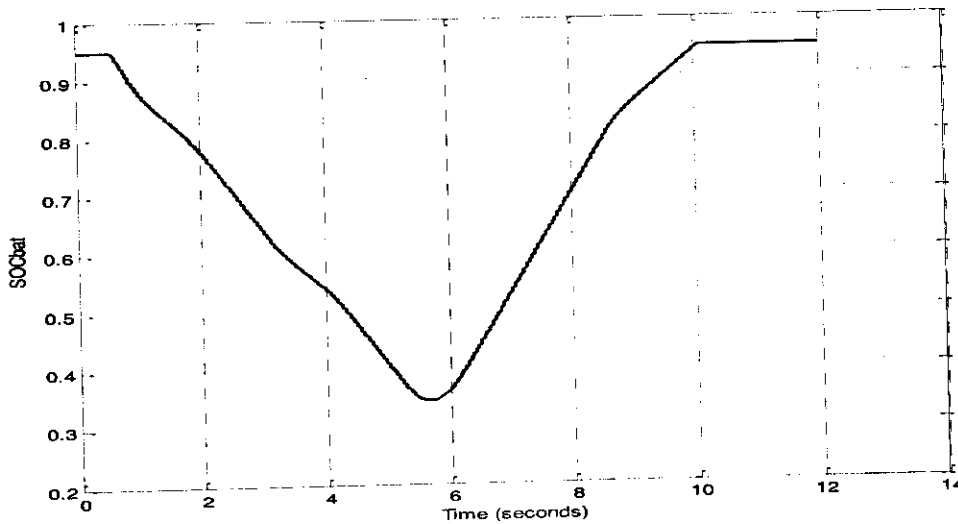


Figure III.6 : État de charge des batteries.

Au départ, la batterie était complètement chargée.

Du [1-5s] : Nous notons que l'état de charge de la batterie diminue progressivement, ce qui indique que la batterie est en état de décharge (phase de démarrage).

Du [5-10s] : Nous notons que l'état de charge de la batterie est en escalade progressive, ce qui prouve que la batterie est en charge (phase Freinage).

Du [10-12s] : Nous remarquons la stabilité de l'état de charge de la batterie, ce qui prouve que la batterie n'est pas connectée à la charge (phase arrêt).

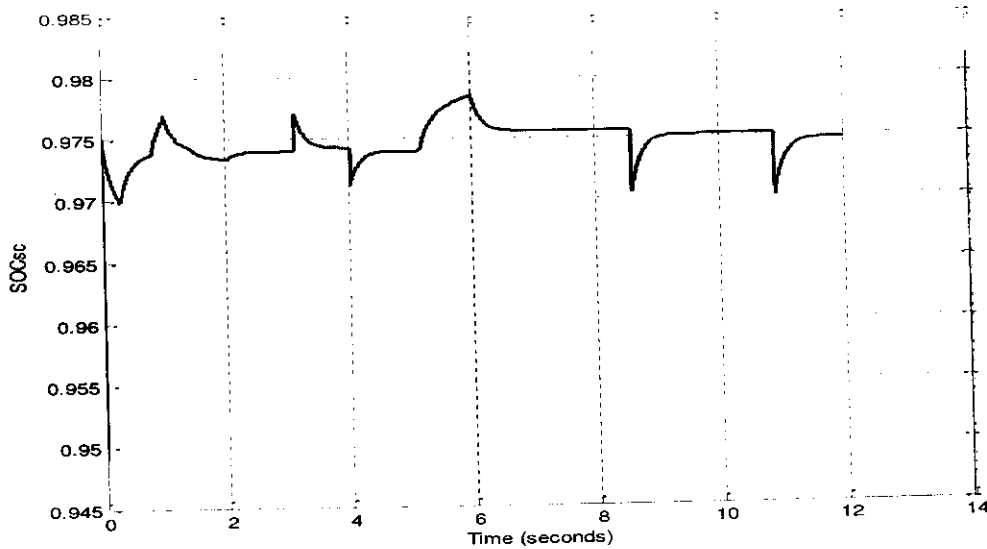


Figure III.7 : État de charge des batteries.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la gestion d'énergie d'un système hybride autonome. Le système est constitué d'un pack de batteries Plomb Acide considéré comme source principale, et de supercondensateurs utilisés en tant que sources auxiliaires, sans oublier la charge modélisée par un profil de consommation.

D'après les résultats obtenus, nous concluons que :

- La source hybride permet de satisfaire les demandes en puissance de la charge,
- Les états de charge finaux des batteries et supercondensateurs sont acceptables pour démarrer autres cycles de conduite. Ainsi, la durée de vie du système hybride autonome sera augmentée.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail était la gestion d'énergie d'une source hybride autonome composé de deux sources : l'une, principale composée d'un stack de batteries Plomb Acide, le autre secondaire constituées de stack de super condensateurs.

Les deux sources d'énergie sont connectées au bus continu de sortie du système par convertisseurs statiques DC-DC d'interface : les convertisseurs Buck/Boost connectés aux stacks de batteries au Plomb Acide et de super condensateurs. Ces convertisseurs ont permis d'assurer les transferts d'énergie depuis les sources vers la charge (traction du véhicule) et de la charge vers les éléments de stockage (freinage du véhicule).

Les résultats obtenus ont prouvé l'efficacité de l'algorithme proposé pour la gestion d'énergie et ont démontré la complémentarité entre les deux sources d'énergie à savoir : les batteries Plomb Acide et super condensateurs. En fait :

- La source hybride permet de satisfaire les demandes en puissance de la charge.
- Les états de charge finaux des batteries et super condensateurs sont acceptables pour démarrer autres cycles de conduite. Ainsi, la durée de vie du système hybride autonome sera augmentée.

- [1]: Nouha. « Contribution au Developpement d'un Simulateur pour Les Vehicules Electrique Routiers» Thèse de doctorat, université de Franche-Comté. 2008.
- [2]: Husain I. « Electric and Hybrid Vehicles»: Design Fundamentals. CRC Press LLC, 2003.
- [3]: Westbrook M. H. «The electric car: development and future of battery, hybrid and fuel- cell cars», série38. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom and Society of Automotive Engineers, USA, numéro ISBN 0 85296 0131.2001.
- [4]:Multon B. «Motorisation des véhicules électriques», Techniques de l'ingénieur, numéro E3996. 2001.
- [5]: Kant M. «La voiture électrique», Techniques de l'ingénieur, numéro D5562. 1995.
- [6]: Article sur les VE, différence entre le Kangoo ZE et le Partner Ion.
<http://www.cnetfrance.fr/cartech/peugeot-partner-electrique-la-reponse-au-kangoo-ze-9786134.htm> 2013
- [7]: AOUZELLAG Haroun. « Stratégies de commande d'un véhicule hybride», mémoire de master : université A-Mira Bejaia, 2013.
- [8]: Nouh Aiman, « Contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électriques routiers ». Thèse de doctorat, université de Franche-Comté,2008.
- [9]: Charikh.A, «Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique», mémoire de master : université A-Mira Bejaia,2017.
- [10]: Babouri.R, «Contrôle par logique floue d'une chaine de traction d'un véhicule électrique basé sur une machine asynchrone à double alimentation», mémoire de master :Université Abderrahmane Mira, Bejaia ,2013.
- [11]: Marc DEBRUYNE « Apport de l'électronique de puissance pour la traction électrique» technique d'ingénieur. 2010.
- [12]: 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.
- [13]: Kevin Tanguy, « Modélisation et optimisation de la recharge bidirectionnelle de véhicules électriques Application à la régulation électrique d'un complexe immobilier », Québec, Canada, 2013.

Références bibliographiques

- [14]: 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.
- [15]: A.NOUH «Contribution Au Développement D'un Simulateur Pour Les Véhicules Electriques Routiers», Thèse doctorat, Université de technologie Belfort Montbéliard, France, 2008.
- [16]: A.DAANOUNE«Contribution à l'Etude et à l'Optimisation d'une Machine Synchrone à Double Excitation pour Véhicules Hybrides», Thèse doctorat, Université de Grenoble, France, 2006.
- [17]: DICHE.A: «Etude et Stratégies de Commande d'un Véhicule Hybride Série», mémoire de master :Univerite Mouloud Mammari de Tizi Ouzou,2013.
- [18]: G. ROUSSEAU, « Véhicule hybride et commande optimale », Thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [19]: A. EMADI, K. RAJASHEKARA, S. S. WILLIAMSON, and S. M. LUKIC, « Topological overview of Hybrid Electric and Fuel Cell vehicular power systems architectures and configurations », IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 3, pp. 763-770, May, 2005.
- [20]: [En ligne] T. J. WARREN, « Hybrid Vehicle Technologies », www.PDHonline.org. PDH Course G208, Warren T. Jones © 2007.
- [21]: FLORESCU.A,«Gestion optimisée des flux énergétiques dans le véhicule électrique», Thèse de doctorat : Université de Grenoble,2012.
- [22]: M.boukli-hacene Omar, «Conception et Réalisation d'un Générateur photovoltaïque Mini d'un Convertisseur MPPT Pour Une Meilleure Gestion Energétique», Mémoire de Magister de l'Université de Abou Baker Belkaid-Tlemcen, décembre 2011.
- [23] : Yann Riffonneau, «gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau - Application à l'habitat», Thèse de doctorat de l'Université de Joseph Fourier, soutenue le 23 octobre 2009.
- [24]: Damien Paire, «Dimensionnement et gestion d'énergie de systèmes d'entrainements électriques hybrides : application à un ascenseur avec récupération d'énergie», Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, soutenue le 6 décembre 2010.
- [25]: Olivier Gergaud, «Modélisation énergétique et optimisation économique d'un