



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ ABOUBAKR BELKAID - TLEMCEM

Faculté des sciences

Département de physique

Unité De Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables

- URMER -



Étude et dimensionnement d'une batterie pour l'alimentation d'un véhicule hybride

Mémoire présenté par

M^r FARES MOHAMMED EL AMINE

En vue de l'obtention du diplôme de

Master de physique

Spécialité : Physique Énergétique et Matériaux

Soutenue publiquement le 03 Juillet 2013 devant le jury composé de :

M ^{me} N. GHELLAI	Président	Professeur-Université-Tlemcen
M ^r A. CHIALI	Encadreur	MCB/EPST-Tlemcen
M ^r N. BIBI TRIKI	Examineur	Professeur-Université-Tlemcen
M ^{me} D. KHERBOUCHE	Examinatrice	MCB/EPST-Tlemcen

Dédicaces

À

- Mes chers parents
- Mes chers frères ,
- Toute ma famille,
- Mes fidèles amies.
- Tous les étudiants du 2^{ème} Master physique Energétique et matériaux,
- Tous ceux qui me sont chers,
- Tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science,
- Tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité,
- Tous ceux qui militent pour une humanité solidaire et prospère.

Mohamed El amine. F

Je remercie en premier lieu notre Dieu le tout puissant qui nous a dotés de la merveilleuse faculté de raisonnement, de m'avoir donnée le courage et la volonté de mener à terme le présent travail.

J'exprime tout d'abord, ma profonde gratitude à Mr Anisse CHIALI, Maître de Conférences "B" à l'École préparatoire en sciences et techniques de Tlemcen (EPST - Tlemcen), pour m'avoir dirigé avec une disponibilité permanente et pour tous les efforts qu'il a consenti tout au long de l'élaboration de ce modeste travail. Ses encouragements, ses précieux conseils, et la confiance qu'il m'a toujours témoignée m'ont été d'une très grande utilité. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

J'exprime mes sincères remerciements à Madame N. GHELLAI, professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le Jury de ce mémoire.

J'exprime mes sincères remerciements à M^{me} D. KHERBOUCHE Maître de Conférences "B" à l'École préparatoire en science et technique de Tlemcen (EPST - Tlemcen) et Mr N. BIBI-TRIKI, professeur d'université pour m'avoir fait l'honneur d'examiner et de juger mon travail.

Je remercie également tous mes collègues et amies, qui me sont chères. J'associe à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à ce travail parfois sans le savoir ou du moins sans mesurer le porté de leur influence.

A vous tous J'exprime

Ma profonde sympathie

Et je vous souhaite beaucoup de bien.



Liste des figures :

Chapitre I : introduction générale

Fig.I.1 : Batterie nouvelle génération pour véhicules dotés de la technologie Stop & Start.
Source : Varta.....11

Chapitre II : architecture d'un véhicule électrique

Fig.II.1 : Les Composants d'un Véhicule Electrique Hybride.....14

Fig. II.2 : architecture hybride série.....15

Fig.II.3: Configuration d'un Véhicule Electrique Hybride Series.....16

Fig II.4 : L'architecture hybride parallèle simple arbre.....17

Fig. II.5 : Architecture parallèle double arbre.....18

Fig II.6 : La constitution des moteurs hybrides.....19

Fig. II.7 : Éléments constituant le moteur hybride PSA.....19

Chapitre III : modélisation et simulation d'un véhicule hybride

Fig.III.1 : niveau de charge de la batterie sans utilisation mode ville.....38

Fig.III.2 : niveau de charge de la batterie avec utilisation mode ville.....38

Fig.III.3 : Schéma descriptif d'un véhicule hybride (Simulink).....40

Fig.III.4 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul. En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.....41

Fig.III.5 : Le système de transmission de la Toyota Prius.....44

Fig.III.6 : Conduite normale.....44

Fig.III.7 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul. En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.....45

Fig.III.8 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul. En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.....46

Fig.III.9 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul. En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.....48

Fig.III.10 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.
En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.....49

Fig.III.11 : Fortes accélérations.....49

Sommaire

Expert PDF Evaluation

Introduction générale	1
Chapitre I : Introduction générale	2
I.1. Introduction..	3
I.2 Historique	3
I.3 Technologie actuelle	4
I.3.1. Toyota Prius.....	4
I.4 Technologie de stockage d'énergie sur les batteries :	9
I.4.1 Principe de fabrication	9
I.4.2 Les producteurs de batteries.....	10
I.4.3 Les caractéristiques principales d'une batterie	10
I.4.4 Entretien d'une batterie.....	11
I.5 Conclusion.....	12
Chapitre II : Architecture d'un véhicule hybride	13
I. Introduction.....	14
II. Architecture en série	15
III. Architecture en parallèle	16
IV. Architecture série –parallèle.....	18
1. Moteur électrique (16KW).....	20
2. Électronique de puissance (Onduleur et Convertisseur Haute Tension).....	20
3. Superviseur chaîne de traction hybride (PTMU)	20
4. Câbles électriques Haute Tension.....	21
V. Le véhicule hybride	21
1. Historique.....	21
2. Descriptif d'un Véhicules hybrides	22
3. Accumulateur.....	24
I. Accumulateurs au plomb.....	24
II. Accumulateurs au nickel-cadmium et au nickel-fer	25
III. Accumulateurs au nickel-hydrure métallique.....	26
IV. Accumulateurs au sodium-soufre.....	26
V. Accumulateurs au lithium.....	27
VI. Accumulateurs au zinc-air et à l'aluminium-air.....	28

VII.	Piles à combustible.....	28
VI.	Conclusion.....	29
Chapitre III : Modélisation et simulation d'un véhicule hybride.....		31
I.	Introduction.....	32
II.	Type de batteries utilisé Li-Ion	32
1.	Caractéristique électrique	32
2.	Les modes de conduites	36
1.	Le mode Normal.....	36
2.	Le mode Sport.....	36
3.	Le mode Montagne.....	37
4.	Le mode Ville.....	37
III.	Modélisation et dimensionnement par matlab de la batterie Li-Ion :	38
III.1	Les modules contenus dans Matlab/Simulink.....	39
III.2	Simulink.....	39
III.3	Stockage d'énergie.....	40
III.4	Source d'énergie irréversible.....	41
III.5	Moteur thermique.....	42
III.6	Machine électrique (ME).....	42
III.7	Transmissions.....	43
III.8	Paramètres étudiés	43
1.	La dynamique du véhicule	43
2.	Les propriétés électriques de la batterie.....	43
3.	Les modes de conduites étudiés	43
3.1.	Conduite normale.....	44
3.2.	Forte accélération.....	47
IV.	Conclusion	50
Conclusion générale.....		52
bibliographie.....		54

Introduction

Expert PDF Evaluation

Introduction générale :

La technologie de batterie pénètre présentement d'autres marchés comme ceux des véhicules électriques hybrides (HEV) de même que ceux des voitures entièrement électrique EV [1]. Il existe toutefois de nombreux problèmes technologiques à résoudre avant que les batteries soient utilisées dans les véhicules électriques hybrides de manière optimale, notamment par la mise en œuvre de matériaux à bas coût, de durée de vie longue et présentant une sécurité parfaite, des densités d'énergie et de puissance élevées [2].

Dans le premier chapitre nous rappelons très brièvement l'histoire de la voiture hybride, suivi la technologie actuelle de voiture et la technologie de stockage l'énergie dans les batteries.

Le deuxième chapitre sera consacré aux différentes architectures d'une voiture hybride

Dans le troisième chapitre nous avons faire une modélisation et un dimensionnement d'une batterie Li-Ion pour différent types de véhicule en utilisant le logiciel MATLAB/SIMULINK.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude ainsi que les perspectives de notre travail

Chapitre I : introduction générale

I.1. Introduction :

Le monde est aujourd'hui confronté à un défi énergétique majeur : répondre à la croissance des besoins, dans un contexte de contrainte climatique et de raréfaction des ressources [1].

Les transports représentent 27 % de la consommation mondiale d'énergie et 61 % de la consommation de pétrole à l'échelle de la planète. Ils restent au niveau mondial l'une des principales causes de la pollution atmosphérique et sont responsables de 23 % des émissions de CO₂.

Pour lutter contre le changement climatique et limiter les émissions de gaz à effet de serre, différentes solutions de technologies d'énergie-motorisation sont envisagées : voitures électriques, hybrides, biocarburants, hydrogène et piles à combustible...

La voiture électrique est un portail de qualité dédié à l'univers de l'automobile verte et des nouveaux moyens de transports [2].

I.2 Historique

Le premier véhicule électrique a fait son apparition **au cours des années 30 du XIX^{ème} siècle**. La première personne à avoir inventé une voiture électrique est **Robert Anderson**, un homme d'affaires écossais. Il s'agissait plutôt d'une carriole électrique.

En **1859**, le français **Gaston Planté** invente la batterie rechargeable au plomb acide [3].

La voiture individuelle électrique rencontre enfin son marché et ses premières applications sur la voie publique : les New-Yorkais peuvent apercevoir en 1897 les premiers Taxis électriques circulant en ville [4].

En **1899** en Belgique, une société construit « **La Jamais Contente** » la première auto électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h). Elle était en forme de torpille.



En 1973, avec le premier choc pétrolier et l’embargo de l’OPEP envers le États-Unis, l’opinion publique est prête à passer à la voiture électrique.

En 1990, l’État de la Californie vote le Zéro Émission Véhicule (ZEV), un plan qui prévoit que 2% des véhicules devront avoir zéro émission polluante en 1998 (puis 10% d’entre eux pour 2003).

En 2002, G.M. et DaimlerChrysler poursuivent le Californie Air Resource Board (CARB) pour faire annuler la loi Zéro Emission Véhicule (ZEV) de 1990. Le président américain George Bush se joint à eux.

En 2010, Toyota et EDF ont testé une nouvelle voiture hybride en vue d’une future commercialisation. L’expérimentation a lieu dans la ville de Strasbourg. Cette voiture essence hybride est rechargeable sur une prise électrique domestique [4].

I.3 Technologie actuelle :

A l’heure actuelle, le compris entre la voiture à essence et la voiture électrique est l’apparition de la voiture hybride et se part actuel dans le marché de l’automobile.

Afin d’expliqué ceci nous présentons à titre d’exemple la voiture :

I.3.1. Toyota Prius

La dénomination Toyota Prius recouvre plusieurs modèles d’automobiles à motorisation hybride , présentant une double motorisation thermique et électrique et équipés du système Hybrid Synergy Drive , HSD. L’énergie utilisée est l’essence (énergie primaire unique), sauf pour le modèle rechargeable qui utilise également l’électricité en provenance du secteur et non uniquement celle produite à bord par les machines électriques [5].

Le premier modèle Prius, berline 4 portes avec une malle séparée, a été proposé en 1997. Il a été suivi par une version techniquement remaniée mais à la carrosserie identique en 2000. La Prius II (NHW20), modèle à 5 portes et 5 places, a été introduite fin 2003 au Japon et aux États-Unis, et début 2004 en Europe. Il marque l'accès de cette voiture à une réelle popularité, en particulier aux États-Unis.

La Prius III a fait son apparition au salon de l'auto de Genève en mars 2009 ; elle est commercialisée en Europe au printemps 2009. Elle est produite exclusivement au Japon ; Toyota envisageait de l'assembler aux États-Unis, mais y a renoncé en 2010 pour cause de morosité du marché automobile local, repoussant son projet à la prochaine version du véhicule [6].

Motorisation

Le concept allie un moteur à essence qui serait sous-dimensionné s'il était utilisé seul et deux moteurs-générateurs électriques dénommés MG1 et MG2, de tailles et puissances différentes, tous trois reliés à un train épicycloïdal. Le moteur thermique est optimisé pour une faible consommation et une pollution limitée (moteur à cycle de Miller / Atkinson où le taux de détente est supérieur au taux de compression).

Transmission

La transmission est électromécanique : une partie de la puissance passe par voie mécanique, l'autre par voie électrique, reproduisant les sensations de conduite d'une transmission à variation continue classique, bien que fondée sur un principe totalement différent. Une telle transmission ne comporte en particulier aucun embrayage ou dispositif de découplage mécanique entre moteurs et roues, devenus inutiles.

Full-Hybrid

Fonctionnement d'une automobile type "hybride complète" (traduction du terme anglais full hybrid). Le moteur électrique fonctionne seul à faible puissance (cas où le moteur thermique aurait un rendement très faible), tant que la batterie n'est pas déchargée. Il fournit un appoint pour aider le moteur thermique lorsqu'une puissance importante est nécessaire (accélération, en côte...). En régime de croisière, le moteur thermique qui fonctionne le plus souvent à une pression moyenne effective (charge) plus élevée que nécessaire utilise ce surplus d'énergie mécanique pour recharger la batterie.

Contrôle

Le système de contrôle nommé HybridSynergy Drive (HSD) dans la version 2004, THS précédemment organise la répartition des efforts entre le moteur thermique et les 2 moteurs-générateurs électriques pour optimiser le rendement global. Contrairement à une opinion répandue, la partie électrique est toujours sollicitée quel que soit le type de conduite, mais pas nécessairement la batterie, l'électricité pouvant passer directement de MG1 à MG2 ou inversement ; c'est le principe même d'une transmission électromécanique qui permet de faire varier le couple appliqué aux roues comme le ferait une boîte de vitesses mécanique, mais par voie électrique.

Récupération d'énergie

Afin de pouvoir récupérer de l'énergie lors des ralentissements, le freinage est lui aussi hybride et contrôlé par ordinateur :

Dès que l'accélérateur est relâché, le moteur thermique n'est plus alimenté en carburant (il s'arrête physiquement au-dessous de 70 km/h environ) et le frein moteur est assuré par MG2 qui recharge la batterie (freinage régénératif).

De même, lorsqu'on actionne la pédale de frein, c'est d'abord MG2 qui fournit l'effort de freinage avant de laisser opérer les freins à disques traditionnels quand la pression sur le frein augmente. Bien que la puissance de MG2 soit de 60 kW (Prius III), la puissance de freinage électrique est limitée par la puissance de charge que peut supporter la batterie (27 kW d'après le constructeur), ce qui incite le conducteur à réaliser des freinages doux pour récupérer le maximum d'énergie et abaisser ainsi sa consommation.

Consommation

Bien que fonctionnant uniquement avec de l'essence comme source primaire d'énergie, la motorisation hybride de la Prius parvient à abaisser la consommation mixte d'environ un tiers par rapport à celle d'une automobile non-hybride équivalente [7]. Ce résultat est obtenu en faisant fonctionner le moteur thermique le plus près possible de son rendement maximum, ce qui est impossible sur une voiture traditionnelle à cause des fluctuations de puissance très importantes liées à la conduite. La réversibilité des moteurs électriques permet également de récupérer lors des freinages une partie de l'énergie habituellement perdue sous forme de chaleur, en utilisant MG2 comme générateur pour recharger la batterie. Cette particularité est particulièrement mise à profit en circulation urbaine, où la Prius excelle sur le plan du rendement par rapport aux automobiles à propulsion purement thermique.

Le cycle urbain se caractérisant par des arrêts et des faibles vitesses, la voiture n'a alors besoin que de peu de puissance ; le moteur thermique n'y fonctionne qu'en cas de forte accélération et la batterie se recharge lors des freinages. En cycle urbain, une voiture avec un moteur hybride consomme donc moins qu'une voiture non hybride de même catégorie. Sur voie rapide, la Prius a aussi une consommation plus faible que les voitures familiales à essence commercialisées à la même date (2009) grâce à un plus faible coefficient de traînée.

Modèle 1997-2003

Le premier modèle, la Prius I (type NHW10), une berline 4 portes avec une malle séparée, a été proposé en 1997 au Japon seulement. Il a été suivi par une version techniquement remaniée mais à la carrosserie identique (NHW11) en 2000, disponible alors également en Europe, aux États-Unis et en Australie.

Modèle 2004-2009

Allongée de 13,5 cm pour atteindre 445 cm, dont 15 cm découlent d'une augmentation de l'empattement, la Prius modèle 2004 (NHW20), gagne en habitabilité à l'arrière et offre un coffre de 408 litres au total, comprenant un espace de rangement de 41 litres sous plancher. Son Cx de 0,26 lui donne une ligne fluide. L'inconvénient d'une telle forme aérodynamique (pare-brise très incliné en

particulier) réside, comme sur beaucoup de voitures modernes, en une faible visibilité aux quatre angles.

La demande excédant largement l'offre, la production a été doublée en 2005 pour atteindre 100 000 exemplaires. Aux États-Unis, son marché préférentiel avec le Japon, il se vendait environ 8 000 à 10 000 Prius par mois au début de l'année 2005. La production mondiale de Prius (toutes générations confondues) a dépassé la barre des 500 000 exemplaires fin avril 2006 selon Toyota.

La Prius II était proposée à 25 550 € en France en 2004 (prix catalogue, ne tenant pas compte d'éventuelles remises de Toyota), année où seulement cinq cents exemplaires étaient disponibles, ce nombre fut porté à 2 500 en 2005. Elle donnait alors droit à un crédit d'impôt de 1 524 €. En janvier 2006, ce crédit d'impôt a été porté à 2 000 € afin d'encourager les économies d'énergies. Au 1^{er} janvier 2008, il a été remplacé par un Bonus-malus écologique de la même valeur. En Belgique, moins de 105 g de CO₂ par km permet une réduction d'impôt. En effet, la prime de l'état est alors portée à 15 % de la valeur totale de la voiture avec un plafond à 4 350 € TVA comprise. Cette prime est directement enlevée de la facture et c'est le constructeur qui se fait rembourser par l'État. De plus, la région wallonne de Belgique offre une prime à l'immatriculation des voitures peu polluantes et la Prius rentre dans la catégorie des « plus écologiques », elle bénéficie donc d'un bonus de 1 000 €.

Elle a été élue Voiture de l'année 2005 en Europe. En mai 2008, Toyota a annoncé avoir vendu 1 million de Prius dans le monde.

Modèle 2009

Une troisième génération de Prius (Prius III) est lancée au printemps 2009 en Europe : le modèle ZVW30 [8] :

- Plus longue (15 mm) et plus large (20 mm), les occupants des places arrière, peuvent dorénavant compter sur une meilleure garde au toit
- Son moteur thermique ne comporte plus aucune courroie car la pompe à eau est électrique.
- La cylindrée passe de 1,5 litre à 1,8 litre
- Le freinage est plus facile à moduler
- L'affichage de la récupération d'énergie passe du grand écran au compteur
- Phares à LED en option
- Régulateur de vitesse qui s'adapte en fonction de la distance des autres véhicules (en option dans certains pays dont la Belgique)
- Toit ouvrant avec panneau solaire et ventilation à énergie solaire en option
- Affichage tête haute par projection sur le pare-brise
- Cx de 0.25 [9] (-0,01 par rapport à la seconde génération)
- Émission de CO₂ : 89 g/km

Cette troisième génération de Prius a terminé en tête de son marché en 2009 au Japon, toutes catégories confondues. En octobre 2010, Toyota a annoncé avoir vendu deux millions de Prius dans le monde (depuis le lancement du premier modèle)[10]. Une version légèrement restyle est présentée début 2012.

Une version Plug-in Hybride de la Prius III a été présentée lors de différents salons en 2009. Des expérimentations sont menées au cours de l'année 2010 au Japon, aux États-Unis et en France, à Strasbourg pour déterminer les conditions dans lesquelles sont utilisés les VHR et l'infrastructure de charge [11].

Monospace

Une Prius monospace a été présentée pour la première fois au salon de Détroit en 2011. Commercialisée dès mai 2011 au Japon sous le nom de « Prius Alpha », elle est commercialisée à partir de juin 2012 en Europe sous le nom de « Prius + » [12].

Prius hybride rechargeable

La version de série de la Toyota Prius III hybride rechargeable a été annoncée au salon automobile de Francfort en septembre 2011 [13] et sa commercialisation a débuté en Europe au cours de l'été 2012 [14].

Ce nouveau modèle est équipé d'une batterie lithium-ion de 4,4 kWh qui autorise jusqu'à 23 km d'autonomie en mode électrique. Le temps de recharge via une prise classique est de 90 minutes. Cette version rechargeable est dotée des mêmes moteurs que la Prius III classique : à essence 1,8 L de 100 ch, associé à un moteur électrique de 81 ch. Au total, la combinaison des deux moteurs offre une puissance de 136 chevaux. Toyota annonce une consommation moyenne en cycle mixte de 2,2 l/100 km et un taux de CO₂ de 49 g/km (chiffres en cours d'homologation européenne).

I.4 Technologie de stockage d'énergie sur les batteries :

La fabrication des batteries est au centre du développement des véhicules hybrides. S'il existe de nombreuses technologies différentes, essayons de faire le point sur la fabrication de ces unités de stockage, les processus employés, les différents producteurs et les perspectives d'évolution en se concentrant sur la technologie lithium-ion qui semble s'imposer actuellement.

I.4.1 Principe de fabrication

Une batterie est un système de stockage d'électricité : l'énergie chimique stockée dans chaque pile formant la batterie est convertie directement en énergie électrique quand ses bornes sont connectées à un consommateur électrique. Pour les batteries au plomb-acide, elle est constituée de six accumulateurs ou piles, raccordés en série et pouvant délivrer une tension de 12V. [15]

La fabrication des batteries, de par les compétences mises en œuvre et ses techniques de fabrication, s'apparente beaucoup à l'industrie électronique, en ce qui concerne les batteries les plus avancées utilisant la technologie lithium-ion.

La batterie fonctionnant sur des principes chimiques, le but des producteurs est de maîtriser le plus précisément possible la composition chimique du contenu de leurs batteries afin qu'aucun élément extérieur (air, poussière, humidité...) ne vienne perturber leur fonctionnement. Ainsi, la majorité des étapes de production se passe dans des salles blanches où l'on contrôle en permanence la qualité de l'air, ce qui requiert des installations conséquentes.

Après, de façon générale, la production se passe en trois étapes.

- D'abord, les métaux utilisés pour former l'anode et la cathode de la batterie sont raffinés (débarrassés de toutes impuretés) et broyés en poudre.
- Ensuite ils sont mélangés à un solvant pour former une sorte d'encre qui va être imprimée sur une feuille de métal conducteur.
- Pour finir, le tout est placé dans un boîtier, où l'on ajoute l'électrolyte avant de le sceller hermétiquement.

I.4.2 Les producteurs de batteries

Le premier élément à retenir sur la filière des batteries électriques de voiture c'est qu'il s'agit d'un secteur en plein développement. On y emploie des technologies de pointe qui évoluent constamment avec un impact fort sur les performances des batteries. Il serait donc difficile de donner aujourd'hui une liste exhaustive des grands constructeurs de batteries au lithium. Aujourd'hui, les petites structures innovantes jouent encore un rôle prépondérant et la production des premières batteries repose sur des alliances entre constructeurs automobiles, fabricants de batteries (de plus ou moins grandes tailles) et centres de recherches.

Toutefois, la maîtrise de la chimie des batteries, depuis la conception jusqu'à la production, requiert de lourdes technologies et des compétences adéquates. On retrouve alors la plupart des producteurs aux États-Unis, en Europe, au Japon, en Chine et Corée.

L'Asie semble pour l'instant tirer son épingle du jeu grâce à ses grandes entreprises de l'électronique, qui maîtrisent déjà la technologie lithium-ion, utilisée dans les téléphones et ordinateurs portables. Mais encore une fois les jeux ne sont pas faits. L'avenir du secteur dépend et dépendra des innovations et des investissements pour la production en volume [16].

I.4.3 Les caractéristiques principales d'une batterie :

- Dimensions.
- Emplacement des bornes positives et négatives sur la batterie (elles sont parfois inversées !). La borne positive est généralement un peu plus grosse que la borne négative, de forme conique.
- Voltage : tension nominale, 12V dans la majorité des véhicules.
- Ampérage : correspond au courant de démarrage exprimé en Ampère.
- Capacité de la batterie : exprimée en Ah (Ampère-heure) elle correspond à la capacité de stockage et indique la quantité d'électricité pouvant être délivrée pendant une durée déterminée par la batterie (la capacité n'est pas constante et dépend de la température et de l'intensité du courant).

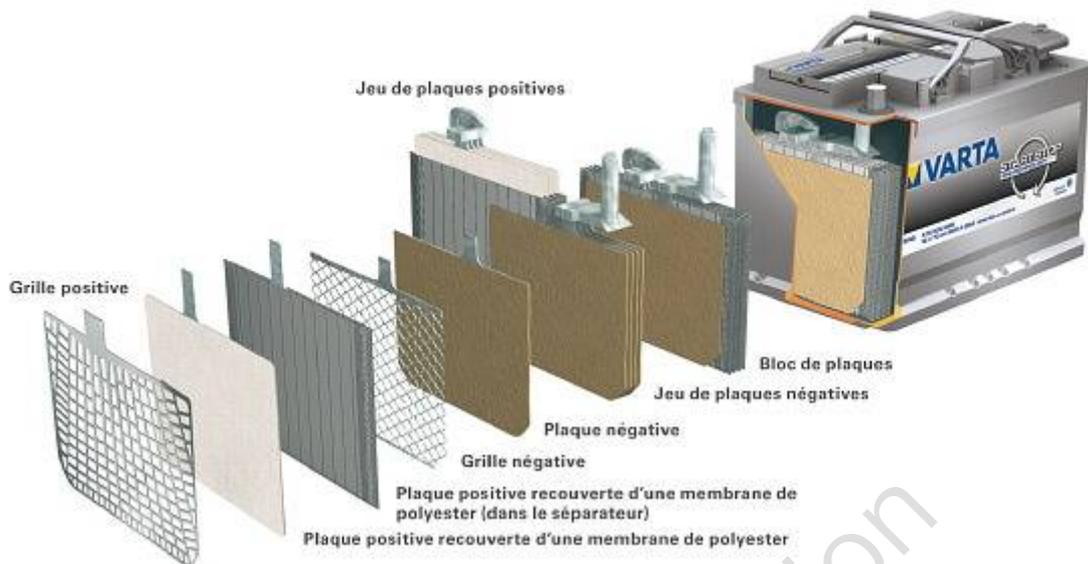


Fig. I.1 : Batterie nouvelle génération pour véhicules dotés de la technologie Stop & Start.
Source : Varta

Avec l'apparition de véhicules dotés du système Stop & Start, les batteries ont dû évoluer pour délivrer une forte puissance au démarrage et être conçue pour accepter 3 à 4 fois plus de cycles de recharge. Les principaux constructeurs de batterie sont Varta et Fulmen.

I.4.4 Entretien d'une batterie

Même si de plus en plus de batteries vendues sont garanties « sans entretien », quelques précautions sont à prendre, notamment pour le stockage. En effet les batteries se déchargent même quand elles sont stockées. La décharge est de 1% à 15% par mois, suivant la composition chimique et le lieu de stockage. Plus il fait chaud et plus elle se déchargera rapidement ; il est indispensable de stocker votre batterie dans un endroit frais à l'abri de l'humidité. Si vous partez en voyage ou vous n'utiliserez pas votre véhicule pendant 1 mois, débranchez la cosse négative sur la batterie. Pour un délai plus long, mieux vaut la démonter, la recharger et la stocker.

Si les bornes de la batterie sont oxydées, il faut les nettoyer avec une brosse métallique ou du papier de verre, puis appliquer de la graisse électrique sur les bornes.

Pour les batteries avec bouchon, il faut faire les niveaux en utilisant seulement de l'eau distillée : l'eau du robinet est chargée en chlore et magnésium. Ces éléments vont cristalliser lors de l'électrolyse et produire une pellicule sur les plaques de la batterie, empêchant son fonctionnement [15].

I.5 Conclusion :

Les performances des cellules Lithium ion pour l'automobile sont bonnes mais doivent être validées pour les cellules industrielles et les systèmes batteries complets.

L'industrie des batteries Lithium ion pour l'automobile se met réellement en place mais n'est pas encore aujourd'hui à maturité industrielle pour les véhicules hybride.

La sécurité des batteries est un élément clef, elle doit être garantie, les délais pour atteindre des systèmes de qualité dans ce domaine reste incertain Besoin de certification dans les domaines des performances mais surtout dans le domaine de la sécurité

Expert PDF Evaluation

Chapitre II : architecture d'un véhicule hybride

Expert PDF Evaluation

VII. Introduction

Les véhicules électriques hybrides utilisent deux unités de propulsion : un moteur électrique et un moteur à combustion interne. Pendant le mouvement de véhicule, l'utilisation des deux sources de puissance du véhicule électriques hybrides est répartie de façon à réaliser une consommation de carburant basse et des émissions de gaz à effet de serre basses. Les composants principaux des véhicules électriques hybrides sont le moteur électrique (aussi utilisé comme générateur), les batteries et les dispositifs d'accouplement (voir la figureII.1).

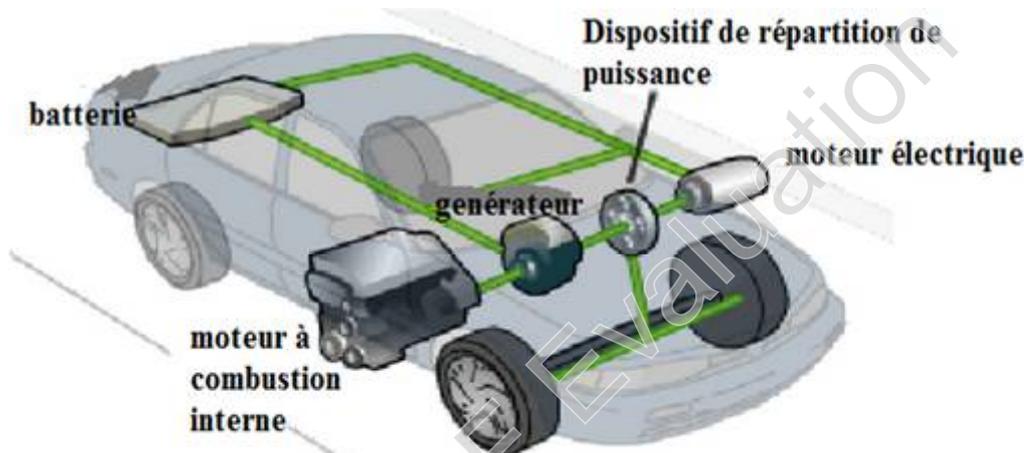


Figure II.1. Composants d'un Véhicule Electrique Hybride

Le moteur électrique utilise l'énergie des batteries tandis que le moteur à combustion interne utilise le réservoir de carburant. Le moteur électrique et celui à combustion interne sont connectés l'un à l'autre via des dispositifs mécaniques. L'énergie des batteries est à nouveau remplie de deux façons différentes lors des voyages du véhicule électrique hybride. La première est le freinage régénérateur. La deuxième exploite le moteur électrique tel un générateur afin de produire de l'électricité lors de l'utilisation normale du véhicule.

Il y a principalement deux architectures différentes pour les véhicules électriques hybrides qui sont l'architecture série et l'architecture parallèle [16].

VIII. Architecture en série :

Dans l'architecture série, figureII.2, la propulsion est intégralement assurée par un moteur électrique. Ce dernier peut être alimenté par les batteries et/ou par le groupe électrogène. Ce type d'architecture est souvent utilisé dans les bus hybrides. Une utilisation «

naturelle » de ce type d'architecture consiste à augmenter l'autonomie d'un véhicule électrique par l'ajout d'un groupe électrogène. Cette architecture nécessite un moteur électrique relativement puissant car il assure à lui seul l'intégralité de la propulsion. Le taux d'hybridation est donc généralement élevé.

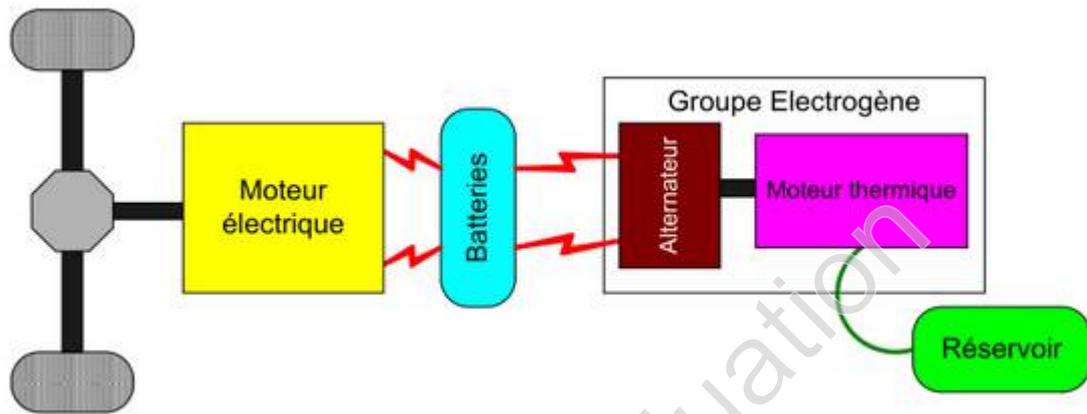


Figure II.2 : architecture hybride série

Un des inconvénients majeur de ce type d'architecture est le faible rendement global de l'ensemble car la puissance mécanique délivrée par le moteur thermique est tout d'abord convertie en puissance électrique par l'alternateur, éventuellement stockée dans les batteries, puis reconvertie en puissance mécanique par le moteur électrique. Cependant, du point de vue de la commande, cette architecture offre deux degrés de liberté : le régime et le couple du moteur thermique peuvent être choisis quasiment indépendamment des conditions de conduite.

Le système hybride série permet au moteur électrique de diriger seul la rotation des roues en utilisant la puissance générée par le moteur thermique. Un Hybride série, est composé d'un moteur électrique, d'un moteur thermique, d'un générateur, d'une batterie et d'un inverseur. Lors des faibles vitesses, le moteur thermique est utilisé par intermittence pour alimenter soit le moteur électrique, soit pour recharger la batterie.

Le tout électrique, est utilisé en ville, sur route le moteur thermique assure la recharge de la batterie ainsi que l'alimentation du moteur électrique.

Le nom série vient du fait que le moteur thermique, est directement lié en série au moteur électrique [17].

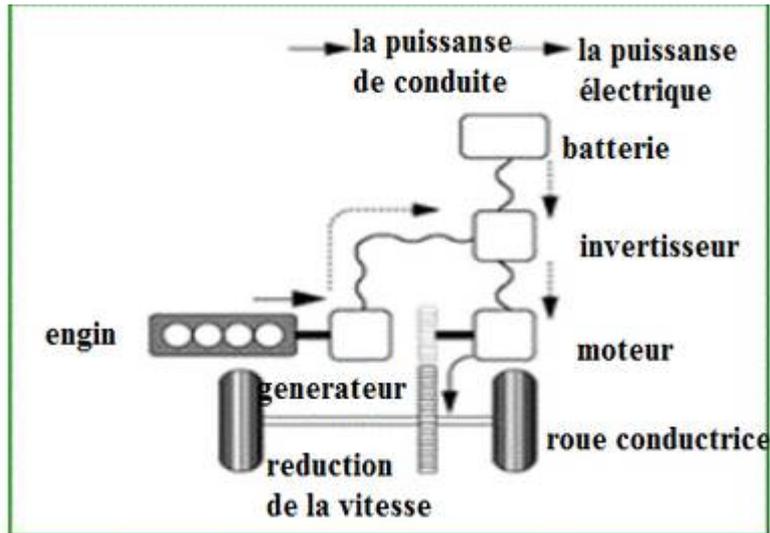


Figure II.3. Configuration d'un Véhicule Electrique Hybride Series [18].

IX. Architecture en parallèle :

Les deux moteurs sont reliés à la transmission. Les mouvements des moteurs thermique et électrique sont raccordés au même arbre

L'architecture hybride parallèle simple arbre

Pour l'architecture parallèle, le point de jonction entre les différentes chaînes de traction est cette fois mécanique. Lorsque les différents moteurs sont solidaires du même arbre, figure II.4, on parle d'architecture hybride parallèle simple arbre.

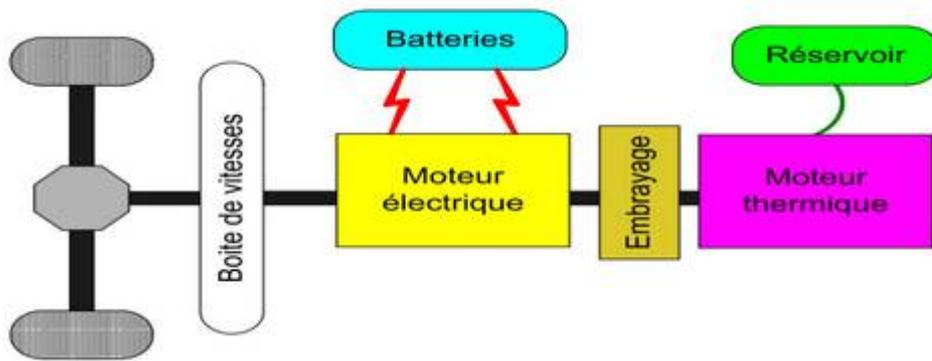


Figure II.4 : L'architecture hybride parallèle simple arbre

Lorsque le moteur électrique a une très faible puissance, on parle alors d'alternodémarrreur et celui-ci est placé avant l'embrayage. Dans ce cas, la propulsion est quasi intégralement assurée par le moteur thermique et l'alternodémarrreur n'est utilisé que dans la phase de démarrage du moteur thermique. Le moteur thermique est arrêté dès que le véhicule est arrêté afin de réduire la consommation et les émissions de polluants. Lors des phases de démarrage, le moteur thermique pouvant être entraîné à régime beaucoup plus élevé qu'avec un démarreur classique, les émissions de polluants sont réduites de manière significative.

Lorsque les deux moteurs ont des puissances similaires, le moteur électrique est placé entre l'embrayage et la boîte de vitesses. Les régimes des deux moteurs sont linéairement dépendants du régime des roues. Il s'agit alors de répartir le couple aux roues nécessaire à la propulsion du véhicule entre les deux moteurs, en tenant compte des rapports de boîte. L'un des inconvénients inhérent à cette architecture est la perte de couple aux roues apparaissant lors des changements de rapports, qui dégrade le confort de conduite.

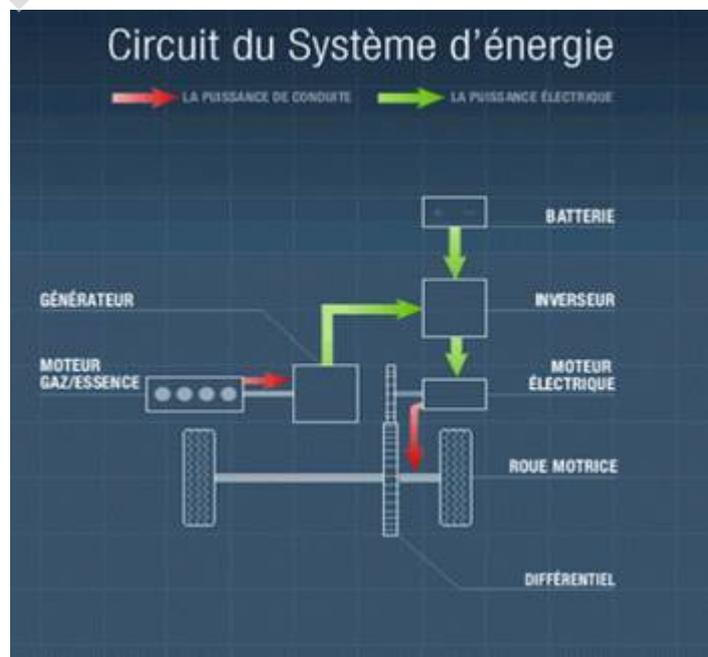


Figure II.5 : Architecture parallèle double arbre

X. Architecture série –parallèle

Le système série/parallèle est la combinaison du moteur électrique et thermique permettant la rotation des roues en rendant de l'électricité à la recharge de la batterie par l'intermédiaire du générateur.

Ce système a l'avantage de pouvoir sélectionner les moteurs soit électrique soit thermique ainsi qu'une recharge permanente des batteries. Il est composé d'un moteur électrique, d'un moteur thermique, un générateur, un répartiteur d'énergie, d'un module de commande l'alimentation (inverseur/convertisseur). Le répartiteur, permet de faire fonctionner le moteur électrique ainsi que de produire de l'électricité pour recharger les batteries, ceci tout en essayant d'obtenir le meilleur rendement possible en fonction des conduites (ville, route...) [17].

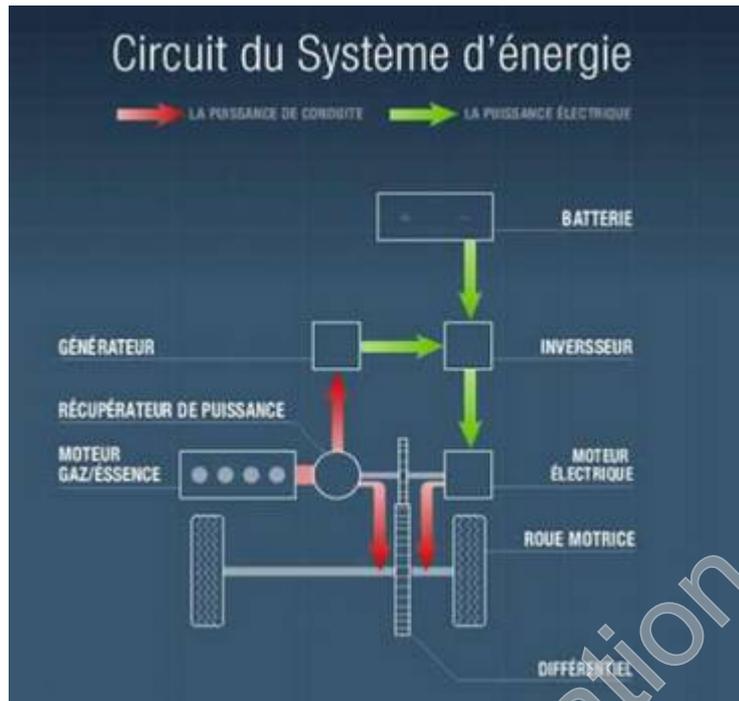


Figure II.6: La constitution des moteurs hybrides

Les constructeurs automobiles, utilisent chacun une technologie différente mais dont les principaux composants restent toutefois les mêmes.

En voici une liste concernant le groupe PSA PEUGEOT CITROEN, une association de deux groupes pour l'innovation hybride.



Figure II.7 : Éléments constituant le moteur hybride PSA[19].

1. Moteur électrique (16KW)

La voiture électrique, ou véhicule à énergie embarquée, apparaît sur le plan environnemental comme la solution « zéro émission ». Analysons alors de quoi est composé le moteur de celle-ci.

Un moteur électrique comporte une batterie, telle que nickel-hydrure métallique ou bien encore lithium, qui est le point de stockage de l'électricité. Un régulateur et un convertisseur permettent la connexion de la batterie au moteur électrique. L'intensité du courant alimentant le moteur est assurée par le biais du régulateur. Enfin, le convertisseur permet de convertir du courant continu en courant alternatif par simple action du conducteur appuyant sur la pédale d'accélération.

Le moteur électrique est essentiellement constitué d'une bobine de cuivre mobile et d'un stator fixe. La partie fixe est composée d'un ou plusieurs aimants. Un champ magnétique est généré lorsque le courant passe dans la bobine. Ce champ est opposé à celui créé par les aimants. Cette opposition crée une force tangentielle à l'axe de rotation, autrement dit un couple. Ce couple étant proportionnel au courant, plus il y a de courant, plus la vitesse sera grande. Un véhicule a besoin d'un couple élevé à basses vitesses afin de pouvoir accélérer et d'un couple moins important à des vitesses de croisière.

La batterie du véhicule électrique peut être rechargée de deux manières : par conduction, c'est-à-dire en utilisant le réseau électrique ; ou par induction, sans contact [20].

2. Électronique de puissance (Onduleur et Convertisseur Haute Tension) :

L'électronique de puissance est l'une des branches de l'électrotechnique, elle concerne l'étude des dispositifs (les convertisseurs) permettant de changer la forme de l'énergie électrique.

3. Superviseur chaîne de traction hybride (PTMU)

Power Train Management Unit

Pour privilégier une faible consommation, le PTMU sélectionne, en fonction des sollicitations du conducteur, le meilleur mode de fonctionnement. Ce dernier, est obtenu grâce à l'utilisation, soit du moteur électrique seul, à faible vitesse et lors des décélérations, soit du moteur thermique seul, en parcours routiers et autoroutiers, soit des deux simultanément lors d'accélération franches.

4. Câbles électriques Haute Tension :

Câble en aluminium ou en cuivre, permettant le transport de grandes quantités d'électricité.

XI. Le véhicule hybride :

1. Historique :

Pour beaucoup de gens, le véhicule électrique constitue le meilleur espoir à court terme de voir exister une voiture sans émission polluante. Peu se rendent compte, toutefois, que les véhicules électriques existent depuis aussi longtemps que les voitures à essence. Les toutes premières automobiles étaient propulsées par des moteurs à vapeur, semblables à ceux des locomotives à vapeur. On utilisait du charbon, ou encore un autre combustible, pour produire de la vapeur sous pression, laquelle servait ensuite à pousser un cylindre et à propulser le véhicule. Ce procédé était très encombrant et il s'avérait dangereux à cause des explosions possibles de la chaudière; de plus, il exigeait des compétences particulières de la part du conducteur. C'est la raison pour laquelle la voiture à vapeur a fait long feu.

L'essence et l'électricité constituaient toutes les deux un carburant commode, facile à transformer en énergie mécanique à l'aide d'un moteur simple. À partir de 1850, on a donc commencé à mettre au point des voitures électriques et, dans les premières années de l'industrie automobile, les deux technologies se sont livrées concurrence pour dominer le marché.

Selon certains, c'est un inventeur écossais, Robert Davidson, qui a mis au point le premier prototype de voiture électrique en 1837. Le premier véhicule électrique à quatre roues a été construit en 1891 à Des Moines, dans l'Iowa. Ce véhicule, qui pouvait transporter 12 personnes, nécessitait apparemment 24 batteries (accumulateurs) qu'il fallait charger pendant 10 heures, et il pouvait rouler pendant 13 heures à la vitesse maximale de 22,5 km/h. Cependant, il n'a jamais été produit en quantité. Le premier véhicule électrique à avoir été produit en plusieurs exemplaires est l'*Electrobat*, qui était fabriqué par une compagnie de Philadelphie. Entre 1895 et 1920, une cinquantaine de compagnies ont fabriqué des véhicules électriques [21]. En 1900, 38 % des nouveaux véhicules automobiles construits aux États-Unis étaient propulsés à l'électricité [22], et en 1912, il y avait quelque 34 000 voitures électriques immatriculées aux États-Unis.

Comme c'est le cas aujourd'hui, la batterie s'est révélée l'inconvénient premier de la voiture électrique face à la concurrence. Le stockage de l'essence à bord fournissait plus de puissance, sur de plus longues distances et pour un poids moindre, que les batteries électriques. Avec l'invention du démarreur électrique en 1912, et compte tenu de la disponibilité et de l'abondance du pétrole, les véhicules propulsés à l'essence ont pris à peu près tout le marché de la voiture neuve, en particulier aux États-Unis, où les derniers véhicules électriques d'usage général ont été assemblés en 1940 [23].

L'histoire du développement du véhicule électrique en Amérique du Nord est une succession de hauts et de bas. Malgré la domination de l'automobile à essence sur le marché, les constructeurs automobiles du monde entier ont constamment maintenu au moins un programme modeste de mise au point d'un véhicule électrique concurrentiel. Durant les années 60, les préoccupations grandissantes au sujet de la pollution de l'air dans les villes

congestionnées par les voitures ont amené les grands constructeurs à tenter de produire un véhicule électrique concurrentiel. Le coût élevé de ces véhicules et le manque de demandes ont cependant miné leurs efforts. Même si les crises pétrolières des années 70 ont ravivé une fois de plus l'intérêt pour l'auto électrique, les événements ont à nouveau conspiré durant les années 80 pour réduire l'activité dans ce domaine, car le prix de l'essence s'est stabilisé et les voitures à essence sont devenues moins polluantes et plus efficaces pour ce qui est de l'utilisation de l'énergie. Les véhicules électriques semblaient destinés à ne jamais sortir d'un cercle vicieux. Les gens ne les achèteraient pas parce qu'elles seraient trop coûteuses, et les fabricants n'en construiraient pas en quantité, ce qui aurait fait baisser les prix, parce que la demande était très faible.

La réintroduction du véhicule électrique sur le marché ces dernières années découle avant tout du besoin de répondre aux exigences de la Californie et de certains autres États américains qui réclament que les véhicules à émission nulle (*zero emission vehicles (ZEV)*) composent un pourcentage donné de l'ensemble de véhicules vendus par chaque constructeur pendant une période donnée. Ces exigences sont présentées en détail ci-après sous la rubrique « Le facteur californien ».

En raison de cette récente évolution de la situation, la voiture électrique semble une fois de plus sur le point d'envahir le marché. À l'heure actuelle, environ 4 000 véhicules électriques roulent aux États-Unis, la plupart convertis à partir de voitures existantes. On s'attend cependant à ce que des véhicules neufs propulsés à l'électricité commencent à apparaître en plus grand nombre sur le marché à partir de 1997-1998.

2. Descriptif d'un véhicules hybrides :

La mise en marché d'un grand nombre de véhicules électriques pourrait être quelque peu gênée par des problèmes d'infrastructure et la performance limitée des véhicules. Ces deux facteurs causent la résistance des consommateurs. Afin de surmonter ces problèmes, et pour profiter des meilleures technologies disponibles, les chercheurs de plusieurs pays travaillent également à la mise au point d'un véhicule hybride qui combinerait les meilleurs avantages d'un moteur à essence efficace et de la propulsion électrique.

Dans la plupart des cas, on associe un moteur à combustion interne à une batterie et à une transmission électrique. Dans le véhicule hybride, les deux modes de propulsion pourraient être utilisés au mieux afin de permettre une efficacité globale plus élevée que celle obtenue par les véhicules utilisant seulement l'un ou l'autre mode de propulsion. Ainsi, on a estimé que ces véhicules pourraient doubler ou tripler l'efficacité des voitures actuelles [24]. Tous les grands constructeurs automobiles travaillent à la mise au point d'une voiture électrique, mais, jusqu'à tout récemment, aucun n'en avait mis une sur le marché. En octobre 1997, Toyota a annoncé qu'elle se lançait immédiatement dans la vente de la voiture hybride Prius [25].

La Prius sera d'abord vendue au Japon, au prix d'environ 18 000 \$ US même si la compagnie estime qu'il lui en coûte environ 41 000 \$ US pour la produire. Elle considère cette subvention au consommateur comme un coût de publicité acceptable. En prenant les devants, Toyota a l'honneur d'être la première compagnie du monde à entrer sur ce qu'elle espère voir devenir un marché lucratif.

Cette voiture satisfait à l'exigence de faire fonctionner chacun des deux modes de propulsion à leur niveau optimal. À basse vitesse, lorsque le moteur à essence est le moins efficace, elle fonctionne à l'électricité, mais elle passe automatiquement à la propulsion à l'essence lorsque le véhicule atteint une certaine vitesse. Pour ce qui est de l'accueil que lui réserveront les consommateurs, la voiture hybride aura un avantage sur la voiture électrique, puisqu'elle peut faire le plein aux stations d'essence. Le moteur à essence et le système de freinage par récupération permettront de s'assurer que la batterie reste chargée.

Si on met de côté l'aspect accueil que réserve le consommateur à un tel type de voiture, on peut se demander quelle est la logique d'ajouter un moteur à essence polluant à une voiture électrique lorsque l'objectif est de réduire la pollution; toutefois, comme les moteurs qui seront utilisés dans les voitures hybrides sont très efficaces, le niveau des émissions sera très modeste. Selon une étude récente faite par une firme de consultants américains, lorsque l'électricité servant à propulser une voiture électrique provient d'une centrale au charbon, la voiture hybride pourrait être une solution moins polluante que la voiture électrique si on considère toute la durée de vie du véhicule. Les consultants ont déclaré ce qui suit :

Aux États-Unis, plus de la moitié de l'électricité est produite à partir du charbon. Par conséquent, les voitures électriques y produiront des émissions de gaz à effet de serre plus élevées que celles que produisent des véhicules hybrides de taille comparable, qui utilisent de l'essence[26].

Cette observation n'a pas échappé aux législateurs californiens, qui continuent à chercher des façons de réduire la pollution automobile, même s'ils ont dû assouplir le calendrier d'introduction des véhicules à émission nulle. Ils ont modifié les normes destinées aux véhicules à émission nulle pour permettre l'arrivée des véhicules hybrides sur le marché. Cependant, on ne sait pas encore très bien si les normes très rigoureuses qui ont été fixées pourront être atteintes par les voitures hybrides actuelles. Dans les années que nécessitera le perfectionnement des véhicules électriques, il reste à savoir si les véhicules hybrides pourront relever le défi et capturer une part de marché.

3. Accumulateur

A. Accumulateurs au plomb

La plupart des gens connaissent déjà bien l'accumulateur au plomb, puisque c'est la batterie utilisée dans les voitures classiques modernes. Quand le moteur tourne, la batterie est chargée par le générateur, puis par l'alternateur. La puissance de la batterie alimente les

composantes électriques et électroniques de l'automobile comme le démarreur, les phares, le système de chauffage, le système de climatisation et la radio. Dans un véhicule électrique, l'accumulateur fait également fonctionner les moteurs électriques qui sont directement reliés aux roues et font avancer la voiture. Sur beaucoup de voitures électriques, le freinage par récupération permet une certaine recharge pendant que le véhicule est en marche. Avec ce type de système, le courant électrique est inversé lorsque le conducteur appuie sur le frein, ce qui recharge la batterie et prolonge sa durée.

Il est évident que pour fournir toute la puissance requise par un véhicule électrique, la batterie au plomb devrait être plus grosse et plus puissante que celles fabriquées actuellement. Les batteries classiques seraient complètement usées après 30 recharges; elles ne conviennent donc pas aux voitures électriques. Les batteries au plomb utilisées dans ces dernières sont des batteries dites à décharge poussée. Elles sont constituées de minces plaques d'acier très hautes et sont conçues pour durer de 400 à 800 cycles charge-décharge. Lorsque la température est au point de congélation, cependant, ces batteries, telles qu'elles existent actuellement, ne fonctionnent qu'à 70 p. 100 de leur capacité. Étant donné le climat au Canada, il faudrait de toute évidence qu'elles soient placées dans un boîtier isolé et que la voiture soit dotée d'un système de chauffage quelconque [27].

En 1992, compte tenu de la nécessité d'améliorer les batteries, 49 compagnies américaines ont formé un consortium pour effectuer de la recherche fondamentale afin d'améliorer la durée de vie et l'énergie spécifique des batteries au plomb tout en préservant leur densité de puissance et leur coût. L'Advanced Lead Acid Battery Consortium (ALABC) cherchait également à réduire sensiblement le temps de recharge des batteries. Le travail du consortium a donné une bonne partie des progrès enregistrés depuis; selon une publication récente, celui-ci a réussi à atteindre bon nombre de ses objectifs.

Pour ce qui est du temps de recharge, une nouvelle technique, dite à impulsion rapide, s'est révélée très efficace, faisant passer le temps requis pour recharger une batterie déchargée à 80 p. 100 de plusieurs heures à seulement 15 minutes. Comme avantage inattendu, signalons que cette nouvelle méthode porte également la durée de vie de la batterie de quelque 250 cycles à près de 1 000 cycles [28].

L'ALABC cherche également à réduire le poids des batteries en utilisant de nouvelles méthodes de traitement et en ajoutant des alliages différents. Le recours à des grilles plus fortes, plus minces et plus résistantes à la corrosion a déjà amélioré l'énergie spécifique (wattheures produits par kg), la faisant passer de 35 wattheures en 1994[29], à 48 wattheures par kg en 1996[30] dans un prototype. Le rayon d'action des véhicules électriques à batterie au plomb demeure d'environ 241 km entre les recharges.

Résultat de toutes ces améliorations, le coût des batteries au plomb a diminué radicalement depuis cinq ans. En 1992, ce coût était de 1,11 \$ US/mille pour le propriétaire; il a été réduit à 0,11 \$/mille en 1995. Si les progrès se poursuivent au même rythme, il pourrait

tomber à 0,5 \$/mille au plus tard en 1998[31]. Il est clair que les projets de ce type rendront les voitures électriques plus attrayantes pour les consommateurs.

B. Accumulateurs au nickel-cadmium et au nickel-fer

Les accumulateurs au nickel-cadmium ne sont pas nouveaux. Ces batteries rechargeables sont d'utilisation courante dans l'équipement électronique, des radios portatives aux jeux vidéo. Certaines compagnies nord-américaines ont envisagé de les utiliser dans les véhicules électriques, mais cette technologie n'a pas été aussi largement acceptée ici qu'en Europe. En octobre 1995, la société Saft de France a ouvert sa première usine de production de batteries pour le marché automobile. Cette usine, qui a coûté quelque 20 millions de dollars américains à construire, produira initialement 5 000 accumulateurs au nickel-cadmium par année.

Les batteries produites dans cette nouvelle usine équiperont toutes les voitures électriques des constructeurs français : la Citroën AX, la Peugeot 106, ainsi que la Clio et l'Express de Renault. Les avantages des batteries au nickel-cadmium sont leur besoin d'entretien modeste et leur longue durée de vie, qui serait de près de 97 000 km. Le coût élevé, les problèmes de recyclage et de l'utilisation du cadmium, métal très toxique, ainsi que la tendance à la surchauffe, sont les principaux problèmes de l'utilisation de ces accumulateurs dans les voitures électriques [32].

Les batteries au nickel-fer ont une densité énergétique élevée (quantité d'énergie par rapport à la taille de la batterie); elles ont donc l'avantage d'être plus petites que les autres batteries de même puissance. Pour les charger complètement cependant, il faut les surcharger de 11 p. 100, ce qui entraîne une perte d'eau et une accumulation potentiellement dangereuse d'hydrogène [33]. L'Advanced Battery Consortium travaille à résoudre ces problèmes et inclut les batteries au nickel-fer et au nickel-cadmium dans la catégorie du court terme, c'est-à-dire des batteries qui devraient être offertes sur le marché entre 1996 et 1998.

C. Accumulateurs au nickel-hydrure métallique

La batterie au nickel-hydrure métallique semble être l'une des premières en ligne pour remplacer les batteries au plomb à moyen terme (1999-2001) dans les voitures électriques. Comme elle est faite de matériaux recyclables non toxiques, elle est jugée écologique [34]. Elle se compose d'hydroxyde de nickel et d'un alliage de vanadium, de titane, de nickel et d'autres métaux, et offre le double de l'autonomie des batteries au plomb actuel. Aux États-Unis, la Ovonic Battery Company de Troy, au Michigan, bat actuellement la marche dans la mise au point de ce type d'accumulateur.

Contrairement à d'autres accumulateurs en cours de développement, les accumulateurs au nickel-hydrure métallique fonctionnent à des températures ambiantes de -6,6 à 38,8° C, sont totalement scellés et n'exigent pas d'entretien. Ils se rechargent en 15 minutes seulement. Toutes ces caractéristiques les rendent très intéressants. Depuis deux ans, ces accumulateurs ont été testés dans diverses voitures électriques ou converties à l'électricité, de la sous-

compacte aux petits camions. Au total, 20 véhicules ont parcouru 160 000 km. Les tests révèlent que les accumulateurs au nickel-hydrure métallique donnent aux véhicules qui en sont dotés une autonomie deux fois plus grande que les accumulateurs au plomb perfectionnés.

Cependant, comme c'est le cas avec beaucoup de nouvelles batteries, le coût est très élevé et la production commerciale fait problème. Pour la compagnie Ovonic, la production commerciale de 1997 permettra d'équiper environ 2 000 voitures électriques. La production augmentera lentement, afin que soient préservées la qualité élevée et la grande fiabilité des prototypes. Si la production commerciale et la demande pouvaient réduire l'écart de prix par rapport à la batterie au plomb, la batterie au NiHM pourrait facilement faire concurrence à celle-ci à l'avenir [35].

D. Accumulateurs au sodium-soufre

Ford a utilisé une batterie au sodium-soufre (NaS) dans son Ecostar de 1992 parce qu'elle offre trois à quatre fois la densité énergétique de la batterie au plomb, c.-à-d. qu'à taille égale, elle produit trois ou quatre fois plus d'énergie. La batterie au NaS présente une autonomie d'environ 241 km, soit à peu près le double de celle d'une voiture électrique à batterie au plomb.

Cette batterie n'a cependant pas été très bien reçue, pour plusieurs raisons. La première, c'est qu'elle n'est pas conviviale : comme une des électrodes est faite de soufre fondu, la batterie doit fonctionner à une température variant de 300 à 350° C. Pour empêcher que le soufre et le sodium se solidifient, les batteries sont munies d'un dispositif de chauffage incorporé. À cause de cette exigence difficile, la batterie au NaS coûte actuellement sept fois plus cher que la batterie au plomb.

Par ailleurs, on s'inquiète de la sécurité : deux véhicules d'essai de Ford équipés de ces batteries ont pris feu. Dans un proche avenir, il est peu vraisemblable que des batteries de ce type prennent de l'avance sur leurs concurrentes. Dans sept pays au moins, des compagnies considèrent cependant qu'elles offrent beaucoup de potentiel parce qu'elles utilisent des matériaux relativement bon marché et abondants. Ces compagnies cherchent toutes à tirer profit des avantages de cet accumulateur en tentant d'en éliminer les problèmes les plus embêtants [36]. Comme dans le cas des autres types de batteries, la production de masse pourrait réduire rapidement les coûts.

E. Accumulateurs au lithium

Depuis 1992, les compagnies Nissan et Sony du Japon tentent de mettre au point un accumulateur au lithium. La voiture électrique Prairie Joy de Nissan, qui sera mise sur le marché au printemps de 1998 dans un programme limité de bail-achat, est le seul véhicule sur le marché (ou sur le point d'y être), qui fait usage de ce type d'accumulateur. Environ 100 véhicules seront mis sur le marché au Japon et, à la fin de 1997, la batterie au lithium sera

testée sur le terrain en Californie dans une trentaine de mini-fourgonnettes d'un modèle nouveau.

La batterie au lithium permet de stocker à peu près trois fois plus d'énergie que les batteries au plomb et environ une fois et demi plus que les batteries au nickel-hydrure métallique. Elle dépasse également la densité de puissance de ses concurrentes, ce qui lui donne un plus grand rayon d'action. Cette batterie est beaucoup plus légère que les autres, et sa recharge beaucoup plus efficace.

Parmi les inconvénients, mentionnons que la batterie au lithium est environ deux fois plus chère que la batterie au plomb, en partie à cause du système de ventilation requis pour la rafraîchir, et en partie à cause du matériau utilisé. L'anode est faite de cobalt oxydé, l'électrolyte est une matière organique très pure et le système de commande requis pour une voiture propulsée à l'aide d'accumulateurs au lithium est très complexe [37].

Plusieurs autres batteries à base de lithium ont fait l'objet de recherches en Amérique du Nord. Mentionnons la batterie électrochimique basée sur un alliage de lithium, un sel fondu et un sulfure métallique, ainsi qu'une batterie au lithium-polymère. Les deux offrent certains avantages par rapport aux batteries au plomb avancées, mais le coût et plusieurs problèmes techniques font obstacle à leur mise au point. Au mieux, ces batteries sont des concurrents à long terme des batteries actuelles ou en développement.

F. Accumulateurs au zinc-air et à l'aluminium-air

Dans ces deux batteries, le métal (zinc ou aluminium) réagit avec l'oxygène atmosphérique, en présence d'un électrolyte, afin de produire de l'électricité et un composé métallique. Les plaques métalliques de l'accumulateur sont littéralement consommées dans la réaction. Lorsque l'aluminium ou le zinc est épuisé, le véhicule doit être conduit à une station où on retire les plaques usées et les résidus métalliques pour insérer de nouvelles plaques dans la batterie; tout cela se fait en quelques minutes. Les résidus métalliques peuvent alors être recyclés en nouvelles plaques d'accumulateur.

Une compagnie israélienne, Electric Fuel, a mis au point une batterie au zinc-air et l'a mise à l'essai dans 40 fourgonnettes. Il s'agit d'une batterie à densité énergétique dix fois plus élevée que la batterie au plomb [38]. Plusieurs compagnies américaines travaillent également à la mise au point d'une batterie de ce type; une voiture électrique propulsée par une batterie au zinc-air a établi un nouveau record, soit plus de 1 609 km sur une seule charge. Le coût demeure un problème pour cette batterie, comme d'ailleurs pour la batterie à l'aluminium-air. Cette dernière intéresse les chercheurs depuis 1980 environ [39], mais elle demeure coûteuse ; de plus, en raison de sa grande taille, elle ne pourrait probablement être utilisée que dans les gros véhicules.

G. Piles à combustible

Une pile à combustible est une cellule électrochimique dans laquelle l'oxygène de l'air réagit avec un combustible gazeux, produisant de l'énergie électrique. La pile à combustible diffère d'une batterie classique de plusieurs façons. La batterie est un simple dispositif d'entreposage de l'énergie : l'énergie qu'elle peut produire dépend de la masse des réactifs chimiques qu'elle contient. Avec le temps, les réactifs sont consommés et la batterie se décharge : il faut la recharger à partir d'une source électrique externe avant de pouvoir l'utiliser de nouveau.

Par contre, la pile à combustible est un dispositif de conversion d'énergie. Aucune de ses composantes n'est consommée lorsqu'elle fonctionne, de sorte que son fonctionnement continue aussi longtemps qu'on lui fournit des réactifs. Ainsi, dans certaines piles à combustible, l'oxygène et l'hydrogène sont mélangés, ce qui produit de l'eau et un courant électrique. Tant qu'on fournit de l'hydrogène et de l'oxygène, la cellule continue de produire de l'électricité. La R-D sur la pile à combustible a été considérable pendant la course à l'espace des années 50 et 60. Les fusées et les satellites exigent un approvisionnement électrique stable et très efficace, et c'est justement ce que la cellule électrochimique peut fournir.

Une compagnie canadienne, Ballard Power Systems, est active dans ce domaine depuis 1979. Elle a mis au point une pile à combustible qui est plus légère et plus petite que beaucoup d'autres sur le marché. Cette pile fait appel à des polymères légers (une membrane permettant l'échange de protons) et est très efficace. La pile à carburant Ballard a propulsé le premier véhicule à émission nulle en exploitation : un autobus. Tout a commencé par une coentreprise avec le gouvernement de la Colombie-Britannique et la société de transport de la province. En 1995, le prototype commercial de l'autobus propulsé par la pile à carburant Ballard était lancé. La dernière phase du développement est en cours; il s'agit d'un programme pluriannuel de démonstration de véhicules, avec la participation de la compagnie de transport de la Colombie-Britannique et de la Chicago Transit Commission.

La société Ballard, qui est également associée avec plusieurs compagnies automobiles, dont Daimler-Benz, General Motors et Nissan, travaille à mettre au point une pile à membrane d'échange de protons (MEP) destinée aux voitures. La pile MEP semble offrir les avantages de la légèreté et de la petite taille sur ses concurrentes. Comme elle est plus efficace, plus légère et moins encombrante, l'entreposage du carburant (généralement de l'hydrogène ou du méthanol) est encore requis, mais à long terme, la pile à carburant devrait être en mesure de bien concurrencer les batteries plus traditionnelles.

XII. Conclusion :

Qu'on soit d'accord ou non avec l'approche prise par la Californie pour que soit mis en vente dans son marché des véhicules à émission nulle, il n'y a pas de doute que le but est atteint : inciter les constructeurs automobiles et les fabricants de batteries à améliorer le rendement des véhicules électriques. Des centaines de compagnies participent à la course pour

produire le meilleur véhicule électrique, au plus long rayon d'action, à la recharge la plus rapide et, bien sûr, au moindre prix.

Si l'intensité de cette concurrence se maintient et si le marché créé par la réglementation américaine continue de croître, on peut penser que des véhicules électriques ou hybrides efficaces, silencieux et peu coûteux seront mis en vente à l'intention de tous les consommateurs, y compris ceux du Canada, dans un avenir guère trop éloigné.

Les véhicules électriques ou hybrides sont efficaces, silencieux et peu coûteux seront mis en vente à l'intention de tous les consommateurs.

Dans le système hybrides série le véhicule peut rouler avec une seule moteur électrique à contre système hybride parallèle on utilise une moteur thermique et une moteur électrique.

Expert PDF Evaluation

Chapitre III : modélisation et simulation d'un véhicule hybride

Expert PDF Evaluation

I. Introduction :

Les véhicules hybrides font un retour remarqué sur le marché automobile. L'objectif de cette note est de synthétiser les principales caractéristiques et les évolutions attendues en termes de batteries pour VH qui sont l'une des clefs de leur développement économique. Elle est issue d'interviews de spécialistes et d'études bibliographiques.[40]

Une batterie est constituée d'un certain nombre d'éléments (cellules ou 'cells' en anglais) connectés en série le plus souvent et parfois en parallèle.

Tension nominale : U (Unité : volt, V) : tension moyenne d'une batterie observée sur la plus grande partie de sa courbe de décharge.

Tension à vide : tension mesurée aux bornes d'une batterie non connectée à une charge.

Tension en charge : tension mesurée aux bornes d'une batterie connectée à sa charge (Récepteur, servos, déchargeur, résistance...). C'est-à-dire délivrant un courant.

Courant : I (Unité : l'ampère, A ou le mA) : Courant d'électrons circulant dans les câbles et résultant de la connexion d'une charge à une batterie.

Capacité : C (Unité : l'ampère-heure, Ah ou le mAh) : Capacité énergétique d'une batterie à délivrer un certain courant pendant un certain temps. (Des ampères fois des heures : A*h) [41]

II. Type de batteries utilisé Li-Ion :

II.1. Caractéristique électrique :

Commercialisée pour la première fois par Sony Energitech en 1991, la batterie lithium-ion occupe aujourd'hui une place prédominante sur le marché de l'électronique portable. Ses principaux avantages sont une densité d'énergie spécifique et volumique élevée (4 à 5 fois plus que le Ni-MH par exemple) ainsi que l'absence d'effet mémoire (aucun ou presque). Enfin, l'autodécharge est relativement faible par rapport à d'autres accumulateurs. Cependant le coût reste important et cantonne le lithium aux systèmes de petite taille.

La batterie lithium-ion fonctionne sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une électrode positive, le plus souvent un oxyde de métal de transition lithié et une électrode négative en graphite. L'emploi d'un électrolyte aprotique (un sel LiPF₆ dissous dans un mélange de carbonate) est obligatoire pour éviter de dégrader les électrodes très réactives.

La tension d'un élément Li-Ion est de 3,6 V. Cette équivalence 1 élément Li-Ion = 3 éléments Ni-MH est très intéressante car elle permet dans certains cas de faire une

substitution pure et simple, du Li-Ion par du Ni-MH uniquement, l'inverse pouvant s'avérer catastrophique. De plus le Ni-MH est d'une utilisation plus sûre, en particulier lors de la charge.

Ce problème de sécurité impose d'intégrer un système électronique de protection, embarqué le plus souvent dans chaque élément au lithium. (Il empêche une charge ou décharge trop profonde : sinon le danger peut aller jusqu'à l'explosion de l'élément).

Les courants de charge et de décharge admissibles sont aussi plus faibles qu'avec d'autres technologies. Enfin, un autre défaut : les éléments vieillissent même en l'absence d'utilisation. Quel que soit le nombre de charges/décharges, leur durée de vie serait limitée à une durée d'environ 2 ou 3 ans après fabrication.

Notons cependant qu'il existe des accumulateurs Li-Ion industriels de grande puissance (plusieurs centaines de watts par élément) qui ne sont pas touchés par ce vieillissement, grâce à une chimie plus travaillée et une gestion électronique poussée. Ces éléments peuvent fonctionner jusqu'à 15 ans (aéronautique, voitures hybrides, systèmes de secours). Cependant l'utilisation de la technologie Li-Ion à ces échelles de puissance n'en est qu'à ses débuts.

Le lithium commence à apparaître sous de nouvelles versions: Le lithium-ion polymère (Li-po, encore très chère cette version peut être très fine et prendre toutes les formes), et le lithium-phosphate (qui possède une sécurité améliorée pour un coût plus faible). Deux technologies à suivre... [42]

Li-ion La technologie lithium bénéficie actuellement de beaucoup de recherches car employée dans les portables (GSM, PDA, Ordinateurs...) grâce à sa densité énergétique énorme.

Applications : Propulsion électrique, vol indoor, accu de réception si associé à un régulateur.

Avantage :

- Densité énergétique très élevée
- Auto décharge très faible (1%/mois)
- Résistance interne relativement faible et aptitude à fournir des courants moyens à importants.

Inconvénient :

- Chargeur spécial requis
- Risque d'explosion si en court-circuit ou surcharge (Production d'hydrogène).
- Besoin de charger chaque élément d'un pack séparément sinon risque de déséquilibre en tension.

- Besoin d'un régulateur 5 ou 6 volt pour alimenter la réception car un pack délivre $2 \times 3,6V = 7,2V$

Charge

Seulement avec un chargeur spécial qui charge à 4,10V/élément (+/-0,05V) et qui limite le courant à minimum C/2 et maximum 1C.

Décharge

S'arranger pour qu'aucun élément ne se retrouve jamais sous la barre des 3V, car au-delà il y aura chute brutale de la tension et sous 2,5V l'élément est détruit. Notez que l'accu voit sa tension croître de 10% environ en s'échauffant car la réaction chimique est favorisée. Ne pas dépasser 50°C.

Stockage

A l'état chargé

Tensions caractéristiques

- 4,10V/élément en fin de charge=TENSION MAXIMALE
- 3,6V/élément : Tension nominale
- 3,0V/élément : Déchargé
- 2,5V/élément : TENSION MINIMALE.

Cycles/Durée de vie

Les Li-ion supportent environ de 500 à 1000 cycles. En général la durée de vie est de 2 à 3 ans après fabrication, car ensuite une perte de capacité se produit par dessèchement de l'électrolyte. [41]

Avantage des accumulateurs lithium-ion

- Ne présente aucun Effet mémoire contrairement aux accumulateurs à base de nickel
- Ne nécessite pas de maintenance

- Présente une faible auto décharge (10% / mois)
- Possède une haute densité d'énergie pour un poids très faible, grâce aux propriétés physiques du lithium (très bon rapport poids/potentiel électrique). Ces accumulateurs sont donc très utilisés dans le domaine des systèmes embarqués.
- Permet une meilleure sécurité que les batteries purement lithium, mais nécessite toujours un circuit de protection.

Faiblesses des accumulateurs lithium-ion

- La profondeur de décharge : ces batteries s'usent moins vite lorsqu'elles sont rechargées tous les 10% que lorsqu'elles le sont tous les 80% (préférez donc charger souvent votre téléphone portable à batterie lithium)
- Cette technologie s'use même quand on ne s'en sert pas (corrosion interne et augmentation de la résistance interne d'où une durée de vie de 2-3 ans)
- Les courants de charge et de décharge admissibles sont plus faibles qu'avec d'autres technologies
- Il peut se produire un court-circuit entre les deux électrodes par croissance dendritique de lithium
- l'utilisation d'un électrolyte liquide peut présenter des dangers si une fuite se produit et que celui-ci entre en contact avec de l'air ou de l'eau
- cette technologie mal utilisée présente des dangers potentiels : elles peuvent se dégrader en chauffant au-delà de 80 °C en une réaction brutale et dangereuse. Il faut toujours manipuler des accumulateurs lithium-ion avec un extrême précaution, ces batteries peuvent être explosives. Faites particulièrement attention lors de la charge de la batterie : utilisez toujours le chargeur qui est fourni avec. Et comme avec tout accumulateur : Ne mettez jamais en court-circuit l'accumulateur, n'inversez pas les polarités, ne surchargez pas et ne percez pas le boîtier.

Pour éviter les problèmes, ces batteries sont généralement équipées d'un circuit de protection, d'un fusible thermique et d'une soupape de décharge. Elles doivent être chargées en respectant des paramètres très précis et ne jamais être déchargées en-dessous de 2,5 V par élément.

Prolonger la vie d'une batterie du Li-ion (lithium-ion)

- Ne pas faire de décharge profonde
- Ne pas stocker les batteries trop longtemps sans les utiliser
- Stocker la batterie à température ambiante (beaucoup de constructeurs stockent les batteries à 15 °C)
- Stocker la batterie aux alentours de 40% de charge
- Ne pas charger complètement la batterie avant de la stocker
- Ne pas décharger complètement la batterie avant de la stocker
- Ne faites pas de stock de batteries de rechange

- Lors de l'achat de la batterie, vérifier la date de fabrication, son usure commence dès sa sortie d'usine. [43]

II.2. Les modes de conduites :

Le véhicule hybride pourra se conduire comme la plupart des voitures actuelles. Mais pour optimiser l'expérience de conduite, les ingénieurs d'Opel l'ont dotée de 4 modes différents, sélectionnables avec un bouton « Drive Mode » situé sur la console centrale. Ils s'appellent Normal, Sport, Montagne et Ville et on peut passer d'un mode de conduite à l'autre à n'importe quel moment. Ils peuvent se différencier par la réactivité des commandes d'accélérateur et le comportement du prolongateur d'autonomie vis-à-vis du niveau de charge de la batterie.

Le mode Normal

Comme son nom l'indique, c'est le mode de conduite par défaut. C'est le mode dans lequel la plupart des trajets seront réalisés et aussi le mode dans lequel les tests d'homologation (autonomie, consommation) sont effectués. Les commandes d'accélérateur sont corrigées pour se rapprocher d'un véhicule conventionnel et optimiser l'efficacité. Le conducteur dispose toutefois de toute la puissance possible. La plage d'utilisation de la batterie est maximale, le prolongateur d'autonomie n'étant démarré que lorsque le niveau de charge est descendu aux alentours des 5%.

Le mode Sport

Dans ce mode, on dispose également d'une plage d'utilisation de batterie maximale.

On ne dispose pas de plus de puissance, étant donné que toute la puissance est déjà disponible en mode Normal. Cependant la réponse de l'accélérateur est plus vive, puisque la commande d'accélérateur est très peu filtrée. On profite à plein de l'effet de couple immédiat inhérent à la propulsion électrique.

Le mode Montagne

Le prolongateur d'autonomie ayant une puissance inférieure à celle du moteur électrique qui fait tourner les roues, il peut arriver certaines situations de forte charge permanente pour lequel il ne peut fournir assez d'énergie.

Dans la plupart des cas (insertion autoroutière, dépassement, ...) cela ne pose pas de problème puisque ces manœuvres sont limitées dans le temps et même en cas de batterie faible, les 5% restant suffisent à fournir l'énergie manquante, et puisque la puissance demandée ensuite est inférieure, le prolongateur peut faire remonter le niveau de charge.

Mais quand il s'agit de maintenir une vitesse élevée sur des dizaines de kilomètres d'autoroute dans une belle côte, ou de gravir une montagne par une route raide où les épingles propices à une remontée du niveau de charge sont rares, cela peut poser problème, et la puissance disponible est réduite à celle du prolongateur d'autonomie. De 150ch disponibles au

maximum on passe à 75, ce qui est dommage. C'est pour pallier à ce genre de situations que le mode Montagne existe. Dans ce mode, le prolongateur ne régule pas un niveau de charge de 5% (comme Normal et Sport) mais un niveau de charge intermédiaire, aux alentours des 45%. Cela permet d'obtenir un tampon d'énergie plus grand. La batterie peut fournir la puissance manquante afin d'éviter de se retrouver dans une situation de réduction de puissance. Il doit être déclenché avant d'attaquer la côte (Opel parle d'une trentaine de kilomètres) afin de permettre à la batterie de se charger pour obtenir un niveau de charge suffisant au moment de prendre de l'altitude.

Le mode Ville :

Ce mode n'existe pas sur la Volt américaine. Sur la Volt européenne, il existe sous le nom de "Hold". Dans certaines villes d'Europe (comme Oslo, Stockholm, Bergen ou Londres), des quartiers sont inaccessibles (ou inaccessibles gratuitement) à des véhicules qui seraient émetteurs de CO₂. Avec l'Ampera, il n'y a aucun problème quand on en part ou qu'on y revient tant qu'on est encore dans les 60 kilomètres d'autonomie électrique. Si on vient d'une autre ville, ou qu'on y revient alors que la batterie est vidée c'est un problème car l'autonomie électrique est alors nulle.

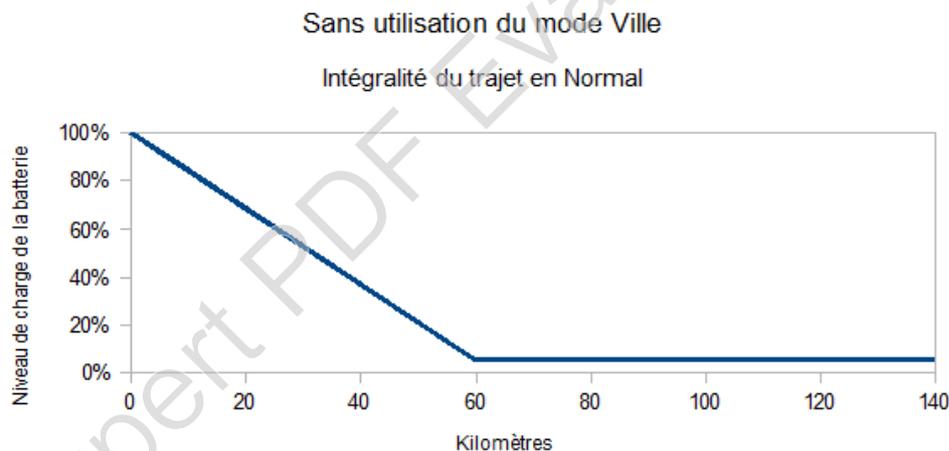


Fig.III.1 : niveau de charge de la batterie sans utilisation mode ville

C'est pour garantir un fonctionnement électrique à destination que le mode Ville a vu le jour.

Quand il est sélectionné, ce mode maintient le niveau de charge, le prolongateur tournant quasiment en permanence. Cela permet de disposer d'une grande autonomie électrique lorsque qu'ensuite on passe en mode Normal/Sport. Typiquement, c'est au moment d'arriver en ville que l'on repasse en Normal, après avoir fait tout le reste du trajet (ou les derniers kilomètres) en mode Ville. Cela a pour effet de déplacer le fonctionnement électrique du début du trajet à sa fin.

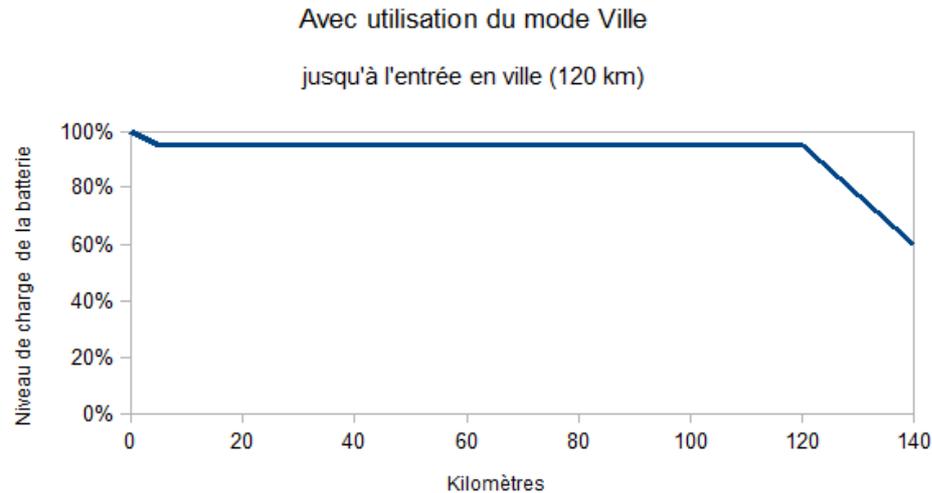


Fig.III.2 : niveau de charge de la batterie avec utilisation mode ville

Si on recharge à destination, ce mode est globalement moins efficace que le mode normal. A moins d'être un champion de l'estimation et d'arriver pile à 0km d'autonomie électrique, on aura rechargé la batterie plus que nécessaire avec le prolongateur d'autonomie. [44]

III. Modélisation et dimensionnement par Matlab d'une batterie Li-Ion d'un véhicule hybride :

III.1 Les modules contenus dans Matlab/Simulink

Le logiciel Matlab constitue un système interactif et convivial de calculs numériques et de visualisation graphique destiné aux ingénieurs et aux scientifiques. Matlab voulant dire laboratoire de matrices, il s'agit donc d'un système à base de matrices permettant de réaliser des simulations numériques fondées sur des algorithmes d'analyse numérique. Cet outil intègre des milliers de fonctions et différents modules autour du noyau Matlab pour le calcul matriciel, le traitement de signal, le traitement d'image, les visualisations graphiques, les réseaux de neurones, la simulation de systèmes électriques, mécaniques entre autres.

III.2 Simulink

Le module Simulink est une plate-forme de conception pour la simulation de systèmes dynamiques multi-domaines basée sur la modélisation. C'est un outil graphique interactif dont la bibliothèque de blocs personnalisables, permet de concevoir avec précision des systèmes complexes multi-domaines et leurs commandes associées. Ces 11 blocs pouvant être des blocs dynamiques continus et discrets (intégration, délai unitaire ...), et des blocs d'algorithmes (sommes, produit...), des blocs structurels (multiplexeurs, commutateurs ...). Cet outil permet donc l'élaboration de commandes complexes pour n'importe quel système physique. Simulink

propose différentes méthodes de résolution numérique à pas fixe ou à pas variable. Des modules supplémentaires étendent Simulink avec des fonctionnalités spécifiques. Il est possible de simuler des systèmes physiques dans Simulink en utilisant les modules SimDriveline, SimPowerSystems et SimMechanics. Ces modules forment l'ensemble PhysicalModeling. Ils proposent donc des fonctionnalités étendues permettant de modéliser des systèmes électriques et/ou mécaniques.

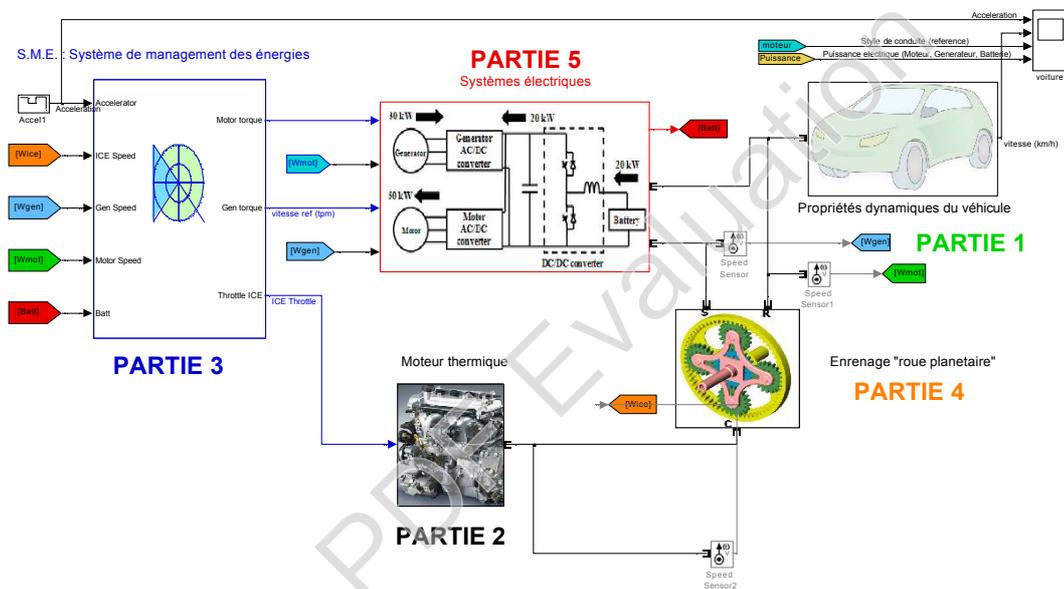


Fig.III.3 : Schéma descriptif d'un véhicule hybride (Simulink)

III.3 Stockage d'énergie

Dans le cadre du transport automobile, les différentes sources d'énergie sont souvent caractérisées par leur puissance massique exprimée en kW/kg et leur énergie massique exprimée en Wh/kg. A titre d'illustration, il est clair qu'en fonction des paramètres de conception, des évolutions technologiques et de nombreux autres facteurs (coût de production, durée de vie attendue, conditions d'utilisation), les domaines présentés peuvent être plus ou moins étendus.

Le module de la batterie représente une batterie idéale, c'est-à-dire, Le potentiel de la batterie est donné par l'expression :

$$V = V_0 - i \cdot R$$

Où :

V_0 : Le potentiel initial de la batterie.

i : Le courant généré par la batterie

R : La résistance interne de la batterie.

Le niveau de charge est étudié, et une erreur de simulation est émise s'il est inférieur à 10% de la capacité en ampère-heure de la batterie. Pour les valeurs de faible charge, la tension sur une vraie batterie tombe généralement très rapidement.

A cet effet, on a testé différentes dimensions pour notre unité de stockage d'énergie, malheureusement, à chaque simulation, on obtenait des courbes représentant uniquement le rendement du moteur thermique:

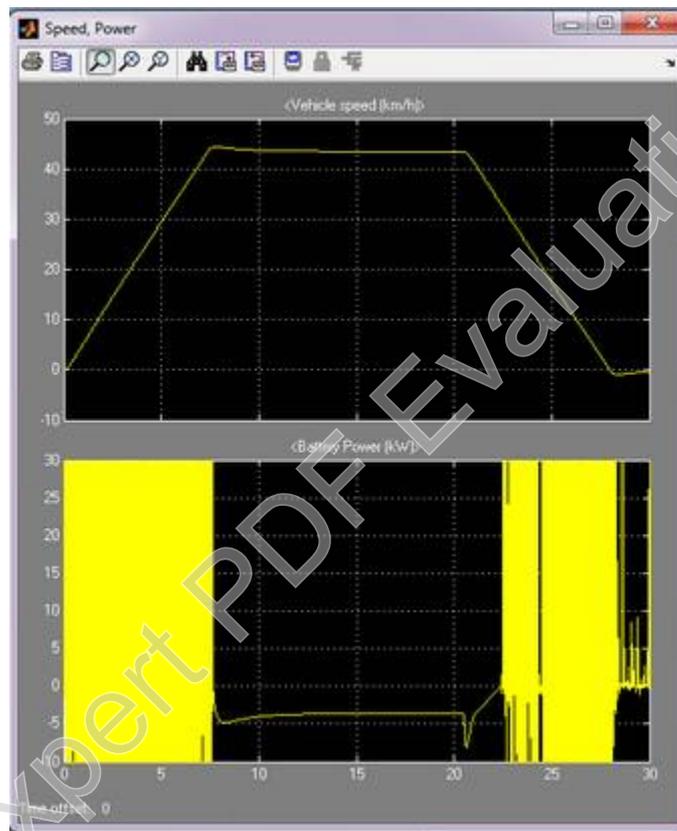


Fig.III.4 :En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.

En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.

Les paramètres étudiés :

La tension nominale (volt): tension moyenne d'une batterie observée sur la plus grande partie de sa courbe de décharge.

Capacité de la batterie (Ah) : Capacité énergétique d'une batterie à délivrer un certain courant pendant un certain temps.

La charge initiale (Ah).

La résistance initiale (Ohms).

III.4 Source d'énergie irréversible

Il s'agit en particulier du réservoir de carburant qu'on trouve habituellement dans les véhicules conventionnels. Bien que les carburants les plus utilisés dans les véhicules jusqu'ici soient l'essence et le gazole, on trouve d'autres sources alternatives déjà utilisées ou en cours de développement dans l'objectif de réduire les émissions de polluants ; par exemple, le Gaz de Pétrole Liquéfié, l'Hydrogène utilisé dans un moteur à combustion ou dans une pile à combustible, les biocarburants (éthanol, méthanol, butanol, huiles végétales, etc.).

III.5 Moteur thermique

Un moteur thermique convertit une énergie chimique en énergie mécanique. Les moteurs thermiques les plus utilisés actuellement sont les moteurs à essence et les moteurs Diesel. Les moteurs Diesel ont généralement un meilleur rendement et donc une consommation de carburant plus faible que les moteurs à essence. Néanmoins, bien que le gazole soit généralement moins cher que l'essence, la construction des moteurs diesel est plus coûteuse en raison des systèmes d'injection haute pression, de la présence quasi-systématique d'un turbocompresseur, de la nécessité de filtre à particule, etc. A puissance égale, ils sont également plus lourds que les moteurs essence.

Les deux technologies ont des impacts environnementaux significativement différents notamment en raison de leur meilleur rendement, et moins d'hydrocarbures imbrulés (HC). Les moteurs essence quant à eux produisent moins de particules et d'oxyde d'azote.

Il existe également des moteurs à combustion interne fonctionnant avec d'autres carburants :

Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL), huiles végétales, biocarburants (méthanol, bioéthanol, biobutanol, etc.), ou hydrogène. Cependant leur utilisation reste minoritaire.

Les paramètres étudiés :

La puissance maximale (W):

La vitesse à plein régime (tr/min)

La vitesse maximale (tr/min):

III.6 Machine électrique (ME)

Une machine électrique est un convertisseur d'énergie réversible. Elle peut convertir une puissance électrique en une puissance mécanique en mode moteur ou bien une puissance mécanique en une puissance électrique en mode générateur. Les machines électriques ont un rendement beaucoup plus élevé qu'un moteur thermique.

Plusieurs technologies de machine électrique sont envisageables : machines à courant continu (DC) standard, moteur à courant continu sans balais, moteur à courant alternatif (AC) synchrone ou asynchrone (induction), etc.

Les machines à courant continu sont alimentées par une source d'énergie continue telle qu'une batterie. Ces machines sont relativement faciles à commander et leur coût est parmi les plus faibles.

Les machines à courant alternatif nécessitent l'utilisation de convertisseurs DC/AC pour être alimentées par des batteries. Cela rend leur utilisation plus coûteuse. Cependant ces machines ont une puissance massique et un rendement plus élevés que les machines DC. C'est pour ces raisons qu'on trouve de plus en plus de machines à courant alternatif dans les applications automobile et notamment dans les véhicules hybrides.

III.7 Transmissions

Pour que la puissance fournie par les moteurs arrive aux roues motrices, des organes de transmissions doivent être utilisés. En effet, la plage de fonctionnement couple-régime des moteurs thermiques n'est pas compatible avec celle requise au niveau des roues. Pour contourner ce problème un organe démultiplicateur est nécessaire.

Les boîtes de vitesses permettent d'adapter la vitesse et le couple du moteur à celui des roues. Avec une boîte de vitesses manuelle, lors des changements de rapports, il est nécessaire de désaccoupler le moteur des roues ce qui entraîne une perte de motricité temporaire appelée « rupture de couple aux roues ». Les boîtes automatiques permettent de changer les rapports sans rupture de couple aux roues. Les rapports disponibles restent discrets dans les deux cas, le régime du moteur thermique est donc fortement dépendant de celui des roues. Pour contourner ce problème, d'autres technologies plus élaborées permettent de piloter le rapport de réduction de manière continue, comme par exemple les CVT (Continuous variation Transmission). Il est alors possible de choisir le régime du moteur thermique et ce degré de liberté peut être mis à profit pour diminuer la consommation du véhicule.

III.8 Paramètres étudiés :

1. La dynamique du véhicule :

Concernant le véhicule, trois paramètres ont été retenus : Le poids du véhicule, la taille des pneumatiques et le coefficient aérodynamique.

2. Les propriétés électriques de la batterie :

On a focalisé notre étude sur les paramètres suivants : Le voltage de la batterie, la charge initiale, la capacité en Ampère heure de la batterie et en enfin sa résistance interne.

3. Les modes de conduites étudiés :

Selon les modes de fonctionnement, la gestion de l'énergie dans le système de transmission THS II est différente et ce dans le but d'obtenir le meilleur rendement possible de chaque moteur tout en gardant un niveau de performance élevé.

Le système de transmission hybride (fig.III.4) est constitué du moteur électrique, du moteur à combustion, du circuit d'alimentation haute tension, de la génératrice, du répartiteur de puissance, du système de transmission et de la batterie.

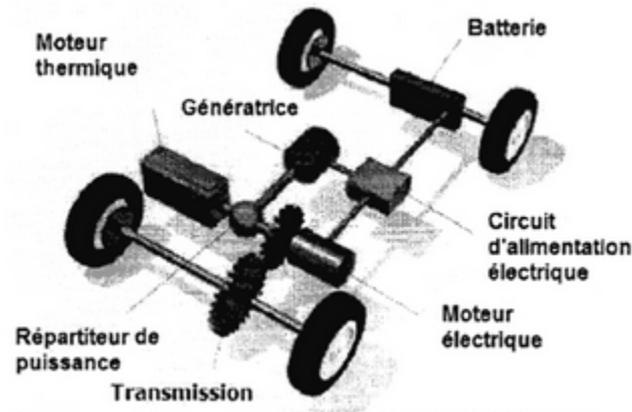


Fig.III.5: Le système de transmission de la Toyota Prius.

De plus, on peut ajouter le sous-système de commande et de gestion de l'énergie qui permet de faire fonctionner et de gérer les différents systèmes énoncés. Tous ces systèmes sont décrits dans la suite de ce chapitre et font l'objet d'une étude approfondie sous l'environnement Matlab/Simulink dans la suite de ce rapport.

3.1. Conduite normale

En conduite normale, le dispositif de répartition de puissance distribue la puissance générée par le moteur à essence. Cette puissance peut suivre deux voies. Une partie entraîne directement les roues (C) et l'autre permet d'entraîner une génératrice qui fournit à son tour la puissance nécessaire au moteur électrique (B) (fig.III.5). Ce dernier fournissant le couple requis aux roues.

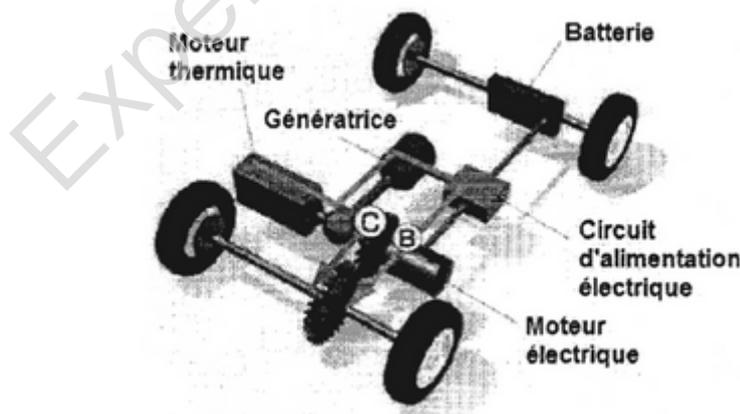


Fig.III.6 : Conduite normale.

Véhicule 1 : Véhicule léger

On choisit le véhicule citoyen AX comme un exemple pour dimensionner la batterie

Les paramètres de ce véhicule :

Table 1 : représente les paramètres de véhicules citoyen AX

Poids	700 Kg
Taille des pneumatiques	0.19 m
Coefficient aérodynamique	0.31

Pour cela on va fixer les paramètres de la batterie :

Voltage : 200 V

Capacité ampère heure : 200 Ah

Charge initial : 150Ah

Résistance interne : 0.05 ohms

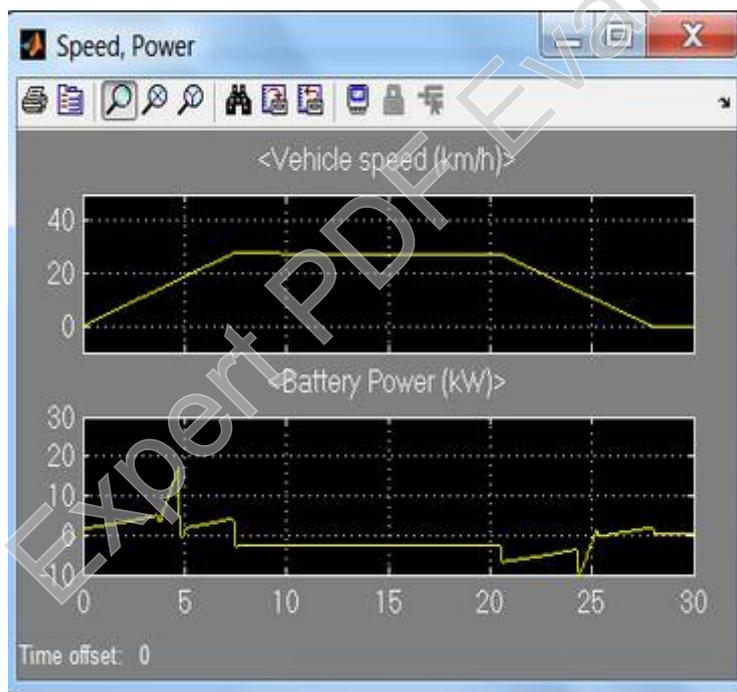


Fig.III.7 :En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.
En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.

Véhicule 2 : Véhicule berline compact

On choisit comme véhicule a étudié ‘clio3’ :

Table 2 :représente les paramètres de véhicule berline compact‘clio3’

Poids	1240 Kg
Pneu	0.22 m
Coefficient d’aérodynamique	0.35

Pour cela on va fixer les paramètres de la batterie :

Voltage : 200 V

Capacité ampère heure : 200 Ah

Charge initial : 150Ah

Résistance interne : 0.05 ohms



Fig.III.8 :En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.

En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.

On pourrait penser que le fait de transformer la puissance mécanique en puissance électrique pour enfin la reconvertir en puissance mécanique est une chose superflue. Le moteur thermique ne possède pas un bon rendement à des vitesses faibles comme il a été expliqué précédemment. Ainsi, malgré les pertes engendrées lors des différentes conversions de puissance, le rendement énergétique est plus favorable dans cette voie que dans la voie où la puissance mécanique en sortie du moteur à combustion

Est transmise directement aux roues. La puissance fournie en sortie du moteur électrique est limitée par la génératrice qui ne peut fournir une puissance maximale de plus de 25 kW. Ce procédé permet de faire travailler le moteur à combustion à des vitesses plus élevées et par conséquent avec un meilleur rendement. La répartition des flux de puissance est contrôlée pour obtenir un rendement énergétique optimal.

Dans ce mode, pour des vitesses faibles, le moteur électrique sera davantage utilisé. Par contre pour des vitesses plus élevées, le répartiteur de puissance aura tendance à favoriser la voie où la puissance mécanique du moteur à combustion est transmise directement aux roues.

3.2. Forte accélération

Véhicule 1 : Véhicule léger

On choisit le véhicule citoyen AX comme un exemple pour dimensionner la batterie

Les paramètres de ce véhicule :

Table 3: représente les paramètres de véhicules citoyen AX

Poids	700 kg
Taille des pneumatiques	0.19 m
Coefficient aérodynamique	0.31

Pour cela on va fixer les paramètres de la batterie :

Voltage : 200 V

Capacité ampère heure : 200 Ah

Charge initial : 150Ah

Résistance interne : 0.05 ohms

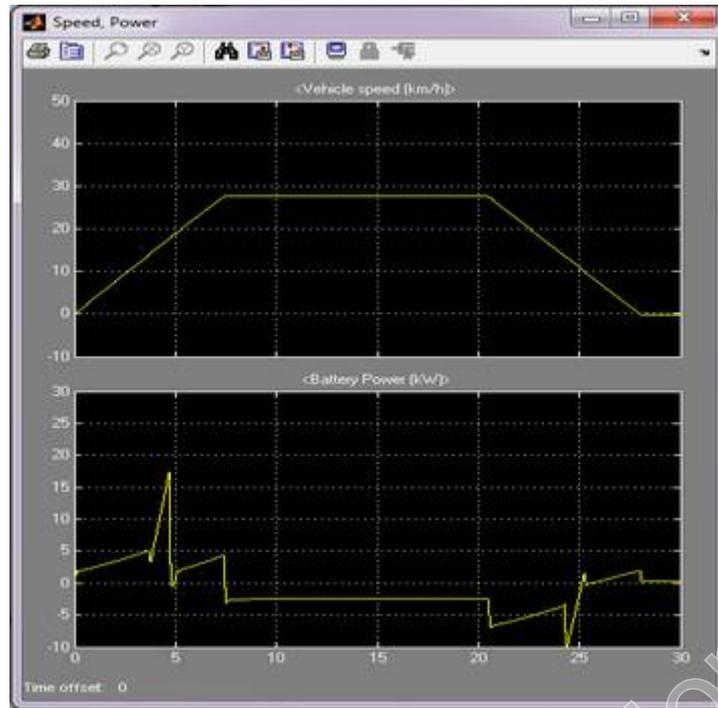


Fig.III.9 :En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.
En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.

Dans le cas d'une forte accélération (fig.III.11), correspondant à une demande de couple importante, le moteur électrique délivre sa pleine puissance (50 kW). Ce dernier est alimenté en priorité par la batterie (A) qui fournit une puissance de 20 kW ainsi que par la génératrice (B) qui délivre une puissance de 30 kW.

Véhicule 2 : Véhicule berline compact

On choisit comme véhicule à étudié 'clio3' :

Table 2 :représente les paramètres de véhicule berline compact 'clio3'

Poids	1240 Kg
Pneu	0.22 m
Coefficient d'aérodynamique	0.35

Pour cela on va fixer les paramètres de la batterie :

Batterie 1 :

Voltage : 200 V

Capacité ampère heure : 200 Ah

Charge initial : 150Ah

Résistance interne : 0.05 ohms

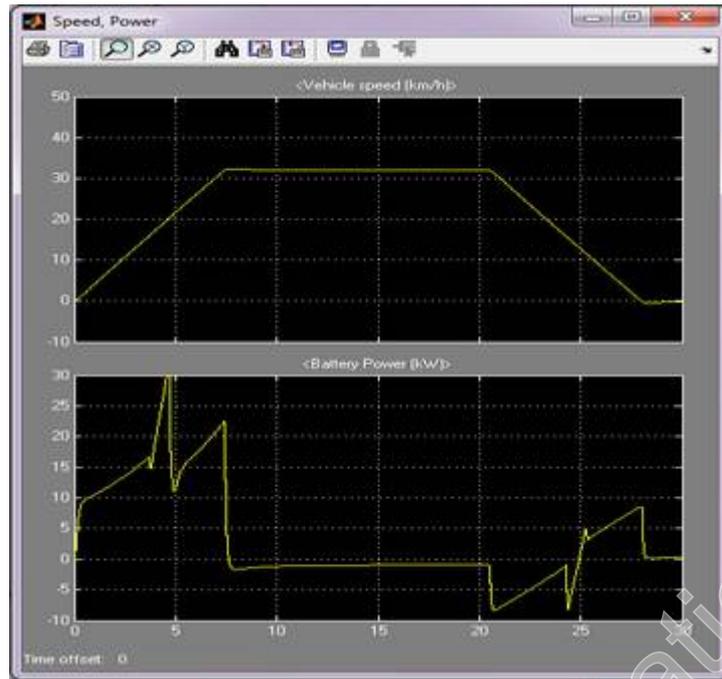


Fig.III.10 : En haut : la vitesse du véhicule en fonction du temps de calcul.
En bas : La puissance électrique dégagée par le véhicule durant le temps de simulation.

Cette dernière est entraînée par le moteur à combustion. La batterie fournit une puissance additionnelle au moteur électrique.

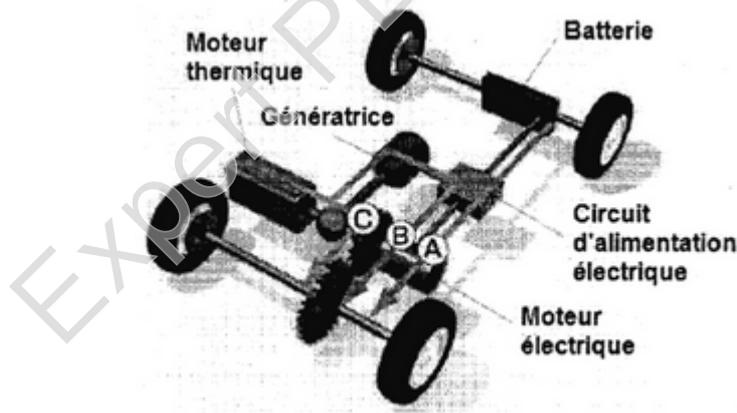


Fig.III.11 : Fortes accélérations

La gestion des flux d'énergie est faite de telle manière qu'elle permet de procurer une accélération linéaire et souple afin de garantir un confort de conduite satisfaisant.

IV. Conclusion :

Ce chapitre a abordé l'hybridation du groupe motopropulseur qui paraît être une solution prometteuse tout au moins à court et moyen terme pour réduire les problèmes de consommation et de pollution. La notion d'hybridation a été expliquée, puis un historique succinct a été présenté, après quoi, les différents composants constituant une chaîne de traction hybride ont été décrits.

Dans le cadre des travaux de ce mémoire, une attention particulière a été apportée au véhicule hybride thermique électrique. Une classification a été faite selon plusieurs critères. Enfin la problématique de la gestion d'énergie dans les véhicules hybrides a été présentée.

Expert PDF Evaluation

Conclusion

Expert PDF Evaluation

Conclusion générale :

Ce mémoire a permis de décrire dans un premier temps les signaux de référence appliqués aux moteurs et leurs entraînements à chaque instant du cycle de simulation. Le fonctionnement du modèle série/parallèle pour différents modes de fonctionnement du véhicule a ensuite été décrit.

Dans le premier chapitre nous avons rappelé très brièvement l'histoire de la voiture hybride, suivi la technologie actuelle de voiture et la technologie de stockage l'énergie dans les batteries.

Le deuxième chapitre nous avons présenté les différentes architectures d'une voiture hybride.

Dans le troisième chapitre nous avons fait une modélisation et un dimensionnement d'une batterie Li-Ion pour différents types de véhicule en utilisant le logiciel MATLAB/SIMULINK

Les résultats ont montré que le modèle respectait le principe de fonctionnement du système hybride et notamment que les écoulements de puissance entre les différents sous-systèmes étaient cohérents. Le sous-système de l'énergie utilisé a montré une bonne stabilité dans les signaux de commande pour chacun des moteurs ainsi que les signaux obtenus. Les performances dynamiques de la voiture (vitesse linéaire et accélération) se sont montrées cohérentes.

En ce qui concerne les temps de simulation, ils sont comparables à ceux du modèle série. Le modèle hybride série/parallèle est pourtant plus complexe car il intègre un sous-système de gestion de l'énergie et un modèle de train planétaire épicycloïdale.

Ceci a montré que Simulink est un module complémentaire pour la modélisation et la simulation de systèmes électromécaniques complexes et de leurs commandes associées.

En résumé, l'étude démontre que l'hybride représente un grand potentiel pour les futures économies de carburant, aussitôt que sa présence sur le marché sera massive. L'influence de ces véhicules sur le quotidien des gens a tout pour inciter les automobilistes à opter pour des véhicules hybrides. Et ce, même si le montant des dits véhicules demeure relativement importants. Concernant les batteries Lithium ions, leur dimensionnement doit certains critères de sécurité et de rendement afin d'optimiser le rendement du véhicule hybride.

Comme perspective à notre travail, nous proposons de développer sous MATLAB Simulink, un programme permettant d'étudier le rendement moteur/batterie pour différents cycles de conduites. Ceci nous permettra de connaître la durée de vie de la batterie et d'anticiper les pannes liées à l'utilisation des véhicules (variation brusque des tensions électriques).

Bibliographie :

[1]<http://www.michelinchallengebibendum.com/fr/Berlin-2011/Partenaires/EDF>

[2]<http://annuaire.indexweb.info/149725/la-voiture-electrique-blog-reference.html>

[3] <http://www.voiture-electrique-populaire.fr/vehicule/histoire>

[4] http://fr.google.org/wiki/Voiture_%C3%A9lectrique

[5] Brochure Toyota Prius - Toyota RCS Nanterre, 2009

[6] « Toyota reporte d'au moins 6 ans la production de Prius aux Etats-Unis », Reuters, 27 juillet 2010. Consulté le 28 juillet 2010

[7] Toyota Prius, un écolo pleine de ressources : La voiture hybride est la technologie du 21e siècle

[8] Prius Fan, la Prius III

[9] Toyota Prius 3 - Toujours plus propre

[10] avem.fr - Déjà 2 millions de Prius vendues dans le monde (octobre 2010)

[11] Le Maire de Strasbourg reçoit les clés de sa Prius hybride rechargeable

[12] Prius Alpha - Toyota lance la commercialisation de son monospace hybride au Japon - [Avem.fr](http://avem.fr), 18 mai 2011

[13] Toyota Prius III hybride rechargeable - salon de Francfort - Autodeclics.com, septembre 2011

[14] La première Prius Rechargeable pour S.A.S. le Prince Albert II de Monaco, Auto-Journal, 2 juillet 2012

[15] <http://www.encyclauto.fr/definitions/Batterie-26.html>

[16] <http://voiture-electrique.durable.com/a-la-fabrication-d-une-batterie-pour-voiture-electrique>

[17] http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/fr/HEV.php

[18] <http://www.hybridsynergydrive.com/fr>

[19] http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/fr/HEV.php

[20] <http://www.renault.com/fr/Carrieres/nos-metiers/Pages/electronique.aspx> [21] <http://www.expert-ve.fr/technologie-voiture-electrique.html>

[22] Electric Vehicle Association of the Americas (EVAA), <http://www.radix.net/~futurev/facts.html>, 1997.

[23] A. Haskell et al., An Introduction to Electric Vehicles; voir adresse Internet <http://www.suhep.phy.syr.-edu/car/links.html>.

[24] www.psa.fr

- [25] The Clean Fuels Report (1996), p. 183.
- [26] « Toyota Introduces Gasoline-Electric Hybrid Car », The Ottawa Citizen, 16 octobre 1997, p. D4.
- [27] R. De Neufville et al., « The Electric Car Unplugged », Technology Review, janvier 1996, p. 32 (traduction).
- [28] http://www-ose.cma.fr/evenements/2000/technologies_electrique.htm
- [29] D. Sperling, « The Case for Electric Vehicles », Scientific American, novembre 1996, p. 54-55.
- [30] Site Internet de la compagnie Ford, janvier 1997 (www.ford.com).
- [31] Sperling (1996), p. 55.
- [32] J. Haggin, « Electric Cars Projected to Raise Lead Pollution », Chemical and Engineering News, 22 mai 1995, p. 7 (traduction).
- [33] « Centre for Technology Assessment Refutes Carnegie-Melon Analysis », The Clean Fuels Report, avril 1996, p. 190.
- [34] Sperling (1996), p. 58.
- [35] « Advanced Lead-Acid Battery Consortium Meets First Phase Goals », The Clean Fuels Report, novembre 1996, p. 176.
- [36] D. Iman, « Automakers Move Towards New Generation of ‘Greener’ Vehicles », Chemical and Engineering News, 1^{er} août 1994, p. 12.
- [37] « Saft Making Progress with a Number of Batteries », The Clean Fuels Report, juin 1996, p. 174.
- [38] Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole de la Chambre des communes, Énergies de remplacement, juin 1981.
- [39] sauf indication contraire, l'information fournie ici provient de divers numéros de 1996 et 1997 du The Clean Fuels Report.
- [40] J. Hiscock, « New Electric Car Has Enough Zip To Give GM Lead in Technology Race », The Ottawa Citizen, 6 décembre 1996, p. C9.
- [41] : <http://www.encyclauto.fr/definitions/Batterie-26.html>
- [42] : http://eolienne.f4jr.org/stockage_de_l_energie
- [43] : <http://voiture-electrique.durable.com/a-la-fabrication-d-une-batterie-pour-voiture-electrique>
- [44] : <http://www.amperiste.fr/?q=node/176>

