

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : de TECHNOLOGIE

Département : Electronique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique Système

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Récupération d'énergie pendant tous le cycle d'utilisation
d'un véhicule électrique**

Présenté par : *Drouiche Nabil*

Encadrant : *Lafifi Mohamed Mourad*

Grade

Université

Jury de Soutenance :

BEKAIK Mounir	Prof	Université	Président
LAFIFI Mohamed Mourad	MCA	Université	Encadrant
BENSAKER Bachir	MCB	Université	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

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

Nous exprimons nos profondes gratitudee à nos parents pour leurs Encouragements, leur soutien et pour les sacrifices Qu'ils ont enduré.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur " Mr. Lafifi Mohamed Mourad " pour son sérieux, sa compétence et ses orientations

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département électrotechnique qui ont contribué à notre formation.

Aussi nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et toute la promotion d'électrotechnique industrielle (2022) Qui par leur amitié et leur bonne humeur, ont créé une ambiance de travail parfaite.

Dédicace

Je dédie ce précieux travail aux êtres les plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est de vous dont je parle très chers parents. A mes frères et sœurs et toute la famille :

« Drouiche » sans exception.

A tous mes amis qui m'ont toujours soutenu, et tous mes amis de la Promotion Electronique 2022.

En fin à tous ceux qui m'apprécient à ma juste valeur.

الملخص

السيارة الكهربائية (V E) هي مركبة تعمل بمحرك يعمل بشكل حصري على الطاقة الكهربائية. تتمحور عمل الأطروحة حول النقاط التالية :

- ❖ الخطوة الأولى: نبذة مختصرة عن تاريخ السيارات الكهربائية و تحديثها و التقنيات التي تتكون منها مثل المحرك الكهربائي
- ❖ الخطوة الثانية: تتمثل في استعادة الطاقة الكهربائية بالإضافة الى تقديم بعض الأساليب المطبقة لضمان ذلك مثل نظام (KERS)
- ❖ الخطوة الثالثة: سنقدم محاكاة للنظام (KERS) استنادا الى إعادة شحن النظام (إعادة شحن مختلط) لنرى الى أي مدى تؤثر الاختلافات عزم دوران المحرك على كمية الطاقة الكهربائية المستردة

Sommaire

Un véhicule électrique (V E) est un véhicule propulsé par un moteur fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique.

Le travail de thèse s'articule autour des points suivants :

- La première étape : un bref aperçu de l'histoire et de la modernisation des voitures électriques et des technologies qui les composent, comme le moteur électrique
- La deuxième étape : consiste à récupérer l'énergie électrique en plus de présenter quelques méthodes appliquées pour y parvenir, comme le système KERS
- Troisième étape : Nous présenterons une simulation du système (KERS) basée sur la recharge du système (recharge mixte) pour voir dans quelle mesure les différences de couple moteur affectent la quantité d'énergie électrique récupérée

Summary

An electric vehicle (V E) is a vehicle powered by an engine that runs exclusively on electric power

The work of the thesis revolves around the following points:

- The first step: a brief overview of the history and modernization of electric cars and the technologies that make up them, such as the electric motor
- The second step: is to recover electrical energy in addition to presenting some methods applied to ensure this, such as the KERS system
- Step Three: We will present a simulation of the system (KERS) based on system recharging (mixed recharging) to see to what extent differences in motor torque affect the amount of electrical energy recovered

Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Introduction générale	III
Chapitre 1 : Aperçu historique sur les véhicules électriques.....	1
1.1. Bref historique	2
1.1.1. Emergence des véhicules électriques	5
1.2. Définition du véhicule électrique	5
1.2.1. Les batteries Haute tension ou HT	8
1.2.2. Les Ultracapacités	10
1.2.2.1. <i>Constitution et Caractéristiques des Ultracapacités</i>	11
1.2.2.2. <i>Applications automobiles</i>	12
1.2.3. Les machines électriques (moteur) utilisées dans la traction	12
1.2.3.1. <i>Les différents types de moteurs</i>	14
1.2.4. Convertisseur de puissance	17
1.3. Les différents modes de charge pour véhicules électriques	18
1.3.1. Prise domestique	19
1.3.2. Prise domestique et câble équipés d'un dispositif de protection	19
1.3.3. Prise spécifique sur un circuit dédié	19
1.4. Les avantages des véhicules électriques	20
1.4.1. La voiture électrique entraîne des économies à l'utilisation	20
1.4.2. La voiture électrique est plus fiable	20
1.4.3. L'impact des véhicules électriques sur l'environnement est moindre	20
1.4.4. Faire le plein d'électricité est potentiellement plus facile	21
1.4.5. Le véhicule électrique favorise le développement des énergies renouvelables et la stabilité des réseaux	21
1.4.6. La voiture électrique est silencieuse	22
1.5. Les points faibles des véhicules électriques	22
1.5.1. L'autonomie sur les longues distances peut être un frein à l'achat	22
1.5.2. Le véhicule électrique, très silencieux, surtout à faible vitesse	23
1.5.3. Les émissions de particules fines	23
1.6. Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques	23
1.7. Conclusion :	25
Chapitre 27 La récupération d'énergie.....	27

2.1. Introduction	28
2.2. Principe de fonctionnement d'un système de récupération d'énergie	28
2.3. Méthode de récupération d'énergie	31
2.3.1. Le SERC (KERS)	31
<i>2.3.1.1. SREC par volant d'inertie</i>	31
<i>2.3.1.2. SREC par batterie</i>	31
2.4. Le freinage Régénératif	33
2.4.1. Principe de fonctionnement	33
2.4.2. Les avantages de ce système de freinage	35
2.4.3. Inconvénients du freinage régénératif	35
2.4.4. Rendement du freinage régénératif	36
2.4.5. Plusieurs systèmes possibles à bord pour le freinage régénératif	36
2.5. Le principe de l'éco-conduite	38
2.6. Conclusion	39

CHAPITRE40 Etude sur la récupération d'énergie dans différent topologie

.....	40
3.1.INTRODUCTION	41
3.2. Système de Récupération d'E'nergie Cinétique	41
3.3.Qu'est-ce que le couple moteur ?	45
3.4.La récupération d'énergie dans différent topologie	48
<i>3.4.1.Cas d'une une montée</i>	49
3.4.2.Cas d'une décente	51
Figure3.12 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 40(N*m)/Kg54	
3.4.3.Cas d'un chemin droit (plat)	54
3.5.Conclusion	57
Conclusion Generale	57

Table de Figure

Chapitre 1

Figure 1.1 La jamais contente[2]	2
Figure 1.2 La première voiture hybride	3
Figure 1.3 La Prius.....	4
Figure 1.4: configuration d'un véhicule électrique.....	6
Figure 1.5: Schéma des composantes et de fonctionnement d'un véhicule électrique.....	7
Figure 1.6: Technologies mature, introduite et en développement de batteries	9
Figure 1.7: Le fonctionnement à 4 quadrants d'un moteur électrique	13
Figure 1.8: Machine synchrone à aimants a) montés en surface, b) insérés au rotor et c) intégrés dans le rotor.....	16
Figure 1.9 : La première voiture hybride	24

Chapitre 2

Figure 2.1. SREC de Formule 1 (2009)	29
Figure 2.2 Volant d'inertie d'un SREC mécanique	29
Figure 2.3 L'énergie des roues arrière d'une DS5 HYbrid4 renvoyée vers les batteries.....	30
Figure 2.4 Système de freinage dynamique sur le toit d'un tramway	30
Figure 2.5 Schéma du système régénératif de l'Audi e-tron	34
Figure 2.7 Le mode « B » permet le freinage régénératif sur la Renault ZOE.....	37
Figure 2.8: frein complet avec pédale VE pour la voiture Nissan Leaf.....	38

Chapitre 3

Figure 3.1 Sous-système d'entraînement PMSM.....	42
Figure 3.2 Sous-système Batterie et ultracondensateur	43
Figure 3.3 Prédire la vitesse au virage si le sous-système de freinage maximal est utilisé	43
Figure 3.4 paramètres de système de récupération d'énergie	Erreur ! Signet non défini.
Figure 3.5 distance proposé pour étudier la récupération d'énergie.....	48
Figure 3.6 train de freinage	49
Figure 3.7 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie 200(N*m)/Kg.....	50
Figure 3.8 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie 100 (N*m)/Kg.....	50
Figure 3.9 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 160(N*m)/Kg.....	51
Figure 3.10 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 80(N*m)/Kg..	52
Figure 3.11 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 120(N*m)/Kg..	53
Figure 3.13 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 5(N*m)/Kg.....	55
Figure 3.14 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 20(N*m)/Kg....	55
Figure 3.15 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 40(N*m)/Kg....	56
Figure 3.16 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 40(N*m)/Kg....	56

Liste de Tableaux

Tableau I.1 : Les caractéristiques d'une batterie Li-Ion.....10

Tableau II.1 : Comparaison entre les moteurs des véhicules électriques et les moteurs industriels traditionnels14

Tableau II.3 : Les différentes valeurs de couple, régime et vitesse de véhicule46

Les abréviations:

<u>V.E</u>	<u>Véhicule électrique</u>
<u>HT</u>	<u>Haute tension</u>
<u>KERS</u>	<u>Kinetic Energy Recovery Systeme</u>
<u>LEAF</u>	Leading, Environmentally Friendly, Affordable, Family
<u>EDLC</u>	Electric double layer capacitance
<u>IPMSM</u>	Interior Permanent Magnet Synchronous Motor
<u>V2H</u>	Vehicle to Home
<u>V2B</u>	Vehicle to Building

Introduction générale

Dans ce papier, le travail a été axé sur la récupération d'énergie par un système de stockage mixte composé d'une batterie et d'une ultra capacité (UC) associées à une résistance de freinage d'un véhicule électrique.

Les éléments de puissance dans un véhicule électrique sont les batteries, l'ultra capacité, les convertisseurs et les moteurs électriques.

Plusieurs technologies de ces éléments en vue le jour au fil des décennies pour améliorer la fiabilité, la robustesse, la sécurité, les performances, ..., des véhicules électriques. Notamment l'autonomie de ce dernier a été et est mise constamment aux feux des projecteurs des recherches incessantes. Et c'est dans ce contexte que s'incarne la récupération d'énergie d'un véhicule électrique.

Dans le premier chapitre on essaiera d'éclaircir la base sur laquelle débute ce travail, en présentant un bref historique sur les véhicules électriques et leur mise à jour, ainsi qu'une définition du véhicule électrique et des technologies qui le compose tel que le moteur électrique et ces principales inclinaisons utilisés dans le véhicule électrique en plus de sa commande, en passant par les batteries et les ultra capacités qui représentent la source d'énergie pour le fonctionnement du véhicule électrique, le convertisseur de puissance et sa commande, on parlera brièvement des modes de charge d'un véhicule électrique, en concluant par quelques points faibles qui peuvent être améliorés pour une optimisation du véhicule électrique.

Le second chapitre sera concentré sur fait de répondre à la question qu'est-ce que la récupération d'énergie, ainsi que de présenter quelques méthodes mises en place pour assurer cette dernière, tel que le système KERS avec le volant d'inertie et avec recharge de batterie (et c'est sur ce point que la simulation de ce travail est basée), ou le freinage régénératif,.....

Pour le troisième chapitre on présentera une simulation sur le système KERS basé sur la recharge d'un système de recharge mixte composé d'une batterie et d'une ultra capacité, pour voir à quel point les variations du couple moteur influent sur la quantité d'énergie électrique récupérée, on discutera aussi des topographies qui sont favorables à la récupération d'énergie et celle qui ne le sont pas

On conclura ce travail par une conclusion ainsi que quelques perspectives

جامعة باج

Chapitre 1 : Aperçu historique sur les véhicules électriques

أبواب

unaba

Université Baaj

1.1. Bref historique :

Au début la technologie de traction dans le secteur automobile était dominée par trois familles les véhicules à combustion interne, les véhicules à vapeur et les véhicules électriques avec leurs inconvénients.[1]

- Moteur à combustion interne : avait des difficultés de démarrage et les distances parcourues étaient courtes et la vitesse était relativement faible.
- Voitures à vapeur : nécessité d'échauffement pour une durée de 20 minutes en plus d'une consommation d'eau importante.
- Véhicules électriques : Faibles performances des batteries et une incapacité à surmonter des pentes abruptes.

Ainsi que les distances parcourues étaient courtes et la vitesse faible.

En 1834, le premier véhicule alimenté par une batterie non rechargeable est utilisé pour les courts trajets. En 1900, 4200 automobiles furent vendues dont 40 % à vapeur, 38 % électriques et 22 % à carburant fossile (combustion interne).

- En 1899 en Royaume-Uni, « la jamais contente », la première voiture électrique qui a dépassé les 100 km/h a été construite. La voiture était pilotée par le belge Camille Jenatton et elle était en forme de torpille.



Figure 1.1 La jamais contente[2]

Entre 1910 et 1920, des progrès remarquables ont été réalisés sur les véhicules électriques au niveau de la capacité de stockage de la batterie, de sa durée de vie, de la distance parcourue et des coûts de maintenance. Par contre, l'évolution de la technologie des moteurs à combustion interne était bien plus rapide en termes de trajet, de vitesse, de démarrage...

En 1920, les véhicules à combustion interne deviennent prédominants grâce à l'invention du démarreur (1911) et aux améliorations dans la production de masse du véhicule Henry Ford. Les véhicules électriques disparaissent, pour réapparaître en 1960. [3]

En 1972, Victor Wouk, le parrain du véhicule hybride construit la première voiture hybride, la Buick Skylark de GM (Général Motors).



Figure 1.2 La première voiture hybride

En 1976, « the Electric and Hybrid Véhicule Research, développement and Démonstration Acte » a été adopté par le Congrès américain, qui a permis de favoriser le développement des nouvelles technologies de batteries, moteurs et composants hybrides.

Dès 1988, la société automobile Général Motors lance un projet de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra l'EV 1 et qui va être produite entre 1996 et 1998.

En 1997, Toyota lance la Prius, la première voiture hybride à être commercialisée en série 18 000 exemplaires ont été vendus au Japon la première année et en 2006 Toyota a passé le cap des 500.000 unités vendues à travers le monde avec son célèbre véhicule hybride.

4



Figure 1.3 La Prius

De 1997 à 2000, de nombreux modèles électriques hybrides ont été lancés : la Honda EV Plus, la G.M. EV1, le Ford Ranger pickup EV, Nissan Altra EV, Chevy S-10 EV et le Toyota RAV4 EV.

- Cependant à partir de 2000, la voiture électrique va ré-mourir à nouveau. En 2004, c'est la fin de l'EV1, GM va récupérer tous les véhicules EV1 pour les détruire, et ce malgré plusieurs mouvements de protestation.

Le constructeur fut accusé de céder au lobbying des sociétés pétrolières.

- En Juillet 2009, La Mitsubishi i-MiEV a été lancée au Japon pour les professionnels, et en Avril 2010 pour les clients individuels, puis on a commencé à la vendre au public Hongkongais en mai 2010.[4]

- En décembre 2010, La Nissan LEAF (Leading, Environmentally Friendly, Affordable, Family car) la voiture électrique à cinq places annoncée qui a été déjà annoncé en 2009, a pu être commercialisée au Japon et aux Etats-Unis et en arrivant aux marchés européens la fin 2011.

- Aujourd'hui, le véhicule électrique est devenu une réalité. Les principaux constructeurs automobiles, à l'image de Renault avec la ZOE en 2013, ont développé un modèle 100% électrique et non un seul véhicule électrifié.

1.1.1. Emergence des véhicules électriques :

De nos jours, les contraintes liées à l'acceptation de masse des véhicules électriques par le grand public consistent en un trajet limité (autonomie) du véhicule et en un manque d'infrastructure développées (bornes de charges des batteries, standardisation des accessoires avec les protections associées, développement des chaînes de vente et de distribution, support technique, service après-vente, pièces de rechange).

Le problème de l'autonomie trouve en partie sa réponse dans les efforts de recherche et de développement des batteries, des piles à combustible, et dans d'autres alternatives de source d'énergie. Une autre approche consiste à sensibiliser les personnes à l'utilisation de l'énergie propre et aux conséquences graves liées au réchauffement climatique et à la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre.

Grâce aux progrès techniques, aux contraintes environnementales, à la raréfaction des Energies fossiles ainsi qu'aux raisons économiques (baisse de consommation, indépendance énergétique), l'industrie des véhicules électriques reprend son émergence. Cette reprise est fondée sur les points suivants :

- 1- Des technologies de batterie en amélioration continue
- 2- Une montée en puissance des infrastructures : 4,4 millions de bornes de recharge en France jusqu'à 2020, ainsi que le gigantesque projet Tesla Gigafactory aux Etats-Unis
- 3- Une offre commerciale en évolution
- 4- Un partenariat plus poussé entre les constructeurs (Renault-Nissan, Chrysler-GM-Ford,...)[5]
- 5- Une conclusion quasi-définitive chez les constructeurs stipulant que la traction électrique pourrait représenter une grande part de marché dans le futur, ce qui a encouragé la concurrence et par conséquent les investissements à tous les niveaux.

1.2. Définition du véhicule électrique

La solution la plus simple pour réaliser un véhicule électrique est de le construire sur la base d'un véhicule thermique existant, en remplaçant le moteur thermique par un moteur électrique.

Cependant, la transmission mécanique peut être simplifiée. [6]

La capacité des moteurs électriques à démarrer à couple élevé et de fonctionner sur une large plage de vitesse. Par contre, comme le couple est une grandeur dimensionnée, l'absence de boîte de vitesse implique un moteur plus lourd, plus encombrant et donc plus coûteux. Aussi, pour réduire la masse embarquée, les VE peuvent être conçus avec un réducteur qui permet au moteur électrique de travailler à grande vitesse.

Ce réducteur permet de réduire la taille du moteur grâce à la réduction du couple demandé.

Cette chaîne de traction centrée autour d'un seul moteur de traction couplé à un réducteur à rapport fixe représente la solution dite classique pour l'architecture des VE.

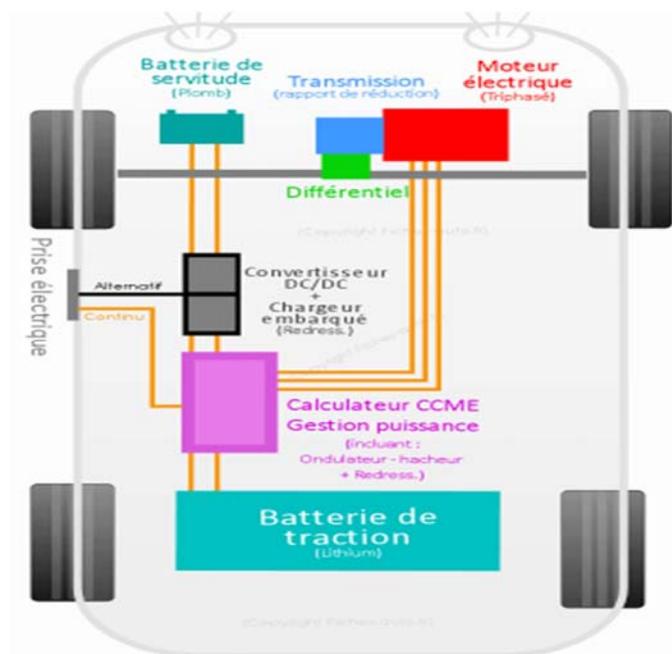


Figure1.4: configuration d'un véhicule électrique

La voiture électrique fonctionne à partir des trois éléments principaux dont elle est constituée : la batterie, le ou les moteurs électriques et le système de commande. [7]Le véhicule est alimenté par des batteries qui sont elles mêmes rechargées par un chargeur à partir d'une

source extérieure pendant les périodes de repos. Cette dernière est connectée au moteur électrique par l'intermédiaire d'un contrôleur et d'un convertisseur continu/continu (DC/DC). L'énergie des batteries est donc envoyée vers le contrôleur électronique et le convertisseur continu/continu (DC/DC). Le contrôleur sert à régler l'intensité du courant qui alimente le moteur. Du convertisseur DC/DC, l'énergie est transformée et envoyée vers une batterie 12 volts si présente ou directement aux accessoires. Du contrôleur, l'énergie est envoyée au moteur pour être convertie en mouvement qui passe dans un réducteur ou une transmission vers les roues. En phase de décélération, l'électronique fait fonctionner le ou les moteurs électriques en générateurs, l'énergie délivrée par ces générateurs est utilisée pour recharger la batterie. Ainsi la consommation d'énergie est réduite.

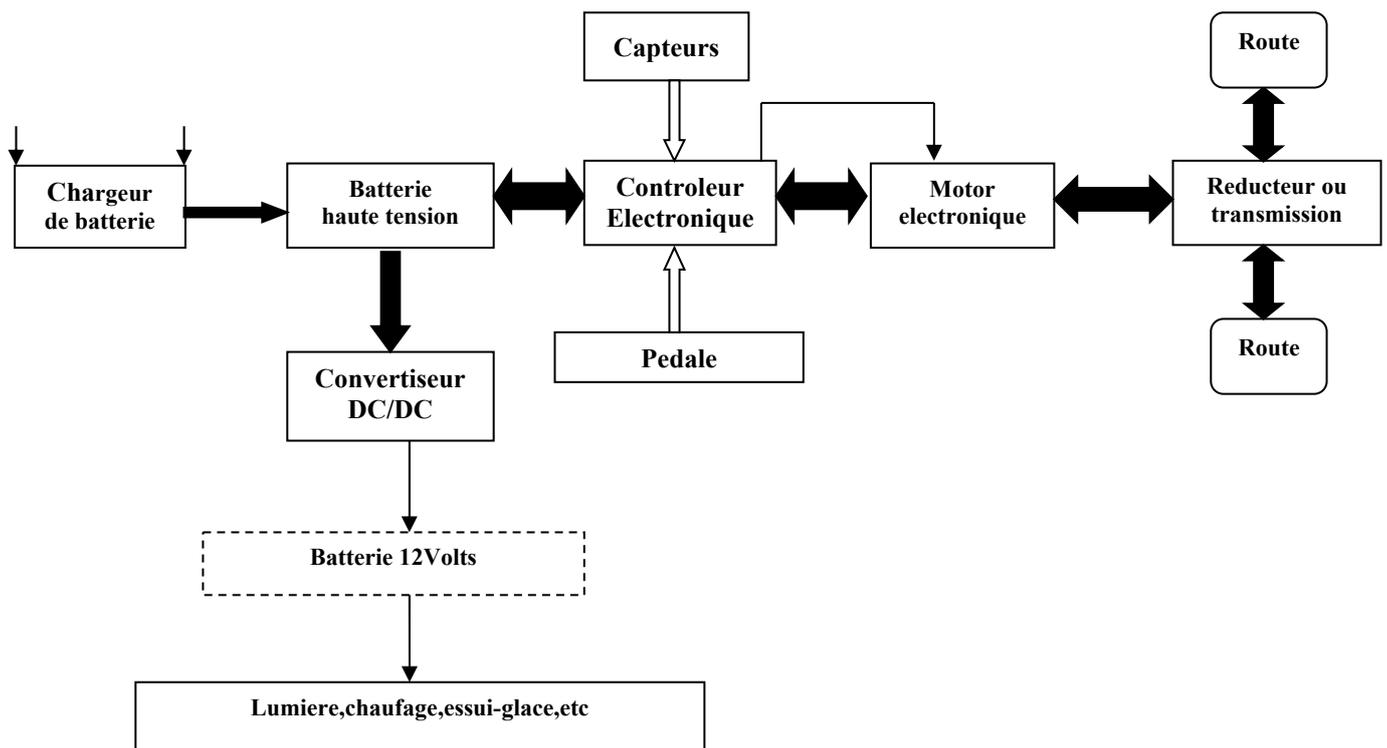


Figure 1.5: Schéma des composants et de fonctionnement d'un véhicule électrique

Côté conducteur, la conduite d'une voiture électrique n'est pas plus, sinon moins, compliquée que celle d'un véhicule thermique : il suffit d'appuyer sur la pédale d'accélérateur pour provoquer l'avancement.

À partir de là, un capteur enregistre la demande du conducteur à la position de la pédale accélérateur par un signal électrique envoyé à un module, appelé convertisseur onduleur. Cette information, associée à d'autres fournies par des capteurs disséminés dans le véhicule (capteurs de roue, capteur de vitesse, etc.) est traitée par le convertisseur qui alimente le ou les moteurs électriques de traction des roues suivant les besoins du conducteur. À l'aide d'autres composants disséminés dans le véhicule, complémentaires du convertisseur onduleur.

Cette chaîne cinématique est composée des éléments suivants :

1.2.1. Les batteries Haute tension ou HT :

La batterie est l'élément essentiel pour définir l'autonomie d'un véhicule électrique, et représente une pièce maîtresse de ce dernier.

Leur rôle est de stocker de l'énergie, en effet pour fonctionner, le véhicule électrique a besoin de l'énergie électrique embarquée, à l'instar des réservoirs de carburants pour les véhicules à moteur thermique. Les batteries alimentent le moteur en énergie électrique pour la traction du véhicule

Il existe, principalement, deux technologies majeures de batteries électrochimiques utilisées dans le domaine des véhicules électriques : les batteries nickel-hydrure métallique NiMH (arrivées à maturité technologique) et les batteries Li-ion ayant un fort potentiel de croissance en termes de densité d'énergie, de maintenance, et de recharge rapide. L'avancée technologique des batteries est projetée sur la Figure

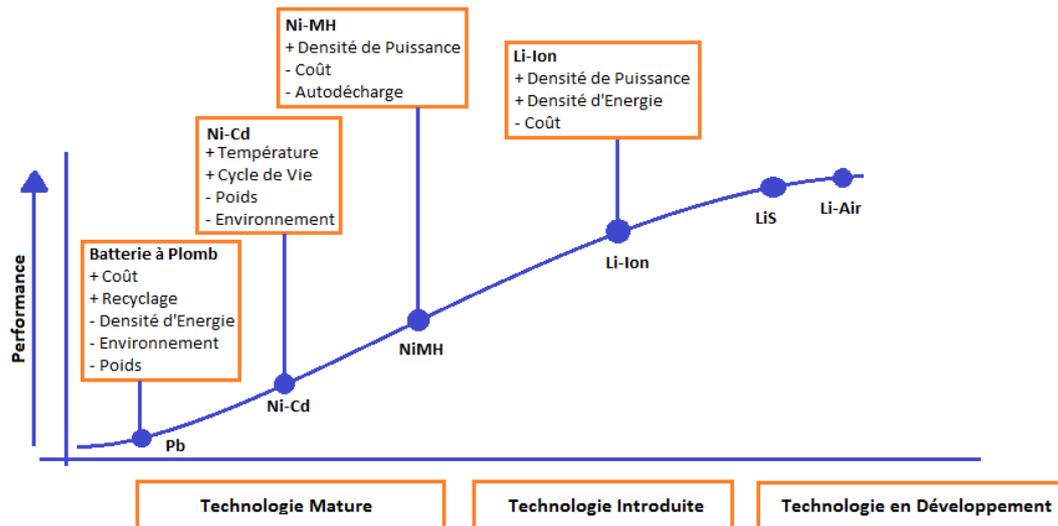


Figure 1.6: Technologies mature, introduite et en développement de batteries

Les batteries Li-Ion sont les plus utilisées dans les véhicules électriques. Elle est constituée de trois éléments principaux: la cathode (oxyde métallique de lithium), l'électrolyte (solvants organiques et sels à base de lithium, liquide ou gel ou) et l'anode (généralement du graphite). La cathode est l'électrode positive où une réaction de réduction se produit (les électrons sont acceptés provenant du circuit extérieur de charge), alors la réaction d'oxydation se produit à l'anode (les électrons sont libérés vers le circuit extérieur). L'électrolyte est un isolateur électronique, mais un bon conducteur ionique, sa fonction principale est d'assurer le transport des ions d'une électrode à une autre[8]. La tension ainsi que la capacité d'une cellule de batterie sont fonction des matériaux des électrodes utilisées. Les caractéristiques d'une batterie Li-Ion [9] sont résumées dans le Tableau suivant ;

Caractéristiques	Ordre de grandeurs
Tension élevée	3,6 V (Trois fois supérieure à celle d'une batterie Ni-Cd ou NiMH)
Densité d'énergie élevée	1,5 fois que celle de la batterie Ni-Cd
Taux de décharge admissible	3C
Large plage de température de service	-20°C à 60°C
Durée de vie élevée	Pouvant excéder les 500 cycles
Taux de décharge faible	8 à 12 % par mois
Longue durée de stockage	Pas de nécessité de reconditionnement pour approximativement 5 ans (3 mois pour une Ni-Cd, 1 mois pour une Ni-MH)
Pas d'effet mémoire	
Non polluante	Pas de métaux lourds toxiques comme le Pb, Cd ou Hg.

Tableau 1 : Les caractéristiques d'une batterie Li-Ion.

Par contre, on peut résumer les points faibles suivants : [10]

- Coût initial relativement élevé (principalement le cout de production)
- Nécessité d'un système de gestion de batterie (Batterie Management System) pour surveiller la batterie, contrôler la température (système de refroidissement à liquide ou à air), équilibrer le niveau de charge des cellules, etc... [11]
- Dégradation à haute température
- Décroissance de la densité de puissance à basse température

1.2.2. Les Ultra capacités

Malgré les avantages de la batterie Li-ion sur les autres types de batteries classiques (NiMH ou à Plomb/acide) en termes d'énergie spécifique et puissance spécifique, le potentiel de l'utilisation des ultra capacités dans les applications à hautes puissances de traction électrique ne peut pas être surpassé pour deux raisons principales. Premièrement, lors des appels en puissance, la batterie est le siège de plusieurs phénomènes et réactions électrochimiques qui peuvent compromettre sa durée de vie, sa capacité, et même déclencher un incendie (cf. § I.1.5.c). En second lieu, sous des contraintes de profils de puissance hautement dynamique, les performances de l'UC sont bien supérieures à celles d'une batterie Li-Ion. L'effort sera donc de combiner l'énergie spécifique élevée offerte par la batterie avec la puissance spécifique élevée offerte par l'UC.

Un tableau de comparaison entre les différentes technologies de stockage d'énergie (y inclue les prévisions jusqu'en 2020 de l'US Advanced Batterie Consortium - USABC) ainsi que d'autres graphes intéressants peuvent se trouver dans la référence [12].

1.2.2.1. *Constitution et Caractéristiques des Ultra capacités*

Traditionnellement, une capacité est composée de deux électrodes séparées par un matériau diélectrique solide ou sous forme de gel. L'énergie est stockée sous forme de potentiel électrostatique où les deux plaques deviennent de charges opposées. Typiquement, les matériaux diélectriques solides sont des céramiques et des oxydes métalliques. La capacitance dépend de la surface de l'électrode A , de la constante diélectrique c et de l'entrefer entre les deux plaques d selon la formule bien connue :

$$C = \frac{A \cdot c}{d}$$

Les ultra capacités (ou super capacités) sont différentes des capacités traditionnelles car elles emploient deux formes de stockage d'énergie; stockage électrostatique (phénomène majoritaire) et stockage électrochimique (minoritaire). En outre, au lieu d'avoir un matériau diélectrique solide séparant les deux électrodes, l'ultra capacité possède une solution électrolytique. Le stockage d'énergie sous forme de potentiel électrostatique est appelé capacitance électrique à double couches (Electric double layer capacitance : EDLC), [14].

L'ultra capacité dépend d'un carbone à porosité élevée. Le carbone devient électriquement chargé quand il est connecté à une batterie. Le carbone attire les ions à charge opposée à partir de la solution électrolyte. Les ions se déplacent à travers le papier séparateur pour arriver au carbone à charge appropriée, et ils s'insinuent dans les encoches du matériau poreux. Cet arrangement assure les deux principales caractéristiques nécessaires pour avoir une capacitance élevée: des électrodes avec des grandes surfaces, et des charges séparées par de très faibles distances.

La faible résistance interne améliore le rendement de l'UC permettant ainsi de tirer un fort courant même à faible SOC. Les avantages d'une UC [13] se résument par des charges et des décharges répétitives et rapides pouvant répondre aux besoins urgents d'une conduite urbaine correspondant à des arrêts-départs continus et successifs, une connaissance du niveau d'énergie et de l'état de charge de l'UC par une simple mesure de la tension et un grand intervalle de température de fonctionnement. La technologie respecte l'environnement puisque l'UC ne contient pas de métaux lourds.

1.2.2.2. Applications automobiles

PSA Peugeot-Citroën utilise, dans les modèles C4 et C5, les ultra capacités Maxwell Boos cap 600F / 5V comme booster dans ses systèmes micro-hybrides (e-HDI) [36]. Les ultra capacités sont également utilisés dans la Mazda-6 lors du freinage récupérateur sur un micro- hybride Start / Stop de 12V. Toyota, Honda et AFS Trinity ont développé chacun des prototypes de concept des véhicules ayant des performances élevées grâce à l'utilisation des ultra capacités [15].

1.2.3. Les machines électriques (moteur) utilisées dans la traction

Le moteur électrique est la pièce essentielle pour mouvoir le véhicule électrique, généralement le moteur triphasé est sollicité pour cette tâche

L'intervalle du fonctionnement à puissance constante dépend principalement du type du moteur électrique et de sa stratégie de contrôle/commande. La force de traction du moteur devra répondre aux besoins du conducteur en termes d'accélération et de freinage et devra aussi surmonter les forces de roulement des pneus, la résistance aérodynamique et les autres types de résistance à l'avancement du véhicule.

Un moteur électrique utilisé pour la traction de véhicules doit avoir les caractéristiques générales suivantes: [11][16]

- Une densité de puissance et de couple élevées.
- Une capacité d'assurer un couple maximal partant de la vitesse nulle à la vitesse de base et d'étendre son fonctionnement au-delà de la vitesse de base tout en assurant un couple élevé à faibles ondulations, grâce à sa commande.

- Une dynamique de couple rapide.
- Faible bruit acoustique.
- Un rendement élevé.
- Sécurité et fiabilité, des configurations à haute tolérance aux pannes doivent être développées.
- Un coût raisonnable.
- Une commande qui permet de travailler dans les quatre quadrants du plan couple/vitesse de rotation (Figure)

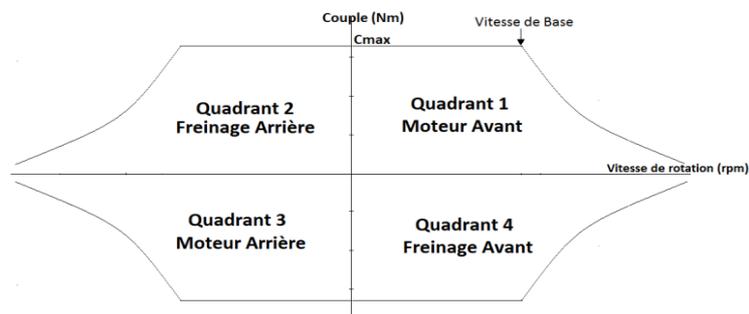


Figure 1.7: Le fonctionnement à 4 quadrants d'un moteur électrique

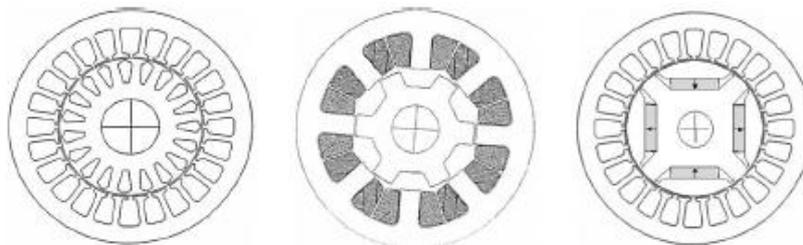
La différence des contraintes entre les moteurs installés dans les véhicules électriques et les moteurs industriels traditionnels se résume dans le Tableau suivant:

	Moteurs pour Véhicules Electriques	Moteurs Industriels Traditionnels
Température Ambiante	-40 ~ 140°C	20 ~ 40°C
Environnement de fonctionnement	Hostile	Utilisation Intérieure
Température du liquide de refroidissement	75 ~ 150°C	< 40°C
Température des enroulements	160 ~ 200°C	75 ~ 130°C
Intervalle de vitesse	0 ~ 15 000 tr/mn	< 3 000 tr/mn
Niveau de bruit	Très faible	Faible
Demande de vitesse	Variation fréquente	Uniforme
Tension	Variable	Statique (réseau)
Rendement	Elevé	Déterminé par l'application

Tableau2 : Comparaison entre les moteurs des véhicules électriques et les moteurs industriels traditionnels

1.2.3.1. Les différents types de moteurs

Les machines à induction IM (Induction Machine), les machines à reluctance commutée SRM (Switched Reluctance Machines) et les machines synchrones à aimants permanents PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) sont devenues des topologies standardisées dans les systèmes de traction des véhicules actuels



De gauche à droite : machine à induction, machine à reluctance, et machine synchrone à aimants permanents

Les moteurs à induction sont connus pour leur maturité technologique, fiabilité, robustesse, faible maintenance, faible coût de construction et pour leur capacité à fonctionner dans des environnements hostiles. Pourtant, dans les applications de traction des véhicules électriques, ces moteurs présentent quelques inconvénients comme les pertes élevées, un contrôle complexe, un faible rendement, faible facteur de puissance et faible facteur d'utilisation de l'onduleur. [17]

Les moteurs à reluctance possèdent des avantages bien définis : construction robuste, tolérances à fonctionnement dégradé, densité de puissance élevée, contrôle aisé, caractéristiques couple-vitesse intéressantes (faible inertie du rotor permettant un fonctionnement dans la région à puissance constante à une gamme de vitesse étendue). Leur principaux inconvénients se résument par : la génération du bruit acoustique, les ondulations élevées du courant et du couple, la topologie spéciale du convertisseur. Tous ces points cités auparavant constituent un handicap pour les moteurs à reluctance dans le domaine des véhicules électriques.

Pour les applications embarquées, les moteurs synchrones à aimant permanent alimentés par un convertisseur ont un bon rendement énergétique et un couple spécifique élevé avec une capacité de fonctionnement à puissance constante sur une gamme de vitesse étendue sans compromettre le classement en VA de l'onduleur. Ces moteurs sont connus aussi pour leur faible poids et volume. Par contre, quelques inconvénients existent comme le coût élevé des aimants, la démagnétisation des aimants permanents à température élevée, le coût élevé du processus de fabrication et les efforts supplémentaires menés pour contrôler le dé fluxage. Des efforts particuliers seront menés pour améliorer la dissipation thermique des aimants installés au rotor. L'industrialisation, la fabrication en série de ces moteurs et le retour d'expérience aident à améliorer les points faibles évoqués précédemment surtout en ce qui concerne le coût et la qualité des aimants et la complexité du processus de fabrication (insertion/placement des aimants dans/sur le rotor).

En fonction de la position des aimants permanents, les PMSM peuvent être classifiés selon 3 catégories (Figure):

- Les aimants permanents montés en surface (Surface Mounted PMSM), où les aimants permanents (Permanent Magnet - PM) sont collés sur la surface externe du rotor cylindrique, et magnétisant selon la direction radiale.
- Les aimants permanents insérés au rotor (inset PMSM) où les aimants sont placés dans les fentes ou les rainures radiaux coupés sur la surface du rotor.
- Les aimants permanents intégrés (enterrés, ou internes) dans le rotor (interior PMSM, IPMSM), c'est-à-dire qu'ils sont localisés à l'intérieur du rotor.

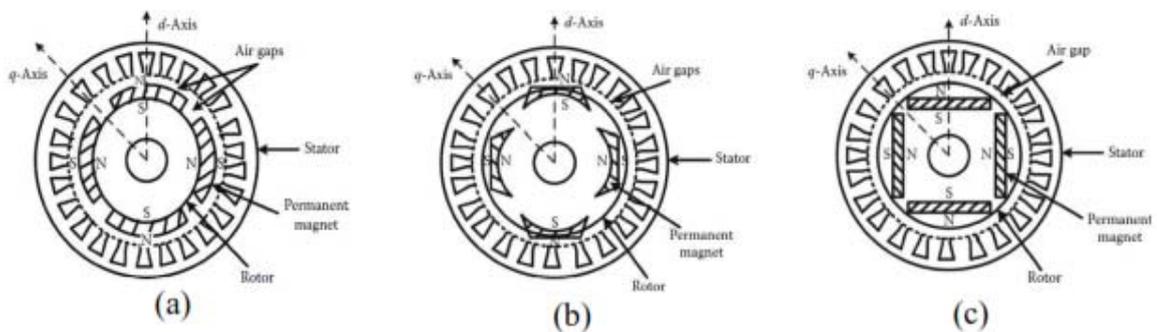


Figure 1.8: Machine synchrone à aimants a) montés en surface, b) insérés au rotor et c) intégrés dans le rotor

L'inconvénient majeur des moteurs à aimants montés en surface est la valeur de l'inductance des enroulements statoriques, amenant à une valeur très élevée du courant de démagnétisation.

Puisque les aimants doivent être localisés sur la surface courbée du rotor, leurs formes causent des problèmes supplémentaires et des surcoûts lors de fabrication.

La topologie des moteurs à aimants insérés augmente la saillance du rotor, avec une inductance en quadrature (axe q) un peu plus élevée que l'inductance selon l'axe direct d ($L_q > L_d$). Pourtant, la composante du couple de reluctance reste toujours faible.

Pour les machines à aimants permanents intérieurs ou enterrés (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor - IPMSM) dans les cavités du fer laminé rotorique, ceci assure une surface du rotor lisse, une construction du rotor robuste appropriée pour les vitesses élevées

(avec une opération silencieuse et des performances dynamiques meilleures) ainsi qu'un bon support mécanique pour les aimants, les protégeant ainsi des dommages physiques et de la démagnétisation.

Dans un moteur IPMSM, l'inductance L_q sera donc plus grande que L_d . Le couple sera donc la somme du couple à mutuelle induction et du couple à reluctance, qui est donc un avantage emportant.

1.2.4. Convertisseur de puissance :

Le convertisseur de puissance est utilisé pour alimenter le ou les moteurs électriques dans les limites admissibles de tension et de courant. Actuellement il existe une grande diversité de structures envisageables pour les véhicules électriques. Dans ces applications, la structure se décompose en deux parties avec des rôles différents, DC et AC. Il faut utiliser des convertisseurs DC/DC, des convertisseurs DC/AC ou des convertisseurs AC/DC. Les deux types de convertisseurs sont couplés via un bus continu et la distribution de l'énergie électrique dans les véhicules électriques est réalisée par le bus DC. Les principaux composants dans les convertisseurs de puissance sont les semi-conducteurs.

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

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

- **Commande des convertisseurs de puissances**

Chaque système d'électronique de puissance a besoin de dispositifs de réglage appropriés. Ils permettent de régler une grandeur au niveau de la charge et de limiter des grandeurs internes

afin d'éviter des surcharges sur la charge et le convertisseur statique. Ainsi, les circuits de réglage sont complexes et nécessitent des signaux, fournis par les organes de mesure. Il est nécessaire également de compter des dispositifs de commande pour commander le convertisseur

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

- **Commande des moteurs de traction**

Récemment, le moteur synchrone à aimant permanent intérieur (IPMSM) est devenu de plus en plus attractif dans le domaine des véhicules électriques grâce à son rendement élevé, densité de puissance élevée, rapport couple/inertie élevé, grande plage de vitesse de rotation et à la baisse des prix des matériaux d'aimant permanent.[18]

Afin d'obtenir les meilleures performances en traction/freinage, la stratégie de contrôle commande devrait prendre en considération la caractéristique de saillance de ces types de moteurs utilisant l'avantage du terme non linéaire présent dans l'expression du couple électromagnétique. Selon les objectifs, les stratégies de commande peuvent être utilisées pour obtenir une commande à facteur de puissance unitaire, une commande à rapport de couple par ampère maximal, une commande à pertes fer minimales, une commande à rendement maximal, une commande à puissance constante ou différentes stratégies de commande directe du couple

1.3. Les différents modes de charge pour véhicules électriques

La nécessité de recharger provient du principe de fonctionnement même du véhicule électrique. En effet, l'énergie stockée pour mouvoir le véhicule est de l'électricité, fournie par des batteries embarquées ; l'autonomie étant limitée, il est nécessaire de recharger

régulièrement celles-ci grâce à des bornes de recharge fixes. Un module chargeur est intégré dans le véhicule et relié à une source extérieure d'électricité lors du temps de charge.

Différents modes de recharge existent, principalement différenciés par le temps de recharge ainsi que le type de véhicule électrique

1.3.1. Prise domestique:

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

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

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

1.3.3. Prise spécifique sur un circuit dédié

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

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

1.4. Les avantages des véhicules électriques [19]

1.4.1. La voiture électrique entraîne des économies à l'utilisation

En moyenne, effectuer 100 kilomètres en voiture électrique coûte environ 2 euros en électricité, contre 8,50 euros de carburant avec un modèle diesel équivalent ou 11,50 euros s'il s'agit d'un véhicule à essence.

Avec une telle équation, plus vous réaliserez de kilomètres à l'année, plus rouler en voiture électrique sera financièrement intéressant. Un avantage bien plus marqué si vous produisez votre propre électricité

1.4.2. La voiture électrique est plus fiable

Sur un véhicule électrique, les pièces d'usure à changer régulièrement sont limitées. Les pneus, et c'est quasiment tout, puisque l'on use normalement bien moins les garnitures de frein ! La voiture électrique a un fonctionnement bien plus simple qu'une voiture thermique. Les pièces en mouvement étant moins nombreuses, le moteur électrique pouvant accumuler les centaines de milliers de kilomètres sans faillir, les packs de batterie étant gérés avec efficacité, la fiabilité globale des VE est incomparable face aux modèles thermiques. D'où des économies d'entretien qui viennent s'ajouter à ceux sur l'énergie à l'utilisation.

1.4.3. L'impact des véhicules électriques sur l'environnement est moindre

Globalement, l'impact des véhicules électriques sur l'environnement et la santé publique est bien meilleur que celui des modèles thermiques. Il est très connu que les voitures thermiques qu'elles soient essence ou diesel polluent l'atmosphère d'une manière très excessive, elles rejettent d'abord du gaz carbonique: le CO₂, bien entendu, une voiture thermique lorsqu'elle parcourt un kilomètre elle rejette 217 gramme du gaz carbonique dans l'atmosphère, Elle rejette également l'oxyde carbone du symbole CO qui est un vrai poison ainsi le NO, SO₂ et

d'autres particules de poussières, en revanche, une voiture électrique nous permet d'éviter tous ces gaz, et nous permet de rouler sans polluer notre environnement, ceci est considéré comme étant le principale avantage des véhicules électriques.

1.4.4. Faire le plein d'électricité est potentiellement plus facile

Pour qui dispose d'un moyen de recharge domestique et se sert principalement de sa voiture pour de petits et moyens déplacements quotidiens, recharger son électrique ne prend finalement que le temps de la brancher au réseau en arrivant le soir à la maison et celui pour effectuer l'opération inverse le lendemain matin. Soit quelques dizaines de secondes !

Dans certains foyers, le gain de temps peut être considérable, puisque ce rituel évite des déplacements ou détours parfois importants quand il faut se rendre dans une station-service afin d'effectuer le plein du réservoir de carburant. Le scénario peut, dans certains cas, dépasser l'heure, si l'on inclut encore le temps d'attente à la pompe, celui du remplissage, puis celui pour régler à la caisse. Certains gérants imposent même désormais d'y venir une première fois avant de se servir.

1.4.5. Le véhicule électrique favorise le développement des énergies renouvelables et la stabilité des réseaux

Parce qu'il faut bien maximiser les effets bénéfiques de la conversion à l'électrique du parc roulant, différents acteurs professionnels, – parmi lesquels les énergéticiens -, et les pouvoirs publics (Europe, gouvernement), imaginent des scénarios et architectures en réseaux intelligents qui augmentent l'efficacité de la production électrique des sources renouvelables intermittentes.

Les batteries des VE deviennent alors des unités de stockage qui récupèrent le flux en trop, pour procéder à l'inverse quand la demande en électricité est supérieure à la production verte. Ce sont les grandes lignes du principe des V2H (Vehicle to Home), V2B (Vehicle to Building) et V2G (Vehicle to Grid), qui s'appliquent respectivement à l'échelle d'un logement, d'un bâtiment, ou du réseau électrique national.

1.4.6. La voiture électrique est silencieuse

Quand elle démarre et quand elle roule, la voiture électrique est quasi silencieuse. Un véritable atout pour la quiétude des villes. Ce ne sont pas les habitants proches des grands axes qui le contrediront. Cependant, cela peut représenter un danger pour les piétons qui ne l'entendent pas arriver. Prudence donc et savoir vivre ensemble sont de rigueur

1.5. Les points faibles des véhicules électriques :

1.5.1. L'autonomie sur les longues distances peut être un frein à l'achat

Avec les progrès technologiques réalisés sur les batteries de traction, un nouvel électromobilien est de moins en moins confronté aux limites d'une autonomie qui ne dépasse pas les 150 kilomètres. Les constructeurs les plus actifs proposent désormais des voitures électriques dotées d'un rayon d'action supérieur à 250, voire 300 kilomètres. Un simple palier ! Mais s'il s'agit d'effectuer régulièrement de longues distances, l'autonomie peut encore apparaître aujourd'hui trop chiche à nombre d'automobilistes. Il est cependant tout à fait possible de réaliser des longs trajets en les préparant un peu en amont du voyage.

Le temps de recharge varie d'un véhicule à l'autre

Si recharger chez soi une voiture électrique n'est souvent pas un problème, réaliser de longues distances impose de recourir à des bornes installées dans l'espace public. Et là, pour régénérer totalement les batteries, il faut compter plusieurs dizaines de minutes de recharge rapide, plus d'une heure sur des bornes accélérées, et parfois plus de 10 heures sur une prise de type E/F domestique. Il est d'ailleurs essentiel de bien comprendre les homologations en vigueur.

D'où la nécessité de bien choisir son modèle de voiture électrique en fonction de ses besoins en déplacements et des possibilités de recharge associées. De 50 à 350 kW, en passant par différents paliers, les fabricants de bornes rapides cherchent à accompagner l'augmentation de la capacité des batteries des nouveaux modèles de voitures électriques. Ce matériel cependant fort coûteux n'est pas souvent mis en priorité par les responsables des réseaux, qu'ils soient publics ou privés.

1.5.2. Le véhicule électrique, très silencieux, surtout à faible vitesse

Si le relatif silence d'évolution des véhicules électriques n'est pas un problème au-dessus de 35 km/h – du fait du bruit des pneus sur l'asphalte et de glissement de l'air sur la carrosserie – lorsqu'il s'agit de se déplacer sur un parking ou une zone de rencontre limitée à 30 km/h, la prudence est de mise. Le risque de surprendre un cycliste ou un piéton est ici bien réel. Des bruiteurs sont disponibles sur certains modèles de VE, qui ne sont pas toujours perçus avec efficacité par les autres usagers des lieux.

1.5.3. Les émissions de particules fines

Les voitures particulières émettent des particules fines sur leur passage ? Hélas oui ! Dans l'état actuel des connaissances sur le sujet, il semblerait que le surpoids causé par la batterie de traction fait qu'un VE lance dans l'atmosphère plus de particules fines provenant de l'abrasion des pneus, du revêtement des sols et des garnitures des freins, qu'un équivalent diesel très récent, même en comprenant ses rejets à l'échappement.

1.6. Les solutions proposées pour améliorer les véhicules électriques :

Actuellement, pour répondre au problème du rechargement des batteries, la mise en place d'un réseau de stations de rechargement ou échange de batteries en station avec Renault Nissan, au Danemark, aux États-Unis et Australie, ex... Furent proposées, mais le travail et le coût de la mise en place de ce type d'infrastructures est démentiel. De plus il serait indispensable de prévoir un format de batterie standard pour tous les véhicules, ce qui rend la tâche encore plus complexe.

Les chercheurs de l'EPFL ont inventé un système de stockage intermédiaire. De quoi découpler les stations de recharge du réseau tout en garantissant une rapidité d'exécution inégalée. Concrètement, ce stockage d'électricité est constitué d'une batterie lithium-fer de la taille d'un conteneur maritime. Cette batterie s'alimente en continu et à petite puissance sur le réseau. Lorsqu'arrive une voiture électrique, c'est cette batterie tampon qui fournit, sur le champ et sans avoir à solliciter le réseau, la puissance indispensable à une charge ultrarapide. Le démonstrateur, construit par l'équipe de l'EPFL et ses partenaires, prend la forme d'une remorque transportant la batterie tampon. Celle-ci se charge sur le réseau basse tension et est

capable de fournir, dans le quart d'heure, les 20 à 30 kWh nécessaires à la charge d'une batterie de voiture électrique standard. Selon le coordinateur de l'équipe, il reste encore une belle marge de progression. Avec l'essor du véhicule électrique, toutes nos habitudes risquent de se trouver bouleversées. Par le passé, les pompistes évaluaient la taille de leurs citernes en fonction de diverses données. Dans le futur, ils devront peut-être estimer la taille de leur stockage tampon en fonction des statistiques du trafic, de l'estimation du nombre de véhicules électriques, de la capacité de charge des batteries, etc. Les simulations réalisées par les chercheurs de l'EPFL montrent ainsi qu'une station qui assurerait la recharge rapide de 200 véhicules par jour aurait besoin d'une capacité de stockage intermédiaire de 2,2 MWh. C'est le même ordre de grandeur que l'énergie consommée par un foyer en un an ! Cependant, en volume, cela correspond « seulement » à quelque quatre conteneurs maritimes.

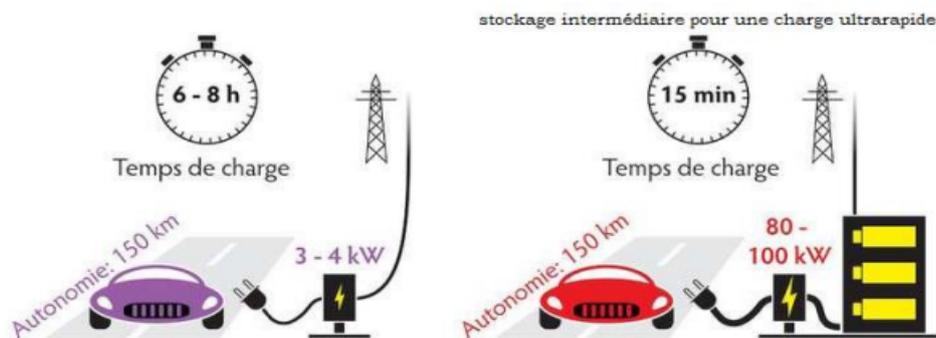


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..9 : La première voiture hybride

La borne de recharge rapide permet de récupérer près de 80 % des capacités batteries en moins de 15-30 minutes. Néanmoins, ces bornes ne sont pas encore normalisées à l'échelle européenne et requièrent de forte puissance avec un impact important sur le réseau électrique qui doit être pris en compte. L'une des autres solutions proposées pour limiter la variation du courant de décharge et de charge dans les batteries consiste à utiliser des sources auxiliaires de puissance comme les super-condensateurs. Par la suite, l'étude d'un système d'assistance en puissance avec un système de stockage d'énergie embarqué est présentée. Son but principal est d'alléger les contraintes en puissance qui sont appliquées sur les batteries et donc de supprimer les inconvénients énumérés ci-dessus. De plus, la solution retenue permet de récupérer l'énergie de freinage et de limiter les variations du courant de charge/décharge dans les packs de batteries de manière optimale

En ce qui concerne les prix des véhicules électriques très élevés, la plupart des grands constructeurs travaillent, en partenariat avec les fournisseurs de batteries, à la construction d'usines qui permettront, grâce à la production de masse, de diminuer l'écart de coût entre un véhicule électrique et un véhicule conventionnel. D'autres s'intéressent davantage à certains modèles économiques, comme la location de batteries, qui permettent de "gommer" ce coût initial plutôt rébarbatif.

Des fonds sonores peuvent être également installés pour signaler l'arrivée de la voiture électrique afin de résoudre le problème du moteur silencieux. Certains constructeurs, comme Renault avec la Zoé, ont déjà pris les devants et ont équipés leurs véhicules électriques d'un bruit simulé à faible vitesse.

1.7. Conclusion :

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

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

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

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

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

جامعة باجة

Chapitre 2

La récupération d'énergie

Annaba

عنابة

Université Badji M

2.1. Introduction

-Qu'est-ce que la récupération d'énergie ?

C'est la question à laquelle on va essayer de répondre dans ce chapitre.

Pour propulser un véhicule électrique, la recharge de la batterie par une prise n'est pas le seul vecteur d'énergie disponible. Tout comme sur une voiture hybride, il est possible de récupérer un peu d'autonomie lors des phases de freinage et de décélération d'un véhicule 100% électrique.

Il s'agit en fait d'un système qui récupère de l'énergie cinétique produite lors du freinage ou la décélération et de la réutilisé (sous forme mécanique) ou la transforme en électricité afin de la réinjecter dans le système ou la stocker.

Avec la Toyota Prius en 1997, le monde découvrait la voiture hybride de grande série. Il découvrait aussi une double motorisation reposant sur le freinage régénératif. Ce dernier est essentiel pour produire l'énergie qu'utilise le moteur électrique.

Les véhicules électriques, dont on recharge les batteries par le biais d'une prise, n'ont donc pas besoin de ce système. Néanmoins, dans un souci d'efficacité et devant la facilité d'intégration, les modèles sont tous en équipés, augmentant l'autonomie.

2.2. Principe de fonctionnement d'un système de récupération d'énergie

Sur un véhicule classique, pour freiner, vous actionnez la pédale de frein. Ceci vient diminuer la vitesse de la voiture, mais le frottement des plaquettes émet une certaine chaleur. Les pilotes le savent bien, il ne faut pas en abuser, sous peine de surchauffer les freins et diminuer leur efficacité, un phénomène que vous pouvez rencontrer en montagne.

Le principe est donc d'éviter de perdre cette énergie, en la convertissant de deux manières différentes.

L'une fonctionne par un volant d'inertie qui stocke directement l'énergie cinétique pour la renvoyer sans transformation dans la transmission du véhicule. Est-ce là en l'emmagasinant dans un volant d'inertie, solution utilisée en Formule1 à partir de 2009. [20]



Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. **SREC de Formule 1 (2009)**



Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. **2 Volant d'inertie d'un SREC mécanique**

La seconde méthode consiste à employer une batterie qui accumule l'énergie cinétique (après l'avoir transformé en énergie électrique) avant de la renvoyer dans le système électrique. Ce dernier fournit alors la puissance supplémentaire directement au moteur en cas de besoin. Ou la

réinjectée dans un réseau électrique comme dans les tramways et les locomotives de chemins de fer. [21]

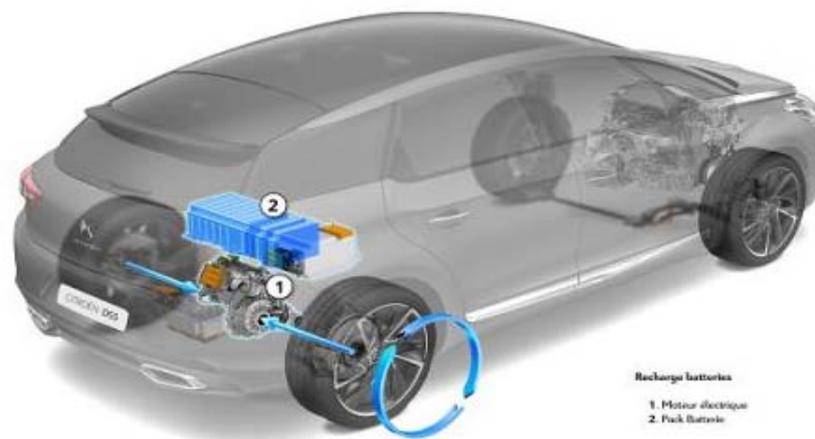


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..3 L'énergie des roues arrière d'une DS5 HYbrid4 renvoyée vers les batteries



Figure2.4 Système de freinage dynamique sur le toit d'un tramway

2.3. Méthode de récupération d'énergie

2.3.1. Le SERC (KERS)

Système de récupération de l'énergie cinétique « SERC » (en anglais « KERS » pour Kinetic Energy Recovery System) est un système de freinage, surtout utilisé dans le monde de l'automobile. Il récupère lors des freinages une partie de l'énergie cinétique du véhicule, qui sans lui serait dissipée sous forme de chaleur dans les freins à friction. Il existe en deux versions différentes, l'une mécanique (par volant d'inertie) et l'autre électrique (par batterie). [28][27]

2.3.1.1. *SREC par volant d'inertie*

Ce système de récupération de l'énergie cinétique par volant d'inertie fonctionne de la manière suivante : un arbre de transmission solidaire du moteur thermique par l'intermédiaire d'un embrayage actionne un autre arbre. Ce dernier met en mouvement le volant d'inertie, puis l'embrayage est ouvert. Quand on veut récupérer l'énergie, on ferme l'embrayage, l'énergie stockée dans le volant d'inertie est transmise à la transmission du véhicule. Le système de SREC par volant d'inertie a donc l'avantage de ne pas avoir besoin de convertir l'énergie sous une autre forme, ce qui permet de diminuer les pertes, inévitables au moment de la conversion mécanique/électrique, mais présente l'inconvénient du poids et de l'encombrement et de pertes mécaniques non négligeables. [30]

2.3.1.2. *SREC par batterie*

Le système met en jeu une conversion d'énergie, au lieu d'actionner un volant, durant les phases de freinage l'arbre moteur actionne une « machine électrique » fonctionnant en générateur électrique, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, laquelle est

stockée dans une batterie. Quand on veut réutiliser l'énergie, la batterie fournit du courant électrique à la machine électrique fonctionnant alors en moteur. L'avantage par rapport au SREC inertiel nul besoin d'embrayage, une électronique de puissance gère les phases de récupération et de production d'énergie; l'inconvénient de ce système est le poids de la batterie et sa mauvaise tolérance aux charges/décharges rapides, une solution consiste à utiliser des super condensateurs.

Depuis la saison 2014, un double système de récupération d'énergie géré par calculateur électronique et associé à des accumulateurs électriques (batterie), est monté réglementairement .sur les Formule 1

- Le MGU-K, moteur électrique réversible en générateur, couplé mécaniquement à la transmission, permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique du véhicule dissipée au freinage et, en retour, fournit un couple important en accélération
- Le MGU-H, moteur électrique réversible, est accouplé mécaniquement au turbo compresseur, ce qui permet de récupérer une partie de l'énergie des gaz d'échappement et, en retour, permet de relancer le turbocompresseur en amont des accélérations. La consommation de carburant se trouve diminuée de 35 % en 2014 par rapport à la saison précédente

Sur les trains et tramways à propulsion électriques, lors des phases de freinage, les moteurs peuvent être utilisés en génératrice pour récupérer une partie de l'énergie cinétique et la convertir en électricité. Plusieurs possibilités se présentent pour l'utilisation de l'énergie récupérée :

- **La réinjecter sur le réseau d'alimentation**

Cela nécessite, sur les locomotives à courant alternatif, que le système de redressement du courant utilisé pour la traction soit réversible et puisse être utilisé comme onduleur. Sur les lignes de transport urbain, où les arrêts sont fréquents, cela permet d'alimenter un train à proximité en phase d'accélération. En revanche, en l'absence de train accélérant à proximité, l'apport d'énergie sur le réseau d'alimentation peut générer des pics de tension sur la ligne.

- **La renvoyer via le réseau d'alimentation à une installation fixe**

Qui la redistribuera ultérieurement en fonction des besoins

- **La stocker à bord du train**

à l'aide d'un dispositif d'accumulation d'énergie, pour l'utiliser ultérieurement pour la traction. Ceci présente l'avantage de permettre le franchissement de sections non alimentées en énergie voire de ne recharger les batteries d'un tramway, par exemple, que lors de l'arrêt aux stations. [30] [29]

2.4. Le freinage Régénératif

2.4.1. Principe de fonctionnement

Pour mouvoir les voitures électriques, la batterie fournit l'énergie nécessaire au moteur. De ce mouvement va se créer de l'énergie cinétique. Pour arrêter l'auto électrique, le pied du conducteur se retire de l'accélérateur et c'est là que tout se joue. Contrairement à la voiture thermique, le modèle tout électrique n'a pas réellement besoin du frein pour s'arrêter. Le fait de retirer le pied de l'accélérateur entraîne déjà une décélération et se déclenche alors le processus inverse

Par un système de fonctionnement ingénieux, l'énergie cinétique fait tourner le moteur électrique par les roues, en effectua lieu d'activer les freins, l'essieu des roues vient donc entraîner les aimants du ou des moteurs électriques puis, le moteur se comportant comme une sorte de générateur et s'oppose ainsi à la rotation des roues, ce qui va les ralentir ainsi que la vitesse du véhicule. Au même moment, l'énergie cinétique des roues va se transformer en énergie électrique, laquelle sera récupérée et stockée dans la batterie, puis réutilisée lorsque la voiture électrique démarrera.

La plupart des modèles affichent la recharge sur une jauge voire un schéma sur écran pour comprendre quand la récupération est active.



Figure **Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.** représentant un tableau de bord d'un véhicule électrique lors du freinage régénératif

La récupération d'énergie par le freinage régénératif consiste lors des périodes de freinage, à inverser le sens du couple à fournir par la machine électrique, soit par inversion du sens du courant inducteur (cas d'une machine à courant continu ou d'une machine synchrone à rotor bobiné) ou du courant d'induit seul (cas d'une machine à courant continu), soit par inversion du sens d'alimentation des phases du stator (par inversion du sens du courant instantané dans les enroulements statoriques) dans le cas des machines à courant alternatif (machine synchrone à rotor bobiné, machine synchrone à aimants, machine asynchrone). [21]

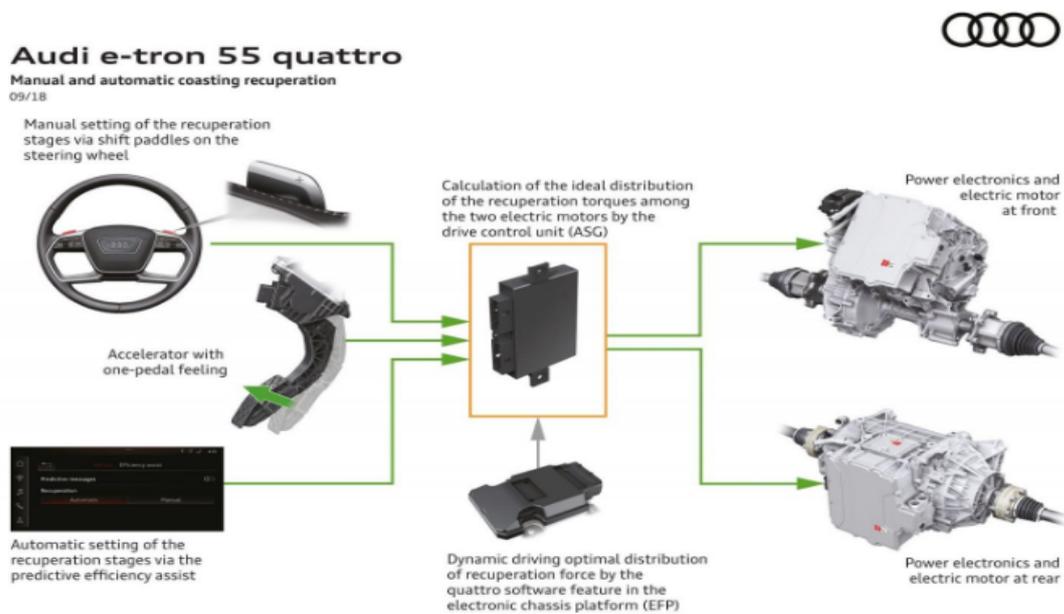


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. **Schéma du système régénératif de l'Audi e-tron**

2.4.2. Les avantages de ce système de freinage

Au volant de votre voiture électrique, nombreux sont les avantages que vous pouvez tirer de ce système de freinage régénératif, on peut citer :

- ✓ La recharge de la batterie et l'augmentation de l'autonomie Grâce au freinage régénératif, votre voiture électrique va aussi gagner en kilomètres. Certes, il n'est pas question ici de recharger la batterie, mais plutôt de pouvoir parcourir davantage de kilomètres. Prenons l'exemple de l'Audi e-tron 55. Chargé, ce véhicule affiche une autonomie de plus de 400 km. Toutefois, 120 km sont directement issus de la récupération d'énergie au freinage grâce au système de régénération.
- ✓ Le freinage est plus rapide et simple Sur beaucoup de voitures électriques ou hybrides, le freinage régénératif se fait en levant simplement le pied de la pédale d'accélération. C'est un processus très simple pour les conducteurs, qui n'ont pas à agir d'une manière particulière pour réussir à récolter de l'énergie cinétique.

2.4.3. Inconvénients du freinage régénératif

- Plus la résistance est importante, plus le moteur génère de l'énergie. Mais on augmente dans le même temps la force de freinage, ce qui peut provoquer un arrêt un peu abrupt. La plupart des constructeurs intègrent donc un système modulable, permettant un freinage moins agressif. Selon les modèles, le freinage se règle par le levier de vitesse avec différents modes (B, C ou D), via une commande sur le volant, ou alors est géré automatiquement par l'ordinateur de bord lorsqu'on relâche la pédale de frein.
- Il est peu efficace à grande vitesse (la capacité de charge de la batterie étant limitée, la majorité de l'énergie est alors perdue sous forme de chaleur), ou au contraire à faible vitesse (la force de freinage étant insuffisante).
- Il ne permet pas un freinage d'urgence : dans ce cas, le frein classique reste indispensable
- Le mode B (le plus puissant) est fortement déconseillé sur route glissante, car il risque de provoquer des dérapages en bloquant les roues. Certains modèles de voitures désactivent d'ailleurs automatiquement ce mode en cas de verglas ou d'intempéries.

2.4.4. Rendement du freinage régénératif

L'efficacité énergétique des voitures électriques à la prise de courant s'élève à environ 50 %, quand on tient compte des pertes dues à la climatisation et au chauffage, mais pas de celui de la production d'électricité. Pour comparaison, avec les voitures thermiques, le rendement s'élève à environ 20 % (voir schéma ci-dessous du DoE).

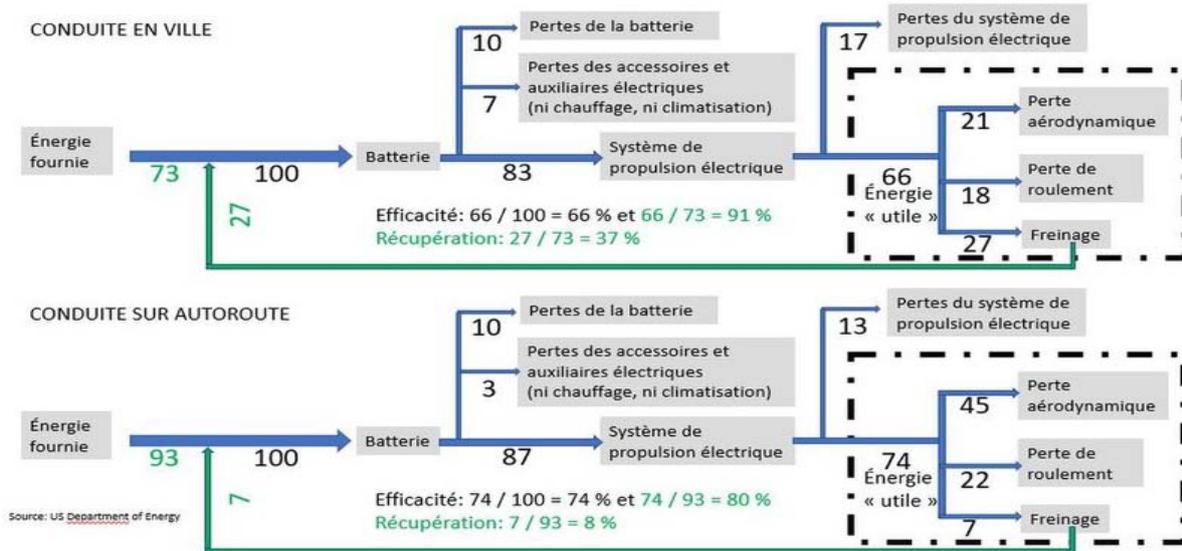


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. **Flux d'énergie dans les voitures électriques en ville et sur autoroute (récupération en vert)**

Selon le DoE, la récupération est en moyenne de 17 % (34 % en ville, 6 % sur autoroute) pour une voiture électrique. Plus la part de freinage est importante, meilleure est la récupération (c'est le cas en ville, au contraire de l'autoroute). Plus le rendement entre le moteur électrique et les roues est important, meilleure est la récupération.

2.4.5. Plusieurs systèmes possibles à bord pour le freinage régénératif

Sur les voitures électriques, la récupération d'énergie peut être très différente d'un modèle à l'autre. On trouve deux solutions principales : un système sans réglage (automatique) ou un système à plusieurs niveaux. Dans tous les cas, cela passe par l'activation du mode B ou « Brake » (frein en français) sur le levier de vitesse ou bouton associé, tandis que le mode de base est le D ou « Drive »



Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. **Le mode « B » permet le freinage régénératif sur la Renault ZOE**

Pour le système sans réglage, il faut se fier à la configuration du constructeur. En général, la récupération au freinage fonctionne de manière efficace, mais en décélération, elle est très peu prononcée (parfois à peine décelable), et l'on recharge donc peu la batterie. Certaines marques automobiles proposent donc plusieurs niveaux de récupération, sur des palettes ou boutons. Ceci permet de convenir à des types de conduite différents d'une personne à l'autre. C'est aussi un bon moyen de se familiariser avec le système, en augmentant progressivement le niveau de récupération. [20][21]

Exemple :

Sur un système à 4 niveaux, le premier sera peu perceptible en décélération. En revanche, le dernier va ralentir significativement la voiture, au point de le sentir comme un freinage modéré. Attention, cela ne freine pas totalement la voiture, qui retrouve un fonctionnement roue libre sous 10 km/h en général.

Le freinage total à une pédale Plus rarement, certains véhicules électriques peuvent même freiner totalement grâce au relâchement de la pédale d'accélérateur, surtout en ville en amont d'un feu rouge. La Nissan Leaf a été la première à disposer de cette fonction (e-Pedal) en 2017, rejointe par la Tesla Model 3 en 2020 ou le Hyundai Kona.

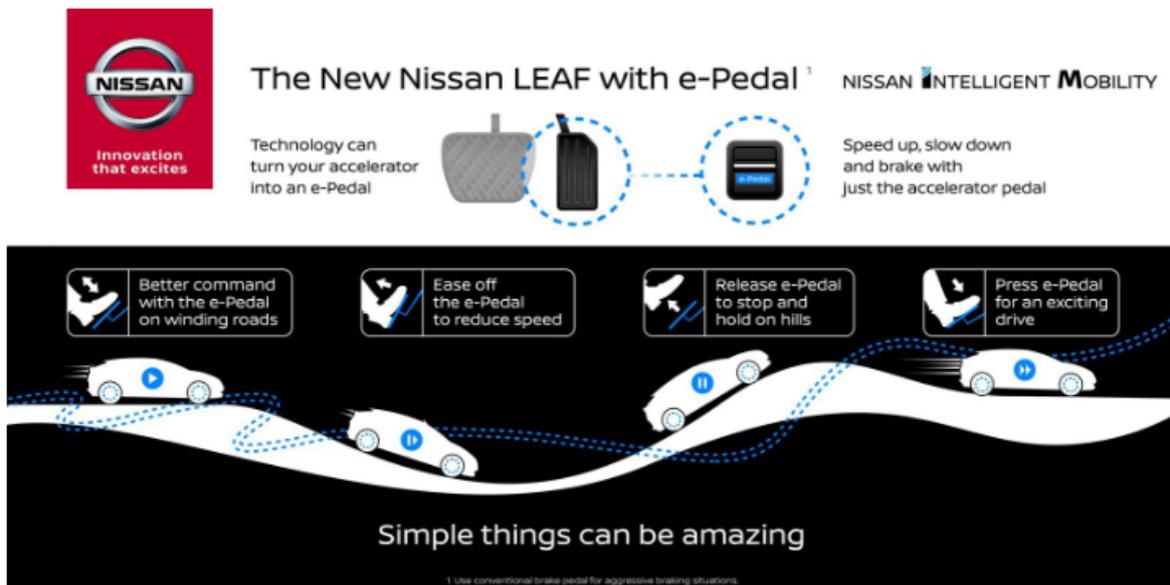


Figure 2.8: frein complet avec pedale VE pour la voiture Nissan Lafe

2.5. Le principe de l'éco-conduite

Le freinage régénératif permet de recharger la batterie et de retrouver un peu d'autonomie électrique. Outre ses capacités, il invite à l'écoconduite, un exercice misant sur l'efficacité, un type de conduite plus posé et donc moins agressif pour les autres utilisateurs de la route ou les piétons. Ceci se justifie d'autant plus que la capacité de récupération a des limites ; un court et puissant freinage ne chargera pas plus qu'un freinage moyen glissé.

L'écoconduite relève presque du jeu au volant d'une voiture électrique. On se surprend à vouloir relâcher la pédale d'accélérateur le plus souvent possible, que ce soit en pente ou en amont d'un feu rouge. Ceci devient même rapidement un automatisme, changeant la façon de conduire. Les modèles peuvent aussi indiquer précisément la quantité de récupération d'énergie :

- Chez Mercedes, le bilan de récupération est consultable sur un graphique et le kilométrage électrique récupéré est donné sur votre trajet ;
- Mieux, chez Hyundai, on voit en temps réel la distance en mètres (estimée) que vous pouvez parcourir grâce à la récupération. [24]

2.6. Conclusion

Disponibles sur toutes les voitures électriques, le freinage et la décélération régénératifs sont un excellent moyen d'augmenter l'autonomie et d'adopter une conduite plus douce.

Les constructeurs adoptent de plus en plus des systèmes à plusieurs niveaux pour convenir à tous, voire à des fonctions de conduite à une pédale. De plus, les écrans ou jauges permettent de mieux visualiser le fonctionnement et se familiariser avec le système.

Il reste cependant aux constructeurs à mieux communiquer et éduquer. Peu de marques disposent de visuels ou vidéos ; dommage, car ce système régénératif est important dans la conduite au quotidien d'une voiture électrique.

CHAPITRE 3

Etude sur la récupération d'énergie dans différent topologie

عنابة

Annaba

3.1.INTRODUCTION

Comment récupérer de l'énergie?

C'est la question à laquelle nous allons essayer de répondre dans ce chapitre Nous récupérons l'énergie cinétique lors du freinage et la réutilisons sous une forme mécanique ou la transformons en électricité pour être réintroduite dans le système ou stockée.

L'étude représente le changement de couple dans toutes les étapes de la voiture électrique, et elle produira la meilleure étape dans laquelle l'énergie est mieux récupérée

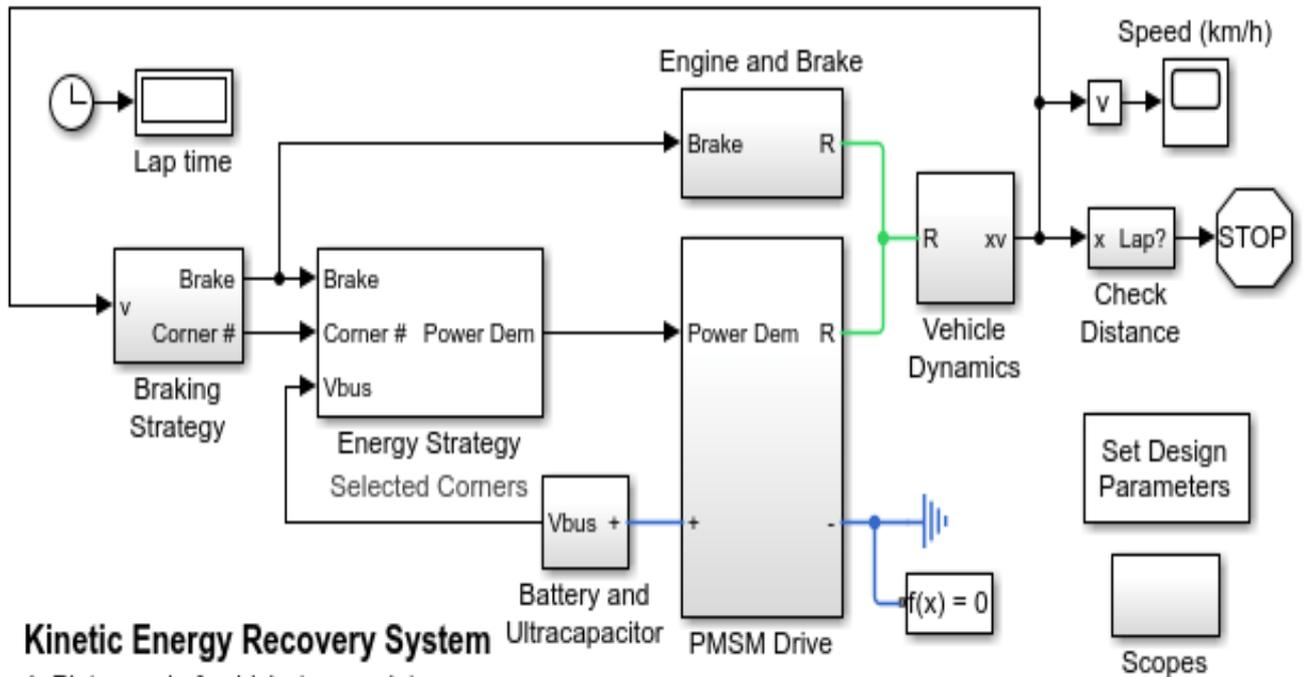
3.2.Système de Récupération d'Energie Cinétique

Cet exemple montre le fonctionnement d'un système de Récupération d'Energie Cinétique (KERS) sur une voiture de Formule 1. Le modèle permet les avantages qui en peu explorer. Pendant le freinage, l'énergie est stockée dans une combinaison de batterie lithium-ion et d'ultra condensateur. On suppose qu'un maximum de 400KJ d'énergie va être délivré en un tour à une puissance maximale de(60KW,80kw,100kw). Les paramètres de conception sont le poids de la batterie, l'ultra condensateur et le moteur-générateur. Si ces paramètres sont tous réglés sur la toute petite valeur de 0,01 kg, le temps au tour est de 95,0 secondes, ce qui correspond à une voiture sans KERS. Avec les valeurs par défaut définies ici, environ 1/4 de seconde est économisé sur le temps au tour lors de l'utilisation de toute puissance électrique disponible sans freinage. L'application de KERS uniquement à des coins sélectionnés nécessite un ultra condensateur plus grand pour montrer tout avantage significatif. [31]

Ce modèle montre comment (Simscape™ Electrical™ et Simscape) peuvent être utilisés pour prendre en charge la conception au niveau du système. La performance du KERS est un compromis complexe entre les masses des trois composants principaux (batterie, super condensateur et moteur-générateur), plus la stratégie de gestion de l'énergie. Le système KERS ajoute de la masse qui réduit l'accélération à cause de moteur. L'énergie électrique stockée lors du freinage doit être plus que compenser cela. Les batteries lithium-ion ont une énergie par unité de masse très élevée mais une faible puissance par unité de masse. A

l'inverse, un ultra condensateur a une énergie par unité de masse relativement faible, mais une puissance par unité de masse très élevée. Cela convient à cette application particuliè

Modele :



Kinetic Energy Recovery System

1. Plot speed of vehicle (see code)
2. Compare energy strategies for KERS use (see code)
3. Select KERS strategy: All Corners, Selected Corners
4. Explore simulation results using sscexplore
5. Learn more about this example

Copyright 2008-2021 The MathWorks, Inc.

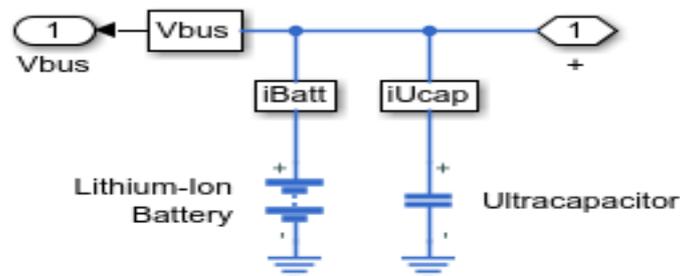


Figure 3.1 Sous-système d'entraînement PMSM

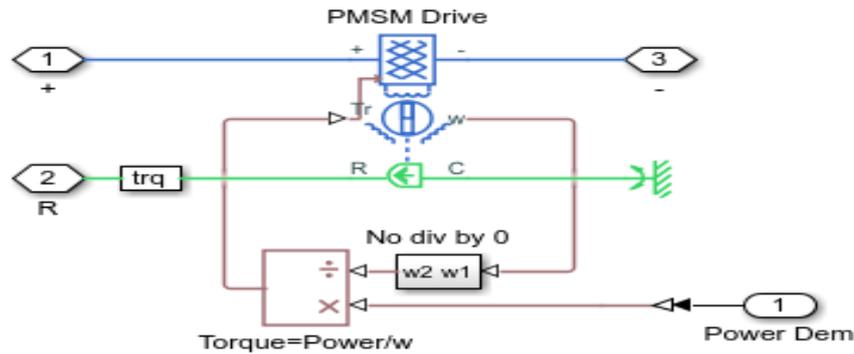


Figure 3.2 Sous-système Batterie et ultracondensateur

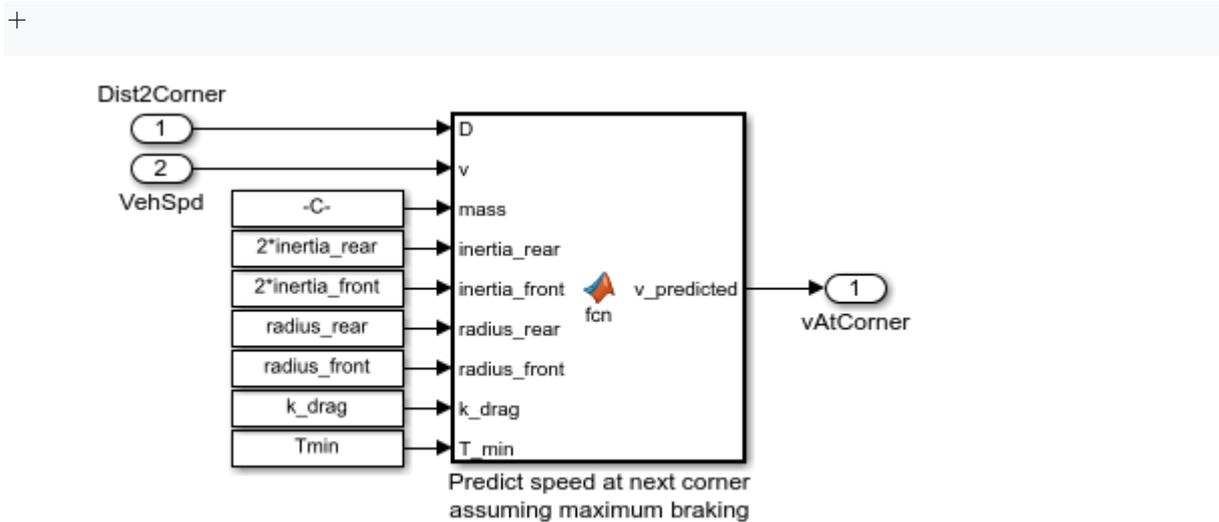
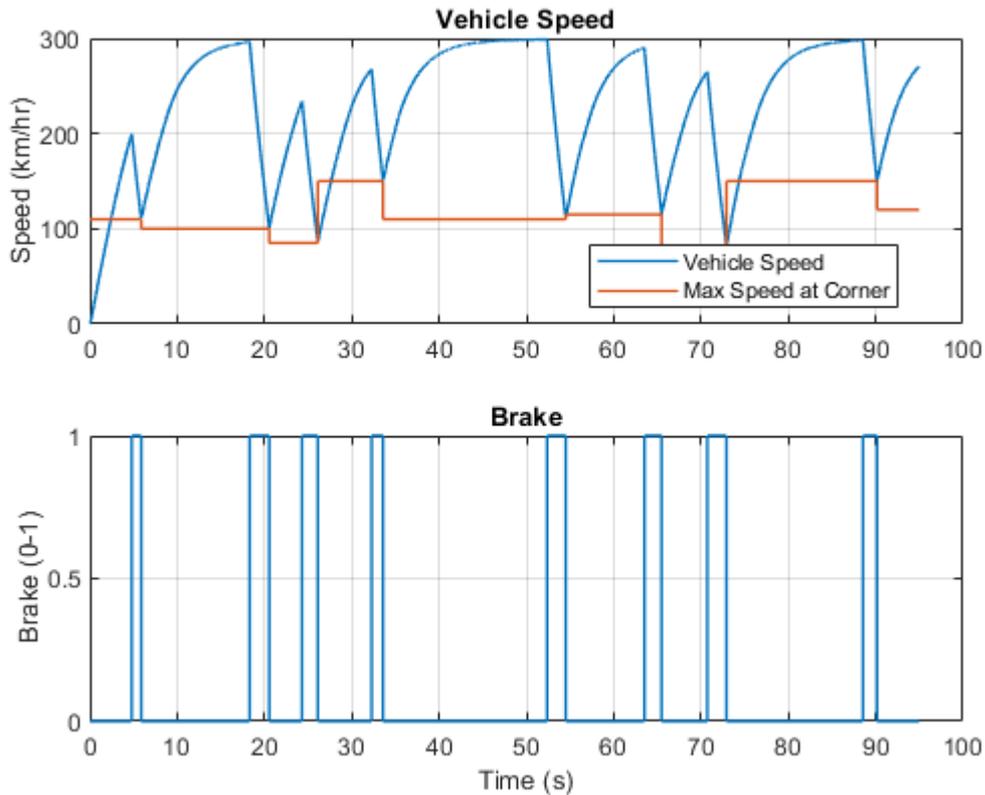


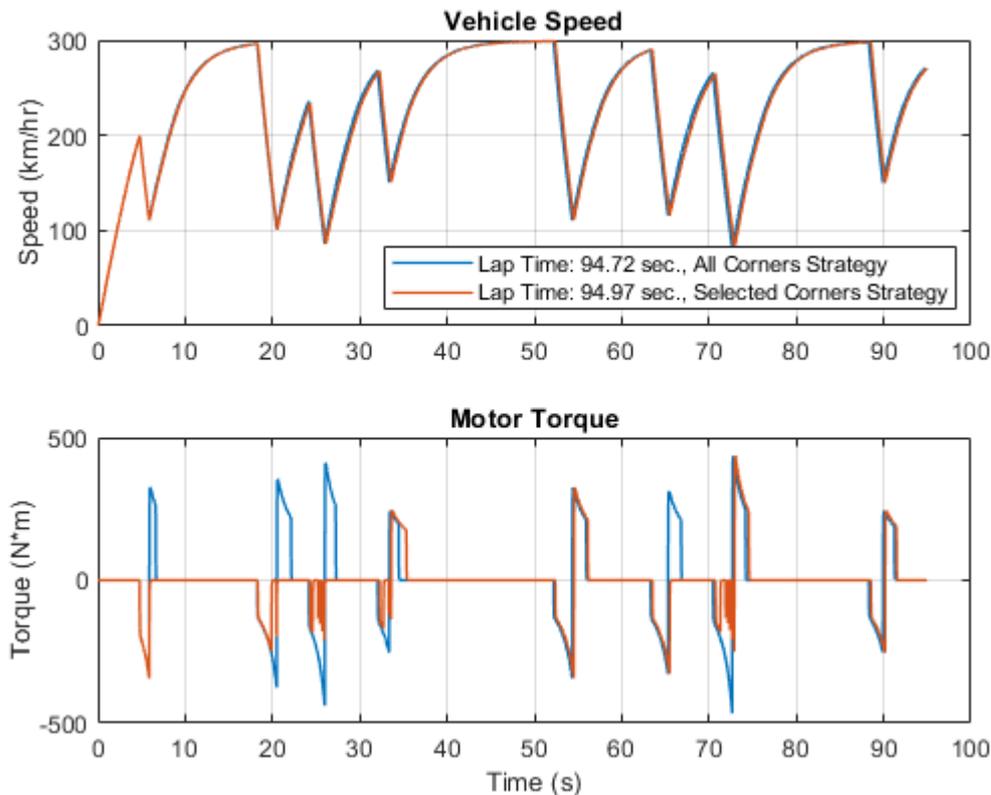
Figure 3.3 Prédire la vitesse au virage si le sous-système de freinage maximal est utilisé

Le graphique ci-dessous montre la vitesse du véhicule pendant un seul tour. Le conducteur connaît la vitesse maximale à laquelle le véhicule doit rouler dans les virages de la piste et applique les freins pour atteindre cette vitesse dans le maïs



Le graphique ci-dessous compare les deux stratégies d'utilisation de l'entraînement électrique lors de l'accélération. Une stratégie utilise le groupe motopulseur électrique dans tous les virages, l'autre ne l'utilise que dans des virages sélectionnés. La différence est plus facile à voir sur le graphique du couple moteur, où la stratégie de virages sélectionnée montre un couple nul du moteur pendant un certain nombre de virages du tour (décélération et

accélération rapides).



3.3. Qu'est-ce que le couple moteur ?

Le couple moteur est la force (et non pas la puissance) du mouvement de rotation de votre moteur. Le couple est lié au régime moteur c'est à dire à la vitesse de rotation du moteur, exprimée en tours par minute. Plus votre régime moteur est haut, plus il tourne vite, plus votre couple est élevé. C'est le couple d'une voiture qui la fait avancer, il traduit la force des roues sur le sol et, par conséquent, sa force d'accélération.

La relation entre la Puissance, couple, et régime moteur

Lorsqu'on parle d'un système électrique tel que celui que l'on trouve dans un véhicule électrique, la puissance mécanique — donnée en watts (W), kilowatts (kW) ou chevaux (PS) — est calculée en multipliant la vitesse (RPM) par le couple, l'équivalent en rotation de force linéaire, mesurée en livres-pieds (lb-ft) ou Newton mètres (Nm). Mais avant de vous lancer dans de longs calculs, une recherche rapide en ligne fera apparaître un certain nombre de sites Web où vous n'aurez qu'à entrer la vitesse et le couple de votre véhicule électrique pour calculer sa puissance en kilowatts. Ou vous pouvez consulter le Manuel de votre véhicule. [32]

Voici un tableau qui donne des valeurs de couple et du régime d'un moteur d'un véhicule électrique pour une puissance maximale P=60000 Watt. P=80000 Watt. P=100000 Watt

Couple	Valeur de couple vE (N*M)	Valeur de régime (Tr/min) (puissance 60Kw)	Vitesse de véhicule	Valeur de régime (Tr/min) (puissance 80Kw)	Vitesse de véhicule	Valeur de régime (Tr/min) (puissance 100Kw)	Vitesse de véhicule
Couple2	20	3000	Plus rapide	4000	Plus rapide	5000	Plus rapide
Couple3	40	1500	Rapide	2000	Plus rapide	2500	Plus rapide
Couple4	80	750	Moyenne	1000	RAPIDE	1250	RAPIDE
Couple5	100	600	Moyenne	800	MOYENNE	1000	RAPIDE
Couple6	120	500	LENT	666.66	MOYENNE	833.33	MOYENNE
Couple7	160	375	LENT	500	LENT	625	MOYENNE
Couple8	200	300	LENT	400	LENT	500	LENT

Tableau 3 : Les différentes valeurs de couple, régime et vitesse de véhicule.

Les Intervalles De Vitesse :

$2000 < \underline{\text{Vitesse de véhicule}} < 5000$ vitesse plus rapide

$1000 < \underline{\text{Vitesse de véhicule}} < 2000$ vitesse rapide

$500 < \underline{\text{Vitesse de véhicule}} < 1000$ vitesse Moyenne

$0 < \underline{\text{Vitesse de véhicule}} < 500$ vitesse lente

Observation :

La récupération d'énergie se manifeste dans les intervalles de voiture entrée 100 ... 500 tr/min, Cela peut corresponde au régime urbaine et interurbaine quand au cycle autoroute la récupération si peut refaire qu'à trouver une décente au dans la phase de freinage

Observation :

Couple=0 ne trouve pas une récupération d'énergie d'un véhicule électrique.

3.4.La récupération d'énergie dans déférent topologie

Dans cette partie on va discuter 3 cas de récupération d'énergie selon la topographie de la route (montée, décente, vois Platte) en se référant sur les résultats de la simulation proposé si dessus dans ce chapitre

On prend comme référence la distance représenté dans le graphe suivant

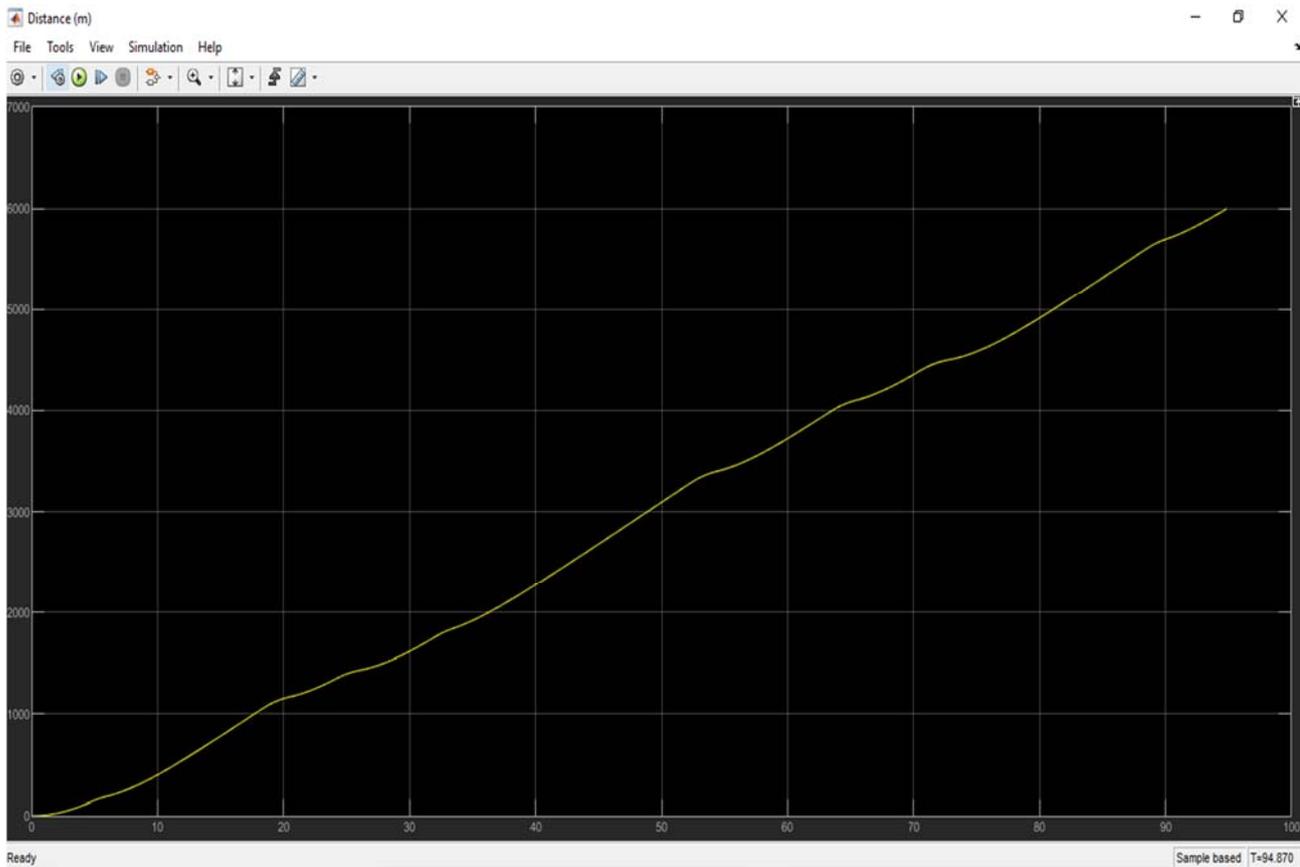


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.5 distance proposé pour étudier la récupération d'énergie

Et pour cette distance nous proposant le train de freinage suivant

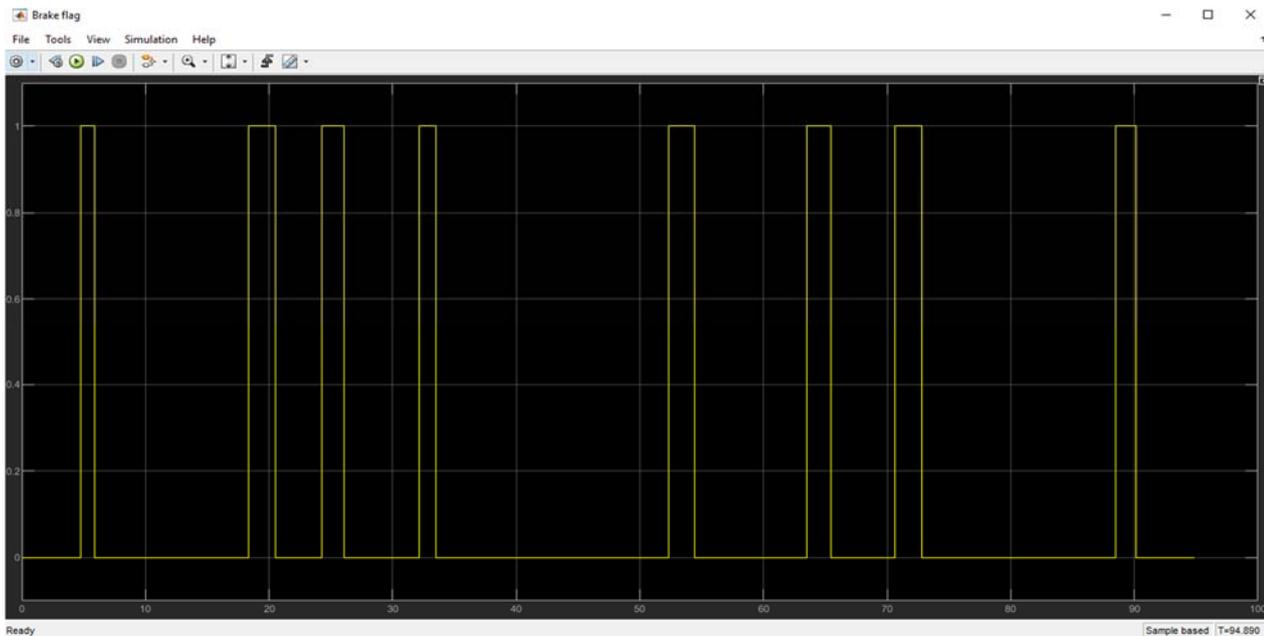


Figure 3.6train de freinage

3.4.1. Cas d'une montée

Dans une montée, le conducteur presse la pédale d'accélération à fond pour prendre de l'élan durant le trajet de la montée et ne lève le pied (décélère) que très rarement (lorsque un

Obstacle lent ou immobile lui coupe le chemin). Par conséquent on peut déduire que le système de récupération d'énergie n'est que très peu sollicité voir pas sollicité du tout lors des montées. Mais en prenant en compte c'est court lapse de temps, on peut dire que le couple moteur (torque) est élevé lors d'un déplacement en montée, avec une vitesse qui diminue drastiquement dans le cas d'un freinage ou décélération. Dans ce cas si nous supposant que le système de récupération d'énergie est activé (chose déconseillé à faire en montée) la période de récupération ou de charge des batteries est très courte et donc la quantité d'énergie récupérer sera réduite non pas à cause du couple moteur mais à cause de la conduite dans un tel topo graphie. Mais même si cela pour une courte période le comportement du système de récupération d'énergie peut être représenté par les graphes suivants :

On a choisi un couple de $200(\text{N}\cdot\text{m})/\text{Kg}$ pour le début de la montée le courant électrique qui rechargera le pack de batteries et celui des ultra capacitaire pour un tel couple peut être représenté comme si dessous

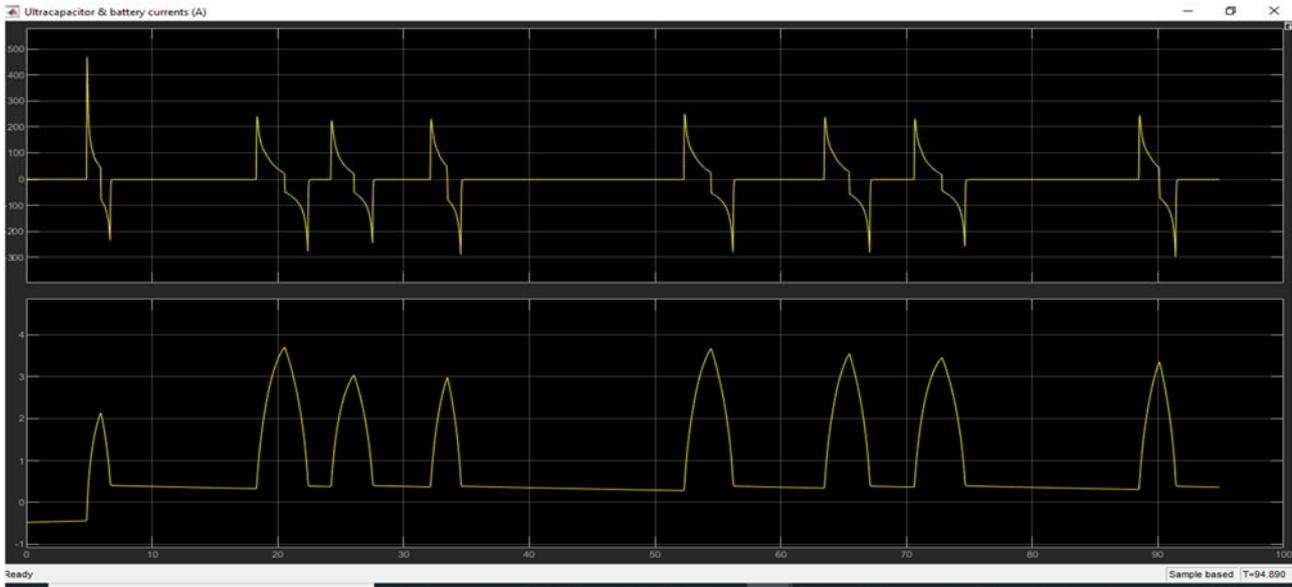


Figure3.7courant électrique de l'ultracapacitor et batterie 200(N*m)/Kg

On suppose qu'une décélération importante est arrivée qui ramènera le couple moteur a 100 (N*m)/kg le courant électrique qui rechargack de batteries et celui des ultracapacitor sera comme si dessous

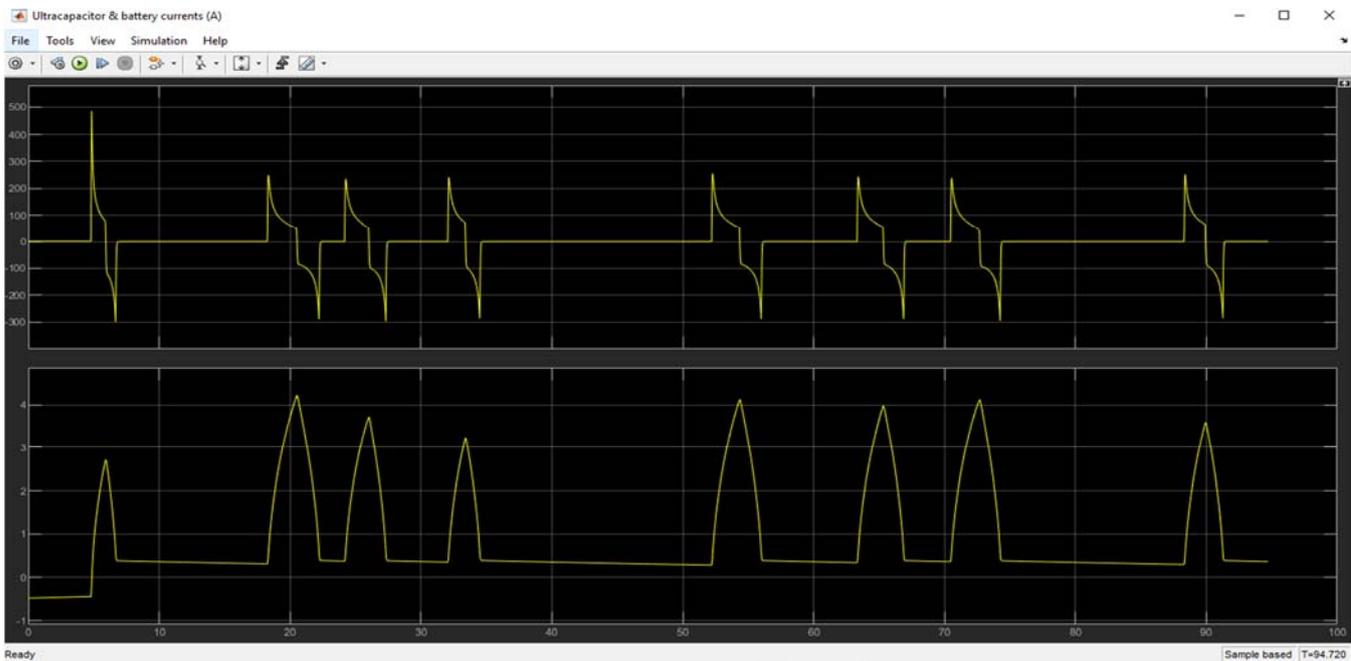


Figure 3.8courant électrique de l'ultracapacitor et batterie100 (N*m)/Kg

3.4.2. Cas d'une decenter

Après une montée vient toujours une décente, et c'est durant ce traçant de route que la récupération d'énergie est la plus effective

Dans une décente le conducteur n'accélère presque pas car le véhicule accélère grâce à l'effet de la gravité et donc la vitesse de rotation des roues augmente, roues qui entraine le moteur, ce qui se répercute sur le couple moteur qui augmente proportionnellement, donc la récupération d'énergie ne sera que plus grande.

Dans ce cas de figure la vitesse sera contrôlé grâce au système de récupération d'énergie qui freine le véhicule, le conducteur alternera entre accélération et décélération pour une conduite sécurisé

On propose un couple moteur de 160 (N*m)/Kg pour le début de la décente. Pour ce couple le courant de l'ultracapacitor et de la batterie sera comme suit

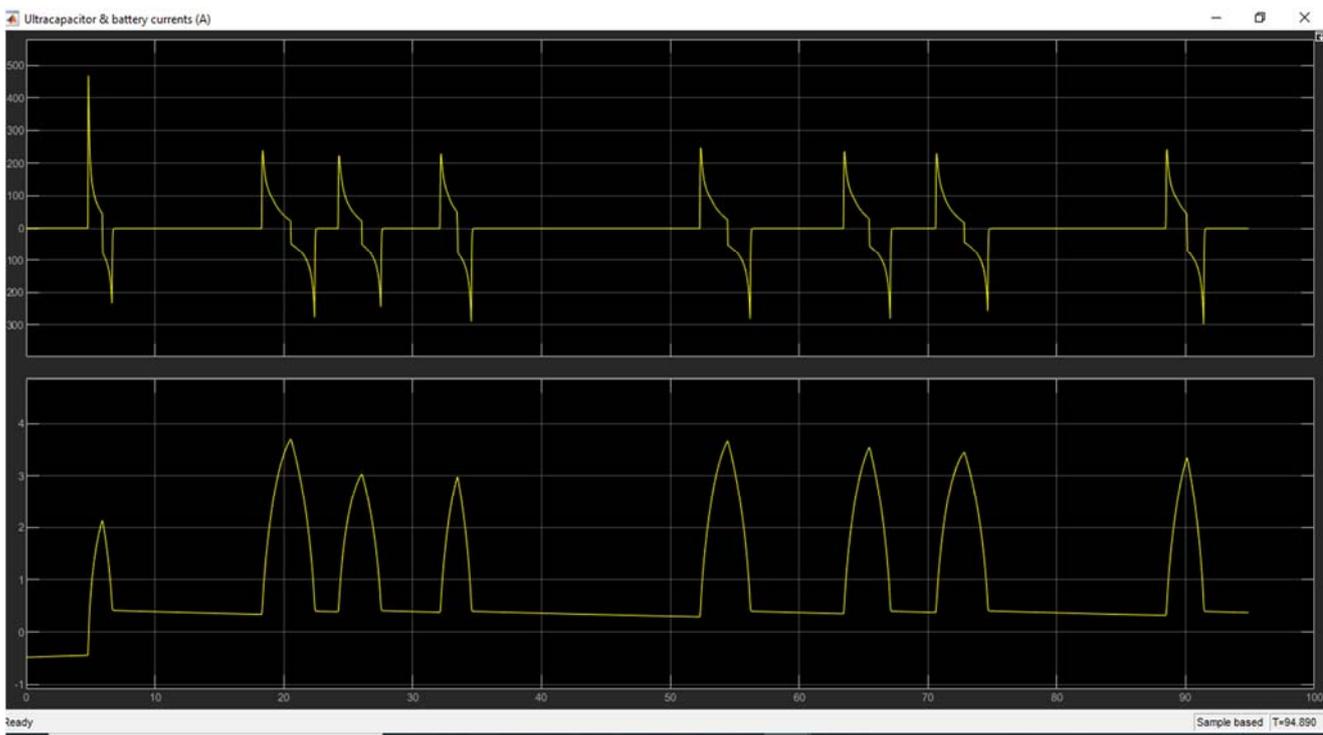


Figure3.9 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 160 (N*m)/Kg

On suppose qu'au milieu de la décente le couple moteur soit de 80 (N*m)/Kg (à cause de l'effet de freinage du système de récupération d'énergie) le courant de l'ultracapacitor et de la batterie sera comme suit :

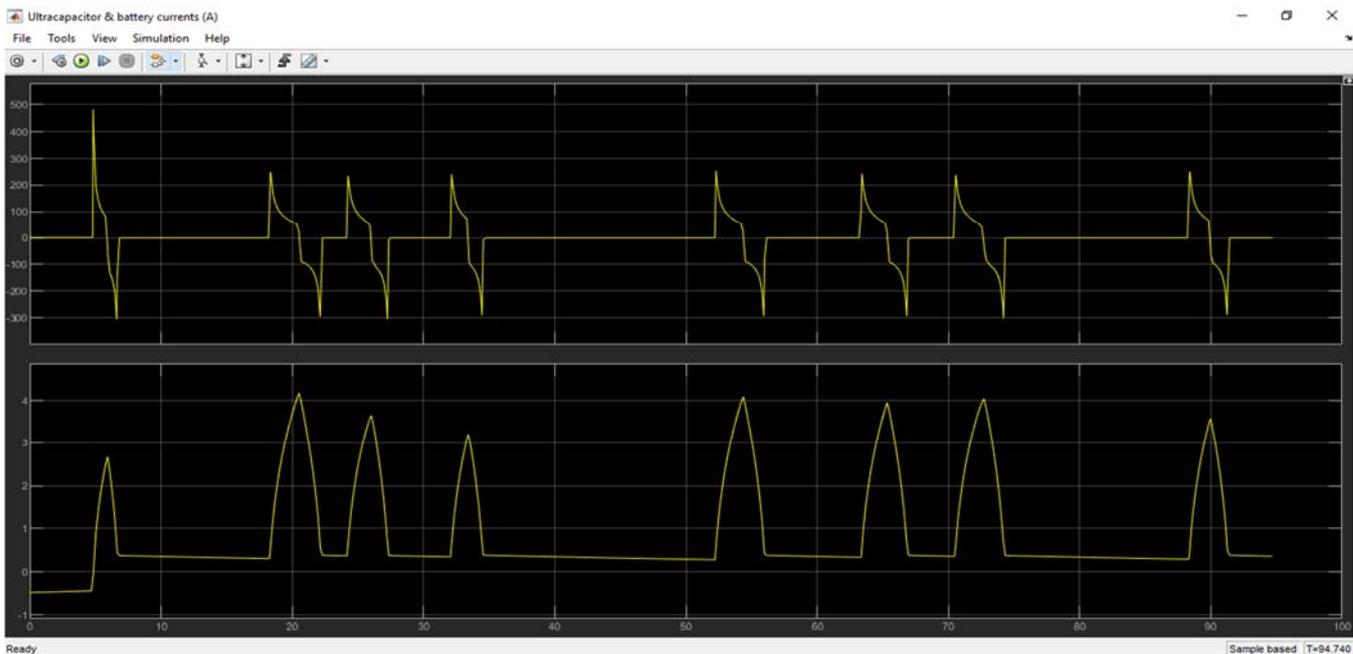


Figure 3.10 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple 80 (N*m)/Kg

Si le conducteur accélère après le milieu de la décente jusqu'à atteindre une vitesse qui correspond à un couple moteur de 120 (N*m)/Kg le courant de l'ultracapacitor et de la batterie sera représenté comme suit

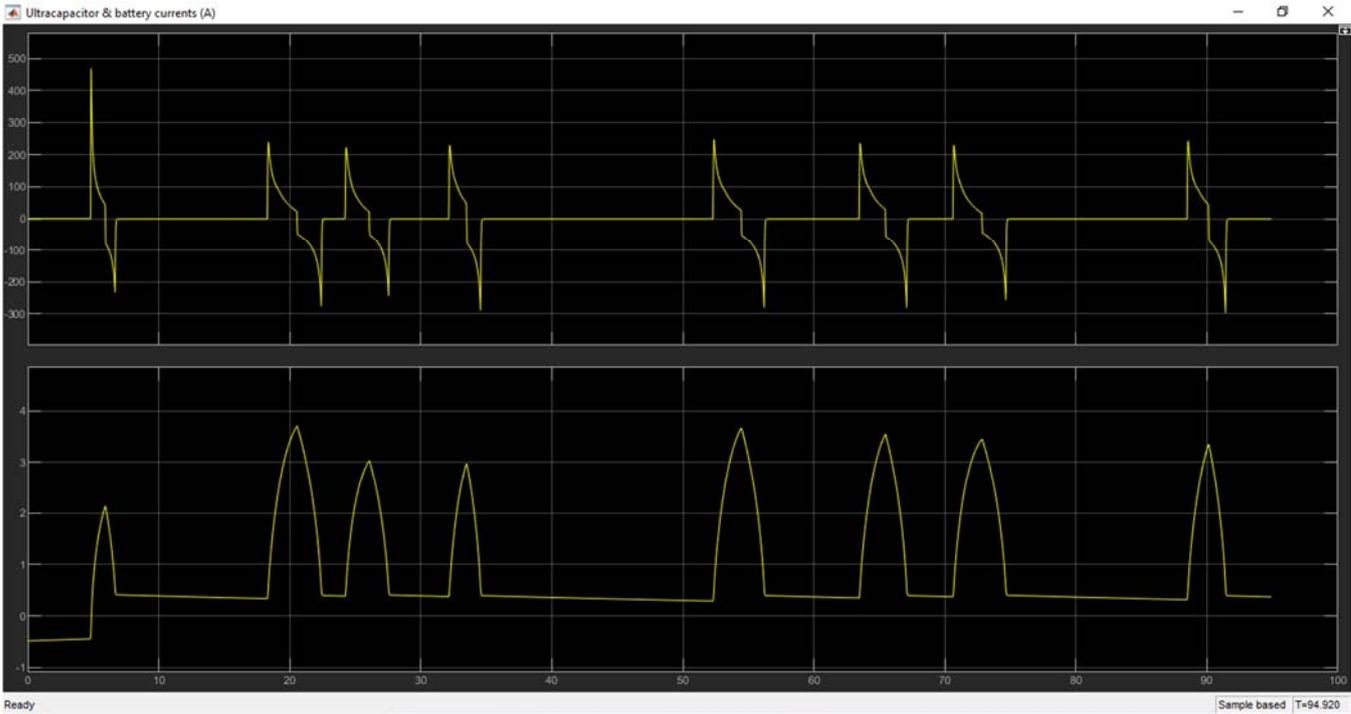
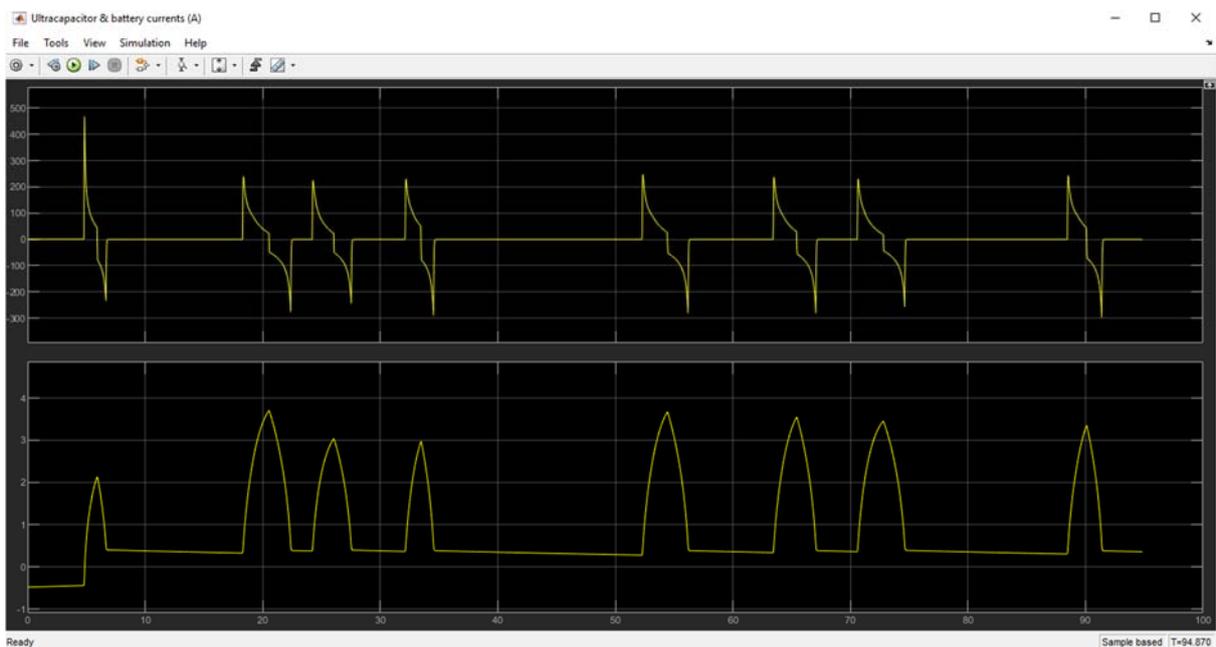


Figure3.11 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple $120(N*m)/Kg$

Nous supposant que le conducteur n'accélère pas pour le reste de la descente pour pouvoir augmenter le période d'activation du système de récupération d'énergie, ce qui conduira à un freinage du véhicule dû à ce système, à la fin de la descente le couple peut être égale a $40(N*m)/Kg$



**Figure3.12 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple
40(N*m)/Kg**

3.4.3. Cas d'un chemin droit (plat)

Généralement dans un chemin droit ou plat, la vitesse est quasiment invariable si nous parlant d'un chemin dans une route à grande vitesse (comme une autoroute) et cette dernière est dans la plus part du temps relativement grande ce qui revient à dire que le couple moteur est relativement grand et quasiment invariable.

Dans ce cas de figure le conducteur peut soulever le pied sur la pédale d'accélération pour pouvoir activé le système de récupération d'énergie et recharger les batteries (pour augmenter l'autonomie sans pour autant être immobilisé) et c'est à ce comportement que le couple moteur varie et diminuera et augmentera selon la période d'accélération et de décélération du conducteur.

Mais dans le cas de figure d'une route au milieu de ville, ou la circulation et les embouteillages sans monnaie courante le couple moteur est presque toujours bas car la situation ne permet quasiment pas de grande accélération.

Pour illustré ces deux cas de figures on propose quelques graphes qui représentent le courant électrique du pack de ultracapacitor et du pack de batterie a diffèrent couple moteur .

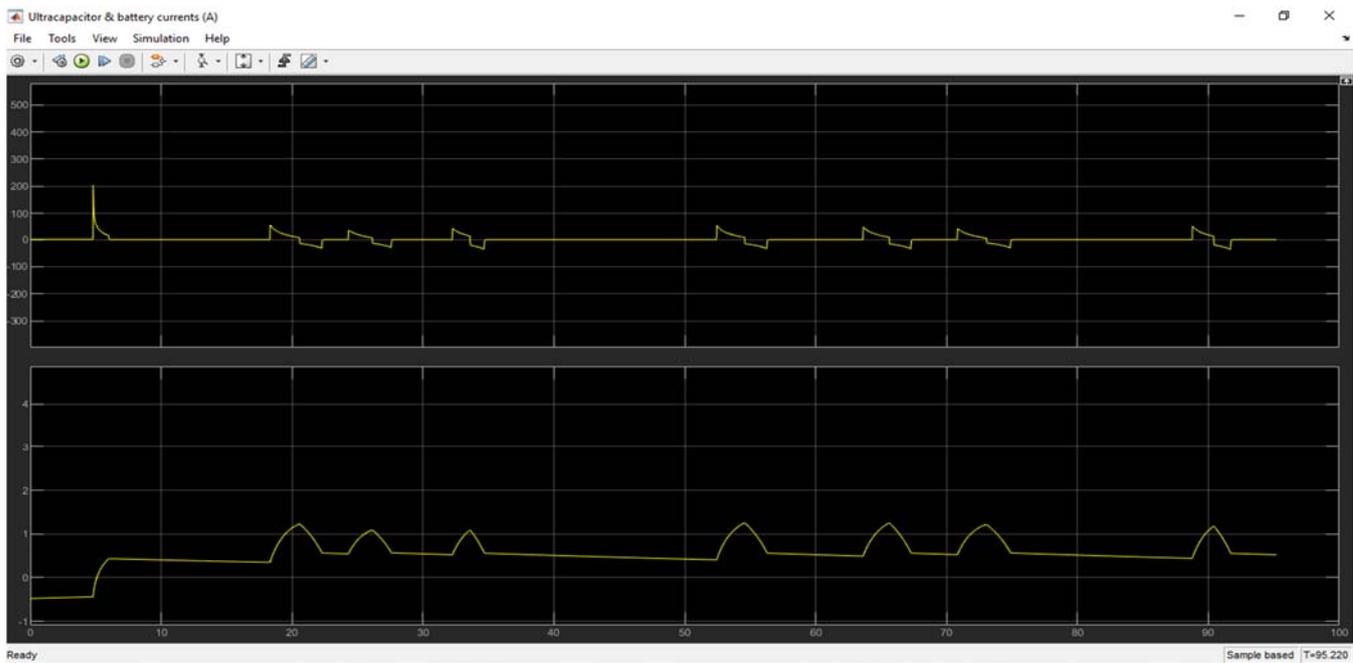


Figure 3.13 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple $5(N*m)/Kg$

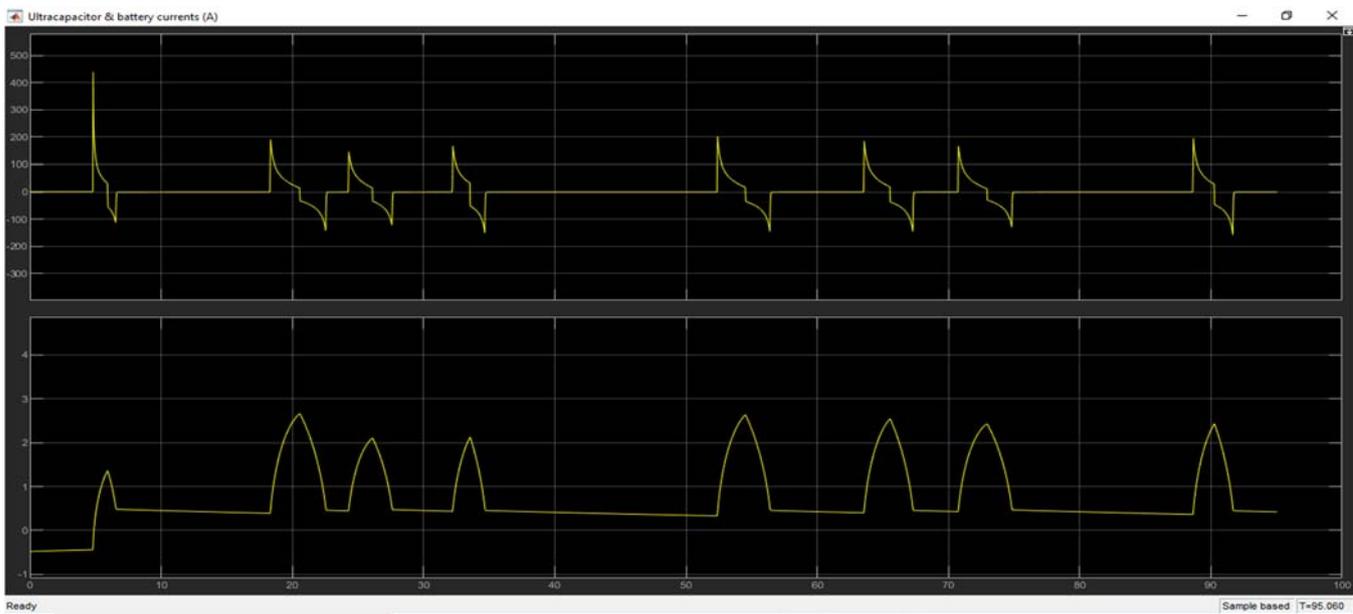


Figure 3.14 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple $20(N*m)/Kg$

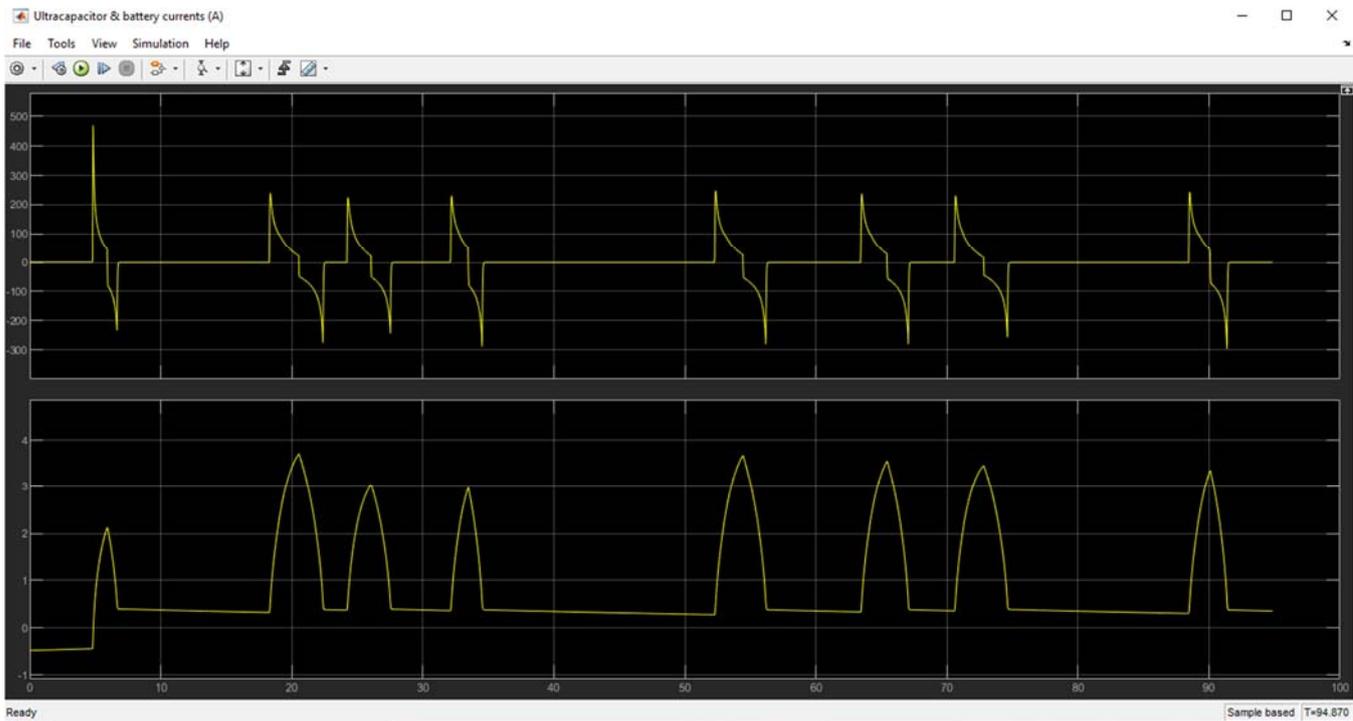


Figure3.15 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple $40(\text{N}\cdot\text{m})/\text{Kg}$

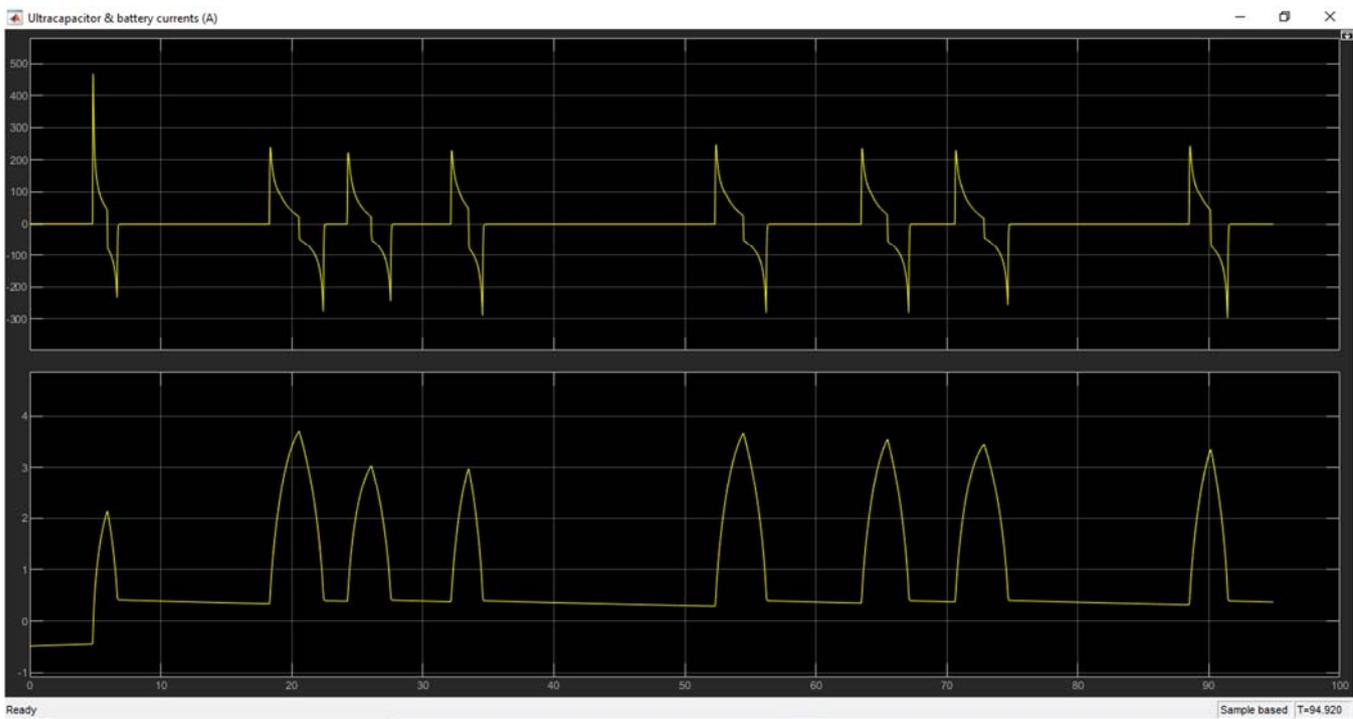


Figure 3.16 courant électrique de l'ultracapacitor et batterie pour un couple $40(\text{N}\cdot\text{m})/\text{Kg}$

3.5. Conclusion

En conclusion on peut dire que la montée ou les route au milieu des villes (lieu des embouteillages) ne sont pas des tracés qui favorise la récupération de l'énergie car l'énergie qui sera consommé pour ré-accélérer et prendre de la vitesse sera grande (pour le cas des montée) et la récupération d'énergie basse (pour le cas des embouteillages ou traçant de route à faible vitesse)

Contrairement à une décente ou traçant de route à haute vitesse come l'autoroute la récupération d'énergie et favoris

Conclusion generale

On a abordé dans ce travail la récupération d'énergie d'un véhicule électrique et ces différentes méthodes.

Dans le but de minimiser les contraintes électriques, prolonger la durée de vie de la batterie et surtout répondre à la dynamique de puissance exigée lors d'une opération de freinage brusque et extrême ou d'accélération prépondérante, l'ultra capacité adoptée comme source d'énergie secondaire pour assurer la récupération d'énergie (système de stockage mix batterie et ultra capacité).

En effet la récupération d'énergie cinétique grâce au système KERS ou grâce au freinage régénératif peuvent présenter une solution pour augmenter l'autonomie du véhicule électrique ainsi que la durée de vie de son système de stockage.

Mais cela passe par une optimisation de l'utilisation de l'énergie électrique initiale du véhicule électrique ainsi que d'un savoir-faire durant la conduite qui permettra de ne pas consommer trop d'énergie inutilement comme ne pas accélérer pour freiner juste après. Dans ce travail on a essayé de montrer quel topographie est la plus optimale pour une récupération d'énergie effectif pour l'augmentation de l'autonomie du véhicule et amélioré la durée de vie du système de stockage tel que les décente ou le tançant plat a haute vitesse qui représentent la solution la plus optimale pour une meilleure récupération possible sans trop consommé à partir des stock initial d'énergie du véhicule contrairement aux montés ou aux embouteillages.

Comme perspective pour améliorer l'autonomie des véhicules électriques en se basant sur la récupération d'énergie est d'automatisé le système de commande de cette dernière en donnant le contrôle d'activation a un ordinateur qui calculera le moment le plus optimale selon la topographie et en prenant en compte la conduite de l'homme ou pour quoi pas une conduite d'un véhicule électrique autonome.

Bibliographies:

- [1] R. Garcia-Valle et J. A. Peças Lopes, Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, New York: Springer Sciences / Business Media, 2013.
- [2] https://fr.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_contente#/media/Fichier:La_'Jamais-Contente'_de_Jenatzy_%C3%A0_Ach%C3%A8res_en_1899.jpg
- [3] I. Husain, Electric and Hybrid Vehicle - Design Fundamentals, CRC Press: Taylor & Francis, 2005.
- [4] MARIF Ismail & ABDAT Hichem/La commande en vitesse d'un véhicule électrique/Université de Tlemcen Faculté de Technologie Département de Génie Electrique et Electronique /memoire2019.
- [5] Tesla, «Giga Factory,» 2016. [En ligne]. Available: https://www.tesla.com/fr_FR/gigafactory. [Accès le 10 08 2016].
- [6] MEDDAH Salem, Modélisation et commande d'un véhicule électrique à piles à combustible, Université des Sciences et la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF,2019.
- [7] Bordji Abdelmalek et Flitti Hamza/Etude et simulation des éléments de chargeurs intégrés pour véhicule électrique,Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Faculté des Sciences et de la Technologie,DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRIQUE/2019.
- [8] G. Pistoia, Electric and Hybrid Vehicles : Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market, Elsevier, 2010.
- [9] T. Eriksson, «LiMn2O4 as a Li-Ion Battery Cathode: From Bulk to Electrolyte Interface,» Uppsala University, Sweden, 2001.
- [10] G. Pistoia, Battery Operated Devices and Systems - From Portable Electronics to Industrial Products, Elsevier, 2008
- [11] Z. Zhu et D. Howe, «Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles,» Proceeding of the IEEE, vol. 95, n° 14, p. 746–765, April 2007.
- [12] G. Zorpette, «SuperCharged,» IEEE Spectrum, January 2005.
- [13] K. Kawashima, T. Uchida et Y. Hori, «Development of a novel ultracapacitor electric vehicle and methods to cope with voltage variation,» chez Vehicle Power and Propulsion Conference, Dearborn, MI, September 2009.
- [14] P. Sharma et T. Bhatti, «A review on electrochemical double-layer capacitors,» Energy Conversion and Management, vol. 51, n° 112, pp. 2901-2912, 2010.

Bibliographies

- [15] E. Chemali, M. Preindl, P. Malysz et A. Emadi, «Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends,» Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, n° 13, pp. 1117 - 1134, 2016.
- [16] M. A. Rahman, M. A. Masrur et M. N. Uddin, «Impacts of interior permanent magnet machine technology for electric vehicles,» chez International Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012.
- [17] M. Zeraoulia, M. Benbouzid et D. Diallo, «Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study,» chez VPPC'05, Chicago, United States, September 2005.
- [18] M. A. Rahman, «Advances in Ecological Modern Electric and Hybrid Electric Vehicles,»chez 8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo , 2013.
- [19] <https://www.automobile-propre.com/dossiers/voiture-electrique-avantages-et-inconvenients>.
- [20] www.automobile-propre.com Voiture électrique : le fonctionnement du freinage régénératif Matthieu Lauraux le 2 Nov 2020
- [21] www.caroom.fr Le freinage régénératif, comment ça marche ?
Jordane
- [22] Récupération d'énergie pour système intégré moteur roue, application au véhicule électrique Khaled Itani le 10 Jul 2017
- [23] www.ornikar.com Comment fonctionne la récupération d'énergie cinétique ?
- [24] Thèse de doctorat Récupération d'énergie pour système intégré moteur roue, application au véhicule électrique Khaled Itani le 10 Jul 2017
- [25] www.ornikar.com Comment fonctionne la récupération d'énergie cinétique ?
- [26] www.lesnumeriques.com Voitures électriques et hybrides : tout comprendre sur la récupération d'énergie à la décélération AURÉLIEN PIOT le 17/04/2020
- [27] www.cd-sport.com Qu'est-ce le KERS des F1, le système de récupération de l'énergie cinétique ?
- [28] fr.wikipedia.org Système de récupération de l'énergie cinétique
- [29] www.connaissancedesenergies.org Volant d'inertie
- [30] fr.wikipedia.org Volant d'inertie

Bibliographies

[31] <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/kinetic-energy-recovery-system.html?fbclid=IwAR02DVT8CrdbpDPIUF48gf1gpJ53BEiEO3TdDNjcmDnfzloqItT12I6IdXA>

[32] <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/understanding-the-power-output-of-an-electric-motor/>