



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Larbi Tébessi -Tébessa-
Institut des Mines
Département: Electromécanique



MEMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Master

Filière: **Mines**

Option: *Electromécanique*

Thème

Modélisation et simulation d'un véhicule électrique

Présenté par:

Salem Bouthaina et Abdelmalek Mahdi

Devant le jury

| | | | |
|-----------------|-----|------------|--|
| FARES NOUREDINE | MCA | Président | Université Chahid Cheikh Larbi Tébessi Tébessa |
| Attia Moussa | MCA | Rapporteur | Université Chahid Cheikh Larbi Tébessi Tébessa |
| Zaamouche Fares | MCA | Examineur | Université Chahid Cheikh Larbi Tébessi Tébessa |

2022/2023

© *Mémoire effectué au sein du
Laboratoire de l'environnement*



Modelisation et simulation d'un véhicule électrique

*Salem Bouthaina, Abdelmalek Mahdi*¹²

¹bouthainasalem368@gmail.com

²abdelmalek84m@gmail.com

ملخص

تعد نمذجة ومحاكاة المركبة الكهربائية أدوات أساسية لفهم سلوكها وأدائها. تتيح هذه التقنيات إنشاء تمثيل رياضي للنظام ، مع مراعاة المكونات المختلفة مثل البطارية ، والمحرك الكهربائي ، ونظام النقل ، إلخ. تستخدم المحاكاة هذه النمذجة للتنبؤ بسلوك السيارة في مواقف مختلفة ، مما يحسن تصميمه ، ويقلل من تكاليف التطوير وتحديد المشكلات المحتملة. تتناول فصول الملخص جوانب مختلفة مثل العموميات على السيارات الكهربائية وديناميات المركبات وطرق الجر وتدريب عجلات التدريب والتحقق من نتائج المحاكاة.

الكلمات المفتاحية: المركبات الكهربائية ، النمذجة ، المحاكاة ، الأداء ، التحكم.

Abstract

The modeling and simulation of an electric vehicle are essential tools to understand its behavior and its performance. These techniques make it possible to create a mathematical representation of the system, taking into account the different components such as the battery, the electric motor, the transmission system, etc. The simulation uses this modeling to predict vehicle behavior in different situations, which optimizes its design, reducing development costs and identifying potential problems. The chapters of the summary address different aspects such as generalities on electric vehicles, vehicle dynamics, traction methods, training of training wheels, and validation of simulation results.

Keywords: Electric vehicle, modeling, simulation, performance, Control

Résumé

La modélisation et la simulation d'un véhicule électrique sont des outils essentiels pour comprendre son comportement et ses performances. Ces techniques permettent de créer une représentation mathématique du système, en prenant en compte les différents composants tels que la batterie, le moteur électrique, le système de transmission, etc. La simulation utilise cette modélisation pour prédire le comportement du véhicule dans différentes situations, ce qui permet d'optimiser sa conception, de réduire les coûts de développement et d'identifier les problèmes potentiels. Les chapitres du sommaire abordent différents aspects tels que les généralités sur les véhicules électriques, la dynamique du véhicule, les modes de traction, la commande des roues d'entraînement et la validation des résultats de simulation.

Mots clés : Véhicule électrique, Modélisation, Simulation, Performances, Commande.

Dédicace

Je dédie spécialement ce travail : A la mémoire de mon père « abderahmen salem » qui aurait bien voulu voir cet instant, être avec moi et me soutenir moralement et physiquement, ta mort inattendue et rapide laisse un grand vide parmi tous ceux qui t'ont aimé, tu me manques trop papa ; reposez en paix

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 chère maman je t'aime

A mon frère et sœurs et toute la famille : «Salem » sans exception à la plus belle chose qui me soit arrivée dans ma vie, amin merci d'être dans mon monde A tous mes amis asma ikram djawhara yousra fatma marwa sara aya Lina Oumniya wafa Samia Oumaima chams aroua safa narimen taima ayoub islem saïf mouhamed abderahmen qui m'ont toujours soutenu, et tous mes amis de la Promotion 2018. Sans omettre mon binôme mahdi Abdelmalek avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude. En fin à tous ceux qui m'apprécient à ma juste valeur. Bouthaina salem

Je dédie cet humble travail

Salem bouthaina

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un coeur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers, respectueux et magnifiques membres de ma famille " mon frère et mes sœurs " pour leurs appuis et leur Encouragement. , et en particulier à ma mère pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études. à mon père paix à son âme A tous mes amis sans exception A tous ce qui de loin ou de près n'ont pas cessé de m'apporter leur Soutien, pendant mes années d'études surtout mes chers enseignants. Que ce travail soit l'accomplissement de vos voeux tant allégués, Et le fruit de votre soutien infailible.

Je dédie cet humble travail

ABDELMALEK MAHDI

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 gratitudes 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. Attia moussa " pour son sérieux, sa compétence et ses orientations. Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département Génie électromécanique qui ont contribué à notre formation. Aussi nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et toute la promotion Bac (2018) Qui par leur amitié et leur bonne humeur, ont créé une ambiance de travail parfaite.

Remerciements

Le plus grand merci s'adresse au bon Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé le courage et la volonté pour accomplir ce travail. Nous remercions nos familles et tous nos amis qui nous ont toujours Encouragé et soutenu durant toutes nos études. Nous tenons également, à exprimer nos forts remerciements à notre encadreur Monsieur Moussa Attia , pour sa disponibilité à tout instant et surtout ses orientations, qu'elles trouvent ici le témoignage de notre Haute considération et de notre profond respect. Nous remercions les jurys monsieur Fares Noureddine et monsieur Zaamouche fares qui ont bien voulu accepter d'examiner ce mémoire et à cet égards nous les présentons nos Profonds respects, et notre grande gratitude. Nous rendons grâce à tous les enseignants du département Electromecanique et surtout le doyen de l'institut des mines monsieur DR.Aoulmi Zoubir, qui nous ont suivis durant notre cursus, et tous ceux qui Ont contribué, à ce que ce travail prenne forme.

Table des matières

| | |
|---|-------------|
| ملخص | i |
| Abstract | ii |
| Résumé | iii |
| Remerciements | vi |
| Liste des Tableaux | x |
| Liste des Figures | xi |
| Liste des symboles et Abréviations | xiii |
| Les Chapitres | |
| 0.1 Introduction générale : | 1 |
| 1 Généralités sur les véhicules électriques | 2 |
| 1.1 Introduction : | 2 |
| 1.2 Historique : [2] | 3 |
| 1.3 Actualités des Véhicules Electriques : | 5 |
| 1.4 Définition d'un Véhicule Electrique: | 6 |
| 1.5 Description générale de la chaîne de traction : | 6 |
| 1.5.1 Moteur Electrique d'Entrainement : | 7 |
| 1.5.1.1 Moteur à courant continu à excitation séparée : | 7 |
| 1.5.1.2 Moteurs à courant continu à aimant permanent : | 8 |
| 1.5.1.3 Moteurs asynchrones: | 8 |
| 1.5.1.4 Moteurs synchrones à aimants permanents : | 8 |
| 1.5.1.5 Moteur synchrone à inducteur bobiné : | 9 |
| 1.5.1.6 Moteur à réluctance variable : | 9 |
| 1.5.1.7 Choix de motrice : | 9 |
| 1.5.2 Convertisseur statique : | 10 |
| 1.5.3 La batterie : | 11 |
| 1.6 Différentes configurations de véhicule électrique : | 12 |
| 1.6.1 Véhicule électrique monomoteur : | 13 |
| 1.6.2 Véhicule électrique multi-moteurs : | 14 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1.7 | Structure du véhicule électrique : | 16 |
| 1.7.1 | Critères de choix des roues motrices : | 16 |
| 1.7.2 | Critères de choix des roues libres : | 17 |
| 1.7.3 | Choix des actionneurs : | 17 |
| 1.8 | Modélisation dynamique du véhicule : | 17 |
| 1.8.1 | Contraintes dynamiques sur le véhicule : | 18 |
| 1.8.2 | Importance du calcul de la vitesse et de l'accélération maximale : | 20 |
| 1.8.3 | Couples résistant au déplacement : | 20 |
| 1.8.4 | Roulement uniforme sur sol plat : | 21 |
| 1.8.5 | Franchissement de pente : | 22 |
| 1.8.6 | Franchissement d'obstacles : | 22 |
| 1.8.7 | Accélération : | 23 |
| 1.8.8 | Résistance au glissement (adhérence) : | 23 |
| 1.9 | Conclusion : | 24 |
| 2 | Modelisation d'un vehicule électrique | 25 |
| 2.1 | Introduction : | 25 |
| 2.2 | Modélisation de véhicule électrique | 25 |
| 2.2.1 | Model dynamique | 25 |
| 2.2.1.1 | Résistances de véhicule: | 26 |
| 2.2.1.2 | Résistance au roulement : | 26 |
| 2.2.1.3 | Trainée aérodynamique : | 29 |
| 2.3 | Mouvement longitudinal | 31 |
| 2.3.1 | Dynamique de véhicule : | 31 |
| 2.3.2 | Modelé intégré de véhicule électrique: | 31 |
| 2.4 | Mouvement latéral : | 33 |
| 2.4.1 | Modèle dynamique et cinématique : | 34 |
| 2.4.2 | Les différents modes de tractions: | 35 |
| 2.4.2.1 | Quatre-roues motrice | 35 |
| 2.4.2.2 | Roues avant motrice (ED avant) : | 37 |
| 2.4.2.3 | traction arrière (ED arrière): | 37 |
| 2.5 | Conclusion : | 38 |
| 3 | Techniques de commande d'un vehicule électrique | 39 |
| 3.1 | Introduction : | 39 |
| 3.2 | Généralités sur PSIM : | 39 |
| 3.3 | Architecture des modules utilisés sur PSIM : | 40 |
| 3.3.1 | Partie commande: | 40 |
| 3.3.2 | Partie Onduleur MLI : | 41 |
| 3.3.3 | Partie moteur : | 41 |
| 3.3.4 | SimCoupler : | 41 |
| 3.4 | Commande vectorielle de la (MSAP): | 42 |
| 3.4.1 | Principe de la commande vectorielle : | 42 |
| 3.5 | Synthèse des régulateur : | 43 |
| 3.5.1 | Régulateur PI : | 43 |
| 3.5.1.1 | Dimensionnement du correcteur PI | 44 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.1.2 | Régulateur des courants | 44 |
| 3.5.1.3 | Régulateur de la vitesse | 46 |
| 3.5.2 | La commande Neuro-Flou (ANFIS) | 46 |
| 3.5.2.1 | Modélisation d'un régulateur Neuro-Flou (ANFIS) | 46 |
| 3.5.2.2 | Architecture du régulateur Neuro-Flou (ANFIS): | 47 |
| 3.5.2.3 | Les avantages du régulateur Neuro-Flou (ANFIS): | 47 |
| 3.6 | Conclusion : | 48 |
| 4 | Partie pratique (simulation et discussion des resultats) | 49 |
| 4.1 | Introduction | 49 |
| 4.2 | Évolution des véhicules électriques et optimisation du contrôle de traction | 49 |
| 4.3 | Structure d'un véhicule avec deux roues avant séparées | 51 |
| 4.4 | Dynamique du véhicule | 51 |
| 4.4.1 | Vitesse du véhicule | 51 |
| 4.4.2 | Dynamique d'entraînement des roues | 52 |
| 4.4.3 | Force de charge totale, Ft | 52 |
| 4.4.4 | Équations pour le mouvement longitudinal et latéral du véhicule | 53 |
| 4.4.5 | La "formule magique" des pneus | 55 |
| 4.5 | CONTRÔLE DE LA TRACTION | 55 |
| 4.6 | RÉSULTATS DE LA SIMULATION | 57 |
| 4.7 | Vitesse du véhicule | 57 |
| 4.8 | Caractéristique mécanique du couple | 58 |
| 4.9 | Force de freinage | 59 |
| 4.10 | Conclusion | 61 |

Liste des tableaux

| Table | page |
|--|-------------|
| 1.1 Quelques valeurs de coefficient de friction μ | 24 |
| 2.1 Coefficients de résistance au roulement | 29 |
| 2.2 Coefficients de traînée indicatif pour des différentes formes de véhicules | 30 |
| 4.1 Les différentes variables des véhicules électriques | 54 |

Liste des Figures

| Figure | page |
|---|-------------|
| 1.1 Voiture toute électrique | 2 |
| 1.2 Une des premières voitures électriques | 3 |
| 1.3 Exemple de véhicule électrique : « La jamais contente » réalisée en 1899 | 4 |
| 1.4 Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui | 5 |
| 1.5 Schéma fonctionnel de la chaîne de traction d'un véhicule tout électrique | 6 |
| 1.6 Couple/Puissance-Vitesse requises pour VE | 7 |
| 1.7 Exemple de convertisseur | 11 |
| 1.8 GPL 12520 12V 52Ah | 11 |
| 1.9 Comparaison de la densité d'énergie pour les différentes technologies de batteries | 12 |
| 1.10 Chaîne de traction monomoteur. | 13 |
| 1.11 Exemples schématiques de motorisation monomoteur | 13 |
| 1.12 Véhicule multi-moteurs | 14 |
| 1.13 Exemples schématiques de motorisations multi-moteurs | 14 |
| 1.14 Présentation du véhicule | 16 |
| 1.15 Déplacement du véhicule dans un virage sur une chaussée inclinée d'un angle α | 20 |
| 1.16 Franchissement de pente | 22 |
| 1.17 Franchissement d'obstacles | 23 |
| 2.1 Les forces agissant sur un véhicule | 26 |
| 2.2 La distribution de la pression dans la zone de contact | 26 |
| 2.3 Les forces agissant sur le pneu / déformation en chargement et déchargement | 27 |
| 2.4 Déformation de la surface du sol. | 28 |
| 2.5 Trainée de la forme | 30 |
| 2.6 Les forces agissants sur un véhicule | 31 |
| 2.7 Modèle de dynamique de véhicule | 33 |
| 2.8 Modelé dynamique et cinématique | 34 |
| 2.9 Configuration de la conception de modèle quatre roues motrices | 36 |
| 2.10 Configuration de l'ED avant | 37 |
| 2.11 configuration de ED arrière | 37 |
| 3.1 Représentation du système simulé | 40 |
| 3.2 Schéma globale de moteur synchrone sous PSIM | 40 |
| 3.3 la partie commandes. | 40 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.4 | Composants de la MSAP | 41 |
| 3.5 | Composants de la MSAP | 41 |
| 3.6 | Bloc SimCoupler utilisé | 41 |
| 3.7 | Entrée/sortie pour la liaison entre PSIM/Simulink | 42 |
| 3.8 | Schémas de la commande vectorielle de la MSAP alimentée en tension | 42 |
| 3.9 | Schéma de commande utilisant la structure PI | 43 |
| 3.10 | Boucle de régulation du courant I_d | 45 |
| 3.11 | Boucle de régulation du courant I_q | 46 |
| 3.12 | la structure de la régulation de la vitesse avec un correcteur Neuro-Floues | 46 |
| 3.13 | Le réseau Neuro-Flou (ANFIS) | 47 |
| 4.1 | Système de propulsion de véhicule électrique à deux roues motrices indépendantes | 51 |
| 4.2 | Consentement à l'activité de la force d'escalade | 53 |
| 4.3 | Les coordonnées et la variable du modèle de véhicules | 54 |
| 4.4 | Selon le glissement, le coefficient de frottement | 56 |
| 4.5 | Structures de contrôle du système | 56 |
| 4.6 | Modèle Simulink d'un système d'entraînement de roue EV proposé | 57 |
| 4.7 | La vitesse du véhicule | 58 |
| 4.8 | La vitesse du moteur | 58 |
| 4.9 | La caractéristique mécanique du véhicule à moteur | 58 |
| 4.10 | La force de freinage par friction | 59 |
| 4.11 | La caractéristique électromécanique entre la puissance de la batterie et la vitesse du véhicule | 60 |
| 4.12 | Le SOC de la batterie | 60 |

Introduction

0.1 Introduction générale :

La modélisation et la simulation d'un véhicule électrique sont des outils essentiels pour comprendre le comportement et les performances d'un tel véhicule. La modélisation consiste à créer une représentation mathématique du système, en prenant en compte les divers composants tels que la batterie, le moteur électrique, le système de transmission, les pneus, etc.

La simulation utilise cette modélisation pour prédire le comportement du véhicule dans différentes situations, telles que la conduite en ville, la conduite sur autoroute, la charge de la batterie, etc. Les avantages de la modélisation et de la simulation d'un véhicule électrique sont nombreux. Ils permettent d'optimiser la conception du système, de réduire les coûts de développement, d'identifier les faiblesses potentielles et les problèmes de performance, et de prédire l'autonomie du véhicule.

Les simulations peuvent également être utilisées pour étudier les effets de différentes variables, telles que les variations de température, la charge de la batterie, les conditions de conduite, etc.

Le premier chapitre est réservé aux généralités sur les véhicules électriques, historique, actualités, modélisation, et à la présentation des différentes architectures.

Le deuxième chapitre nous présenterons la modalisation de la dynamique du véhicule. Ce dernier est propulsé par un moteur de type synchrone à aimant permanent. Dans la deuxième partie nous allons décrire le modèle dynamique latéral du véhicule et enfin nous allons terminer ce chapitre avec une présentation et une modalisation des différents modes de tractions des roues.

Le troisième chapitre Afin de caractériser le comportement des roues d'entraînement d'un véhicule électrique, nous avons appliqué dans la deuxième partie deux techniques de commande, qui sont la commande vectorielle avec le régulateur PI classique et la commande par correcteur Neuro-flou adaptatif de type ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Inférence System)

Finalement, le quatrième chapitre, sera consacré à la validation et interprétation des résultats de simulation relatifs aux types de stratégies de commande proposées en vue tirer profit du point de vue robustesse et puis on termine par une conclusion générale sur l'ensemble des résultats obtenus et nous exposons les différentes contributions que nous avons apportées par rapport à l'existant, ainsi que les perspectives que nous envisageons pour la poursuite de ces travaux de recherche .

Généralités sur les véhicules électriques

1.1 Introduction :

Les voitures électriques sont un moyen de plus en plus populaire de réduire l'impact environnemental des transports. Grâce aux progrès technologiques, les voitures électriques sont plus faciles et plus efficaces que jamais. Les voitures électriques sont alimentées par une batterie qui stocke l'énergie sous forme d'électricité. Cette puissance est ensuite utilisée pour alimenter le moteur électrique de la voiture. Les batteries peuvent être rechargées à partir de la prise murale ou d'une station de recharge publique. La portée du véhicule électrique dépend de la taille de la batterie, mais de nombreuses voitures électriques peuvent parcourir plus de 200 miles sur une seule charge. [1]

Les voitures électriques ont de nombreux avantages par rapport aux voitures à essence classiques. Premièrement, il est plus efficace puisqu'il ont moins de pièces mobiles et n'ont pas besoin de moteur à combustion. Cela réduit les émissions et les coûts d'exploitation. De plus, les voitures électriques sont très silencieuses, ce qui les rend idéales pour conduire en ville. Enfin, les voitures électriques sont accessibles à tous. [2]

La figure 1.1 représente le schéma synoptique d'un véhicule électrique

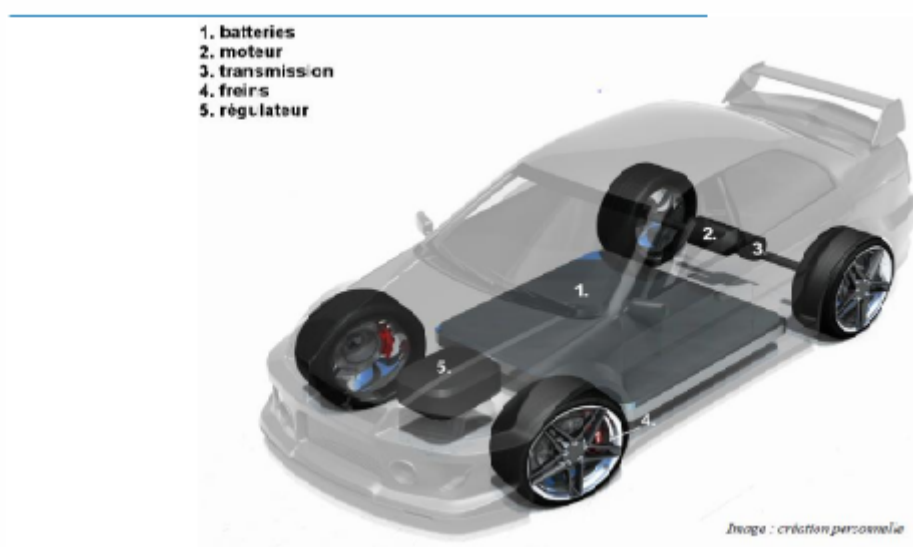


Figure 1.1: Voiture toute électrique

1.2 Historique : [2]

- (1832-1839), Premier véhicule électrique inventé par Robert Anderson (Homme d'affaire écossais).
- 1835, Construction d'une petite locomotive électrique par Thomas Davenport (américain).
- 1838, Un modèle similaire roule jusqu'à 6 km/h par Robert Anderson.
- 1859, Invention de la batterie rechargeable au plomb acide par Gaston Planté (Français).
- 1881, Amélioration de la batterie rechargeable par Camille Faure.



Figure 1.2: Une des premières voitures électriques

- 1884, Voiture électrique conduite par Thomas Parker
- 1891, La première vraie voiture électrique par William Morrison (américain)
- 1896, La Riker électrique d'Andrew Riker remporté une course automobile.
- 1897, Les premiers taxis électriques dans les rues de New York.
- 1899, en Belgique, une société construit « La Jamais Contente » la première auto électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h) [3] [4]. L'auto était pilotée par le belge Camille Jenatzy, et munie de pneus Michelin.
- Dès 1900, Plus du tiers des voitures en circulation sont électriques, le reste étant des autos à essence et à vapeur.
- 1902, la Phaéton de Wood pouvait rouler 29 kilomètres à une vitesse de 22.5 km/h et coûtait 2000 dollars.
- 1912, la production des véhicules électriques est à son crête, mais, l'introduction de la Ford Model T à essence en 1908 va commencer à se faire sentir.



Figure 1.3: Exemple de véhicule électrique : « La jamais contente » réalisée en 1899

- Années 1920, certains facteurs mèneront au déclin de la voiture électrique. On peut citer leur faible autonomie, leur vitesse trop basse, leur manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et leur prix deux fois plus élevé que les Ford à essence.
- 1966, le congrès américain recommande la construction de véhicules électriques pour réduire la pollution de l'air.
- 1972, Victor Wouk le parrain du véhicule hybride construit la première voiture hybride, la Buick Skylark de General Motors
- 1974, la Vanguard-Sebring CitiCar, qui ressemble beaucoup à une voiturette électrique de Golf fait son apparition au Electric Véhicule Symposium de Washington, D.C. Elle peut rouler sur 64 kilomètres à une vitesse de 48 km/h.
- 1976, le Congrès américain adopte le Electric and Hybrid Vehicle Research, Développement, and Démonstration Act.
- 1988, le président de GM Roger Smith lance un fond de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra la EV1.
- 1990, l'Etat de la Californie vote le Zero Emission Vehicle (ZEV), un plan qui prévoit que 2% des véhicules devront avoir zéro émission polluante en 1998 (puis 10% d'entre eux pour 2003)
- Entre 1996 et 1998 GM va produire 1117 EV1, dont 800 d'entre elles en location avec un contrat de 3 ans.
- En 1997, Toyota lance la Prius, la première voiture hybride à être commercialisée en série. 18 000 exemplaires seront vendus au Japon la première année.
- De 1997 à 2000, de nombreux constructeurs lancent des modèles électriques hybrides : 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. A partir de 2000 la voiture électrique va re-mourir à nouveau.
- En 2002, G.M. et DaimlerChrysler poursuivent le California Air Resources Board (CARB) pour faire annuler la loi Zero Emission Vehicle (ZEV) de 1990.
- En 2003 en France, Renault fait une tentative avec la sortie de sa voiture hybride Kangoo Electrode mais abandonnera la production après environ 500 véhicules.

- En 2003-2004, c'est la fin de l'EV1. GM va récupérer un par un tous les véhicules pour les détruire, et ce malgré plusieurs mouvements de protestation.
- En 2006, Chris Paine sort un documentaire intitulé Who Killed the Electric Car ? qui analyse la montée en puissance et la mort de la voiture électrique à la fin des années 90
- En 2007, il y avait encore 100 000 véhicules électriques en circulation aux Etats-Unis.
- En mars 2009, Vincent Bolloré annonce la sortie pour 2010 en location mensuelle à 330 euros de la Pininfarina Blue Car.



Figure 1.4: Exemple de véhicule électrique d'aujourd'hui

1.3 Actualités des Véhicules Electriques :

Actuellement, l'autonomie de tous les véhicules électriques offerts par les constructeurs se situe entre 70 km et 200 km. Tous ces véhicules sont équipés de batteries. [5]

Toutefois, l'utilisation de la pile à combustible ouvre de nouvelles perspectives. Ce dernier permet d'augmenter significativement l'autonomie (400 à 450 km actuellement) pour atteindre des valeurs proches de celles des composés thermiques classiques. [6]

La plage de puissance s'étend d'environ 15 kW à environ 100 kW. Cependant, les choix sont canalisés par l'utilisation de ces véhicules ; Globalement, 20 à 30 kW est suffisant pour le véhicule urbain tandis que 40 à 50 kW est préféré pour le véhicule routier [6]

En ce qui concerne les moteurs, les moteurs à courant continu sont encore répandus, en raison de la simplicité du contrôle de leur vitesse variable. Cependant, nous constatons une utilisation de plus en plus étendue des moteurs de fréquence en raison de leurs coûts moins élevés. En fait, jusqu'à il y a quelques années, la vitesse variable du contrôle de la machine était difficile à mettre en œuvre des alternatives. Cela nécessitait une puissance informatique que les processeurs ne pouvaient pas fournir à l'époque ou seulement à des coûts élevés. Avec les avancées technologiques, les coûts ont diminué et la puissance de calcul a continué d'augmenter, encourageant l'émergence de ces machines dédiées jusqu'à présent aux applications à haute énergie. [6] [7]

Quant au prix de ces composés, il est encore difficile à déterminer car les quantités produites sont très faibles et peu de copies sont souvent réalisées. Cependant, on peut estimer que si les techniques d'approvisionnement énergétique utilisées (batteries et piles à combustible) sont largement fabriquées, les prix seront similaires à ceux des véhicules thermiques. En effet, le prix des aliments représente la majeure partie du coût d'un véhicule électrique [6]

1.4 Définition d'un Véhicule Electrique:

Un véhicule électrique est un moyen de déplacement dont la propulsion est assurée exclusivement par un ou plusieurs moteurs électriques il peut tirer son énergie de ressources embarquées comme une batterie électrique, ou être connecté à une source extérieure, par exemple via une caténaire, Le moteur peut être, lui aussi, embarqué, comme dans la plupart des véhicules terrestres, ou extérieurs dans le cas du transport par câble. [6]

1.5 Description générale de la chaîne de traction :

La chaîne de traction d'un véhicule électrique (VE) est le système qui fournit la puissance nécessaire pour propulser le véhicule. Elle se compose généralement de plusieurs composants clés, notamment une batterie, un moteur électrique, un onduleur, un réducteur de vitesse et des câbles de connexion. (Figure 1.5) La batterie est la source d'énergie principale du VE, qui stocke l'électricité nécessaire pour alimenter le moteur électrique. Le moteur électrique est le cœur de la chaîne de traction, qui convertit l'énergie électrique en mouvement mécanique. L'onduleur contrôle la vitesse et le couple du moteur électrique en ajustant la fréquence et l'amplitude du courant électrique fourni. [6]

Le réducteur de vitesse réduit la vitesse de rotation du moteur électrique pour adapter la puissance de sortie aux besoins de la transmission. Enfin, les câbles de connexion relient les différents composants de la chaîne de traction. En général, le système de gestion de la batterie surveille la charge et la décharge de la batterie, ainsi que la température et la sécurité de la batterie.

Le système de gestion de l'énergie (SGE) contrôle également la puissance fournie par la batterie au moteur électrique en fonction des demandes du conducteur et des conditions de conduite. [6]

La chaîne de traction d'un VE est conçue pour maximiser l'efficacité énergétique et minimiser les émissions polluantes. En raison de sa simplicité et de sa faible maintenance,

la chaîne de traction d'un VE est souvent considérée comme plus fiable et moins coûteuse à long terme que celle d'un véhicule à combustion interne.

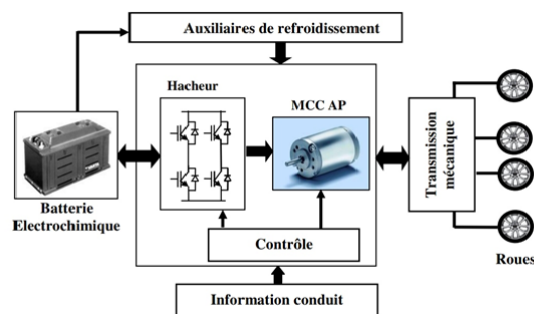


Figure 1.5: Schéma fonctionnel de la chaîne de traction d'un véhicule tout électrique

1.5.1 Moteur Electrique d'Entrainement :

Le moteur électrique d'entraînement est un type de moteur électrique utilisé pour fournir de la puissance mécanique à une machine ou un système. Il est principalement utilisé pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique pour alimenter des équipements tels que des machines-outils, des pompes, des compresseurs, des ventilateurs, des ascenseurs, des escaliers mécaniques et bien d'autres. les moteurs électriques d'entraînement sont disponibles dans une variété de tailles et de types, chacun étant conçu pour un usage spécifique. les types les plus courants de moteurs électriques d'entraînement sont les moteurs à courant continu, les moteurs à induction, les moteurs synchrones et les moteurs pas à pas, les moteurs à courant continu sont utilisés pour fournir une vitesse et un couple précis, tandis que les moteurs à induction sont utilisés pour les charges à vitesse variable. les moteurs synchrones sont utilisés pour les applications qui nécessitent une vitesse constante, tandis que les moteurs pas à pas sont utilisés pour les applications de positionnement précis. en somme, le choix du moteur électrique d'entraînement dépendra des exigences spécifiques de l'application pour laquelle il sera utilisé le choix du moteur électrique de propulsion et de sa transmission de puissance est déterminé au départ par les caractéristiques de fonctionnement suivantes : [8]

- Assurer un démarrage en cote du VE (couple élevé),
- Obtenir une vitesse maximale
- Stratégie de pilotage optimisant continuellement la consommation d'énergie (aspect rendement : rendement élevé en étant employé à différentes vitesses)

Ces quelques caractéristiques typiques requises pour les machines utilisées dans les systèmes de propulsion électrique, sont bien illustrées sur la figure 1.6 exhibant l'évolution du couple/puissance-vitesse.

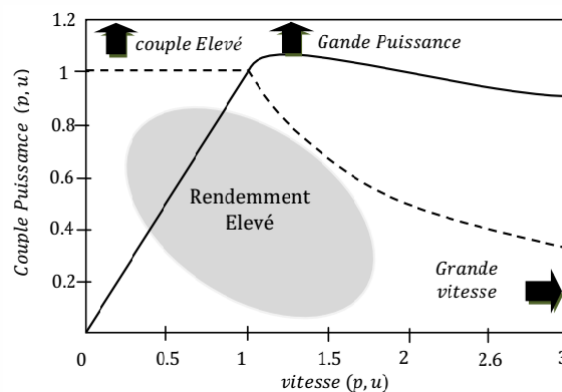


Figure 1.6: Couple/Puissance-Vitesse requises pour VE

1.5.1.1 Moteur à courant continu à excitation séparée :

Le moteur à courant continu à excitation séparée est un type de moteur électrique qui utilise un champ magnétique créé par deux enroulements distincts pour produire un couple de rotation. Le premier

enroulement, appelé enroulement d'excitation, est alimenté par une source de courant continue externe et produit un champ magnétique constant. [6]

Le second enroulement, appelé enroulement d'induction, est alimenté par les broches du moteur et produit un champ magnétique qui varie avec le courant qui le traverse. La combinaison des deux champs magnétiques produit un couple de rotation qui fait tourner l'arbre du moteur.

Le moteur à courant continu à excitation séparée est utilisé dans une grande variété d'applications, notamment dans les machines-outils, les équipements de levage et les applications industrielles nécessitant un contrôle précis de la vitesse et du couple. Ce type de moteur est également utilisé dans les automobiles électriques pour alimenter les systèmes de ventilation, de direction assistée et de pompe à eau. [5]

1.5.1.2 Moteurs à courant continu à aimant permanent :

Les moteurs à courant continu à aimant permanent sont des types de moteurs électriques qui utilisent des aimants permanents pour produire le champ magnétique nécessaire à la rotation du rotor. Contrairement aux moteurs à courant continu classiques qui utilisent des bobines pour produire le champ magnétique, les moteurs à courant continu à aimant permanent n'ont pas besoin de courant pour alimenter le champ magnétique.

Les moteurs à courant continu à aimant permanent sont généralement plus compacts et plus légers que les moteurs à courant continu classiques. Ils sont également plus efficaces car ils ont moins de pertes de puissance dues à la résistance électrique dans les bobines.

Ces moteurs sont souvent utilisés dans les applications qui nécessitent une grande précision et une faible consommation d'énergie, comme les robots, les drones, les instruments de mesure, les pompes, les ventilateurs et les compresseurs. Ils peuvent également être utilisés dans les voitures électriques pour les moteurs des roues ou les moteurs auxiliaires.

1.5.1.3 Moteurs asynchrones:

Les moteurs asynchrones, également appelés moteurs à induction, sont des moteurs électriques qui fonctionnent en utilisant le champ magnétique créé par un courant alternatif pour faire tourner un rotor.

Le rotor est constitué d'un ensemble de barres conductrices, généralement en cuivre, disposées en forme de cage d'écureuil, d'où le nom de "moteur à cage d'écureuil" [9] [10].

Lorsqu'un courant alternatif est appliqué à la stator, le champ magnétique créé tourne à une vitesse déterminée par la fréquence du courant alternatif et le nombre de pôles du stator. Ce champ magnétique induit à son tour un courant dans les barres conductrices du rotor, créant un champ magnétique qui interagit avec celui du stator et fait tourner le rotor. Les moteurs asynchrones sont utilisés dans une variété d'applications, notamment les pompes, les ventilateurs, les compresseurs, les convoyeurs, les machines-outils et les équipements de production d'énergie. Ils sont disponibles dans une large gamme de tailles et de puissances pour répondre à une grande variété de besoins.

1.5.1.4 Moteurs synchrones à aimants permanents :

Les moteurs synchrones à aimants permanents sont des types de moteurs électriques où les aimants permanents sont utilisés pour créer un champ magnétique dans la zone de travail du rotor. Le rotor est ensuite entraîné à tourner à la même vitesse que le champ magnétique rotatif créé par les bobines statoriques.

Les avantages des moteurs synchrones à aimants permanents sont leur grande efficacité énergétique, leur faible taux de perte de puissance, leur faible niveau de bruit et leur absence d'usure des balais. Ils sont utilisés dans une grande variété d'applications, y compris les machines-outils, les robots, les pompes, les ventilateurs, les compresseurs, les véhicules électriques, les éoliennes et autres applications nécessitant un contrôle précis de la vitesse.

Cependant, l'inconvénient majeur des moteurs synchrones à aimants permanents est leur coût élevé, en raison de l'utilisation d'aimants permanents coûteux dans leur construction. Ils peuvent également avoir des difficultés à démarrer sans un dispositif d'entraînement externe pour produire un champ magnétique tournant initial

1.5.1.5 Moteur synchrone à inducteur bobiné :

Un moteur synchrone à inducteur bobiné est un type de moteur électrique dans lequel l'inducteur (stator) est bobiné, tandis que l'induit (rotor) est constitué de conducteurs reliés entre eux et tournant à la même vitesse que le champ magnétique créé par l'inducteur.

Le fonctionnement de ce type de moteur est basé sur le phénomène de synchronisation entre le champ magnétique tournant créé par l'inducteur et le rotor. Lorsque le champ magnétique du stator tourne, il entraîne les conducteurs du rotor à tourner à la même vitesse, ce qui permet au moteur de fonctionner de manière synchrone.

Le moteur synchrone à inducteur bobiné est utilisé dans de nombreuses applications industrielles, notamment pour les pompes, les ventilateurs, les compresseurs et les machines-outils. Il est souvent utilisé dans les situations où une grande puissance est requise et où une vitesse de rotation précise est nécessaire. Cependant, ce type de moteur nécessite un système de contrôle sophistiqué pour maintenir la synchronisation entre le champ magnétique du stator et le rotor. Il est également plus coûteux que les autres types de moteurs électriques

1.5.1.6 Moteur à réluctance variable :

Un moteur à réluctance variable est un type de moteur électrique qui utilise le principe de la réluctance variable pour créer un couple de rotation. Ce type de moteur est souvent utilisé dans les applications industrielles nécessitant une grande précision, une grande fiabilité et un contrôle de vitesse élevé. Le moteur à réluctance variable est composé d'un stator et d'un rotor. Le stator est constitué de bobines de cuivre enroulées autour d'un noyau de fer. Le rotor est constitué d'un ensemble de barres métalliques, également appelées pôles, qui sont alignées avec les bobines du stator. Le rotor n'a pas de bobines et n'est pas alimenté électriquement [10]

1.5.1.7 Choix de motrice :

Chacun des moteurs a des avantages et des inconvénients, mais ce sont essentiellement les concepts de coût et de difficulté de contrôle qui se confrontent.

Le principal avantage des machines à courant continu est leur adaptation simple aux moyens de réglage ou de variation de leur vitesse, de leur couple et de la direction de rotation : les entraînements à vitesse variable.

Le principal problème avec ces machines est la connexion entre les brosses, ou «charbons» et le collecteur rotatif. Ainsi que le collecteur lui-même comme indiqué ci-dessus et la complexité de sa réalisation. En outre, il convient de noter que :

- plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur, de sorte que plus le frottement est important.
- à grande vitesse, les brosses doivent donc être remplacées très régulièrement.
- le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique.

Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « dé frettage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires (le frettage).

La température est limitée au collecteur par l'alliage utilisé pour braser les conducteurs du rotor aux lames du collecteur. Un alliage d'argent doit être utilisé lorsque la température de fonctionnement dépasse la température de fusion de l'alliage d'étain classique. Un certain nombre de ces inconvénients ont été partiellement résolus par la réalisation de moteurs sans pourriture.

1.5.2 Convertisseur statique :

Le convertisseur statique utilisé dans la chaîne de traction est un hachoir, qui est des convertisseurs directs du type continu-continu. Ils permettent d'obtenir une tension CC variable à partir d'une tension CC fixe contrôlable par des impulsions générées par le circuit de commande. Il existe plusieurs types de convertisseurs statiques, chacun ayant ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients. les types courants de convertisseurs statiques sont :

- Le convertisseur AC-DC (redresseur) : il permet de convertir l'énergie électrique alternative (AC) en énergie électrique continue (DC).
- Le convertisseur DC-AC (onduleur) : il permet de convertir l'énergie électrique continue (DC) en énergie électrique alternative (AC).
- Le convertisseur DC-DC : il permet de convertir l'énergie électrique continue (DC) en une autre forme de tension ou de courant électrique.
- Le convertisseur AC-AC : il permet de convertir l'énergie électrique alternative (AC) en une autre forme de tension ou de courant électrique.

Les convertisseurs statiques sont souvent contrôlés par des dispositifs électroniques tels que des microcontrôleurs, des capteurs et des circuits de commande. Ils sont également équipés de dispositifs de protection tels que des fusibles, des interrupteurs et des dispositifs de limitation de courant pour assurer leur sécurité et leur fiabilité. (Figure 1.7)



Figure 1.7: Exemple de convertisseur

1.5.3 La batterie :

Dans une batterie, le courant est distribué à l'intérieur des cellules qui la composent. Ils se présentent sous forme de petites piles ou de poches qui s'emboîtent. La quantité d'énergie qu'une batterie peut stocker est exprimée en "litres" d'un réservoir de carburant.

Le courant ou le courant est exprimé sous une forme que le fabricant peut communiquer. C'est simple : la capacité utile représente la quantité d'énergie réellement disponible pour le véhicule.

La différence entre utile et nominal constitue une marge pour permettre à l'exemple de comprendre : une batterie de 50 kWh chargée à 10 kW peut être chargée en 5 heures environ. Pourquoi "environ" ? Parce que plus de 80% de la batterie réduira automatiquement la vitesse de charge. figure 1.8

Tout comme on met une bouteille d'eau dans le robinet, il faut réduire le débit pour éviter les éclaboussures. Le courant stocké dans la batterie est alors dirigé vers un ou plusieurs moteurs électriques. La rotation est effectuée par le rotor du moteur sous l'action du champ magnétique créé dans le stator (les bobines statiques du moteur). Avant d'atteindre les roues, le mouvement passe généralement par une boîte de vitesses fixe de sorte.



Figure 1.8: GPL 12520 12V 52Ah

La batterie est peu onéreuse et demande peu d'entretien. Néanmoins, ses performances ne sont pas très élevées et elle possède une durée de vie trois fois moindre que celle de la pile à combustible. Sur la Figure 1.9 sont classifiées les batteries selon leurs énergies spécifiques et leurs énergies volumiques

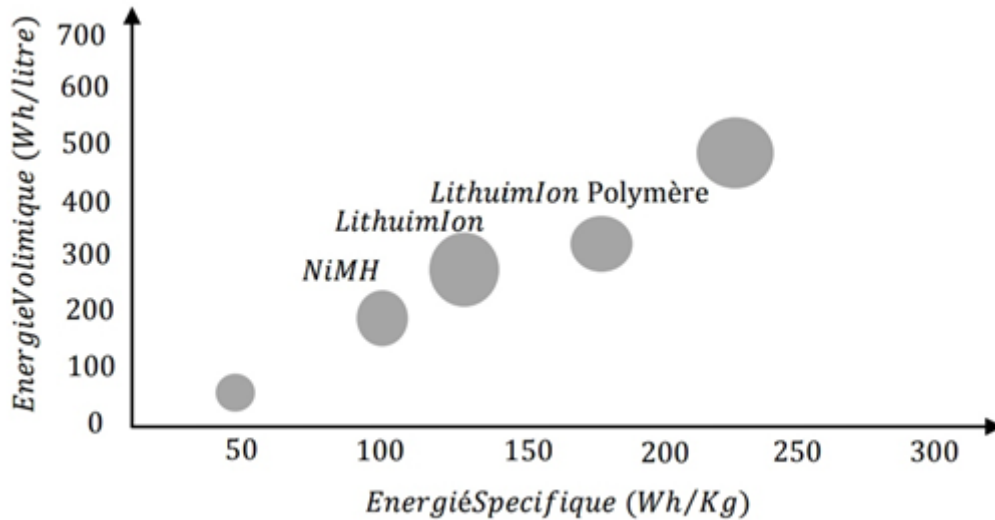


Figure 1.9: Comparaison de la densité d'énergie pour les différentes technologies de batteries

1.6 Différentes configurations de véhicule électrique :

Il existe plusieurs configurations de véhicules électriques, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients. Voici quelques exemples :

- Véhicule électrique à batterie (BEV) : il s'agit d'un véhicule électrique alimenté par une batterie rechargeable. Les BEV n'ont pas de moteur à combustion interne, ce qui les rend plus économes en énergie et plus respectueux de l'environnement. Cependant, leur autonomie est limitée par la capacité de la batterie et ils nécessitent des temps de recharge plus longs.
- Véhicule électrique à pile à combustible (FCEV) : les FCEV utilisent une pile à combustible pour produire de l'électricité à partir d'hydrogène. Cela permet une autonomie plus élevée que les BEV, mais il peut être plus difficile de trouver des stations de ravitaillement en hydrogène.
- Véhicule hybride rechargeable (PHEV) : les PHEV combinent un moteur électrique et un moteur à combustion interne, ainsi qu'une batterie rechargeable. Ils peuvent être alimentés à l'électricité pendant une certaine distance, puis passer au moteur à combustion interne pour une plus grande autonomie. Cependant, ils sont plus complexes que les BEV et les FCEV.
- Véhicule électrique à prolongateur d'autonomie (EREV) : les EREV sont similaires aux PHEV, mais utilisent généralement un moteur à combustion interne pour générer de l'électricité, plutôt que de fournir une puissance mécanique directement aux roues. Cela permet une autonomie plus élevée que les PHEV, mais les EREV sont également plus complexes.

- Véhicule électrique à deux roues : les véhicules électriques à deux roues, tels que les scooters électriques et les motos électriques, sont également de plus en plus populaires. Ils ont souvent une autonomie plus limitée que les voitures électriques, mais sont plus agiles et pratiques pour les trajets urbains.

Il y a d'autres configurations possibles de véhicules électriques, mais ce sont quelques-unes des plus courantes

1.6.1 Véhicule électrique monomoteur :

Le véhicule électrique monomoteur présente une seule chaîne de traction, figure 1.10

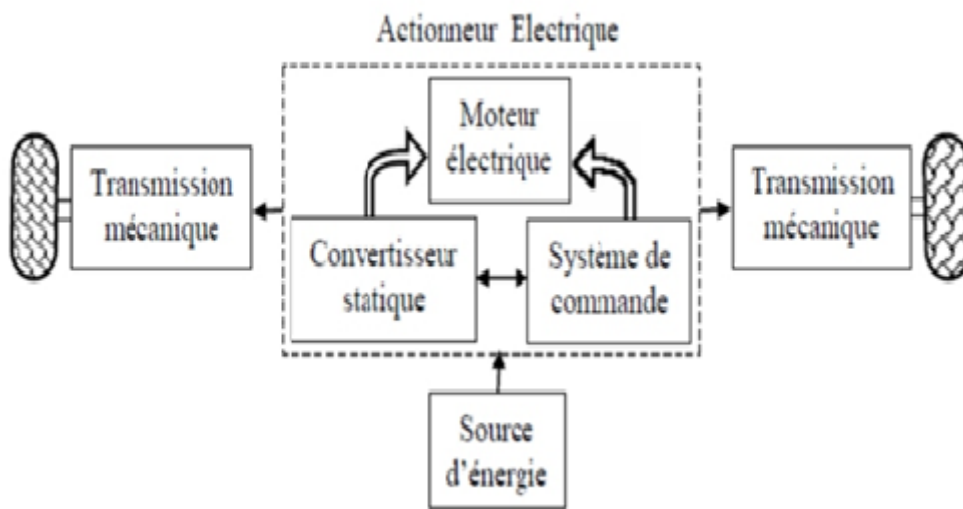


Figure 1.10: Chaîne de traction monomoteur.

La figure 1.11 montre trois exemples schématiques de motorisation monomoteur : [3]

- Un seul moteur électrique + réducteur fixe + différentiel, figure 11.A;
- Un seul moteur électrique + embrayage + BV + différentiel, figure 11.B;
- Un seul moteur électrique + boîte de transfert + BV + deux différentiels, 11.C;

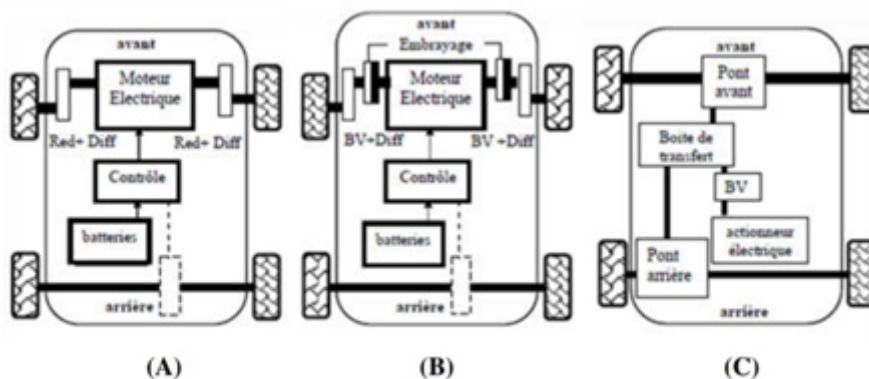


Figure 1.11: Exemples schématiques de motorisation monomoteur

1.6.2 Véhicule électrique multi-moteurs :

Le véhicule électrique multi-moteur dispose de plusieurs chaînes de traction indépendantes, (figure 1.12) Il peut sembler a priori intéressant de conduire les roues indépendamment pour retirer les engrenages mécaniques tels que la boîte de vitesses, l'embrayage et différentiel mécanique.

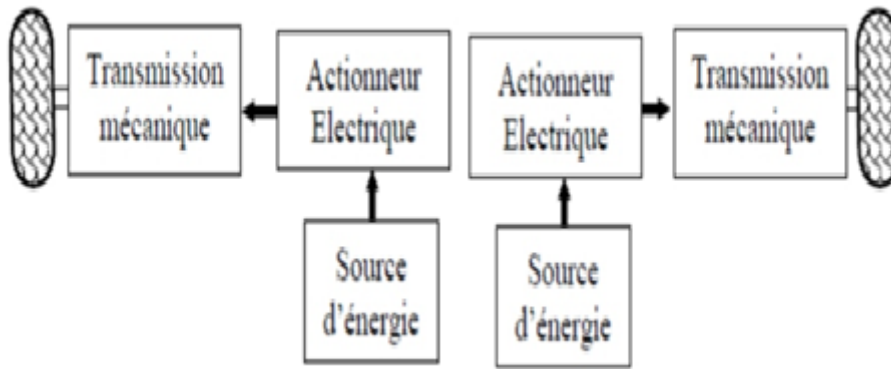


Figure 1.12: Véhicule multi-moteurs

On peut donc réaliser des véhicules à deux roues motrices, soit à l'arrière figure 1.13.A soit à l'avant figure 1.13.B, ou encore à quatre roues motrices figure 1.13.C [3]

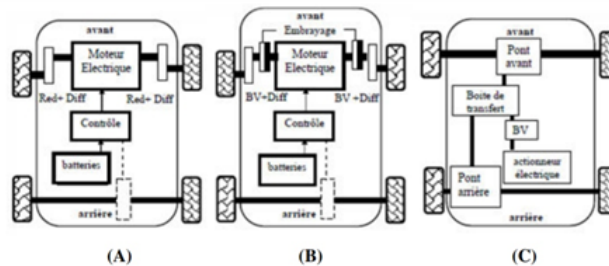


Figure 1.13: Exemples schématiques de motorisations multi-moteurs

Direction avec essieu brisé :

C'est le principe bien connu de l'automobile (figure 1.13.A), les roues motrices disposées à l'arrière, et les roues directrices à l'avant possèdent chacune un axe de pivotement propre (P1 et P2) situé à une extrémité de l'essieu.

La direction par essieu brisé réalise une véritable séparation des fonctions motrices et directrices. Cette séparation [7]:

- Facilite la conduite du véhicule (effort de braquage faible) ;

- Favorise la stabilité du véhicule (réaction produite par le choc d'un obstacle avec une roue est faible).
- Cette solution présente néanmoins quelques inconvénients majeurs [6]
- La rotation sur place est impossible (rayon de courbure est assez grand);
- La commande du braquage nécessite une mécanique sophistiquée
- Un encombrement important : une grande partie de l'espace central du véhicule est occupé par le système de direction-propulsion.

Direction par roues différentielles :

Ici deux roues R1 et R2 indépendantes rigides au pivotement réalisent à la fois la propulsion et la direction, l'orientation est obtenue par différence de vitesse des deux roues motrices, et l'équilibre de la plate-forme est garanti par des roues libres à l'arrière, (figure 1.13.B).

Les roues libres seront toujours orientées de telle façon à présenter la moindre opposition au roulement sans glissement.

La rigidité au pivotement des roues motrices évite tous les phénomènes de dandinement des roues directrices, c'est à dire les oscillations incontrôlées des roues autour de leur axe de pivotement, dues au passage d'un obstacle, où aux irrégularités du sol [3]

Grâce à la totale indépendance des deux roues, la configuration qui a été choisie est la structure à roues différentielles.

Nous n'énumérerons pas les qualités et les défauts de chacune des configurations puisque cela serait trop long. Par contre nous pouvons justifier le choix effectué en mentionnant les principales qualités de cette configuration [8], [9]

- En cas de rencontre avec un obstacle ou en cas de glissement de l'une des deux roues, l'autre peut ne pas en être affectée;
- Les inerties des deux roues ne s'ajoutent pas, ce qui diminue le risque de glissement à vitesse élevée lors des virages rapides du véhicule notamment ; Le perfectionnement de la stabilité latérale de véhicule;
- Symétrie : Ceci constitue le point fort de cette structure. La symétrie permet des performances intéressantes en rotation puisque le centre de masse est situé le plus proche au centre de l'axe des deux roues motrices ;
- Un gain en mobilité grâce à un meilleur contrôle de la motricité ;
- Un gain en consommation de plus de 20% grâce aux nouvelles stratégies de gestion de l'énergie
- La génération de couple électrique est très rapide et précise, à la fois pour l'accélération et la décélération. De plus, la génération anti-directionnelle de couple est possible, en agissant seulement sur le signe du couple de consigne
- Le couple moteur de chaque roue motrice peut être contrôlé indépendamment, ce qui entraîne un contrôle efficace de véhicule notamment dans les virages ;
- Une flexibilité d'architecture permettant des concepts modulaires compacts ;

- Prix réduit : dans un véhicule classique, on a besoin de matériels additionnels coûteux, par exemple, boîte de vitesse, actionneurs de frein et embrayage. En revanche, la commande de traction pour un véhicule électrique peut être réalisée seulement par un logiciel, donc à prix réduit et peut avoir des performances élevées ;
- Réponse rapide : dans un véhicule classique, le temps de réponse est beaucoup plus lent ceci est dû au système mécanique (plus de 200ms nécessaire pour ouvrir la boîte de vitesse). Tandis que, le temps de réponse du couple d'un moteur électrique est de moins de 10ms.

1.7 Structure du véhicule électrique :

Le véhicule sur lequel sera implémentée l'architecture de contrôle est schématisé par une plate-forme rectangulaire montée sur quatre roues. Le véhicule est constitué de deux roues motrices parallèles en arrière [3]

Chacune de ces deux roues est entraînée indépendamment l'une de l'autre par un actionneur à courant continu. L'équilibre de la plate-forme est garanti par deux roues libres en avant.

Le changement de direction est obtenu grâce à un actionneur à courant continu en avant et la différence de vitesses de rotation des deux roues motrices. C'est pour cela qu'on désigne ce véhicule par : (voir Figure 1.14).

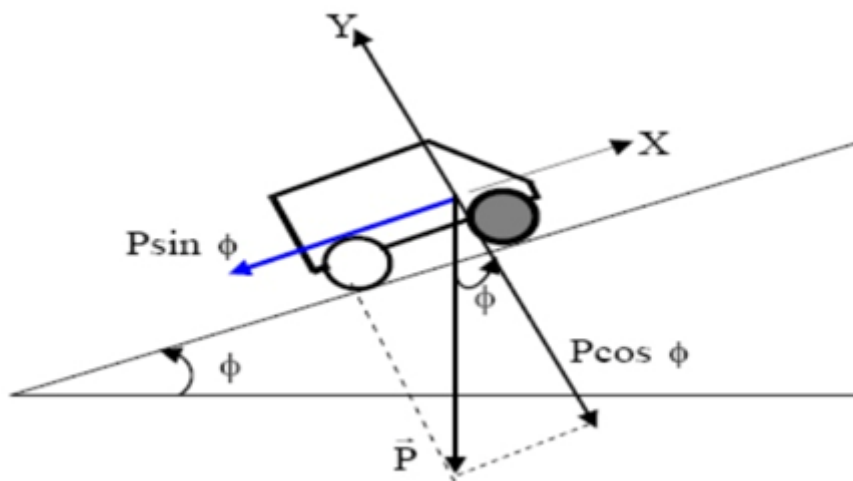


Figure 1.14: Présentation du véhicule

1.7.1 Critères de choix des roues motrices :

Les roues motrices du véhicule doivent être identifiées très tôt dans un tel projet parce que la performance de la voiture dépend largement de ses dimensions.

Le couple fourni par le moteur et la vitesse maximale du véhicule sont des exemples de paramètres qui varient en fonction du rayon des roues motrices. [7]

Les critères que nous avons pris en considération pour choisir les roues de propulsion étaient fondés sur la performance que nous voulions atteindre. Pour une accélération intéressante, il est nécessaire de

choisir des roues à rayon assez faible car la rotation insuffisante vue par le moteur s'adapte directement à ce rayon.

Cependant, comme la vitesse maximale est inversement proportionnelle à ce rayon, il est important de ne pas trop la réduire. Il s'agit donc d'un compromis entre ces deux demandes hostiles.

L'accélération maximale dépendra également de l'adhérence du pneu. L'adhérence latérale dépend également de la forme des roues, ainsi que de la matière de la surface de contact avec la terre.

1.7.2 Critères de choix des roues libres :

Les roues libres sont des éléments importants dans la transmission du mouvement et de la puissance dans diverses applications telles que les vélos, les voitures, les machines industrielles, etc. Le choix des roues libres dépend de plusieurs facteurs, notamment :

Couple de torsion : Le couple de torsion est la force de rotation appliquée sur la roue libre. Il est important de choisir une roue libre qui peut supporter le couple de torsion requis pour la tâche spécifique.

Vitesse de rotation : La vitesse de rotation est également un facteur important dans le choix d'une roue libre. Les roues libres sont conçues pour fonctionner à des vitesses de rotation spécifiques et il est important de choisir une roue libre qui convient à la vitesse de rotation de la tâche à accomplir.

Type de montage : Les roues libres peuvent être montées de différentes manières, notamment par engagement externe, interne, par friction, à roulements, etc. Il est important de choisir le type de montage le plus approprié pour la tâche spécifique.

Environnement de travail : Les roues libres sont souvent exposées à des conditions environnementales difficiles telles que la poussière, la saleté, l'humidité, etc. Il est important de choisir une roue libre qui peut fonctionner efficacement dans l'environnement de travail spécifique.

Coût : Le coût est également un facteur important dans le choix d'une roue libre. Il est important de trouver un équilibre entre la qualité et le coût pour trouver la roue libre la plus appropriée pour la tâche spécifique.

En général, il est important de prendre en compte tous ces facteurs et de choisir la roue libre qui convient le mieux à la tâche spécifique tout en respectant les contraintes budgétaires.

1.7.3 Choix des actionneurs :

Dans notre étude, nous avons choisi le moteur à courant continu car ils conviennent facilement à un contrôle souple, réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation. Par ailleurs, la maîtrise de ce moteur dans ce type d'application est un champ de recherche et d'activité intense à ce jour.

1.8 Modélisation dynamique du véhicule :

La modélisation dynamique du véhicule est l'étude de la dynamique du mouvement d'un véhicule. Cette étude peut être réalisée à l'aide de plusieurs approches mathématiques et physiques, telles que la dynamique newtonienne, la cinématique, la thermodynamique, la mécanique des fluides, la théorie du contrôle, etc.

La modélisation dynamique peut être utilisée pour prédire le comportement du véhicule dans des situations différentes, telles que l'accélération, le freinage, la tenue de route, les changements de direction, les virages, les pentes, etc.

Elle peut également être utilisée pour optimiser les performances du véhicule en termes de consommation de carburant, de confort de conduite, de sécurité, etc.

Une approche courante de modélisation dynamique du véhicule est de diviser le véhicule en plusieurs sous-systèmes, tels que le système de suspension, le système de transmission, le système de freinage, le système de direction, etc. Chacun de ces sous-systèmes peut être modélisé individuellement, puis intégré dans un modèle global du véhicule. [3]

Les modèles dynamiques du véhicule peuvent également être utilisés pour la simulation informatique, ce qui permet de tester virtuellement le comportement du véhicule dans des scénarios différents, sans avoir à construire de prototypes physiques coûteux.

Cette approche est généralement utilisée dans l'industrie automobile pour concevoir de nouveaux modèles de véhicules et tester leurs performances avant la production de masse.

1.8.1 Contraintes dynamiques sur le véhicule :

Les contraintes dynamiques sur un véhicule peuvent être définies comme les limites imposées par les lois de la physique sur les mouvements et les forces qui agissent sur le véhicule. Elles sont importantes car elles influencent directement les performances et la sécurité du véhicule. Voici quelques exemples de contraintes dynamiques au niveau du véhicule :

Accélération maximale : cette contrainte est liée à la capacité du véhicule à accélérer rapidement. Elle dépend du moteur et de la transmission, ainsi que du poids et de la traction du véhicule.

Freinage maximal : cette contrainte est liée à la capacité du véhicule à s'arrêter rapidement. Elle dépend des freins, de la masse et de la vitesse du véhicule.

Virage maximal : cette contrainte est liée à la capacité du véhicule à tourner à une certaine vitesse. Elle dépend des pneus, de la suspension et du centre de gravité du véhicule.

Force latérale maximale : cette contrainte est liée à la capacité du véhicule à résister aux forces latérales, par exemple lors de virages serrés ou de changements rapides de direction.

Hauteur maximale de saut : cette contrainte est liée à la capacité du véhicule à sauter sans subir de dommages. Elle dépend de la suspension et de la structure du véhicule. Toutes ces contraintes sont interdépendantes et doivent être prises en considération dans la conception et le fonctionnement du véhicule.

a) Contraintes d'accélération 'accélération et freinage :

Dépendent du système mécanique ou véhicule concerné, pour les véhicules routiers, les contraintes d'accélération et de freinage dépendent de plusieurs facteurs, tels que la puissance du moteur, la force de freinage, la masse du véhicule, la friction des pneus avec la route, l'état des pneus et des freins, et les conditions météorologiques.

Les limites d'accélération et de freinage sont généralement indiquées dans le manuel du propriétaire ou dans les spécifications techniques du véhicule.

En général, il est important de respecter les limites d'accélération et de freinage pour des raisons de sécurité. Une accélération excessive peut provoquer une perte de contrôle du véhicule, tandis qu'un freinage trop brusque peut provoquer un blocage des roues et une perte de stabilité.

En outre, une accélération et un freinage excessifs peuvent entraîner une usure prématurée des pneus, des freins et d'autres composants du véhicule. Il est clair que le moteur a une borne maximale sur l'accélération γ qu'il peut fournir. Cela se traduit par :

$$\gamma = \gamma_{max} \quad (1.1)$$

De même, le freinage du véhicule est contrôlé par une force de freinage qui est proportionnelle à la décélération des roues. Cette nouvelle contrainte impose :

$$\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max} \quad (1.2)$$

Il est donc important de conduire de manière responsable et de respecter les limites d'accélération et de freinage pour garantir une conduite sûre et une longue durée de vie du véhicule.

b) Contrainte de vitesse maximale :

En pratique, la contrainte de vitesse maximale est importante pour assurer la sécurité des personnes et des biens. Par exemple, sur les routes, des limites de vitesse sont établies pour réduire le risque d'accidents et de blessures. Dans d'autres contextes, la contrainte de vitesse maximale peut être utilisée pour garantir la durabilité des équipements ou minimiser la consommation d'énergie. Il semble naturel que le véhicule aura une vitesse maximale.

Alors la cinématique du véhicule peut être exprimée avec les contraintes additionnelles suivantes :

$$0 \leq V_x \leq V_{xmax} \quad (1.3)$$

$$-\omega_{max} \leq \omega \leq \omega_{max} \quad (1.4)$$

c) Contrainte de non-glissement :

La contrainte de non-glissement, aussi appelée contrainte de roulement sans glissement, est une condition physique qui s'applique lorsqu'un objet en mouvement roule ou glisse sur une surface. Elle stipule que le point de contact entre l'objet et la surface ne doit pas glisser, mais plutôt rester immobile par rapport à la surface.

Cela signifie que la vitesse de translation de l'objet doit être égale à la vitesse de rotation de l'objet autour de son point de contact avec la surface. Cette égalité de vitesses est nécessaire pour que l'objet continue à rouler sans glisser et pour que la contrainte de non-glissement soit respectée.

Si $F_{tangentielle} \geq \mu F$ normale alors il y aura glissement [10] [4]

Donc, on peut exprimer la relation précédente comme suit :

$$M\gamma \geq \mu.M.g \quad (1.5)$$

Ce qui implique :

$$\sqrt{V_x^2 + V_y^2} \geq \mu.g \quad (1.6)$$

Où :

M : Masse du véhicule ;

\square : Accélération tangentielle du véhicule ;

g : Accélération de pesanteur. Donc la contrainte de non-glissement se traduit par :

$$V_x^2 + V_y^2 \leq \mu^2.g^2 \quad (1.7)$$

d) Force d'entraînement :

Quand le véhicule se déplace, les couples des moteurs appliqués aux roues motrices produisent une force F qui est parallèle à l'axe X_v . Cette force est contrainte par l'expression:

$$0 \leq F \leq F_{max} \quad (1.8)$$

1.8.2 Importance du calcul de la vitesse et de l'accélération maximale :

Quand un véhicule se déplace dans un virage, la force centrifuge le pousse hors de la courbe avec une valeur en fonction de la vitesse et du rayon de courbure. Pour cette force, il n'y a pas besoin d'un point d'appui matériel, elle est produite par l'inertie du corps.

Par contre, afin d'effectuer le virage, l'accélération normale produite par l'angle de rotation pousse le véhicule dans le sens contraire. Les roues mises au sol doivent produire la force centripète qui fait entrer le véhicule. la courbe. Ces deux forces en équilibre vont se traduire par un déplacement correct, sinon le déséquilibre produira la dérive du véhicule. Cette dérive a lieu à cause d'une adhésion des roues au sol qui ne correspond pas à la vitesse de déplacement.

Lors d'un démarrage, les roues motrices imposent une force de traction au véhicule qui va engendrer le mouvement, si cette force est très importante, les roues patinent. [10]

Décomposons le poids du véhicule en une composante dirigée vers le centre de la trajectoire du véhicule, et une composante oblique, dirigée vers le sol, figure 1.15, Soit α l'inclinaison de la composante oblique sur la verticale [3]

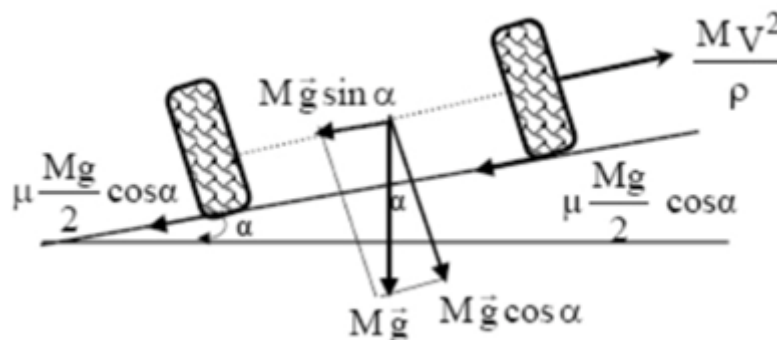


Figure 1.15: Déplacement du véhicule dans un virage sur une chaussée inclinée d'un angle α .

1.8.3 Couples résistant au déplacement :

Le couple résistant à la roue (C_{roue}) lié à l'effort résistant total (F_{rt}) que doit vaincre le système de motorisation est donné par la relation :

$$C_{roue} = F_{rt} \cdot r = [R_r + R_a + \rho] \cdot r \quad (1.9)$$

Ou :

R_r : Résistance au roulement.

R_a : Résistance aérodynamique.

R_p : Résistance due à la pente.

r : rayon d'une roue.

Nous raisonnerons sur un véhicule de masse M , à deux roues motrices de rayon extérieur r situées à l'avant, son accélération est a sa vitesse V . Tous les couples résistants seront exprimés en fonction du facteur $\frac{Mg r}{2}$ caractéristique du véhicule

1.8.4 Roulement uniforme sur sol plat :

- Les efforts résistants sont alors :
- La résistance au roulement qui fait intervenir les pertes d'énergie se produisant dans la surface de contact entre la roue et la surface de roulement.
- La résistance aérodynamique.

a) Résistance au roulement R_r :

La résistance au roulement est une force qui agit contre la vitesse d'un objet en mouvement, réduisant ainsi son efficacité énergétique. Elle est donc un facteur important à prendre en compte dans la conception de véhicules ou d'équipements pour optimiser leur efficacité énergétique,

L'expérience montre que la force qu'il faut appliquer à une roue pour la faire avancer en tournant est égale au produit du poids Mg par le coefficient de frottement de roulement F_r [3]

$$R_r = F_r \cdot M \cdot g \quad (1.10)$$

g : accélération due à la gravité ($9.81 m/s^2$).

M : masse totale du véhicule (kg)

F_r : coefficient caractérisant la résistance au roulement dépend de la nature et de l'état du bandage de la roue, du sol et de la vitesse de déplacement

Nous donnons ci-dessous quelques valeurs indicatives de f_r en fonction de l'état du terrain :

- Pneumatique sur bon terrain : $f_r = 0.015$ à 0.03
- Pneumatique sur mauvais terrain : $f_r = 0.15$
- Pneumatique en tout terrain : $f_r = 0.2$ à 0.3

b) Résistance aérodynamique R_a :

La résistance aérodynamique peut être un facteur important dans la conception de nombreux objets, notamment les avions, les voitures, les bateaux et les équipements sportifs tels que les vélos et les skis. Les concepteurs peuvent travailler à minimiser la résistance aérodynamique pour améliorer les performances et l'efficacité de l'objet. L'expression de la résistance aérodynamique est la suivante : [6]

$$R_a = \frac{1}{2} \rho_a \cdot S \cdot C_x \cdot (V \pm V_v) \quad (1.11)$$

Ou :

ρ_a : désigne la masse volumique de l'air ($\rho = 1.293 kg/m^3$);

S : est la surface frontale du véhicule en $[m^2]$;

C_x : est le coefficient de pénétration dans l'air (mesuré expérimentalement);

V : est la vitesse du véhicule en $[m/s]$;

V_v : est la vitesse du vent en $[m/s]$.

En l'absence de vent, on peut considérer cette force comme proportionnelle au carré de la vitesse du véhicule. La résistance aérodynamique n'intervient en réalité que de 60Km/h, mais devient rapidement prépondérante ensuite.

Le couple maximal de roulement plat (à l'exclusion des pertes dans la boîte de vitesses) sera donc, pour une roue [4]

$C_{roulement} = 0.08 Mgr/2$ véhicule avec pneumatiques.

$C_{roulement} = 0.01 Mgr/2$ véhicule avec bandage plein

1.8.5 Franchissement de pente :

Appliquer le théorème de la résultante dynamique (figure 1.16), dans l'hypothèse d'un mouvement uniforme, conduit à l'équation suivante :

$$R_p = M.g.\sin\phi \quad (1.12)$$

Le couple nécessaire au franchissement vaut pour une roue :

$$C_p = R_p.r = \frac{1}{2}.M.g.r.\sin\phi \quad (1.13)$$

Ou :

M : masse du véhicule en $[Kg]$.

g : l'accélération de pesanteur.

r : rayon d'une roue.

ϕ : Angle de la pente.

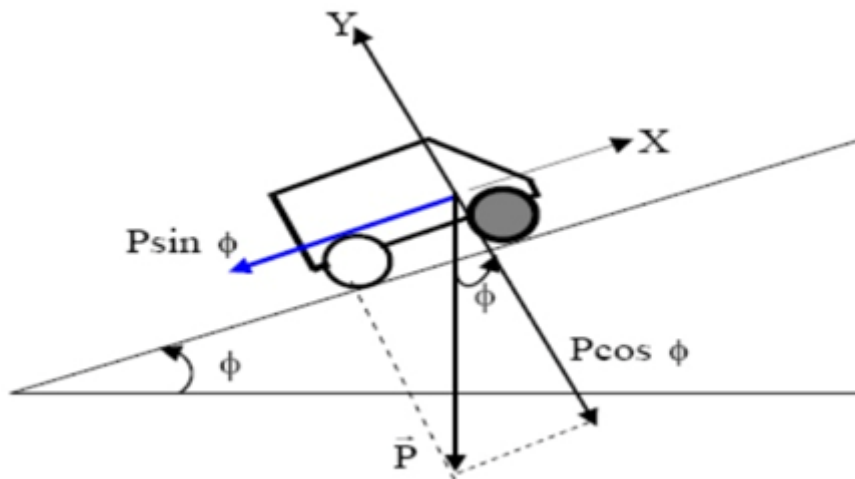


Figure 1.16: Franchissement de pente

1.8.6 Franchissement d'obstacles :

le véhicule doit, en principe, pouvoir franchir des obstacles jusqu'à une hauteur h égale au demi rayon de roue $\frac{r}{2}$ (figure 1.17). Le couple nécessaire au franchissement est :

$$C_f = \frac{1}{2} \cdot \sin\varphi \cdot M \cdot g \cdot r \quad (1.14)$$

avec $\varphi_{max} = 60^\circ$

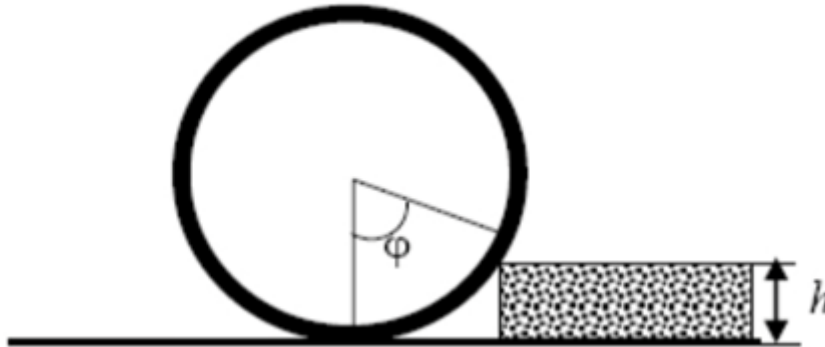


Figure 1.17: Franchissement d'obstacles

Notons que ce couple estimé est surdimensionné ; en effet [10]

- Un obstacle n'est jamais attaqué à vitesse nulle.
- L'adhérence naturelle de la bande de roulement et/ou l'écrasement du pneumatique facilitent le franchissement. Le rayon de la roue doit être le plus grand possible, pour faciliter le franchissement des obstacles.

1.8.7 Accélération :

La résistance inertielle totale vaut :

$$R_i = M \cdot \gamma + \Sigma J \quad (1.15)$$

Au maximum, le deuxième terme est couramment estimé à 15% du premier. Le couple nécessaire à l'accélération du véhicule est donc, pour une roue [4]

$$C_{acc} = 1,15 \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot M \cdot g \cdot \frac{r}{2} \quad (1.16)$$

Notons que (γ/g) caractérise la performance du véhicule en accélération

1.8.8 Résistance au glissement (adhérence) :

Pour qu'une roue tourne effectivement, il faut qu'elle adhère au sol. L'expérience montre que pour déplacer un corps sur une surface, il faut lui appliquer une force égale au produit de son poids par un coefficient de frottement de glissement.

$$R_g = \mu.M.g \quad (1.17)$$

Le coefficient μ dépend également de la nature des surfaces en contact

| | |
|-----------------------|------------|
| Pneu neuf sur | μ |
| Béton ordinaire (sec) | 0.7 |
| Macadam propre et sec | 0.6 |
| Asphalte sec | 0.5 à 0.75 |
| Asphalte mouillé | 0.25 à 0.4 |
| Goudron humide | 0.2 à 0.3 |
| Terrain meuble | 0.1 à 0.2 |
| Béton rugueux | 0.9 à 1 |

Table 1.1: Quelques valeurs de coefficient de friction μ

1.9 Conclusion :

Nous venons de présenter, dans ce chapitre une petite historique sur le véhicule électrique, et un aperçu sur leur actualité récente, ainsi les éléments constitue une chaîne de traction ainsi les différentes configurations et/ou architectures existant. Par la suite nous avons abordé une modélisation dynamique du véhicule électrique avec études de quelques situations affronte le déplacement du véhicule, par exemple en franchissant une pente, un obstacle, une accélération, etc.

Modélisation d'un véhicule électrique

2.1 Introduction :

Le modèle décrivant les dynamiques du véhicule est très complexe et fortement non linéaire. Il fait intervenir un grand nombre de paramètres en rapport aux variables d'entrées et de les perturbations qu'il est difficile de caractériser. En outre différents mouvements interagissant ensemble répercute négativement sur la description de la dynamique d'un véhicule par un formalisme mathématique plus fiable.

Malgré cela, pour des raisons de sécurité, les performances du système véhicule doivent être garanties. A cet effet, la phase de modélisation représente une étape importante dans l'obtention de la représentation la plus exacte du comportement du véhicule électrique.

2.2 Modélisation de véhicule électrique

2.2.1 Model dynamique

Le modèle dynamique choisi est un modèle simplifié qui ne prend pas en compte les forces de roulement et de tangage. Par conséquent le véhicule est modélisé comme une masse en mouvement soumise à la force motrice F développée par le groupe motopropulseur et à différents efforts liés à l'environnement F_R , tels que [11]:

$$F_r = F_{roul} + F_{aéro} + F_{grav} \quad (2.1)$$

La figure 2.1 suivante montre les différentes forces à lesquelles est soumis le véhicule :

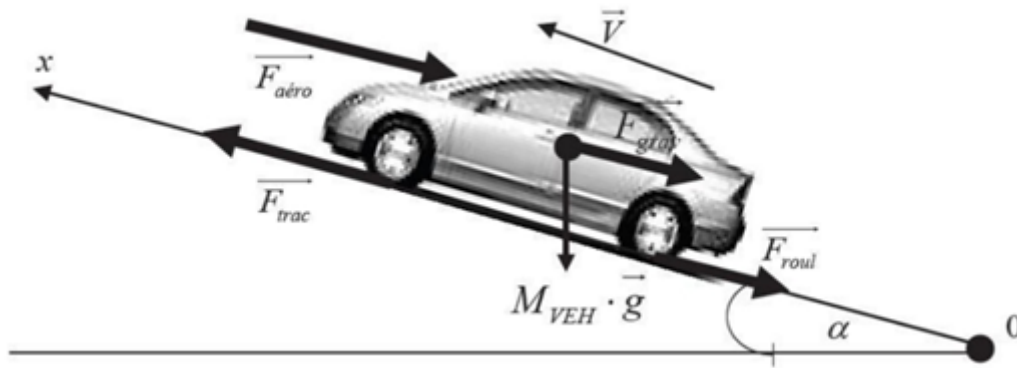


Figure 2.1: Les forces agissant sur un véhicule

Selon la deuxième loi de Newton, l'accélération du véhicule peut être écrite comme :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\sum f_t - \sum f_r}{\delta M} \quad (2.2)$$

Où V est la vitesse du véhicule, ΣF_t est l'effort de traction totale du véhicule, ΣF_r est la résistance totale, M est la masse totale du véhicule, et δ est le facteur de masse qui aide à convertir les inerties rotationnelles des éléments de rotation en translation

2.2.1.1 Résistances de véhicule:

On distingue différents types de résistance :

2.2.1.2 Résistance au roulement :

La résistance au roulement des pneus sur les surfaces dures est principalement causée par l'hystérésis dans les matériaux des pneus. En effet, la pression dans la zone de contact entre les pneumatiques et le sol est répartie symétriquement par rapport à la ligne centrale et la force résultante de réaction est montré dans la figure 2.2, où P_z , est aligné à P . La déformation, z , par rapport à la charge, P , dans le processus chargement et de déchargement est illustrée par la figure 2.3 [11]

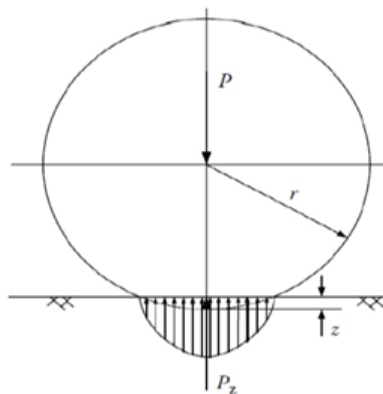


Figure 2.2: La distribution de la pression dans la zone de contact

Lorsque le pneu roule, comme le montre la figure 2.4.a, la moitié principale de la zone de contact est en chargement et la moitié arrière est en déchargement. Par conséquent, l'hystérésis cause une distribution asymétrique des forces de réaction du sol

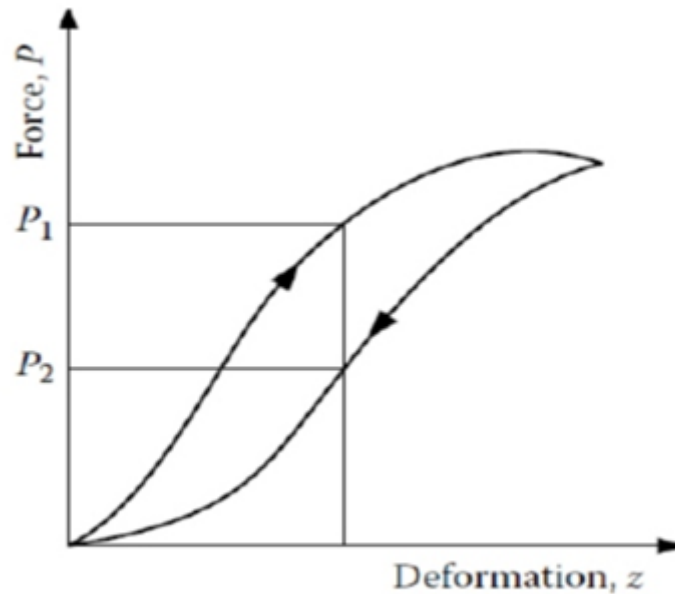


Figure 2.3: Les forces agissant sur le pneu / déformation en chargement et déchargement

La pression dans la moitié principale de la surface de contact est plus élevée qu'à l'arrière, comme le montre la figure 2.4.a. Ce phénomène résulte d'un décalage légèrement en avant de la force de réaction du sol.

Ce déplacement vers l'avant de la force de réaction du sol, avec la charge normale agissant sur le centre de la roue, crée un moment, qui s'oppose au roulement des roues. Sur les surfaces douces, la résistance au roulement est principalement due à la déformation de la surface du sol comme le montre la Figure 2.4.b.

La force de réaction du sol se décale presque complètement par rapport à la moitié principale. Le moment produit par le décalage vers l'avant de la force de réaction du sol qui en résulte est appelé moment résistant de roulement, comme le montre la figure 2.4.a, et peut être exprimé comme suite : [11]

$$T_r = P_a \quad (2.3)$$

Pour garder le roulement des roues, une force, F , agissant sur le centre de la roue est nécessaire pour équilibrer ce moment roulant résistant. Cette force est exprimée :

$$F = \frac{T_r}{R_r} = \frac{P_a}{r_d} = pf_r \quad (2.4)$$

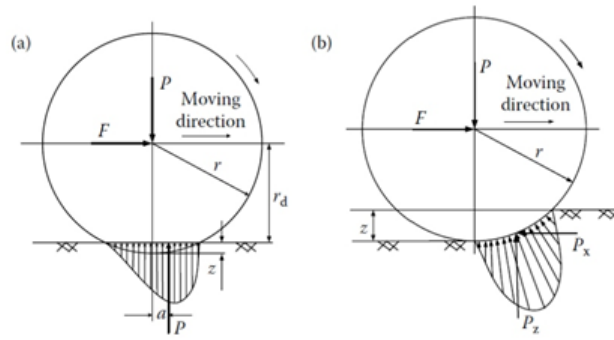


Figure 2.4: Déformation de la surface du sol.

Où r_d est le rayon efficace du pneu et $F_r = \frac{a}{r_d}P$ est appelé coefficient de résistance au roulement. De cette façon, le moment de résistance au roulement peut être remplacé par une force horizontale agissant sur le centre de la roue dans la direction du mouvement inverse de la roue. Cette force équivalente est appelée résistance au roulement de l'ordre de grandeur [11]

$$F_r = pf_r \quad (2.5)$$

Où P est la charge normale agissant sur le centre de la roue qui tourne. Quand un véhicule roule sur une route en pente, la charge normale, P , devrait être remplacée par la composante qui est perpendiculaire à la surface de la route. C'est :

$$F_r = pf_r \cos \alpha \quad (2.6)$$

Où α est l'angle de route, F_r le coefficient de résistance au roulement, varie en fonction du matériau des pneus, structure et température du pneumatique, la pression de gonflage du pneu, la géométrie de la route, les matériaux routiers, et la présence ou non de liquide sur la route. Les valeurs typiques des coefficients de résistance au roulement sur différentes routes sont indiquées dans le tableau (2.1).

Ces dernières années pour des raisons économiques du carburant, des pneus à faible résistance pour les voitures particulières ont été développés. Leur Le coefficient de résistance au roulement n'atteint pas 0,01. Les valeurs indiquées dans le tableau (1) ne tiennent pas compte de leurs variations par rapport à la vitesse.

A base des résultats expérimentaux, beaucoup de formules ont été proposé dans la littérature pour calculer la résistance de roulement sur une surface dure. Par exemple, le coefficient de résistance au roulement d'un véhicule touristique sur une route bétonnée peut être calculé à partir de l'équation suivante: [11]

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{v}{100} \right)^2 \quad (2.7)$$

| conditions | coefficient de résistance au roulement |
|---|--|
| Pneus de voiture sur un béton ou une route Goudronnée | 0,013 |
| Pneus de voiture sur une route roulée de Gravier | 0,02 |
| Route en goudron | 0,025 |
| Route non pavée | 0,05 |
| Piste | 0,1-0,35 |

Table 2.1: Coefficients de résistance au roulement

Où V est la vitesse en km/h, et f_0 et f_s dépendent de la pression de l'inflation du pneu, dans le calcul des performances du véhicule, il suffit de considérer le coefficient de résistance de roulement comme une fonction linéaire de la vitesse. Pour la plupart des valeurs de pression d'inflation, l'équation suivante peut être utilisée pour une voiture touristique :

$$f_r = 0,01 \left(\frac{v}{160} \right) \quad (2.8)$$

Cette équation prédit les valeurs de f_r avec une précision acceptable pour des vitesses allant jusqu'à 128 km/h

2.2.1.3 Trainée aérodynamique :

Un véhicule circulant à une vitesse donnée en l'air rencontre une force résistante à son mouvement. Cette force est appelée la trainée aérodynamique. Elle résulte principalement de deux composantes : Trainée de la forme et friction de la forme Trainée de la forme :

Le mouvement vers l'avant du véhicule pousse l'air devant lui. Toutefois, l'air ne peut pas se déplacer instantanément de la route, donc sa pression est augmentée, entraînant une pression élevée de l'air. En outre, l'air derrière le véhicule ne peut pas instantanément remplir l'espace laissé par son mouvement vers l'avant.

Cela crée une zone de basse pression atmosphérique. Le mouvement du véhicule, par conséquent, crée deux zones dépression qui s'opposent au mouvement en poussant (à haute pression à l'avant) et en le tirant vers l'arrière (à basse pression en arrière) La force résultante sur le véhicule est la Trainée de la forme.

Le nom « Trainée de la forme » vient du fait que cette résistance est complètement déterminée par la forme de la carrosserie du véhicule. Friction de la forme : L'air proche de la tôle du véhicule se déplace presque à la vitesse de ce dernier tandis que l'air loin du véhicule ne l'ai pas. Entre-temps, les molécules de l'air se déplacent à une large gamme de vitesses. La différence de vitesse entre les deux molécules de l'air produit un frottement qui en résulte dans la deuxième composante de la trainée aérodynamique [11]

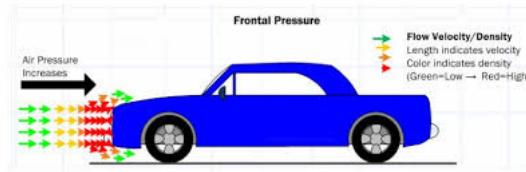


Figure 2.5: Trainée de la forme

La traînée aérodynamique est fonction de la vitesse du véhicule V , la surface frontale du véhicule, A_f la forme de la carrosserie du véhicule, et la densité de l'air ρ :

$$F_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A_f \cdot C_d \cdot (v - v_w)^2 \tag{2.9}$$

Où C_D est le coefficient de traînée aérodynamique qui caractérise la forme de la carrosserie du véhicule et V_w est la composante de la vitesse du vent sur la direction du mouvement du véhicule, qui porte un signe positif lorsque cette composante est dans la même direction du véhicule en mouvement et un signe négatif quand elle est opposée à la vitesse du véhicule. Les coefficients de traînée aérodynamique pour des formes typiques de véhicules sont donnés dans le tableau 2.2


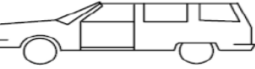
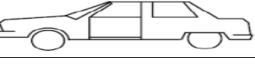
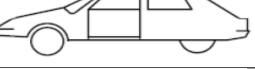



| Type du Véhicule | Coefficient de la Résistance Aérodynamique |
|---|--|
|  | 0,5.....0,70 |
|  | 0,5.....0,70 |
|  | 0,4.....0,55 |
|  | 0,3.....0,4 |
|  | 0,2.....0,25 |
|  | 0,23 |
|  | 0,15.....0,20 |

Table 2.2: Coefficients de traînée indicatif pour des différentes formes de véhicules

La résultante des forces projetées sur l'axe ox s'écrit :

$F_{trac}(t)$ force de traction du véhicule. C'est la force développée par le pneumatique sous l'action du groupe motopropulseur. C'est elle qui fait avancer le véhicule.

Les quatre autres forces sont résistantes à l'avancement du véhicule :

$F_{roul}(t)$ =force de roulement

Il s'agit de la résistance au roulement du véhicule due au contact pneus/chaussée. Ce dernier peut varier en fonction de plusieurs paramètres : vitesse du véhicule, pression des pneus, état et le type de route (sèche, humide, sableuse) prend en compte l'équation suivante :

$$F_{roul}(t) = M_{VEH} \cdot g \cdot (a + b \cdot V_{VEH}^2) \cdot \cos(\alpha) \tag{2.10}$$

Avec : a et b : des coefficients de résistance au roulement

g : l'accélération de la gravité en m/S^2

M_{veh} : la masse totale du véhicule donnée en kg

α : la pente en rad

$F_{gra}(t)$: Force de gravité quand le véhicule circule sur une route non horizontale

$$F_{gra}(t) : M_{VEH} \cdot g \cdot \sin(\alpha(t)) \quad (2.11)$$

$F_{aéro}(t)$: force aérodynamique.

C'est la force exercée par l'air selon l'axe du mouvement sur le véhicule. Elle est proportionnelle à la masse volumique de l'air ρ_{air} en 3 kg m^3 (elle dépend de la pression et de la température atmosphérique), la surface frontale du véhicule A en m^2 et au coefficient de traînée C_D du véhicule et au carré de la vitesse du véhicule V_{VEH} :

$$F_{air} = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot A \cdot C_D \cdot V_{veh}^2 \quad (2.12)$$

2.3 Mouvement longitudinal

2.3.1 Dynamique de véhicule :

Les différentes forces auxquelles le véhicule en mouvement est soumis sont représentées sur la figure 2.6 [12]

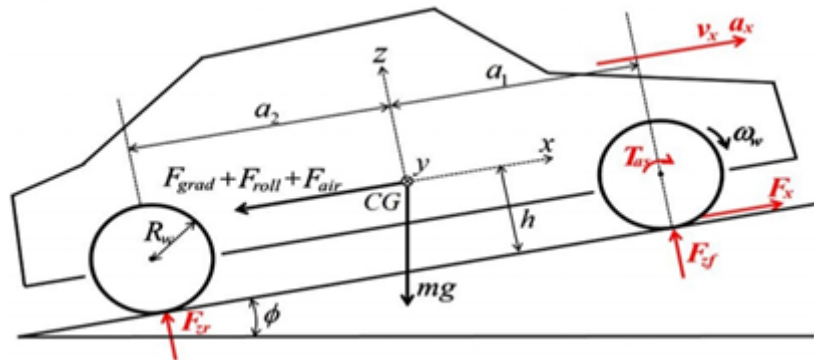


Figure 2.6: Les forces agissants sur un véhicule

Et en se basant sur la loi de Newton on déduit ceci :

$$\sum F_x = F_x - (F_{gr} + F_{roul} + F_{aéro}) = F_x - (mgsin\phi + \mu_x mg + K_{air} V_x^2) \quad (2.13)$$

2.3.2 Modelé intégré de véhicule électrique:

Les sorties dynamiques du véhicule peuvent être clairement quantifiées en fonction des quantités électriques au moyen de modèles de comportement obtenus à partir de sous-systèmes électriques et mécaniques.

En conclusion, on retrouve dans la dynamique du véhicule, les grandeurs physiques à savoir : la force de traction F_x , les forces verticales F_{zr} et F_{zf} et l'accélération A_x dans la direction de traction du véhicule, la vitesse V_x . En intégrant les modèles de comportement déterminés dans les respectives sous-systèmes mécaniques et électriques, les sorties dynamiques du véhicule décrivant des comportements de

véhicules peuvent être dérivés, en fonction des grandeurs électriques telles que les axes d,q des courants et la vitesse du rotor de MSAP ω_m . Notez que Le couple de rotation de l'arbre d'essieu Tas comme produit une force de rotation de la roue d'entraînement, qui se transforme en forces de propulsion du véhicule. Le couple de l'arbre d'essieu, qui fonctionne comme un facteur important pour la dynamique du véhicule peut être calculé de la façon suivante. [13] [14]

$$T_{as} = \left(\frac{3PG_{total.r/total}}{4} \right) \left(1 + \left(j_{as} - j_{total} \frac{G_{total}}{R_w^2 (m + \Delta m)} \right) \right) [\Psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] + \left(\frac{K_{air} R_w (j_{total} G_{total} - j_{as}) w_m^2}{G_{total}^2 (m + \Delta m)} \right) + C_{tas} \quad (2.14)$$

La force de traction du véhicule F_x est exprimé aussi avec les variables électriques comme :

$$F_x = \left(\frac{3PG_{total.r/total}}{4R_w} \right) \left(1 - \left(\frac{J_{total} G_{total}}{R_w^2 (m + \Delta m)} \right) \right) [\Psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] + \left(\frac{j_{total} K_{air}}{G_{total} (m + \Delta m)} \right) w_m^2 + C_{fz} \quad (2.15)$$

Avec :

Les forces verticales sur les roues avant et arrière, F_{zf} , F_{zr} sont :

$$F_{zf} = \left(\frac{1}{a_1 + a_2} \right) \left(-\frac{3PG_{total.r/total}}{4R_w} \right) \left(1 - \left(\frac{J_{total} G_{total}}{R_w^2 (m + \Delta m)} \right) \right) [\Psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] + \left(\frac{j_{total} K_{air}}{G_{total} (m + \Delta m)} \right) w_m^2 + C_{fzf} + hC_{fz} \quad (2.16)$$

$$F_{zr} = \left(\frac{1}{a_1 + a_2} \right) \left(\frac{3PG_{total.r/total}}{4R_w} \right) \left(1 - \left(\frac{J_{total} G_{total}}{R_w^2 (m + \Delta m)} \right) \right) [\Psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] + \left(\frac{j_{total} K_{air}}{G_{total} (m + \Delta m)} \right) w_m^2 + C_{fzr} + hC_{fz} \quad (2.17)$$

Ou

$$C_{fzr} = a_2 \cdot m \cdot g \cdot \cos \phi \quad (2.18)$$

et

$$C_{fzf} = a_1 \cdot m \cdot g \cdot \cos \phi$$

La force verticale sur les roues arrière peut être liée avec la force verticale sur les roues avant comme suit :

$$F_{zr} = F_{zf} + m \cdot g \cdot \cos \phi \quad (2.19)$$

L'accélération du véhicule A_x dans le sens de traction peut être exprimée en :

$$A_x = \frac{1}{m + \Delta m} \left[\left(\frac{3PG_{total.r/total}}{4R_w} \right) [\Psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \frac{K_{air} R_w^2}{G_{total}^2} w_m^2 - C_{ax} \right] \quad (2.20)$$

avec:

$$C_{ax} = mg (\sin\theta + \mu_x) \quad (2.21)$$

2.4 Mouvement latéral :

Le mouvement latéral, également appelé mouvement horizontal, fait référence à un mouvement qui se déplace dans une direction perpendiculaire à l'axe vertical ou à la ligne de mire. Cela signifie que le mouvement se déplace vers la gauche ou vers la droite plutôt que vers le haut ou vers le bas. (figure 2.7)

Le mouvement latéral peut être observé dans de nombreux contextes, tels que le mouvement d'un objet ou d'une personne d'un côté à l'autre, le déplacement d'une caméra d'un point de vue à un autre ou le mouvement des vagues de l'océan par rapport à la côte.

En physique, le mouvement latéral est souvent étudié en relation avec le mouvement vertical ou axial d'un objet ou d'un système.

Les mouvements latéraux peuvent également être utilisés en tant que technique dans les sports, comme dans le football, où un joueur peut effectuer un mouvement latéral pour éviter un adversaire et progresser sur le terrain.

La dynamique de manipulation du véhicule dans le plan de lacet peut être représentée par des états de vitesse latérale V_y et de lacet r : [15]

$$m (\nu_y(t) + \nu_x r(t)) = F_{yf}(t) + F_{yr}(t) \quad (2.22)$$

$$I_z r(t) = I_f F_{yf}(t) - i r \cdot F_{yr}(t) + M_z(t)$$

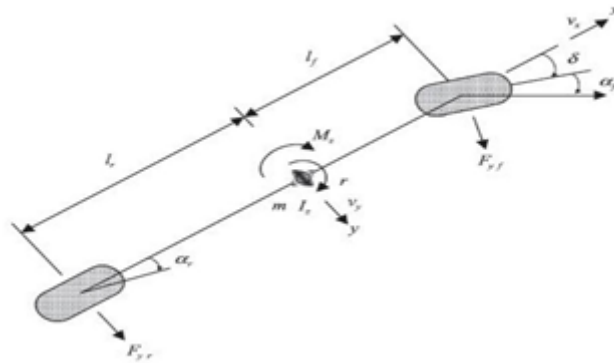


Figure 2.7: Modèle de dynamique de véhicule

Ou $M_z(t)$ est le moment de lacet externe et V_x est la vitesse d'avancement du véhicule qui est supposée constante dans une plage de manœuvre spécifiée. Lorsque l'accélération latérale est nul, les pneus du véhicule fonctionnent dans la région linéaire et les forces latérales à l'avant et l'arrière sont liées aux angles de dérapage par les raideurs des pneus avant et arrière comme suit : [16]

$$F_{yf}(t) = -C_{\alpha f} \alpha_f(t) \quad (2.23)$$

$$F_{yr}(t) = -C_{\alpha r} \alpha_r(t)$$

$C\alpha_f$ et $C\alpha_r$ sont la rigidité en virage pour les pneus avant et arriere, respectivement, et les angles de dérapage sont définis comme suit : [16]

$$\alpha_f(t) = \frac{V_y(t)}{V_x} + \frac{i_f r(t)}{V_x} - \delta(t) \quad (2.24)$$

$$\alpha_r(t) = \frac{V_y(t)}{V_x} + \frac{i_r r(t)}{V_x}$$

Substituer (40) et (41) dans (39), Eq. (39) est exprimé comme suit :

$$\nu_y = \frac{1}{m} \left(-\frac{a_1}{v_x} C\alpha_f + \frac{a_2}{v_x} C\alpha_r \right) r - \frac{1}{m} (C\alpha_f + C\alpha_r) \beta + \frac{1}{m} C\alpha_f \delta - r V_x \quad (2.25)$$

$$r = \frac{1}{i_z} \left(-\frac{a_3}{v_x} C\alpha_f + \frac{a_4}{v_x} C\alpha_r \right) r - \frac{1}{i_z} (a_1 C\alpha_f + a_2 C\alpha_r) \beta + \frac{1}{i_z} a_1 C\alpha_f \delta$$

2.4.1 Modèle dynamique et cinématique :

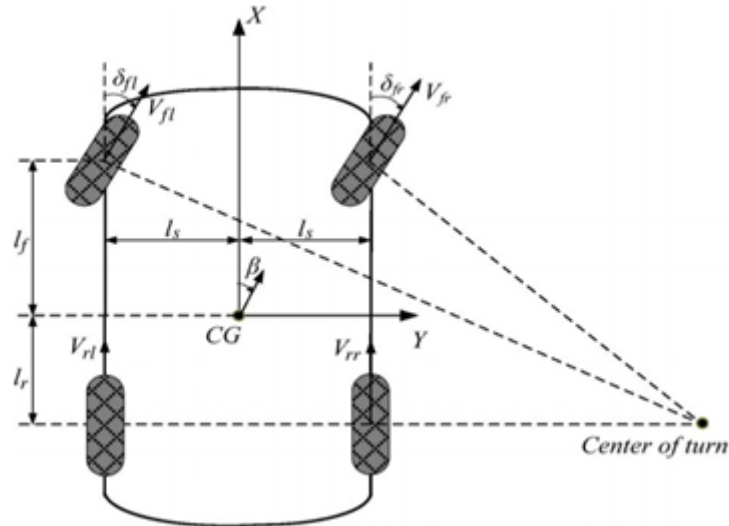


Figure 2.8: Modelé dynamique et cinématique

Comme montré dans la (figure2.8) les vitesses des quatre roues sont représentées par V_{FL} , V_{fr} , V_{rl} et le V_{rr} respectivement. Les angles de direction des roues avant sont donnés par δ_{fl} et δ_{fr} Les distances des roues avant et arriere par rapport au centre de gravité sont l_f et l_r et l_s c'est La moitié de la voie de véhicule. En se basant sur le modèle cinématique du véhicule illustré par la figure 2.8 les vitesses des quatre roues sont décrites comme suit [17] [18]

$$V_{fl} = (V_x + r l_s) \cos \delta_{fl} + (V_y + r l_f) \sin \delta_{fl}$$

$$V_{fr} = (V_x - r l_s) \cos \delta_{fr} + (V_y + r l_f) \sin \delta_{fr}$$

$$V_{rl} = V_x + r l_s$$

$$V_{rr} = V_x - r l_s \quad (2.26)$$

Ou V_x et V_y et r sont vitesse longitudinale de véhicule, vitesse latérale, et taux de lacet, respectivement. Supposée que tous les pneus ayez le même rayon de référence R_{eff} Les vitesses de rotation appropriées aux roues du véhicule sont données par ces relations [17] [18]

$$\begin{aligned}\omega_{fl} &= \frac{v_{fl}}{R_{eff}} \\ \omega_{fr} &= \frac{v_{fr}}{R_{eff}} \\ \omega_{rl} &= \frac{v_{rl}}{R_{eff}} \\ \omega_{rr} &= \frac{V_{rr}}{R_{eff}}\end{aligned}\quad (2.27)$$

2.4.2 Les différents modes de tractions:

Pour surexciter le véhicule électrique avec quatre roues- moteurs indépendantes, la conception des différentiels électriques (ED) peuvent être appliqués aux deux roues de l'avant, deux roues d'arrière, ou chacune des quatre roues puisque le véhicule électrique peut être enclenché dans la commande à roues avant motrices, la commande de roue-arrière, ou les modes tous les roues d'entraînement

2.4.2.1 Quatre-roues motrice

Lorsque le véhicule électrique est conduit par les quatre roues dans un virage, les deux roues intérieures et extérieures auront deux vitesses de rotation. Ainsi, un ED pour les deux roues avant et l'autre pour les deux roues arrière doivent être conçus Comme le montre la (figure 2.9), la configuration ED à quatre roues est composée de trois parties principales.

la première partie est une régulation de vitesse de haut niveau par un contrôleur pour maintenir une vitesse constante du véhicule pendant le virage. Notez que le régulateur de vitesse du véhicule est appliqué pour aider et comparer les trois conceptions ED, et il réalise la même vitesse du véhicule pour des conceptions différentes [18]

la deuxième partie se compose de deux ED pour les roues avant et arrière, respectivement. Les ED sont réalisés à quatre vitesses de roue par des contrôleurs de suivi. Les vitesses des roues de référence sont indiquées les relations (43) et (44).

La troisième partie est le système de détection GPS, qui donne la vitesse longitudinale du véhicule en temps réel, la vitesse latérale, et taux de lacet pour la régulation de vitesse du véhicule de haut niveau et générer les vitesses de référence des roues. Les signaux GPS pour Les simulations intégrées CarSim sont directement obtenues par Les sorties CarSim, qui représentent des signaux précis similaires mesuré par un GPS [18]

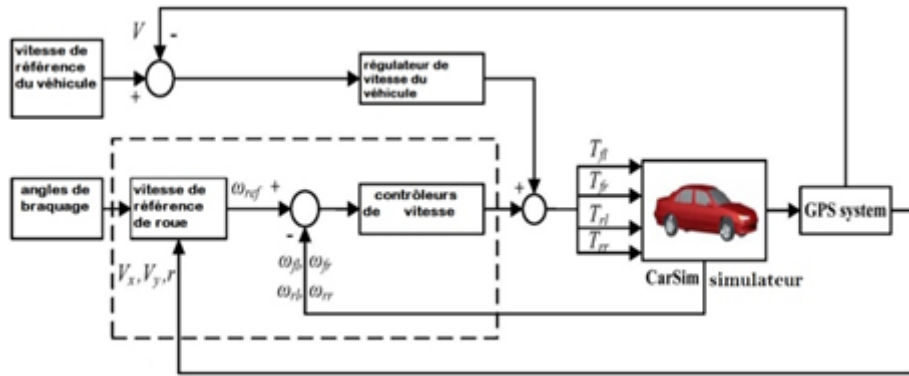


Figure 2.9: Configuration de la conception de modèle quatre roues motrices

Dans la conception ED front, la synchronisation de rotation des vitesses pour les deux roues avant est considérée comme seules les roues qui sont actionnées. En revanche, les roues arrière sont passives, ainsi sont utilisées comme estimateur pour générer les états du véhicule requis pour le design avant ED. Avant l'introduction de la configuration frontale ED, les relations données en (43) et (44) sont combinées pour déduire les relations (45) et (46) en ignorant le produit de la vitesse latérale du véhicule et de l'angle de braquage des roues avant [18] Ces expressions sont habituellement négligeables lors de manœuvres de virage normales.

$$\begin{aligned}\omega_{fl} &= \frac{\cos\delta fl}{R_{eff}}V_x + \frac{(lf\sin\delta fl + l_s\cos\delta fl)}{R_{eff}}.r \\ \omega_{fr} &= \frac{\cos\delta fr}{R_{eff}}V_x + \frac{(lf\sin\delta fr + l_s\cos\delta fr)}{R_{eff}}.r\end{aligned}\quad (2.28)$$

$$\begin{aligned}\omega_{rl} &= \frac{1}{R_{eff}}V_x + \frac{\omega}{R_{eff}}r \\ \omega_{rr} &= \frac{1}{R_{eff}}V_x - \frac{l_s}{R_{eff}}r\end{aligned}\quad (2.29)$$

Comme indiqué en (45) et (46), les vitesses de rotation des quatre roues sont représentées en fonction de la vitesse longitudinale du véhicule et taux de lacet. Lorsque les roues avant sont actionnées comme les roues motrices, la vitesse longitudinale du véhicule et le taux de lacet peuvent être représentés par les vitesses de rotation des roues arrière passives en résolvant V_x et r de (46)

$$\begin{bmatrix} V_x \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{eff}}{2} & \frac{R_{eff}}{2} \\ \frac{R_{eff}}{2l_s} & \frac{-R_{eff}}{2l_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{rl} \\ \omega_{rr} \end{bmatrix}\quad (2.30)$$

Contrairement à la configuration du DE à quatre roues montrée à la figure 2.9. l'estimateur de la roue arrière est adopté au lieu d'un GPS. En outre, le cheminement de vitesse de roue est seulement pour les deux roues avant d'entraînement. Par conséquent, le contrôleur réglementaire de vitesse à niveau élevé pour le maintien d'une vitesse constante du véhicule comme dans le cas d'ED quatre roues [18]

2.4.2.2 Roues avant motrice (ED avant) :

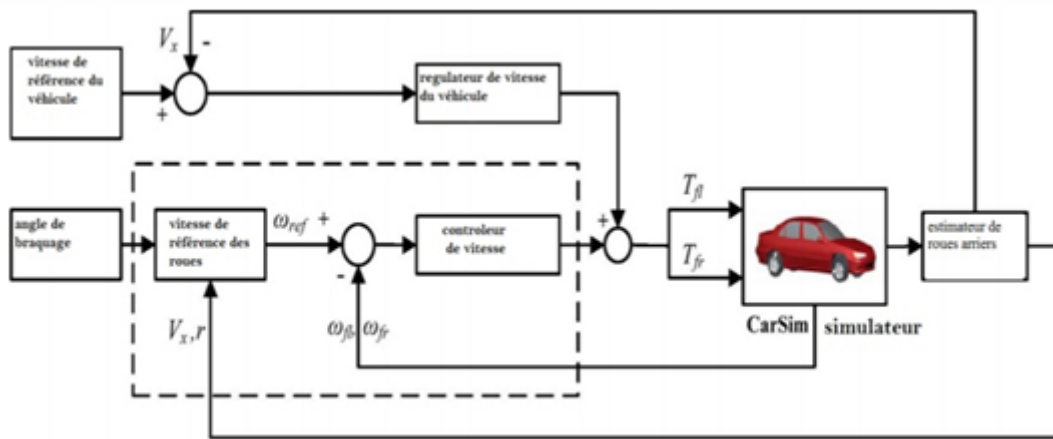


Figure 2.10: Configuration de l'ED avant

2.4.2.3 traction arriere (ED arriere):

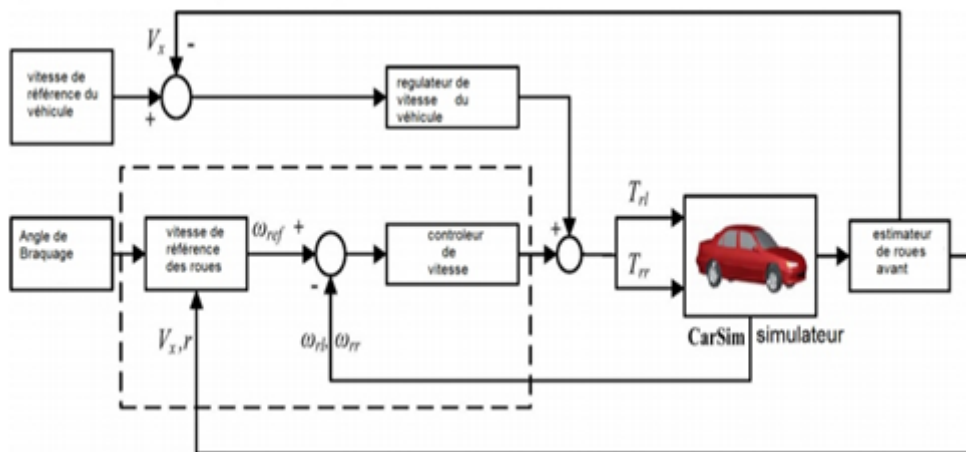


Figure 2.11: configuration de ED arriere

Comme pour la conception avant ED, la synchronisation de la vitesse de rotation pour les deux roues arriere est uniquement prise en compte dans la conception arriere ED puisque seules les roues. arriere sont actionnees. En revanche, les roues avant sont passives, et sont utilisees comme un estimateur pour generer les etats de vehicule requis pour la conception ED arriere. En supposant que les angles de braquage pour l'avant droit et les roues gauches sont les memes, a savoir $\delta_{fl} = \delta_{fr} = \delta$, la vitesse longitudinale du vehicule et le taux de lacet peuvent etre representes par les vitesses de rotation des roues avant passives en resolvant V_x et r de (46). [18]

$$\begin{bmatrix} V_x \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(l_s \cos \delta - l_f \sin \delta) R_{eff}}{2l_s (\cos \delta)^2} & \frac{(l_s \cos \delta + l_f \sin \delta) R_{eff}}{2l_s (\cos \delta)^2} \\ \frac{R_{eff}}{2l_s \cos \delta} & \frac{-R_{eff}}{2l_s \cos \delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega r l \\ \omega r r \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Différent de la configuration appropriée à ED quatre-roues et l'ED avant, représentés sur les figures 2.10 et 2.11, respectivement, l'estimateur de la roue avant est adopté à la place de l'estimateur GPS et

de la roue arrière. De plus, le suivi de la vitesse des roues ne concerne que les deux roues motrices arrière. Le contrôleur de régulation de vitesse de haut niveau pour maintenir une vitesse constante du véhicule pendant les virages comme dans le cas de ED quatre roues ou le cas d'ED avant [18].

2.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, un modèle qui régit le comportement couplé latéral et longitudinal du véhicule a été établi en appliquant les principes fondamentaux de la dynamique. Dans un premier temps, pour exprimer les efforts qui s'appliquent sur le véhicule, nous avons été amenés à décrire le modèle du pneumatique. Dans un second temps, nous avons fait une analyse des modes longitudinal et latéral. Le modèle simplifié obtenu sera utilisé pour la synthèse des lois de commandes. Pour clôturer ce chapitre, nous avons présentés les différentes modèles de traction du véhicule électrique.

Techniques de commande d'un vehicule electrique

3.1 Introduction :

Des nouvelles applications industrielles requièrent des gradateurs aux performances dynamiques élevées. Ces dernières années, on a mis au point plusieurs techniques pour permettre aux moteurs synchrones à aimants permanents d'atteindre ces performances. Cependant le contrôle vectoriel, qui permet un découplage entre les variables de commande, reste le plus utilisé en raison des performances dynamiques élevées qu'il offre pour une large gamme d'applications. Pour l'obtention de performances exigées dans un système de commande, nous avons amené à adjoindre au système à commander des organes extérieurs appelés régulateurs (PI), qui ont pour rôle de maintenir la grandeur régulée à une valeur de la consigne malgré la présence des Perturbations dans le fonctionnement en régulation ou de suivre la variation d'une consigne dans le fonctionnement en asservissement. Au moyen du choix des actions et de leurs paramètres, il est possible d'obtenir un comportement désiré en boucle fermée, caractérisant les performances du système. Alors que les techniques de commande ne cessent de se développer nous avons opté à intégrer la commande Neuro-Floue afin d'améliorer la robustesse de notre système, en raison de ses caractéristiques telles que : rapidité, l'apprentissage précis et la capacité de gestion des données. Les Réseaux Neuro-Flous apprennent des rapports et des modèles en utilisant un algorithme d'apprentissage supervisé qui examine les données à travers les couples représentés par les entrées et les sorties associées du système. Pendant la phase d'apprentissage, un Réseau Neuro-Floue modifie sa structure interne pour refléter le rapport entre les entrées et les sorties dans l'ensemble de la formation (base de connaissance). L'exactitude d'un Réseau Neuro-Flou est vérifiée après que le cycle de d'apprentissage soit complet en utilisant un ensemble séparé d'entrées et sorties appeler l'ensemble de la validation.

3.2 Généralités sur PSIM :

Il existe de nombreux logiciels de simulation électrique.(figure 3.1) Certains sont conçus tout spécialement pour des circuits électroniques de puissance. Le logiciel mis à notre disposition, PSIM, fait partie de cette dernière catégorie. Il s'agit d'un ensemble logiciel formé de trois modules liés :

- Un éditeur de schémas, SIMCAD, qui décrit le système entier à simuler.
- Le simulateur électrique proprement dit, PSIM.

- Un programme d'affichage graphique des résultats de simulation, SIMVIEW.

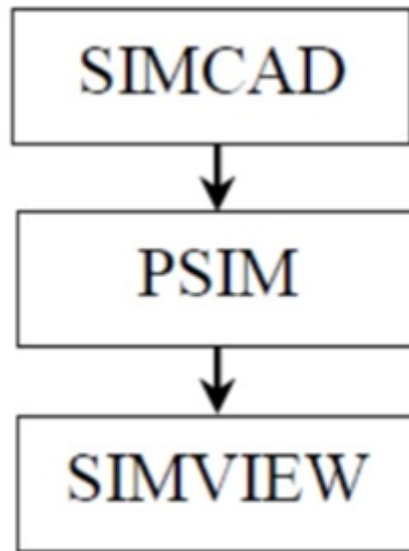


Figure 3.1: Représentation du système simulé

3.3 Architecture des modules utilisés sur PSIM :

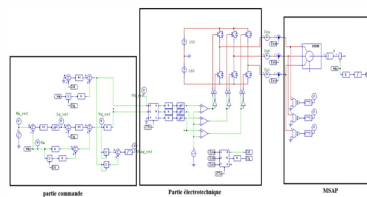


Figure 3.2: Schéma globale de moteur synchrone sous PSIM

3.3.1 Partie commande:

Pour la partie commande qui est sous la figure 3 on la reprogrammer sous Matlab afin de mieux contrôler les performances des régulateur PI (reg des courant I_d , I_q et vitesse ω_r) et la configuration de toutes les équations mathématiques et de tout le salaire

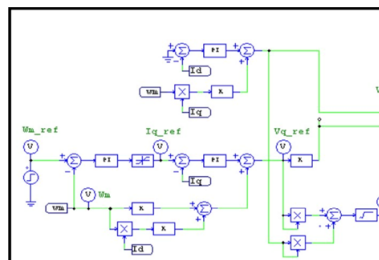


Figure 3.3: la partie commandes.

3.3.2 Partie Onduleur MLI :

La MLI consiste à moduler la largeur d'une impulsion (généralement rectangulaire) tout en maintenant une fréquence constante. La durée de l'impulsion, appelée rapport cyclique, est modifiée pour contrôler la quantité d'énergie transmise à la charge. Cette partie est composée de :

- Bloc de la transformation de PARK
- Bloc de la transformation de Concordia
- IGBT
- Inverseurs et comparateurs

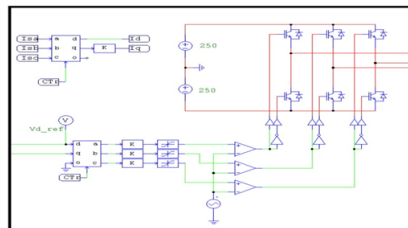


Figure 3.4: Composants de la MSAP

3.3.3 Partie moteur :

Composée par un moteur synchrone à aimant permanent et des capteurs (vitesse (ω_m) et position (θ_r)) et muni par un couple charge (r). figure 3.5

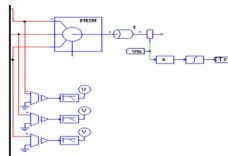


Figure 3.5: Composants de la MSAP

3.3.4 SimCoupler :

Le module SimCoupler fournit la liaison entre PSIM et Matlab / Simulink pour la co-simulation comme le montre la figure 3.6

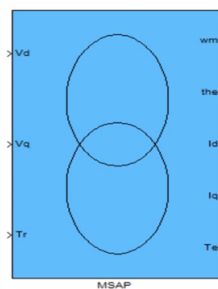


Figure 3.6: Bloc SimCoupler utilisé

Plusieurs nœuds de liaison In/Out peuvent être utilisés dans un circuit pour permuter. Valeurs entre PSIM et Simulink. Le SimCoupler utilise les nœuds SLink pour établir l'interface entre PSIM et Simulink. Les nœuds rentrant de liaison reçoivent les valeurs de Simulink et les nœuds sortant de la liaison envoient les valeurs à Simulink. Ces liaisons sont illustrées sous la figure 3.7

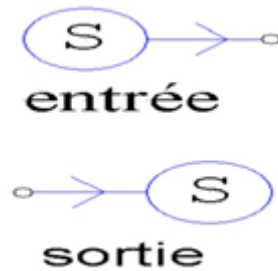


Figure 3.7: Entrée/sortie pour la liaison entre PSIM/Simulink

3.4 Commande vectorielle de la (MSAP):

3.4.1 Principe de la commande vectorielle :

Le principe de la commande vectorielle consiste à modéliser la machine électrique dans un référentiel tournant synchrone, dans lequel les grandeurs électriques sont représentées sous forme de vecteurs. En utilisant cette modélisation, on peut contrôler indépendamment la composante de flux magnétique et la composante de couple électromagnétique.

La figure (3.8) représente le schéma bloc d'une régulation de vitesse de la MSAP alimentée en tension [20]

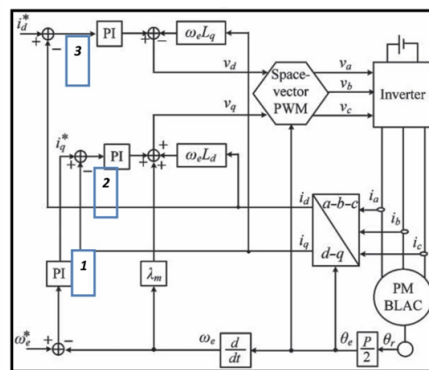


Figure 3.8: Schémas de la commande vectorielle de la MSAP alimentée en tension

Les principaux constituants dans la commande vectorielle sont la boucle de régulation de vitesse, celle des courant I_d et I_q et transformation de park et concordia.

La vitesse est régulée à travers la boucle (1) du bloc, la sortie de son régulateur est le courant de référence I_q . Il est limite de manier à tenir compte des caractéristiques de l'onduleur et de la surcharge de la machine.

Le courant I_q est comparé à la valeur I_q issue de la mesure des courants réels. L'erreur sollicite l'entrée du régulateur de référence V_q dans la boucle (2). En parallèle avec cette boucle interne, on trouve une boucle de régulation (3) de I_d . Le courant I_d référence est maintenu à zéro.

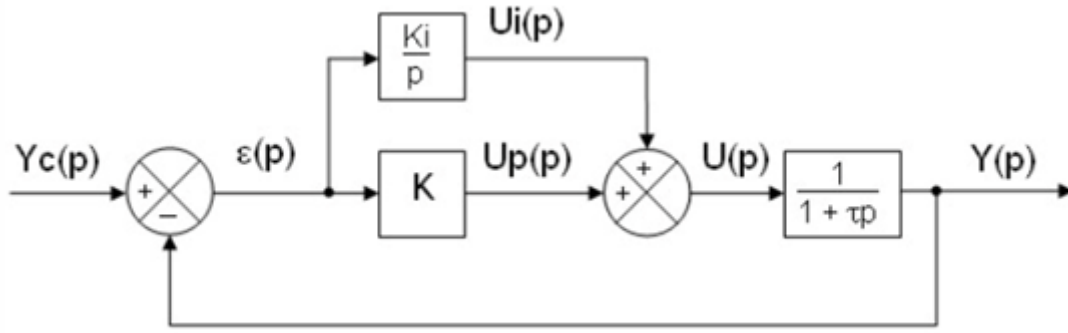


Figure 3.9: Schéma de commande utilisant la structure PI

La sortie des régulateurs de Id et Iq donnent des tensions de références V_d et V_q et par la transformer de Park, nous aurons les tensions de référence V_a, V_b, V_c qui sont les tensions de commande MLI appropriées à l'onduleur.

3.5 Synthèse des régulateur :

3.5.1 Régulateur PI :

Chaque boucle de contrôle dispose d'un régulateur proportionnel intégral classique PI, présenté sur la figure 3.9. Il comporte une action proportionnelle (K_p) qui sert à régler la rapidité avec laquelle la régulation doit avoir lieu et une action intégrale (K_i) qui sert à éliminer l'erreur statique entre la grandeur réglée et sa propre consigne [21]

Soit $G(p)$ la fonction de transfert d'un système de premier ordre donnée par :

$$G(p) = \frac{G_0}{1 + \tau_s p} \tag{3.1}$$

La fonction de transfert en boucle fermée est la suivante :

$$T_{bf}(p) = \frac{G_0 k_i \left(\frac{k_p}{k_i} S + 1 \right)}{(1 + \tau_s p) \left(S + (k_p S + k_i) \frac{G_0}{1 + \tau_s p} \right)} \tag{3.2}$$

Méthode de compensations de pôles :

La méthode de compensation de pôles est une technique de conception de systèmes de contrôle qui vise à améliorer la stabilité du système en modifiant la réponse de ses pôles. Les pôles d'un système sont les valeurs de s qui satisfont l'équation caractéristique du système, qui est généralement une équation polynomiale. Les pôles peuvent être considérés comme les points où la réponse du système devient infinie ou oscille à une fréquence spécifique. Les pôles d'un système influencent sa stabilité, sa rapidité de réponse et sa précision. [22]

$$\frac{k_p}{k_i} S + 1 = (1 + \tau_s p) \rightarrow \tau = \frac{k_p}{k_i} \tag{3.3}$$

$$FT_{bf} = \frac{G_0 k_i}{S + G_0 k_i} \rightarrow T_{bf} = \frac{1}{G_0 k_i} \tag{3.4}$$

Les paramètres du régulateur sont alors donnés par :

$$K_i = \frac{1}{G_0 T b f} \tag{3.5}$$

$$K_p = \frac{\pi}{G_0 T b f} \tag{3.6}$$

Cette méthode calcule les paramètres du régulateurs PI à partir de la spécification des pôles désirés en boucle fermée, connaissant le modèle du procédé.

3.5.1.1 Dimensionnement du correcteur PI

Le dimensionnement d'un correcteur PI (proportionnel-intégral) implique plusieurs étapes clés : Détermination de la bande passante souhaitée : La bande passante est la plage de fréquences pour lesquelles le système doit fonctionner de manière optimale. Cette étape consiste à déterminer la fréquence maximale à laquelle le système doit répondre. Calcul de la constante de temps intégrale : La constante de temps intégrale est le temps nécessaire pour que l'accumulateur intégral atteigne sa valeur finale en réponse à une erreur de régulation continue. Cette constante peut être calculée en utilisant la formule :

$$T_i = \frac{K_p}{(2p_i f_c)} \tag{3.7}$$

Où T_i est la constante de temps intégrale, K_p est le gain proportionnel et f_c est la fréquence de coupure. Calcul du gain proportionnel : Le gain proportionnel est déterminé en utilisant la formule :

$$K_p = \left(\frac{1}{K_e}\right) * \left(\frac{f_c}{Q}\right) \tag{3.8}$$

Où K_e est la constante de temps de l'élément d'erreur et Q est le facteur d'amortissement. Réglage de la constante de temps dérivée : La constante de temps dérivée est ajustée pour améliorer la réponse transitoire. Elle est généralement choisie pour être environ un dixième de la constante de temps intégrale. Validation du correcteur : Le correcteur PI doit être validé pour s'assurer qu'il répond aux exigences du système. Les méthodes de validation courantes incluent la simulation numérique, l'analyse des données expérimentales et la comparaison des résultats avec les spécifications de conception. Il convient de noter que le dimensionnement d'un correcteur PI peut varier en fonction des spécifications de conception du système. Les étapes ci-dessus sont donc fournies à titre indicatif et doivent être adaptées aux besoins spécifiques du système

3.5.1.2 Régulateur des courants

Régulateur du courant I_d :

Le courant I_d (drain current en anglais) est le courant qui circule dans le canal d'un transistor à effet de champ à drain source commun (MOSFET) lorsqu'une tension est appliquée à la grille. Le contrôle de ce courant est crucial pour de nombreuses applications électroniques, car il permet de réguler la puissance consommée par un circuit (figure 3.10)

$$I_d = \frac{V_{d1}}{R_s + s.L_d} \tag{3.9}$$

Et que la forme générale du régulateur (PI) est :

$$Reg(PI) = K_{pd} + \frac{K_{id}}{S} = K_{pd} \frac{(1 + T_{id} \cdot S)}{T \cdot S} \tag{3.10}$$

avec:

$$K_{id} = \frac{K_{pd}}{T_{id}} \tag{3.11}$$

Tel que :

- K_{pd} : est le gain de l'action proportionnelle du correcteur Id
- K_{id} : est le gain de l'action intégral.

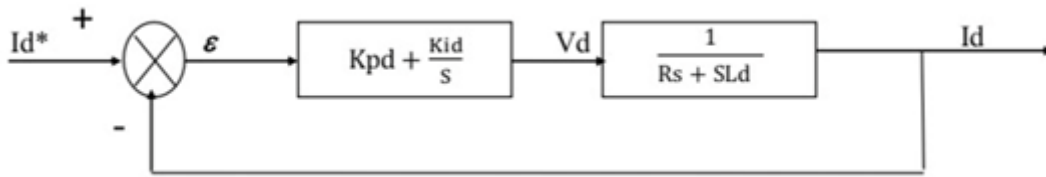


Figure 3.10: Boucle de régulation du courant Id

T_{id} : est la constante du temps d'intégration.

Le régulateur de courant I_d peut être réalisé en utilisant plusieurs techniques, telles que :

Le contrôle de la tension de seuil V_{th} : en ajustant la tension de seuil du transistor, le courant I_d peut être régulé. Cela peut être fait en utilisant des circuits de régulation de tension, tels que des régulateurs linéaires.

Le contrôle de la tension de la grille V_{gs} : en ajustant la tension de la grille du transistor, le courant I_d peut également être régulé. Cela peut être fait en utilisant des circuits de régulation de tension ou en utilisant des circuits de rétroaction de courant.

Le contrôle de la résistance de charge : en utilisant une résistance de charge variable, le courant I_d peut être régulé. Cela peut être fait en utilisant des circuits de régulation de tension ou en utilisant des circuits de rétroaction de courant.

Dans tous les cas, la régulation du courant I_d peut être réalisée en utilisant des circuits de rétroaction pour maintenir le courant constant malgré les variations des conditions de fonctionnement, telles que la température et les variations des caractéristiques du transistor

Régulateur du courant I_q :

De la même façon que le calcul de régulateur du courant I_d , on détermine le régulateur du courant I_q avec (figure 3.11)

$$T_r = 3 \frac{R_s}{K_{iq}} \rightarrow K_{iq} = 3 \frac{R_s}{T_r} \tag{3.12}$$

$$K_{pq} = \frac{L_q K_{iq}}{R_s} = \frac{3L_q}{T_r} \tag{3.13}$$

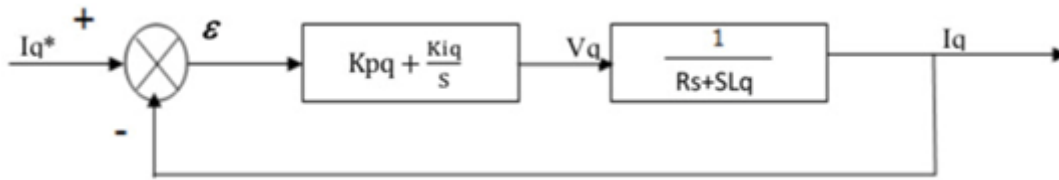


Figure 3.11: Boucle de régulation du courant Iq

3.5.1.3 Régulateur de la vitesse

Un régulateur de vitesse est un système qui maintient la vitesse d'un véhicule à une valeur constante, sans devoir maintenir une pression constante sur l'accélérateur. Le régulateur de vitesse est souvent utilisé sur les autoroutes ou les routes à grande circulation, pour éviter la fatigue du conducteur due à une conduite prolongée à vitesse constante.

Le régulateur de vitesse fonctionne en ajustant automatiquement la quantité de carburant fournie au moteur, afin de maintenir la vitesse du véhicule à un niveau prédéterminé. Il est généralement contrôlé par un levier ou un bouton sur le volant ou la colonne de direction, qui permet de régler la vitesse souhaitée.

Il est important de noter que le régulateur de vitesse ne remplace pas la vigilance du conducteur, qui doit toujours être attentif à la route et aux autres usagers. Le régulateur de vitesse doit également être désactivé dans les situations nécessitant une réduction de vitesse rapide ou une intervention d'urgence.

3.5.2 La commande Neuro-Flou (ANFIS)

La commande ANFIS est souvent utilisée dans des applications telles que la prédiction de la qualité des produits, la classification d'images, la modélisation de la consommation d'énergie et la prévision de la demande de produits. Il est également utilisé dans des domaines tels que la finance, la médecine, la robotique et l'automatisation industrielle. Ce dernier est utilisé à la place du régulateur de vitesse, conformément à la stratégie de commande présentée sur la figure 3.12

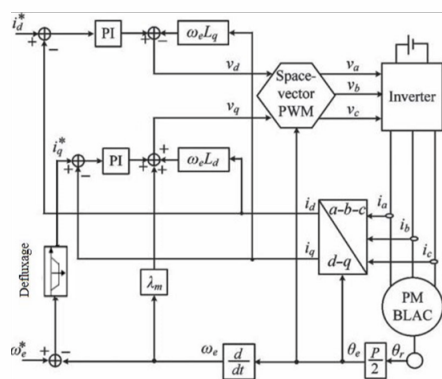


Figure 3.12: la structure de la régulation de la vitesse avec un correcteur Neuro-Floues

3.5.2.1 Modélisation d'un régulateur Neuro-Flou (ANFIS)

Nous pouvons définir cela par trois choses:

- a. La fonction d'entrée totale qui définit le prétraitement effectué sur les entrées qui est la fuzzification.

- b. La fonction d'activation (ou d'état) du réseau qui définit son état interne en fonction de son entrée totale (inference).
- c. La fonction de sortie qui calcule la sortie du réseau en fonction de son état d'activation (défuzzification).

Et ces trois éléments sont illustrés par la figure 3.13

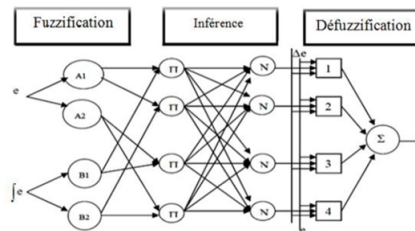


Figure 3.13: Le réseau Neuro-Flou (ANFIS)

3.5.2.2 Architecture du régulateur Neuro-Flou (ANFIS):

Le modèle ANFIS est généralement composé de cinq couches, chacune remplissant une fonction spécifique : [23]

- La première couche est la couche d'entrée, qui reçoit les variables d'entrée du système. Chaque neurone d'entrée représente une variable d'entrée et est connecté à tous les neurones de la couche suivante.
- La deuxième couche est la couche de pertinence, qui évalue l'importance de chaque variable d'entrée en assignant un degré d'appartenance à chaque neurone d'entrée. La fonction d'appartenance floue est utilisée pour déterminer le degré d'appartenance. [24]
- La troisième couche est la couche de règle, qui calcule les poids de chaque règle floue en multipliant les degrés d'appartenance des variables d'entrée correspondantes. Les règles floues définissent les relations entre les variables d'entrée et les variables de sortie du système.
- La quatrième couche est la couche de sommation, qui additionne tous les poids des règles floues pour chaque neurone de sortie. La somme pondérée est utilisée pour calculer les sorties intermédiaires du système.
- La cinquième et dernière couche est la couche de sortie, qui calcule la sortie finale du système en appliquant une fonction d'agrégation (par exemple, une moyenne pondérée) aux sorties intermédiaires.

Le modèle ANFIS est souvent entraîné à l'aide d'algorithmes d'apprentissage supervisé, tels que la rétropropagation de gradient, pour ajuster les paramètres du modèle et améliorer la précision des prévisions ou des contrôles

3.5.2.3 Les avantages du régulateur Neuro-Flou (ANFIS):

Les avantages de cette technique de commande basée sur le régulateur Neuro-flou sont :

- Exploitation de la connaissance disponible, grâce à la base de règles.

- Réduction de la taille de base des règles floues : il suffit d'avoir des règles générales, les détails seront fournis par le réseau de neurones (RN).
- Réduction de la complexité de l'apprentissage : le RN doit simplement apprendre les cas particuliers ou les exceptions, pas le problème complet.
- Efficacité immédiate dès le début de l'apprentissage et possibilité d'éviter des comportements initiaux erratiques. [25]

3.6 Conclusion :

Ce chapitre est consacré à la vue d'ensemble du logiciel utilisé dans la première partie. consacré à la modélisation du moteur synchrone à aimant permanent. Dans la deuxième partie nous avons présenté la commande vectorielle de la (MSAP) ainsi les grandeurs de la machine, à savoir le couple, la vitesse et les courants, ces derniers sont contrôlés via des correcteurs de type Proportionnel Intégral (PI) dont le dimensionnement est basé sur la méthode de compensation de pôles. Dans la troisième partie nous avons remplacé le régulateur de vitesse (PI) par un régulateur Neuro-Floue (ANFIS). Afin d'atteindre un bon état d'équilibre et de bonnes performances de la dynamique de poursuite. Dans le chapitre suivant nous allons mener une étude comparative qui va nous permettre de classer les deux contrôleurs selon leurs performances.

Partie pratique (simulation et discussion des resultats)

4.1 Introduction

Cette étude de modification des efforts du châssis d'un véhicule électrique offre des avantages pour le contrôle de la stabilité. Nous avons utilisé un véhicule électrique autonome à deux roues dans cette étude. En tenant compte de paramètres importants tels que la vitesse du véhicule, le critère de stabilité du véhicule est déterminé en fonction du niveau de couple et de l'angle de glissement latéral. Il est équipé d'un système antipatinage qui intègre son système dynamique à un design sportif. Ce niveau de contrôle améliore la stabilité et la sécurité du véhicule. Un régulateur conventionnel a été développé et formé pour appliquer le contrôle du moteur à un système d'alimentation électrique sophistiqué. La stabilité des véhicules électriques a été contrôlée par un modèle de simulation. Nous avons validé le critère de stabilité proposé et l'algorithme de contrôle du couple de roue. Le contrôle de stabilité pour les véhicules autonomes à deux roues peut être développé sur la base de recherches connexes. Nous tenons à souligner que le contrôleur peut être utilisé dans une variété de véhicules électriques modernes car il est si facile à utiliser. Un aperçu des résultats de modélisation et de simulation de ce système dans l'environnement MATLAB-Simulink sera présenté

4.2 Évolution des véhicules électriques et optimisation du contrôle de traction

L'un des sujets de recherche les plus populaires de nos jours est le besoin de véhicules verts qui émettent des gaz d'échappement avec le moins de produits chimiques dangereux possible. Ces véhicules consomment également moins de carburant. Ceci est le résultat des avancées technologiques et de la volonté de protéger l'environnement [26].

Les véhicules électriques hybrides rechargeables et les véhicules électriques à batterie sont souvent qualifiés de « verts » car ils réduisent considérablement les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, le nombre de voitures électriques pouvant être vendues aux consommateurs soucieux de leur conduite et le nombre de gaz à effet de serre émis par les centrales électriques qui chargent les batteries des véhicules électriques détermineront les réductions réelles des gaz à effet de serre.

Au mieux, 25 % des émissions de gaz à effet de serre pourraient être réduites, et moins de 67 % pourraient être exclus de l'utilisation du pétrole. Cependant, si tous les véhicules actuels étaient

remplacés par des véhicules électriques à pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène issu du gaz naturel, les émissions de gaz à effet de serre seraient réduites de 44 % et la consommation de pétrole de plus de 100 %. Des alternatives aux véhicules à combustion interne (ICV) sont recherchées en raison de la façon dont le développement du trafic et les problèmes environnementaux connexes affectent la qualité de vie des gens. L'une des options les plus exotiques est un véhicule électrique (VE) [27]. Avec la recherche et le développement de véhicules électriques sur la route, les principaux constructeurs automobiles doivent désormais construire des véhicules électriques à batterie qui soient réalisables et fonctionnent de manière appropriée ;

La principale limitation concerne la capacité de stockage de la batterie. Des variantes alternatives utilisant la technologie hybride et la pile à combustible sont en cours ou ont déjà été introduites sur le marché [28]. Les véhicules routiers à batterie ont d'autres avantages que ceux qui réduisent leur impact négatif sur l'environnement. En profitant des performances aérodynamiques supérieures et plus précises des moteurs électriques, qui leur permettent de gérer le couple généré plus efficacement que les moteurs à combustion interne, ils peuvent devenir plus attractifs [29].

La puissance primaire de ce moteur électrique peut être utilisée pour réguler la force de traction qui indique la position entre la roue et le sol. Par rapport aux véhicules conventionnels, la stabilité et la sécurité améliorées du véhicule permettent des performances plus élevées dans des environnements restreints [30]. Les systèmes de contrôle de traction et/ou antiblocage (ABS ou anti-patinage) sont des caractéristiques de certains des ICV les plus chers d'aujourd'hui. Lorsque la pédale d'accélérateur est enfoncée trop fort, des dispositifs antipatinage sont utilisés pour empêcher les roues motrices de tourner [31].

Des systèmes antiblocage sont également disponibles pour empêcher les roues de patiner lorsque les freins sont appliqués. Lorsqu'elle détecte une tendance au blocage, cette technique réduit la force de freinage, élargissant la plage de niveaux de patinage requis pour les meilleures performances du véhicule. Avec l'aide de ces dispositifs, les capacités de direction, la stabilité et les distances d'arrêt du véhicule devraient être améliorées. Ils sont chers, prennent beaucoup de place et parfois ne fonctionnent pas à la hauteur [32]

Ce système se veut plus convivial et compatible avec les véhicules électriques. La mise en œuvre d'entraînements de roue de traction sous contrôle séparé (deux ou quatre) et la capacité inhérente des moteurs électriques à contrôler le couple de sortie peuvent fournir un contrôle de traction élevé avec un coût bon marché, une réaction rapide et une mise en œuvre de conception simple. En minimisant l'énergie perdue lors du dérapage par frottement entre la roue et les conditions de la route, un contrôle de traction efficace réduira la consommation d'énergie. Cela augmentera la durée de vie des pneus [33]

L'ajout d'une carrosserie de véhicule à la conception proposée simplifie la construction mécanique du véhicule. Il est possible d'utiliser un différentiel électrique au lieu d'un différentiel mécanique lors de l'utilisation de deux deux roues motrices indépendantes [26]. Le véhicule peut maintenant se diriger et se stabiliser car le couple de chaque roue peut maintenant être contrôlé.

L'algorithme de contrôle de traction qui sera utilisé en sera responsable [34]. Ci-dessous, nous décrirons un prototype de simulation de système complet et proposerons des recommandations sur le système de contrôle de la traction.

Cela se traduit par un mouvement précis et rapide des deux roues motrices en ligne droite vers la droite, et le parcours sans patinage de la voiture sur une piste courbe est rendu possible par la différence de vitesse. L'étude offrait à la fois un contrôle PI et une analyse du système. De plus, un algorithme de contrôle de traction complet est décrit, ainsi que des simulations qui montrent à quel point il est efficace. Nous aimerions attirer l'attention sur le fait que l'algorithme suggéré peut être utilisé pour différentes marques et modèles de voitures particulières neuves et d'occasion, car il est peu coûteux et

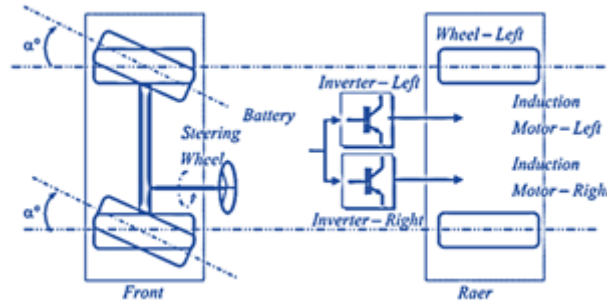


Figure 4.1: Système de propulsion de véhicule électrique à deux roues motrices indépendantes

simple à utiliser [30, 31].

4.3 Structure d'un véhicule avec deux roues avant séparées

L'objectif initial est de réduire les composants mécaniques de transmission du système et de rechercher différentes topologies de propulsion. Les avantages supplémentaires de l'adoption de systèmes de propulsion électrique correspondent à la possibilité d'imaginer des configurations alternatives à l'approche conventionnelle. Cette approche consiste en un moteur central et de nombreux systèmes de transmission mécaniques lae [28] Pour construire un véhicule électrique utilisant deux systèmes de roues avant distincts, une grande variété de topologies ont été testées.

Un système de contrôle de traction est intégré à deux moteurs asynchrones pour deux roues indépendantes, comme illustré à la figure 4.1

Le système implémenté (composé de parties électriques et mécaniques) est illustré à la figure 1 dans l'environnement Matlab-Simulink. L'énoncé succinct suivant résume le principe du système de contrôle suggéré : le couple de chaque moteur est régulé par une boucle de courant de contrôle en mode glissant, et la vitesse de chaque roue avant est gérée par un retour de différence de vitesse. Le système a été initialement modélisé à l'aide d'un modèle généralisé. Une description détaillée du fonctionnement et des caractéristiques des batteries, des convertisseurs statiques, des roues et des systèmes de transmission est fournie dans ce modèle. Une force qui s'oppose à une autre est également décrite .

4.4 Dynamique du véhicule

4.4.1 Vitesse du véhicule

La vitesse du véhicule (V_v) peut être considérée comme étant égale à ces vitesses si les vitesses du côté gauche (V_L) et du côté droit (v_R) sont égales. Cependant, les vitesses des côtés gauche et droit diffèrent chaque fois que le véhicule décrit un cercle ($V_L V_R$). Éq. (62) permet de déterminer que la vitesse du véhicule est la moyenne des deux vitesses.

$$\vec{V}_v = \frac{\vec{v}_L + \vec{v}_R}{2} \tag{4.1}$$

La masse du véhicule (M) et la puissance de résistance globale doivent être égales aux côtés droit et gauche pour calculer la vitesse des véhicules gauche et droit. Basé sur l'éq. (62), éq. (63) représente le côté droit du véhicule, où AR est l'accélération opposée

$$\vec{F}_R - \frac{\vec{F}_t}{2} = \frac{M}{2} \vec{a}_R \Rightarrow \vec{a}_R = \frac{2}{M} \left\{ \vec{F}_R - \frac{\vec{F}_t}{2} \right\} \quad (4.2)$$

$$\vec{v}_R = \int_0^t \vec{a}_R dt \quad (4.3)$$

De même du côté gauche :

$$\vec{F}_L - \frac{\vec{F}_t}{2} = \frac{M}{2} \vec{a}_L \Rightarrow \vec{a}_L = \frac{2}{M} \left\{ \vec{F}_L - \frac{\vec{F}_t}{2} \right\} \quad (4.4)$$

$$\vec{v}_L = \int_0^t \vec{a}_L dt \quad (4.5)$$

4.4.2 Dynamique d'entraînement des roues

Chaque roue motrice peut être décrite mécaniquement par le Eq.

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = C_m - C_r \quad (4.6)$$

Dans ce calcul, C_m est le couple moteur généré et m est la vitesse de rotation du véhicule. Étant donné qu'un réducteur est utilisé et a un rapport de transmission de m , le couple chargé de référence du moteur peut être calculé à l'aide de la formule (7), où R est le rayon du pneu et F_{RT} est la force de résistance

$$C_r = R \frac{F_{RT}}{m} \quad (4.7)$$

Le moment complet de l'accélération du véhicule est donné par l'équation. (8), qui a été extraite des forces représentées sur la figure 2, déterminée par la base moteur (J_m), est le produit du moment d'inertie de l'arbre, qui comprend l'inertie du moteur et des roues (J_{roue}), et la composante proportionnelle relative au poids du véhicule (J_V).

$$J_m = J_{wheel} + J_v \quad (4.8)$$

Dans Eq. (9), nous définirons le moment d'inertie de l'arbre J_V , où λ est le glissement.

$$J_v = \frac{1}{2} M \frac{R^2}{m^2} (1 - \lambda) \quad (4.9)$$

4.4.3 Force de charge totale, Ft

Quatre forces contribuent à cette force : la résistance au roulement, la force de Stokes, la traînée aérodynamique et la résistance à la montée [?]

$$F_{Rt} = F_{re} + F_{st} + F_{ad} + F_{cl} \quad (4.10)$$

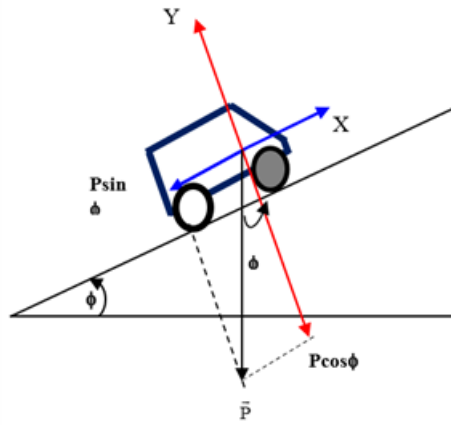


Figure 4.2: Consentement à l'activité de la force d'escalade

La résistance au roulement, F_{re} , en Eq. (72), est calculé à l'aide de la formule (11) où M est la masse du véhicule et g est la constante d'accélération gravitationnelle. La résistance à la tentative de roulis, f_r , est créée par le contact entre la route et le pneu .

La formule (11) est utilisée pour déterminer la force de frottement, ou F_{re} , dans l'équation. (72), où M est la masse du véhicule et g est la constante de gravité. Le contact du pneu avec la route produit une résistance au roulement ou f_r [31].

$$F_{re} = f_r - M.g \tag{4.11}$$

Lorsque v est la vitesse du véhicule et kA est le coefficient de Stokes, le résultat est la force de Stokes, souvent appelée frottement visqueux, ou F_{st} .

$$F_{st} = K_s v \tag{4.12}$$

La résistance de l'air au mouvement du véhicule est appelée traînée aérodynamique, et elle est calculée par (74) de cette manière .

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_x \cdot (v \pm v_v)^2 \tag{4.13}$$

Lorsque F_{cl} est respectivement positif ou négatif, la résistance à la montée ou à la descente est déterminée par (75)

$$F_{cl} = M.g \sin \varphi \tag{4.14}$$

4.4.4 Équations pour le mouvement longitudinal et latéral du véhicule

Pour étudier la dynamique du mouvement vertical et horizontal du véhicule, une variété d'énoncés et de modèles peuvent être appliqués. Le modèle illustré à la figure 3 en fait partie. Il utilise un système de coordonnées basé sur le châssis. Les caractéristiques du véhicule sont présentées dans le tableau 4.1:

Les équations différentielles du mouvement de la deuxième loi de Newton, lorsqu'elles sont appliquées au véhicule susmentionné, sont les suivantes [35]:

| variables | Importance |
|------------------------|---|
| Pour votre information | Forces agissant sur le pneu i |
| Fxi | Forces transversales du pneu i |
| un | Séparation de l'essieu avant du CG |
| B | Position CG depuis l'essieu arrière |
| 2d | Espacement des roues à droite et à gauche |
| B | L'angle de la glissière du châssis |
| Δ | L'angle de rotation de la roue libre |
| V_x | Vitesse longitudinale |
| V_Y | Vitesse latérale |
| V | Vitesse du véhicule |
| M | Le poids total du véhicule |
| CG | Point de gravité |
| θ | Angle de rotation du véhicule |
| α_{je} | Angle de patinage des roues |

Table 4.1: Les différentes variables des véhicules électriques

$$\begin{cases} F_x = M\gamma_x \\ F_y = M\gamma_y \\ M = I_z \ddot{\theta} \end{cases} \quad (4.15)$$

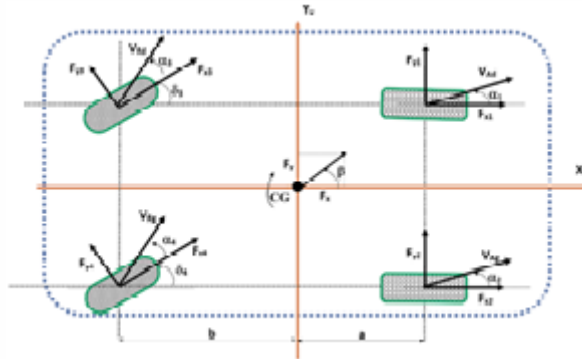


Figure 4.3: Les coordonnées et la variable du modèle de véhicules

I_z représente le moment d'inertie associé à l'axe Zy pour les accélérations latérales, et m pour la masse du véhicule. Le moment d'angle de tangage résultant des roues concernant le véhicule est M, où F_x, F_y sont les forces horizontales et verticales, consécutivement. Les effets de la force exercée par l'axe X sur le véhicule, comprenant la force de traînée mécanique et l'élément pesant causé par la pente de la route, sont les suivants [33]:

$$M \left[V_y + V_x (\dot{\theta} + \dot{\beta}) \right] = F_{x1} + F_{x2} + (F_{y3} + F_{y4}) \cos\delta_R - (R_{r3} + R_{r4}) \cos\delta_R - \frac{1}{2} \rho C_x A v^2 - M g \sin\phi \quad (4.16)$$

Comparativement, les forces se déplaçant dans la direction de Y sont les suivantes [11]:

$$M \left[V_y + V_x \left(\theta + \dot{\beta} \right) \right] = F_{y1} + F_{y2} + (F_{y3} + F_{y4}) \cos \delta_R - (R_{r3} + R_{r4}) \sin \delta_R \quad (4.17)$$

Le moment d'inertie de rotation complet autour du centre de gravité est [11] :

$$I_z \ddot{\theta} = [(F_{x1} - F_{x2}) + (R_{r3} - R_{r4}) \cos \delta_R - (F_{y3} + F_{y4}) \sin \delta_R] d - (F_{y1} + F_{y2}) a - b (F_{y3} + F_{y4}) \cos \delta_R - b (R_{r3} + R_{r4}) \sin \delta_R \quad (4.18)$$

4.4.5 La "formule magique" des pneus

Les pneus puissants et les points de contact entre le véhicule et la route sont décrits par le modèle de pneu . Des modèles de pneumatiques ont été développés grâce à des recherches et des tests approfondis. Pour les pneus non linéaires, le "modèle de pneu à formule magique" est utilisé . Des calculs sont effectués pour déterminer les forces latérales et longitudinales du pneu en utilisant:

$$F_x = D_x \sin \left(C_x \tan^{-1} (B_x \phi_x) \right) + S_{vx} \quad (4.19)$$

$$F_y = D_y \sin \left(C_y \tan^{-1} (B_y \phi_y) \right) + S_{yx} \quad (4.20)$$

ou

$$\phi_x = (1 - E_x) (\lambda + S_{hx}) + \frac{E_x}{B_x} \tan^{-1} (B_x (\alpha + S_{hx})) \quad (4.21)$$

$$\phi_y = (1 - E_y) (\lambda + S_{hy}) + \frac{E_y}{B_y} \tan^{-1} (B_y (\alpha + S_{hy})) \quad (4.22)$$

$B_x, C_x, D_x, E_x, B_y, C_y, D_y, E_y, S_{vx}$ et S_{vy} sont des constantes basées sur la force de roue donnée en éq. (80, 81, 82 et 83)

4.5 CONTRÔLE DE LA TRACTION

Nous pouvons concevoir un algorithme de contrôle de traction grâce aux capacités de par rapport aux moteurs à combustion interne, les véhicules électriques affichent un meilleur comportement d'écoulement pour gérer le couple créé.

Connaître la vitesse réelle du véhicule ainsi que la vitesse de chaque roue motrice (V_w) est important pour la mise en œuvre du contrôle de traction (V_v). Il est possible de déterminer le glissement (λ) (en particulier, les disparités de vitesse relative telles que décrites par l'équation) en utilisant ces vitesses (84).

$$\lambda = \left| \frac{v_w - v_v}{\max(v_w, v_v)} \right| \quad (4.23)$$

L'état de la route et la quantité de couple moteur produit ont tous deux un impact sur la valeur de glissement. Éq. (85), qui décrit le coefficient de traction ou de frottement, est représenté sur la figure 4.4 Dans l'équation, la force que chaque roue et pneu peut transmettre horizontalement sur les routes est désignée par le symbole F d (85)

$$\mu = \frac{F_d}{Mg} \tag{4.24}$$

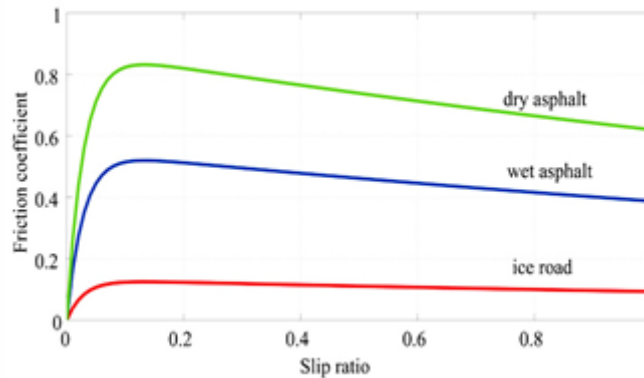


Figure 4.4: Selon le glissement, le coefficient de frottement

Le contrôle de la transmission intégrale relève de la responsabilité des contrôleurs de gestion des véhicules électriques. Il est crucial de confirmer que, lorsque le glissement est élevé, chaque conducteur de roue « verra » la masse du véhicule comme ayant une valeur plus petite, comme décrit par l’Eq. (9) [35].

Ici, augmenter le couple de sortie du moteur peut être dommageable, augmenter le glissement et réduire la force de traction appliquée à la route . Le modèle de véhicule utilisé dans l’étude et le développement de l’algorithme de contrôle de traction suggéré est illustré à la figure 4.5.

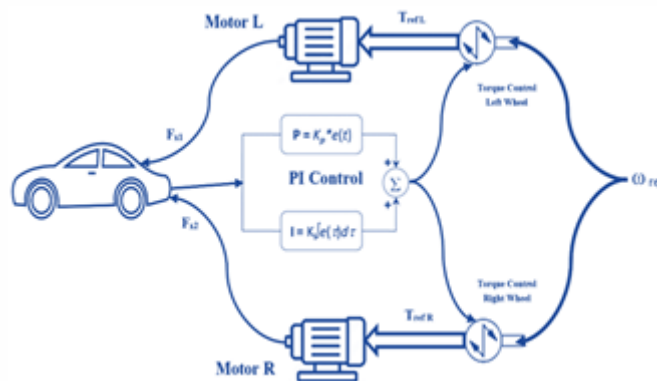


Figure 4.5: Structures de contrôle du système

L’angle de la pédale d’accélération influence le couple de commande TRef. Le retour du différentiel de vitesse relative entre les deux roues avant permet de gérer la vitesse de chaque roue avant (). Pour atteindre zéro erreur statique entre la valeur de différence mesurée ($\Delta\omega = \frac{R}{2d}(V_{wR} - V_{wL})$) et la valeur de référence pour la différence de vitesse relative ($\Delta\omega_{ref}$), un régulateur PI est conçu. Lorsqu’un écart est constaté, le contrôleur doit ajuster la référence de couple à chaque moteur à l’aide du trot de couple (T_{refR} et T_{refL})

4.6 RÉSULTATS DE LA SIMULATION

À l'aide de Matlab/Simulink, nous vérifions les conditions de couple et de vitesse des véhicules électriques sur la figure 4.6, qui montre les systèmes de traction avant et de traction arrière du prototype contrôlés indépendamment. Dans le système à traction avant, afin de générer efficacement du couple et d'améliorer la capacité de direction dans les embouteillages, un moteur synchrone à aimant permanent (PMSM) à faible vitesse est utilisé. En accouplant un engrenage différentiel au rotor du moteur, aux roues appropriées, le couple moteur est transféré Ce qui suit Figure 7 indique la vitesse du véhicule. Il peut être subdivisé en trois intervalles ou en trois micro-trajets : Les micro-chemins du groupe 1 ont une faible vitesse. Il dure environ 40 secondes. Les micro-chemins du groupe 1 représentent généralement le début ou la fin d'un trajet et nécessitent une quantité importante de conduite locale. Alors que les micro-chemins du groupe 2 se déplacent également lentement, ils le font plus rapidement que le groupe 1. De plus, il dure plus longtemps que dans le groupe 1. Dans diverses circonstances de conduite, ce micro-chemin est principalement conduit par des collectionneurs. La plus longue durée, la plus grande décélération et la vitesse moyenne la plus élevée sont toutes des caractéristiques des micro-trajets du groupe 3, qui ont également peu de temps pour le ralenti. Le micro-chemin simule le déplacement sur des routes très fréquentées, y compris les autoroutes

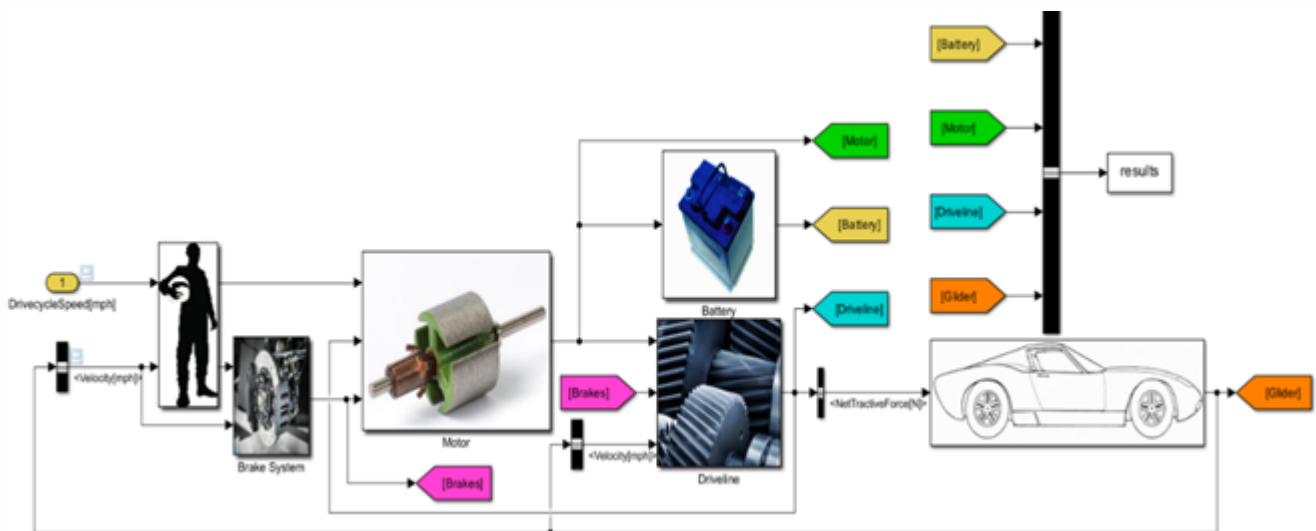


Figure 4.6: Modèle Simulink d'un système d'entraînement de roue EV proposé

4.7 Vitesse du véhicule

La figure suivante illustre la vitesse du véhicule, et elle peut être subdivisée en trois intervalles distincts ou en trois micro-chemins :

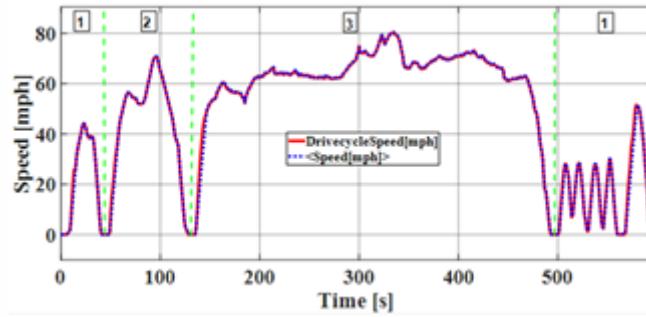


Figure 4.7: La vitesse du véhicule

Ce qui suit Figure 8 montre la forme du couple moteur pour différentes phases, telles que l'accélération, la décélération et le mode de freinage.

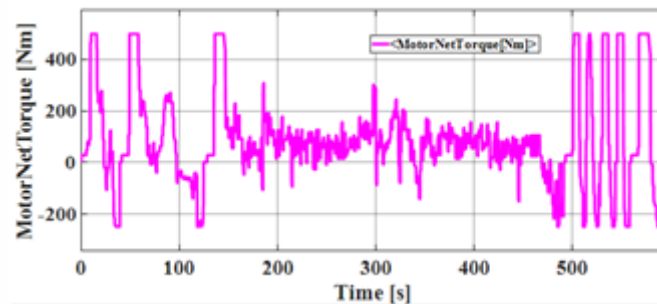


Figure 4.8: La vitesse du moteur

4.8 Caractéristique mécanique du couple

La figure suivante représente la caractéristique mécanique du couple en fonction de la vitesse du véhicule. Cette représentation graphique nous permet d'observer comment le couple moteur varie en fonction de la vitesse de déplacement du véhicule.

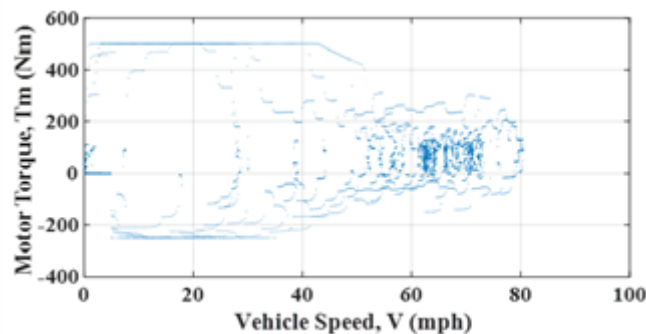


Figure 4.9: .Lecaractéristique mécanique du véhicule à moteur

Au fur et à mesure que la vitesse du véhicule augmente, la caractéristique mécanique du couple peut présenter différentes tendances. Initialement, à basse vitesse, le couple moteur est généralement plus élevé, ce qui permet de fournir une force de traction suffisante pour démarrer et accélérer le véhicule. À mesure que la vitesse du véhicule augmente, la caractéristique du couple peut commencer à diminuer progressivement. Cela peut être dû à des facteurs tels que les limitations mécaniques du moteur ou les effets de la résistance aérodynamique. Le couple moteur peut atteindre un plateau où il reste relativement constant à des vitesses de croisière. Enfin, à des vitesses très élevées, la caractéristique du couple peut diminuer davantage en raison des limitations de conception du moteur ou des contraintes de puissance électrique disponible. À ces vitesses, le moteur peut ne pas être en mesure de fournir un couple suffisant pour maintenir une accélération significative. En étudiant la caractéristique mécanique du couple en fonction de la vitesse du véhicule, nous pouvons obtenir des informations précieuses sur les performances et les capacités du moteur. Cela permet de concevoir des stratégies de contrôle adaptées pour maximiser l'efficacité et les performances du véhicule électrique dans différentes plages de vitesses.

4.9 Force de freinage

La force de freinage, illustrée dans le schéma ci-dessous, est un élément crucial à considérer. Il convient de souligner que le freinage régénératif est une caractéristique exclusive des véhicules électriques, permettant de convertir l'énergie cinétique du véhicule en énergie électrique lors des phases de décélération. Cette énergie électrique récupérée est ensuite stockée dans la batterie, contribuant ainsi à son rechargement et à une utilisation plus efficace des ressources. Cette technologie novatrice allie la réduction des pertes énergétiques associées au freinage traditionnel et la promotion d'une mobilité plus durable et respectueuse de l'environnement.

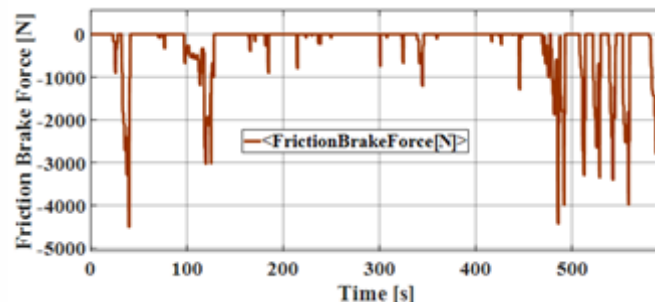


Figure 4.10: La force de freinage par friction

La figure 4.11 présente les caractéristiques électromécaniques de la batterie de puissance en fonction de la vitesse du véhicule. Cette représentation graphique nous permet d'analyser comment la batterie réagit et se comporte en termes de puissance en fonction de la vitesse de déplacement du véhicule.

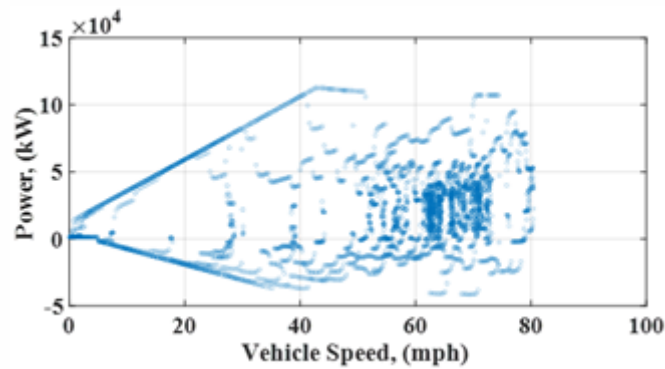


Figure 4.11: La caractéristique électromécanique entre la puissance de la batterie et la vitesse du véhicule

Lorsque le véhicule est en mouvement, la batterie de puissance est activée pour fournir la puissance de propulsion requise. La figure 11 nous permet d'observer comment la batterie réagit à différentes vitesses, en termes de décharge électrique nécessaire pour alimenter le moteur et propulser le véhicule. Parallèlement, la figure 4.12 illustre l'état de charge (SOC) de la batterie. Il est important de noter que le SOC initial doit être maintenu à un niveau d'environ 95%. Cela signifie que lorsque le véhicule démarre, le contrôleur du véhicule active la batterie pour fournir la puissance de propulsion nécessaire tout en maintenant le SOC à ce niveau optimal

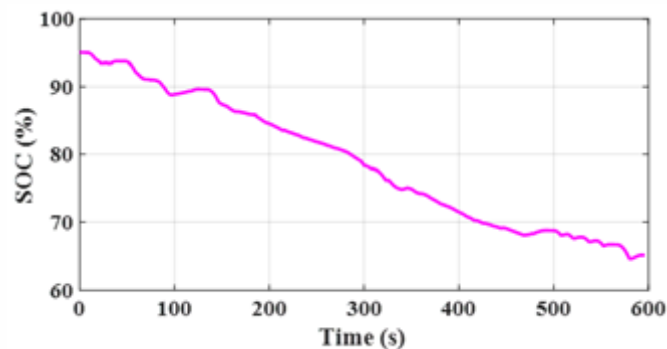


Figure 4.12: Le SOC de la batterie

En surveillant le SOC de la batterie, le contrôleur peut prendre des décisions appropriées pour maintenir une performance optimale et prolonger la durée de vie de la batterie. En maintenant un SOC initial élevé, on s'assure que la batterie dispose de suffisamment de capacité pour répondre aux demandes de puissance tout en évitant une décharge excessive qui pourrait endommager la batterie ou réduire les performances du véhicule. L'analyse des caractéristiques électromécaniques de la batterie en fonction de la vitesse du véhicule et la surveillance du SOC sont des éléments clés dans la gestion efficace de l'énergie et la maximisation de l'autonomie du véhicule électrique. Cela permet de garantir une utilisation optimale de la puissance de la batterie tout en maintenant une performance fiable et durable du véhicule.

4.10 Conclusion

Ce chapitre décrit un véhicule électrique à deux roues. Un modèle de simulation système complet est décrit ci-dessous, ainsi que des suggestions pour les systèmes de contrôle de traction. L'utilisation d'un différentiel électrique garantit que les deux roues motrices se déplacent précisément et rapidement en ligne droite vers la droite, et que la différence de vitesses assure une trajectoire sans dérapage pour le véhicule sur une piste courbe. L'analyse du système ainsi que le contrôle PI ont été présentés dans l'étude. Un algorithme complet de contrôle de la traction est également présenté, ainsi que des simulations illustrant son efficacité. Nous tenons à souligner que l'algorithme suggéré peut être mis en œuvre sur différents types de véhicules de tourisme d'occasion et nouvellement produits, car il est peu coûteux et facile à mettre en œuvre. La principale limitation reste les capacités des batteries, qui affectent la rentabilité des véhicules électriques par rapport aux technologies traditionnelles. L'association souligne également le problème de l'approvisionnement en électricité : un remplacement complet de la flotte par des véhicules électriques entraînerait une augmentation des besoins de 15 %. Cela implique également d'élargir les investissements dans les énergies renouvelables. Dans les travaux futurs, une mise en œuvre en temps réel de ce contrôle d'algorithme sur une carte Micro Autobox/dSPACE sera réalisée.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, nos recherches ont démontré l'importance de la modélisation et de la simulation pour améliorer les performances des véhicules électriques. En utilisant des outils de simulation avancés pour analyser le comportement des véhicules électriques dans différentes conditions de conduite et profils de charge, nous avons obtenu des informations précieuses sur les facteurs qui affectent leurs performances, notamment la capacité de la batterie, l'efficacité du moteur et le freinage régénératif. Nos résultats suggèrent que l'optimisation de ces facteurs peut conduire à des améliorations significatives de l'autonomie et de l'efficacité des véhicules électriques, ce qui pourrait contribuer à accélérer la transition vers un système de transport plus durable. Cependant, nos recherches mettent également en évidence le besoin de plus de données et de techniques de modélisation plus avancées pour bien comprendre le comportement complexe des véhicules électriques dans des conditions réelles. À l'avenir, nous recommandons de poursuivre les recherches dans ces domaines pour contribuer à la croissance et au développement continu du véhicule électrique.

Bibliographie

- [1] Mester, V. Conception optimale Systémique des Composants des Chaines de traction Electrique Ecole Centrale de Lille, Ecole Centrale de Lille, 2007
- [2] Benoudjit, D. Contribution a l'optimisation et à la commande d'un système de propulsion pour véhicule électrique Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences, 2010
- [3] Laguidi, A. Réalisation, Conception et Commande d'un Véhicule Electrique Mémoire Magister, Université de Béchar, 2011
- [4] Trigui, R. Motorisation asynchrone pour véhicules électriques : modélisation, optimisation et évaluation Vandoeuvre-les-Nancy, INPL, Vandoeuvre-les-Nancy, INPL, 1997
- [5] Multon, B. & Hirsinger, L. Problème de la motorisation d'un véhicule électrique Journées de la section électrotechnique du club EEA 1994, 1994, 22p
- [6] de Mostaganem, B.; Abdellah, M. Y. & Abdellah, M. C. Étude comparative entre influence des différent paramétrer physique et la performance du véhicule électrique modélisation et simulation
- [7] Pornin, M. Traction électrique automobile routière 1981
- [8] CHENNOUFI, H. Contribution à l'Etude de la Commande d'un Véhicule Electrique à deux Roues Motrices Thèse Magistère, Ecole Militaire Polytechnique, Février2005, Thèse Magistère, Ecole Militaire Polytechnique, Février2005, 2005
- [9] Chapoulie, P. Modélisation systémique pour la conception de véhicules électriques multi-sources : application aux véhicules équipés de générateurs photovoltaïques ou de supercondensateurs Toulouse, INPT, Toulouse, INPT, 1999
- [10] Belhadj, J. Commande directe en couple d'une machine asynchrone : structures d'observations : application aux systèmes multimachines-multiconvertisseurs Toulouse, INPT, Toulouse, INPT, 2001
- [11] GHARBI, H. Modélisation et Commande d'un véhicule électrique hybride Boucherit Med Sghir, Boucherit Med Sghir, 2015
- [12] Park, G.; Lee, S.; Jin, S. & Kwak, S. Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains Expert Systems with Applications, Elsevier, 2014, 41, 2595-2607

- [13] Fujii, K. & Fujimoto, H. Traction control based on slip ratio estimation without detecting vehicle speed for electric vehicle 2007 power conversion conference-Nagoya, 2007, 688-693
- [14] Yin, D. & Hori, Y. Traction control for EV based on maximum transmissible torque estimation International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Springer, 2010, 8, 1-9
- [15] Li, B.; Du, H. & Li, W. Fault-tolerant control of electric vehicles with in-wheel motors using actuator-grouping sliding mode controllers Mechanical Systems and Signal Processing, Elsevier, 2016, 72, 462-485
- [16] Reza, N. Jazar. vehicle dynamics : Theory and application.-springer science 2008
- [17] Yang, S.; Lu, Y. & Li, S. An overview on vehicle dynamics International Journal of Dynamics and Control, Springer, 2013, 1, 385-395
- [18] Wong, J. Y. Theory of ground vehicles John Wiley & Sons, 2022
- [19] Shuai, Z.; Zhang, H.; Wang, J.; Li, J. & Ouyang, M. Combined AFS and DYC control of four-wheel-independent-drive electric vehicles over CAN network with time-varying delays IEEE Transactions on vehicular technology, IEEE, 2013, 63, 591-602
- [20] Chau, K. T. Electric vehicle machines and drives : design, analysis and application John Wiley & Sons, 2015
- [21] Benderradji, H. Contribution à la Commande Robuste de la Machine à Induction Université de Batna 2, Université de Batna 2, 2013
- [22] Purwanto, E.; Soebagio, I. & Herry, I. M. Application of vector control method for developing ANFIS observer as speed sensor for induction motor speed control in electric vehicle Academic research international, 2012, 21, 22-29
- [23] Samir, B. & Rabah, C. Commande en vitesse d'un véhicule électrique Université Mouloud Mammeri, Université Mouloud Mammeri, 2018
- [24] Jang, J.-S. ANFIS : adaptive-network-based fuzzy inference system IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, IEEE, 1993, 23, 665-685
- [25] Glorennec, P. Y. Algorithmes d'apprentissage pour systèmes d'inférence floue Hermes Science Publications, 1999
- [26] Attia, M.; Bechouat, M.; Sedraoui, M. & Aoulmi, Z. An Optimal Linear Quadratic Regulator in Closed Loop with Boost Converter for Current Photovoltaic Application European Journal of Electrical Engineering, International Information and Engineering Technology Association (IIETA), 2022, 24, 97
- [27] Sorlei, I.-S.; Bizon, N.; Thounthong, P.; Varlam, M.; Carcadea, E.; Culcer, M.; Iliescu, M. & Raceanu, M. Fuel cell electric vehicles—A brief review of current topologies and energy management strategies Energies, MDPI, 2021, 14, 252
- [28] Larminie, J. & Lowry, J. Electric vehicle technology explained John Wiley & Sons, 2012

- [29] Andriaminahy, N. H. F. Estimation optimisée de l'utilisation de l'énergie sur un véhicule électrique Université du Québec à Trois-Rivières, Université du Québec à Trois-Rivières, 2021
- [30] Mohan, H.; Pathak, M. K. & Dwivedi, S. K. Sensorless control of electric drives--a technological review IETE Technical Review, Taylor & Francis, 2020, 37, 504-528
- [31] Guillemot, A. Expérimenter la vraie vie : le cas de la recharge des véhicules électriques à l'échelle de l'Union européenne Marne-la-vallée, ENPC, Marne-la-vallée, ENPC, 2022
- [32] Inal, O. B.; Charpentier, J.-F. & Deniz, C. Hybrid power and propulsion systems for ships : Current status and future challenges Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2022, 156, 111965
- [33] Attia, M.; Zaamouche, F.; Houam, A. & Daouadi, R. Stability Control Modeling and Simulation Strategy for an Electric Vehicle Using Two Separate Wheel Drives European Journal of Electrical Engineering, International Information and Engineering Technology Association (IETA), 2022, 24, 239
- [34] Houam, A.; Zaamouche, F.; Daouadi, R. & Attia, M. Efficiency Considerations of LLC Resonant Converter for Induction Heating Application European Journal of Electrical Engineering, International Information and Engineering Technology Association (IETA), 2022, 24, 257
- [35] Daouadi, R.; Zaamouche, F.; Attia, M. & Houam, A. Sensorless Field Oriented Control Applied for an Induction Machine by Using the Discontinuous PWM Strategy European Journal of Electrical Engineering, International Information and Engineering Technology Association (IETA), 2023, 25, 9