



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2019

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTROTECHNIQUE

Option: Electrotechnique Industrielle

Par

Limam Asmaa

Mebarek Kelthoum

**Contribution à la Commande vectorielle de la machine asynchrone
Appliquée au véhicule électrique série**

Soutenu le : 10.07.2019 devant le jury composé de :

Président :	Bentounes.H.A	Grade Prof	Université de Mostaganem
Examinateur :	Youness.A	Grade MCA	Université de Mostaganem
Examinateur :	Meskin.E	Grade MCA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Chaouch. A	Grade MCA	Université de Mostaganem

Remerciement

*Nous remercions **ALLAH** qui nous a aidé pour faire le présent travail.*

*Ce travail a été réalisé au sein du Département de Génie Électrique de l'Université Ibn Abdelhamid Ibn Badis est mené sous la direction de **Mr Chaouch.A** à qui j'exprime ma profonde gratitude de nous avoir proposé le thème de ce travail, et notre profonde reconnaissance pour la confiance qu'il nous a fait en nous donnant la chance de travailler avec lui.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon marie

A mes parents ;

A mes frères et mes sœurs ;

A ma famille ;

A mes amis, tout particulièrement

@Mebarek Kelthoum

Je dédie ce modeste travail

A mes parents ;

A mes frères et mes sœurs ;

A ma famille ;

A mes amis, tout particulièrement

@Limam Assmaa

Table des matières

Introduction générale	2
Chapitre I : Etat de l'art sur les véhicules hybrides	
I.1 Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3 définition d'un Véhicule hybride	5
I.4 Différentes architectures des véhicules hybrides.....	6
I.4.1 Classification par l'architecture employée.....	6
I.4.2 Classification par hybridation du véhicule	9
I.5 Mode de fonctionnements des véhicules hybride	10
I.5.1 Stop-and-Start	10
I.5.2 Mode régénération	10
I.5.3 Mode freinage récupératif.....	10
I.5.4 Mode thermique pur	11
I.5.5 Mode électrique pur.....	11
I.6 Avantages et inconvénients des véhicules hybrides	12
I.7 Conclusion.....	13
Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS	
II.1 Introduction	15
II.2 Modèle dynamique du VEH	15
II.2.1 Générateur de cycles et dynamique du véhicule (cycle)	16
II.2.2 batterie	17
II.2.3 Redresseur.....	21
II.2.4 inverseur	23
II.2.5 Unité de contrôle électronique	24
II.2.6 Contrôle orienté du flux	25
II.2.6.1 Dynamique du véhicule	26
II.2.6.2 Moteur à induction.....	27
II.2.6.3 Modélisation de la MAS dans le plan triphasé abc.....	29
II.2.6.4 Equation générales de la machine asynchrone triphasée.....	29
a. Equation électriques.....	29
b. Equation magnétiques.....	31
c. Equation mécaniques.....	32

Table des matières

II.2.6.3 Commande Vectorielle.....	33
II.2.6.3.a la commande vectorielle par orientation du flux (CV-OF).....	33
II.2.6.3.b Type de la commande vectorielle.....	35
1. Commande vectorielle direct	35
2. Commande vectorielle indirect.....	36
II.2.6.4 Régulation.....	36
1. Régulation de courant.....	37
2. Régulation de vitesse.....	38
II.2.6.5 Mode Défluxage.....	39
II.2.7 Notre Modèle de simulation.....	40
II.5 Conclusion.....	41
 Chapitre III : les résultats de simulation	
III.1 Introduction.....	43
III .2 Les diagrammes.....	43
III.3 L'interprétation.....	44
III.4. Conclusion.....	46
 Conclusion générale	 48
 Bibliographie	 50

Table des figures

Figure I.1 Architecture de véhicule électrique hybride	5
Figure I.2 Architecture série du véhicule hybride.....	6
Figure I.3 Architecture parallèle du véhicule hybride	7
Figure I.4 Architecture série-parallèle du véhicule hybride	8
Tableau I.1 Synthèse des diverses architectures.....	12
Figure II.1 Modèle générale.....	15
Figure II.2 Générateur de cycle et Dynamique du véhicule... ..	16
Figure II.3 Cycle européen complet (NEDC).....	16
Figure II.4 Sous cycle urbain	16
Figure II.5 Modèle de la batterie utilisée sur Matlab.....	17
Figure II.6 Ratio puissance spécifique/énergie spécifique des différentes formes de stockage d'énergie.....	18
Figure II.7 courbe caractéristique de décharge.....	19
Figure II.8 courbe. D'efficacité de charge /décharge de la batterie.....	20
Figure II.9 Redresseur triphasé.....	21
Figure II.10 Rectification d'une onde sinusoïdale.....	22
Figure II.11 Structure d'un redresseur.....	23
Figure II.12 Inverseur Triphasé.....	23
Figure II.13 Disposition réelle/Inverseur.....	24
Figure II.15 Les différentes forces agissant sur un véhicule.....	25
Figure II.16 Schéma du moteur à induction.....	28
Figure II.17 Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasé.....	29
Figure II.18 Orientation du flux (rotorique-statorique-d'entrefer).	33
Figure II.19 Analogie de la machine asynchrone avec le moteur à courant continu.....	35
Figure II.20 Caractéristique de la réponse des systèmes	37

Table des figures

Figure II.21 Boucle de courant après découplage	38
Figure II.22 Boucle de régulation de la vitesse à structure PI.....	38
Figure II.23 Boucle de régulation de la vitesse à structure PI.....	39
Figure II.24 Opération en mode défluxe.	39
Figure II.25 Schéma globale de simulation	40
Figure II.26 Schéma détaillée de notre modèle sur simulink / Matlab	40
Figure III.1 Courbe de courant statorique	43
Figure III.2 Courbe de vitesse rotorique	43
Figure III.3 Courbe de couple électromagnétique	44
Figure III.4 Courbe de la vitesse rotorique (zoom).....	44
Figure III.5 Courbe de couple électromagnétique (zoom)	45
Figure III.4 Courbe de la vitesse rotorique (zoom).....	45

Introduction Générale

Introduction générale

La résolution du problème de la pollution est donc l'un des défis du XXIème siècle. En outre, la réduction des ressources fossiles remet progressivement en cause l'utilisation des véhicules à propulsion thermique. Le véhicule tout électrique semble a priori ne pas être une solution fiable à court et moyen terme de part sa faible autonomie et son temps important de recharge. [1]

Ainsi, depuis peu, des nouvelles structures alternatives aux véhicules conventionnels, qui allient les avantages des propulsions thermique et électrique, sont mises en place. Ces nouveaux véhicules sont nommés véhicules hybrides.

Les véhicules hybrides, s'ils sont très intéressants dans la problématique actuelle de réduction de la consommation de carburant et des émissions de polluants, nécessitent aussi d'avoir un contrôle adapté, par rapport aux objectifs à atteindre, et aussi à leur architecture. Le contrôle d'un véhicule hybride est en effet assez différent de celui d'un véhicule traditionnel, dans le sens où, celui-ci disposant de deux sources d'énergie. Un contrôleur "haut-niveau" doit déterminer quelle est la puissance que doit fournir chacun des deux moteurs. Le contrôle d'un véhicule hybride doit donc être adapté à son architecture et à ses fonctionnalités (possibilité de récupérer de l'énergie au freinage, de couper le moteur thermique tout en utilisant le moteur électrique pour la traction, etc...).

Mais vu la complexité du système nous avons limité notre travail sur l'étude du moteur asynchrone et sa commande vectorielle. Pour cette raison, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres :

- Le premier chapitre fera un état de l'art sur les véhicules hybrides électriques ainsi que leurs différentes architectures.
- Le deuxième chapitre nous présenterons la modélisation dynamique du véhicule électrique hybride série.
- Le troisième chapitre présentera les résultats des simulations et l'interprétation des différents graphes.

On terminera par une conclusion générale et on mentionne les différentes perspectives.

Premier Chapitre

L'état de l'art sur le véhicule hybride

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

I.1 Introduction

Une automobile hybride est un véhicule faisant appel à la fois pour deux sources d'énergies distinctes pour se mouvoir c'est-à-dire qu'elle a un système de traction constitué par l'hybridation de deux sources ou plusieurs systèmes de traction simple.

Ce chapitre présente succinctement les véhicules hybrides. Les composants couramment, ainsi que leurs différentes associations qui permettent de décrire les grandes classes d'architectures existantes : série, parallèle, combinée(Mixte).

I.2 Historique

On appelle hybride tout véhicule qui, en plus de sa source d'énergie primaire (énergie chimique du carburant en général), dispose d'un stockage réversible d'énergie sous une autre forme : chimique dans des batteries, cinétique dans un volant d'inertie, électrique dans des super-condensateurs ou hydraulique dans un système hydropneumatique). Les véhicules hybrides associent une chaîne de traction basée sur un moteur thermique (essence, diesel ou gaz) et une chaîne de traction électrique. Ils se placent entre les véhicules traditionnels et les véhicules électriques.

Le premier véhicule de ce type a été présenté par Ford en 1911, et répondait au manque de puissance des moteurs thermiques de l'époque. Mais il a été rapidement abandonné suite aux fortes améliorations des moteurs à combustion interne(MCI).

Dans les années 1970-1980, on a envisagé à nouveau le développement de ces véhicules pour éliminer ou tout au moins diminuer la pollution locale en centre-ville. Ces véhicules auraient concilié les avantages des deux types de tractions : autonomie et souplesse d'utilisation du moteur thermique, fonctionnement propre et sans rejets du moteur électrique. Mais une nouvelle fois, l'amélioration des carburants et du post-traitement des moteurs thermiques. A fortement limité l'intérêt de cette architecture qui s'est, de plus, heurté à la difficulté de mise en place d'une double chaîne de traction permettant un réel fonctionnement bi-mode. [2]

Aujourd'hui, c'est une optique de pollution globale, par l'émission de gaz à effet de serre (GES), qui prime dans le renouvellement de cette technologie avec toujours la problématique de la qualité de l'air dans les villes. L'inquiétude sur les réserves de pétrole mais surtout le coût d'accès à cette ressource ayant comme marché captif le transport, grandit avec l'envolée constante des prix du baril et relance ainsi l'intérêt économique de solutions

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

fortement économes en carburant. L'objectif principal visé par le véhicule hybride est une optimisation globale des performances par une gestion optimale, d'un point de vue du rendement, des deux chaînes de traction-récupération. [3]

I.3 Définition d'un Véhicule hybride :

Dans un véhicule conventionnel, la traction du véhicule est souvent assurée par un moteur thermique à combustion interne (MCI). D'une manière générale, son rendement est relativement faible : dans les meilleures conditions d'utilisation, il n'excède généralement pas 40%, et dans des conditions usuelles (en ville par exemple), il est généralement plus bas (de l'ordre de 20%). C'est-à-dire que la majorité de l'énergie contenue dans le carburant est perdue sous forme d'une chaleur.

Un véhicule électrique hybride **VEH** met en œuvre deux sources d'énergie et dont au moins une est réversible pour assurer sa propulsion, généralement un ou plusieurs moteurs électriques sont associés à un moteur thermique. L'objectif principal est une diminution de la consommation de carburant et des émissions de polluants, une amélioration du confort de conduite, sans aucune contrainte d'autonomie. Le principe de l'architecture VEH est représenté sur la figure I.1 :

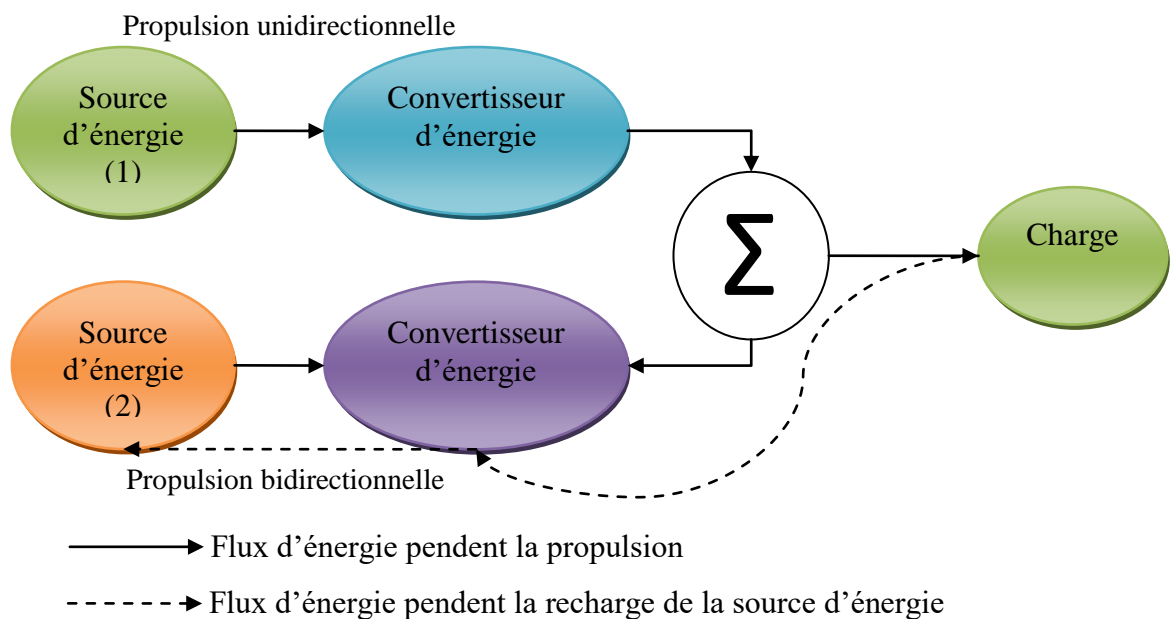


Figure I.1 : Architecture VEH

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

I.4 Différentes architectures des véhicules hybrides :

Plusieurs possibilités sont envisageables pour classer les différents types de HEV. On peut cependant les séparer en deux catégories :

- Architecture employée.
- Hybridation du véhicule.

I.4.1 Classification par l'architecture employée :

Cette classification est la plus utilisée et la plus détaillée. Elle permet de mettre en évidence les couplages mis en jeu. Le choix dans ce rapport s'est porté sur trois principales architectures : hybride série, parallèle et mixte [4].

a) Hybride série (VHS) :

Cette architecture hybride est celle dont la conception est la plus simple. Dans l'architecture série, la propulsion est intégralement assurée par un moteur électrique. Le moteur thermique est mécaniquement découplé des roues et directement lié à une génératrice à vitesse constante via une jonction mécanique qui assure la charge de la batterie. Celle-ci peut alors alimenter une machine électrique connectée aux roues. Les deux moteurs donc en série, on peut alors choisir une vitesse du moteur thermique de manière à obtenir un rendement maximum, le schéma principe d'un tel véhicule hybride est donné sur la figure I.2 [5]

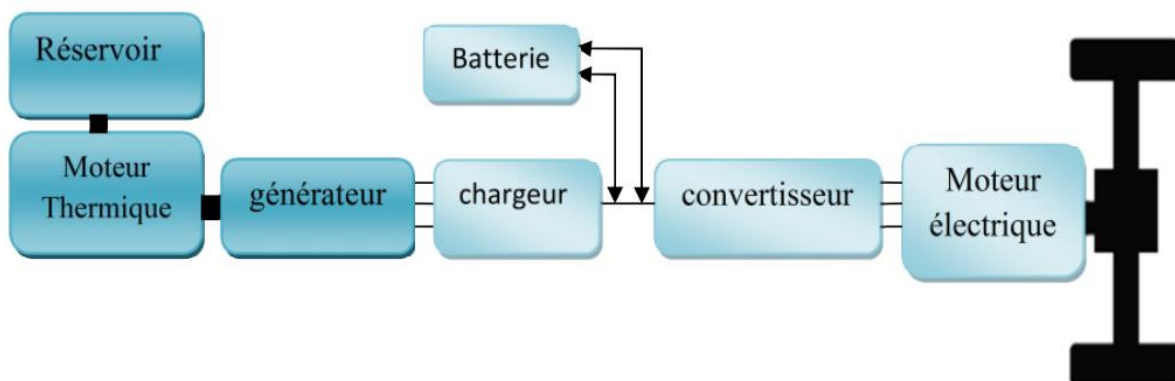


Figure I.2 : Architecture série véhicule hybride.

Les avantages du véhicule hybride série (VHS) sont :

- une autonomie et une puissance disponible comparable à celle de véhicule thermique ;

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

- une gestion globale de l'énergie présente dans le système ;
- possibilité (réduite) de mode zéro émission (aucune émission gazeuse).

L'inconvénient majeur du VHS est l'importance du système de motorisation de même pour que le véhicule hybride parallèle (VHP) avec les mêmes conséquences d'augmentation de la masse, du cout et la diminution des places disponibles.

b) Hybride Parallèle (VHP)

La première idée est de faire deux véhicule en un. En bénéficiant des avantages de chacun. Le VHP possède ainsi deux moteurs fonctionnant en parallèle (d'où le nom) : un électrique et l'autre thermique. Les deux moteurs ont utilisés séparément et on résout le problème écologique du moteur thermique en ville, en fonctionnant en mode électrique et celui de l'autonomie du véhicule électrique pour le grand déplacement hors des agglomérations en fonctionnant en mode thermique. Le point de jonction entre les différentes chaînes de traction est cette fois mécanique. Dans la configuration parallèle, les moteurs thermique et électrique sont tous les deux directement connectés à la transmission, donc aux roues. Les deux moteurs peuvent participer d'une façon parallèle au déplacement du véhicule, en transmettant chacun une puissance mécanique aux roues. Le schéma de principe d'un tel véhicule parallèle est donné sur la figure I.3 [6]

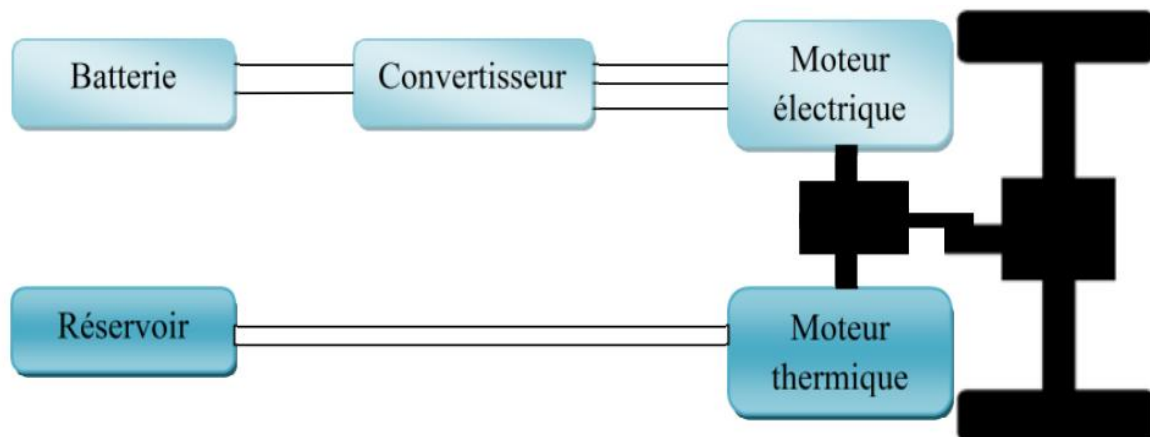


Figure I.3 : Architecture parallèle du véhicule hybride.

Les avantages du véhicule hybride parallèle (VHP) sont :

- Une autonomie et des performances comparables à celle d'un véhicule thermique ;
- Possibilité du fonctionnement en mode tous électrique et l'émission zéro du gaz.

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

Les inconvénients du VHP sont :

- L'importance du système motorisation lourd et volumineux, ce qui augmente la masse et limite la place disponible, tout en augmentant le coût du véhiculé ;
- Une utilisation peu rationnelle de l'énergie disponible avec une redondance de fonctionnement entre les deux moteurs.

c) Hybride série-parallèle :

Enfin, il existe une famille de structures alliant les avantages des hybrides séries et des véhicules hybrides parallèles. Ces hybrides, appelés mixtes ou à dérivation de puissance. Une architecture série-parallèle, combine les modes de fonctionnement des deux architectures série et parallèle. Cette dernière utilise un train planétaire et une première machine électrique qui permet d'amener le moteur sur ses meilleurs points de fonctionnement là où il fournit son meilleur rendement, une deuxième machine participe à la traction [7]. Au sein de ces structures, une partie de l'énergie délivrée par le moteur thermique est transmise mécaniquement aux roues. Parallèlement, les machines électriques prélèvent ou fournissent de l'énergie à la transmission pour satisfaire les objectifs (accélération, charge ou décharge de la batterie, consommation optimale du moteur thermique). Dans la majorité des cas il y a deux machines électriques, pouvant chacune être soit motrice soit génératrice. Cette configuration permet donc au moins quatre modes de fonctionnement ayant chacun certains avantages. Une telle architecture est décrite sur la figure I.4 :

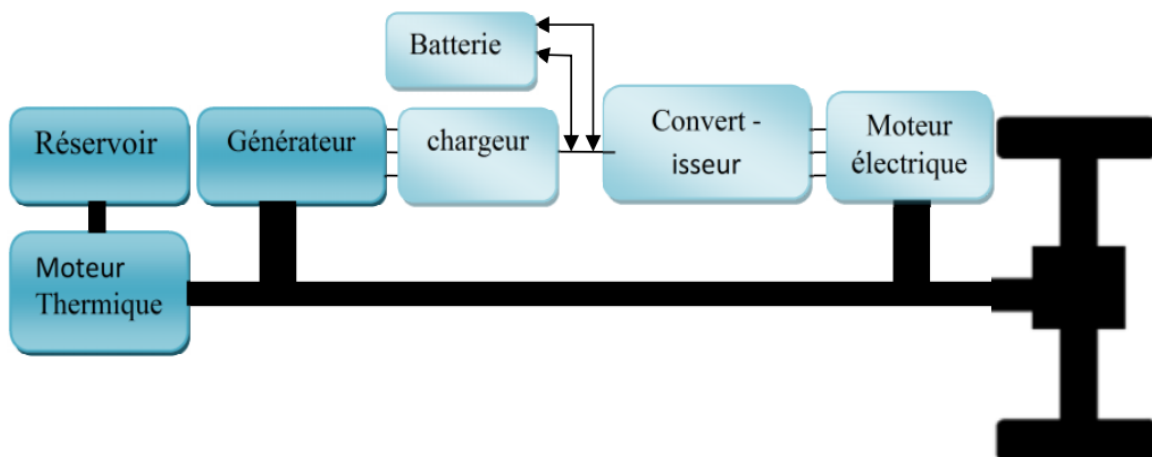


Figure I.4 : Architecture série-parallèle du véhicule hybride.

L'inconvénient de ces structures base sur le nombre des machines électriques utilisées, elles nécessitent au moins deux machines en plus du moteur thermique ce qui les rends lourds

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

et couteuses. Et elles sont généralement plus difficiles à commander en raison de leur complexité mécanique.

Cette architecture présente l'avantage d'être très performante, sans nécessiter l'utilisation d'embrayage ou de variateur de vitesse.

Les degrés de libertés disponibles pour la commande doivent permettre d'obtenir potentiellement de meilleures performances énergétiques et environnementales.

I.4.2 Classification par hybridation du véhicule :

Cette classification est surtout utilisée par les constructeurs et équipementiers. Elle ne prend pas en compte l'architecture du véhicule mais plutôt les fonctionnalités qu'elle peut réaliser en fonction de son taux d'hybridation. Cette classification se distingue par quatre niveaux : le micro hybride, le *mild hybride*, le *full hybride* et le *plug-in hybride*.

a) Hybride Micro (Start and Go) :

Connu aussi sous le nom de *light hybrid* ou *soft hybrid*, ce niveau d'hybridation s'apparente aux véhicules ayant la fonctionnalité Stop&Go.

La caractéristique principale du micro hybride est que l'ancien alternateur et démarreur du véhicule forment un seul moteur électrique appelé *alterno-démarreur*, capable de remplir les deux fonctions, celles de démarrage du moteur thermique et de chargement de la batterie. Cette configuration permet également de remplir la fonction *Stop&Go* représentant le premier niveau d'hybridation. Ainsi, les véhicules qui en sont équipés se mettent en veille dès que la vitesse tombe au-dessus de 6 km/h, à l'approche d'un feu rouge ou dans un embouteillage. Au démarrage, le moteur repart automatiquement dès que le conducteur relâche la pédale de frein. Autre avantage, même si la traction est réalisée ou le moteur électrique intervient pour aider le moteur thermique.

b) Hybride Mild :

Les *Mild* hybrides sont essentiellement des véhicules conventionnelle équipés d'une grande machine électrique (un moteur / générateur dans une configuration parallèle), qui permet au moteur thermique de s'éteindre lorsque la voiture est en situation de roulement libre, de freinage, ou à l'arrêt, mais en la redémarrent rapidement. Les *Mild* hybrides peuvent employer un freinage avec récupération d'énergie et aussi dans certain cas assister le moteur thermique, mais elle ne dispose pas de mode pur électrique. Cette configuration permet un

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

gain de consommation entre 20 % et 25 % par rapport à une voiture classique de même catégorie. Les *Mild* hybrides peuvent donner certains avantages de l'application de l'hybridation, avec un cout bas, et une moindre surcharge de poids. Néanmoins les économies de carburant seraient aussi moins qu'une Full hybride.

c) Full Hybride :

Les *Full* hybrides utilisent un moteur thermique comme première source de puissance, et le moteur électrique fournit la puissance supplémentaire si nécessaire. En outre les *Full* hybrides utilisent seulement le moteur électrique comme source de puissance lors des phases de basse-vitesse. Le mode pur électrique peut diminuer l'utilisation du carburant. Le moteur électrique peut propulser souvent le véhicule seul, particulièrement pour une conduite en ville.

Le moteur thermique peut être plus petit car le moteur électrique est de plus grande puissance et peut donc fournir un plus grand couple dans une gamme de régime donnée. Le système de commande est plus complexe afin d'optimiser la gestion de puissance.

I.5 Mode de fonctionnements des véhicules hybride :

I.5.1 Stop-and-Start :

Nommé aussi *Stop and Go* ou *Stop-Start* selon les constructeurs, ce système permet au moteur thermique d'être démarré rapidement, et sans vibration, après un arrêt de courte durée. Il consiste à couper systématiquement le moteur thermique quand aucune puissance n'est demandée.

I.5.2 Mode régénération :

Dans ce mode, le moteur électrique fournit un couple négatif, le moteur thermique fournissant alors un couple supérieur au couple de consigne (demandé par le conducteur). L'énergie provenant du moteur électrique est ensuite stockée dans les batteries, pour être réutilisée ultérieurement. Il consiste à utiliser le moteur thermique et une machine électrique pour produire de l'électricité à partir de l'énergie contenue dans le carburant.

I.5.3 Mode freinage récupératif :

Il s'agit du fonctionnement d'un moteur électrique utilisé pour fournir un couple résistant, dans le but de récupérer l'énergie cinétique du véhicule sous la forme d'une énergie électrique, qui est ensuite stockée dans les batteries.

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

Lors des phases de freinage ou de décélération du véhicule, la machine électrique fonctionne en mode générateur et récupère l'énergie cinétique de freinage.

Si le stockeur a atteint sa limite de charge maximale, le frein mécanique prend le relais pour continuer de décélérer le véhicule jusqu'à l'arrêt et l'énergie cinétique sera dissipée sous forme de chaleur dans les freins comme c'est le cas dans les véhicules conventionnels [7].

I.5.4 Mode thermique pur :

Il s'agit du mode classique durant lequel le moteur électrique n'est pas utilisé. Ce mode peut être utilisé pour des raisons de rendement (par exemple, lors d'un trajet sur autoroute, pour lequel le moteur thermique est utilisé à un bon rendement), ou bien parce que la batterie est déchargée.

I.5.5 Mode électrique pur :

Il s'agit du mode pour lequel le moteur thermique est arrêté. Dans ce mode, les conséquences directes sont l'absence de bruit, l'absence de rejet de polluants ("zéro émission"), et une consommation de carburant nulle. Les performances dynamiques de traction en tout électrique dépendent du dimensionnement de l'élément de stockage et les puissances maximales que peuvent fournir les machines électriques qui lui sont associées. En autre terme il dépend de la capacité de la batterie. Si celle-ci est faible, ce mode pourra être activé durant quelques minutes tout au plus, le moteur thermique devant alors être rallumé pour ramener la batterie à un état de charge correct.

I.6 Comparaison entre les trois architectures :

Architecture	Points forts	Points faibles
Série	<ul style="list-style-type: none">• Bon rendement énergétique en mode tout électrique en zone urbaine• Gestion relativement facile• Très bon contrôle du moteur thermique	<ul style="list-style-type: none">• Faible rendement énergétique de la chaîne globale en zone extra-urbaine• Utilisation de trois machines dont une (au moins) de forte puissance• Mode tout thermique impossible
Parallèle	<ul style="list-style-type: none">• Bon rendement énergétique• Modes tout électrique et tout thermique possibles• Utilisation d'une machine électrique de puissance plus	<ul style="list-style-type: none">• Gestion délicate• Fonctionnement du moteur thermique pas toujours optimal• Couplage mécanique et implantation des composants

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

	faible que pour l'architecture série	complexes
Combinée	<ul style="list-style-type: none">• Bon rendement énergétique• Tous les modes sont possibles (thermique, électrique, série, parallèle ou série-parallèle)• Très bonne réparation de l'énergie	<ul style="list-style-type: none">• Gestion très délicate• Couplage mécanique et implantation des composants très complexes• Utilisation de trois machines• Cout élevé

Tableau I.1 : Synthèse des diverses architectures

I.7 Avantages et inconvénients des véhicules hybrides :

Les systèmes hybrides font de plus en plus parler d'eux, en effet ils se répandent petit à petit sur le marché commercial. Nous trouvons certes de nombreux avantages, mais quelques points restent tout de même à améliorer.

- Les avantages sont divers. On trouve le point le plus important, qui est l'économie de carburant, ce qui nous mène aux faibles émissions en ce qui concerne la pollution, mais on trouve aussi comme point positif une conduite agréable et performante.
- Les systèmes hybrides jouent un rôle primordial dans cette perspective. En effet, cette technologie combine intelligemment les moteurs électrique et thermique. On a alors une consommation de carburant faible. Prenons un exemple : une voiture hybride X aurait la puissance d'un calibre supérieur tout en consommant comme une cylindrée de taille inférieure. Le conducteur peut aussi gérer sa propre consommation grâce à la combinaison des moteurs (conduite basse vitesse usage du moteur électrique, donc pas de pollution).
- Les hybrides appartiennent à la catégorie la plus basse des machines polluantes. On a donc affaire à un système propre, qui pourrait résoudre de nombreux problèmes comme la pollution.
- La conduite est agréable avec une accélération linéaire et puissante. On assiste aussi à une réduction du bruit, qui en fait des voitures quasi silencieuses. Il ne faut pas non plus oublier la souplesse au démarrage grâce à l'utilisation du moteur électrique.
- Le point majeur des inconvénients, ou plutôt point à améliorer, est le prix d'un véhicule hybride ! Celui-ci reste bien élevé comparé aux automobiles "classiques". Cependant on pourrait assimiler cette dépense à un effort financier qui sera compensé par l'économie en consommation de carburant.

Chapitre I : L'état de l'art sur le véhicule hybride

L'utilisation de pièces supplémentaires, comme la batterie hybride, en font une voiture plus lourde. Hors ville, le moteur électrique est peu ou pas utilisé.

- Enfin, le bruit quasi-silencieux, émis par un véhicule hybride, peut s'avérer dangereux pour les piétons qui n'entendraient pas le véhicule arriver.

I.7 Conclusion :

Une fois l'architecture sélectionnée, le choix des technologies et le dimensionnement des composants sont essentiels car ils déterminent non seulement les performances dynamiques du véhicule, mais aussi la consommation moyenne du véhicule et ses émissions de polluants, généralement, ces choix sont des compromis entre performances dynamiques, consommation et émissions, et bien sur, coût de fabrication .

Cependant, tous ces choix ne peuvent être effectués uniquement au regard de critères purement techniques. Les attentes des consommateurs, les différentes utilisations possibles du véhicule hybride sont également des facteurs à prendre en compte dans la problématique générale des véhicules hybrides. Le moteur a un fonctionnement meilleur que dans le cas d'un véhicule conventionnel. Principalement à cause de deux raisons :

- La minimisation de la masse et l'occasion de fonctionnement du moteur électrique pendant la conduite urbaine, où l'économie de carburant du MCI (moteur à combustion interne) est d'habitude très basse.
- Le deuxième avantage important concerne le freinage régénérateur. Par un tel processus, le moteur/générateur électrique fournit le moment de torsion négatif exigé pour ralentir le véhicule, tant dans la structure série que dans la structure parallèle. Donc, l'énergie cinétique du véhicule, qui est généralement perdue sous forme de chaleur dans les véhicules conventionnels, peut être récupérée et reconstituée dans la batterie.

Le deuxième chapitre sera consacré au choix des composants qui vont participer à la propulsion d'un véhicule hybride série.

Deuxième Chapitre

Modélisation du véhicule EHS

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

II.1 Introduction :

Dans notre mémoire nous étudierons la configuration VEH série, vue la complexité du système à étudier (figure II.1), donc ce chapitre nous avons concentré sur l'étude du moteur électrique et en particulier le moteur à induction et sa commande.

II.2 Modèle dynamique du VEH :

La figure II.1 présente le modèle global du véhicule électrique hybride, il est constitué par des éléments suivants :

- Générateur de cycles et dynamique du véhicule (cycle)
- Batterie
- Redresseur
- Inverseur triphasé
- Unité de contrôle électronique (UCE)
- Contrôle Orienté du Flux (COF) de la machine à induction

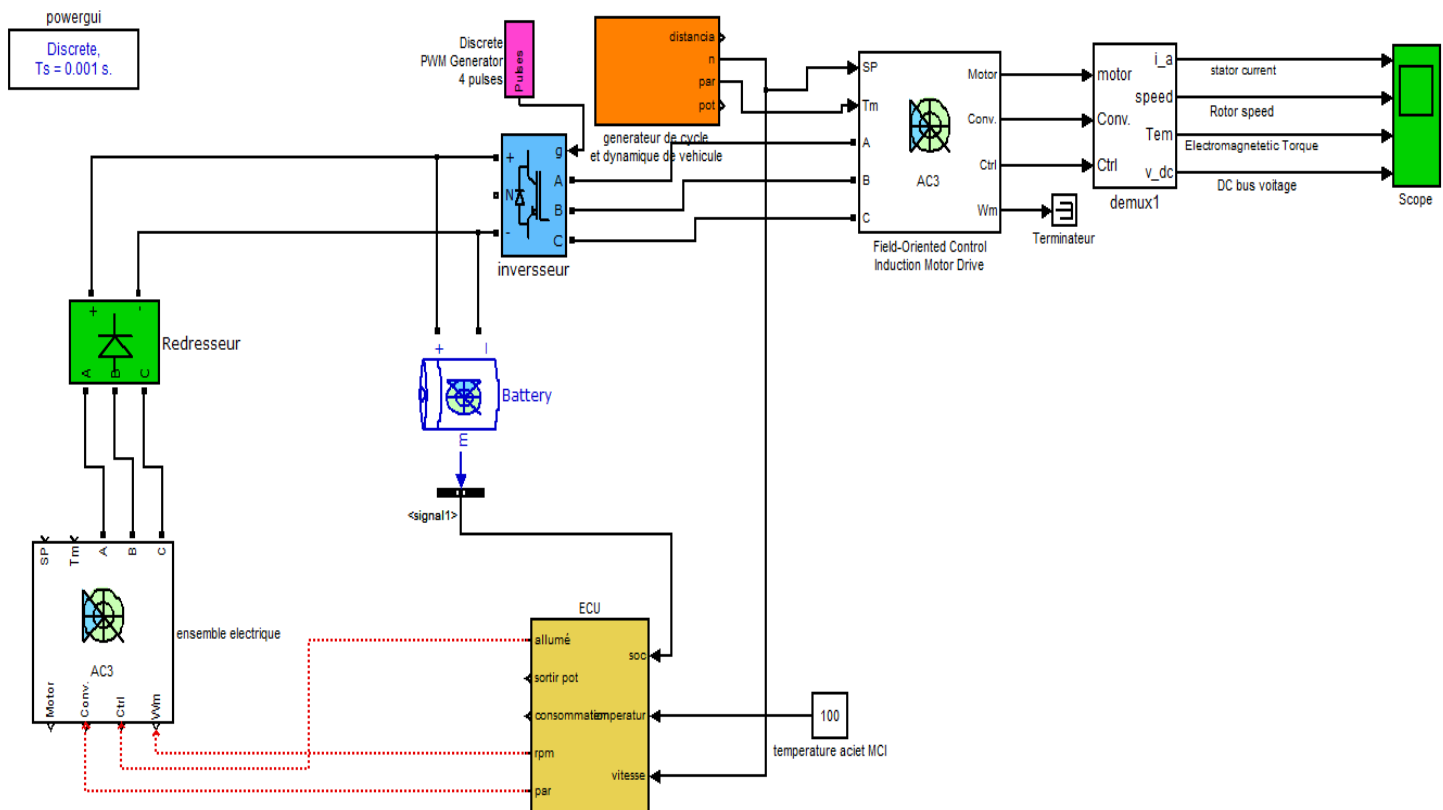


Figure II.1 :Modèle général

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

II.2.1 Générateur de cycles et dynamique du véhicule (cycle) :

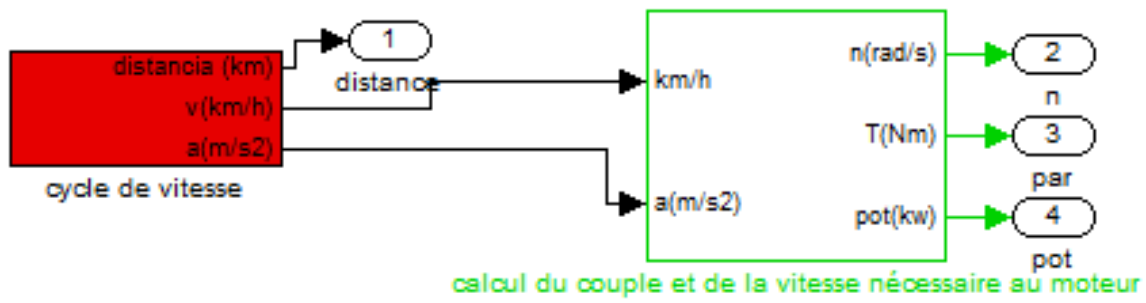


Figure II-2 : Générateur de cycle et dynamique du véhicule

Le générateur de cycle est la variation de la vitesse en fonction du temps pour différents régimes de fonctionnement, Il décrit la dynamique de la voiture.

Nous citons deux types de cycles normalisé NEDC (figure II-2) et Urbin (figure II-2)

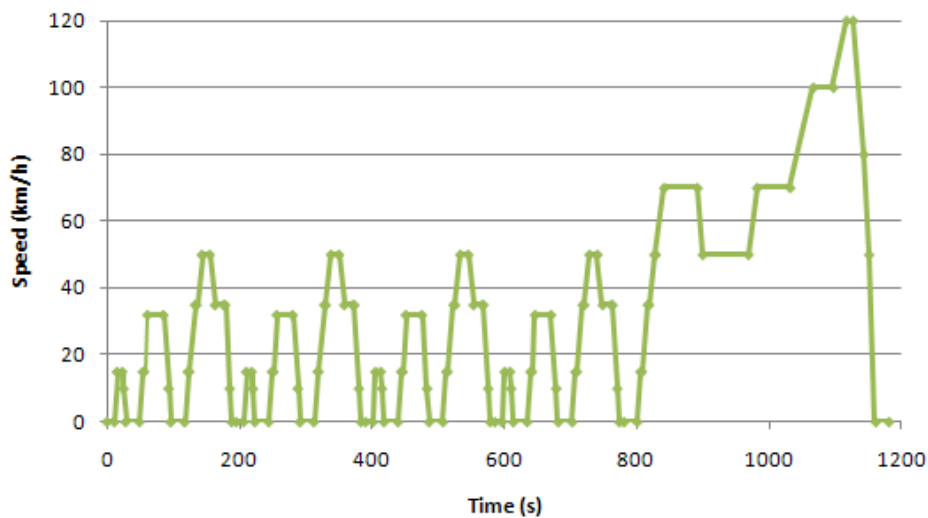


Figure II-3 : Cycle européen complet (NEDC).

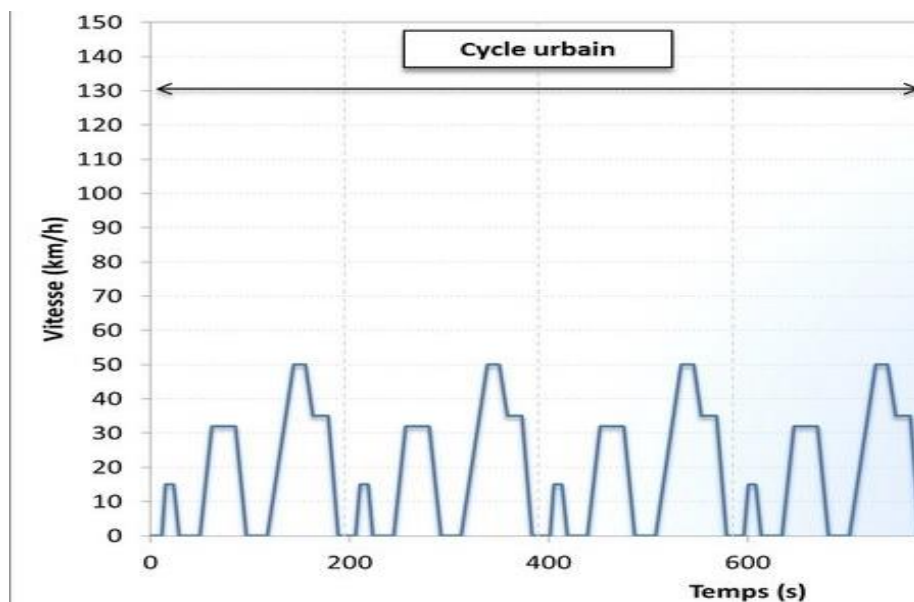


Figure II-4 : Sous-cycle urbain.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

A partir du cycle, nous pouvons déduire l'accélération du véhicule et par la suite l'introduire dans les équations dynamiques du véhicule (II-4).

II.2.2 batterie :

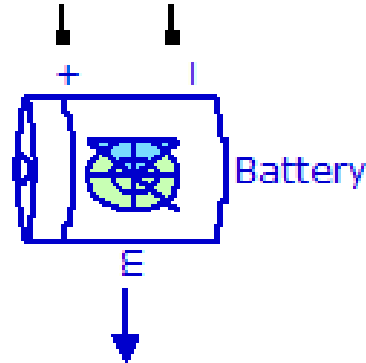


Figure II.5 : Modèle de batterie utilisé sur Matlab

Une batterie destinée à être utilisée dans des véhicules hybrides ou électriques doit avoir une capacité en ampères-heures élevée, ainsi qu'une puissance spécifique élevée (W/Kg), une énergie spécifique (Wh/Kg) et une densité d'énergie (Wh/m³).

Pour satisfaire à tout cela, la batterie sélectionnée est le lithium-ion, qui est actuellement la technologie la plus efficace pour répondre à ces exigences sans engendrer des coûts disproportionnés. Cette technologie a été largement développée dans le secteur des ordinateurs portables et des téléphones portables. Actuellement, la grande majorité des véhicules lancés utilisent ce type de batterie.

En plus de ceux déjà mentionnés, les batteries lithium-ion présentent les avantages suivants [22]:

- Longue vie
- Haute efficacité
- Lorsque vous utilisez vos cellules à une tension supérieure, le nombre de cellules pour une application donnée est inférieur.
- Grande flexibilité de configuration.
- Il n'y a pratiquement pas d'effet mémoire (du moins avec les stratégies de chargement-téléchargement utilisées dans notre modèle)
- Peu d'autodécharge en l'absence d'utilisation.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

En bref, ces batteries ont un bon équilibre entre l'énergie qu'elles peuvent fournir et l'énergie qu'elles stockent, et sont moins affectées par des stratégies de contrôle plus agressives, le coût important restant un obstacle à leur mise en œuvre.

La figure II.6, Par rapport puissance spécifique / énergie spécifique des différentes formes de stockage d'énergie, des graphiques comparatifs sont présentés entre les différentes technologies actuelles de stockage d'énergie utilisées dans les véhicules.

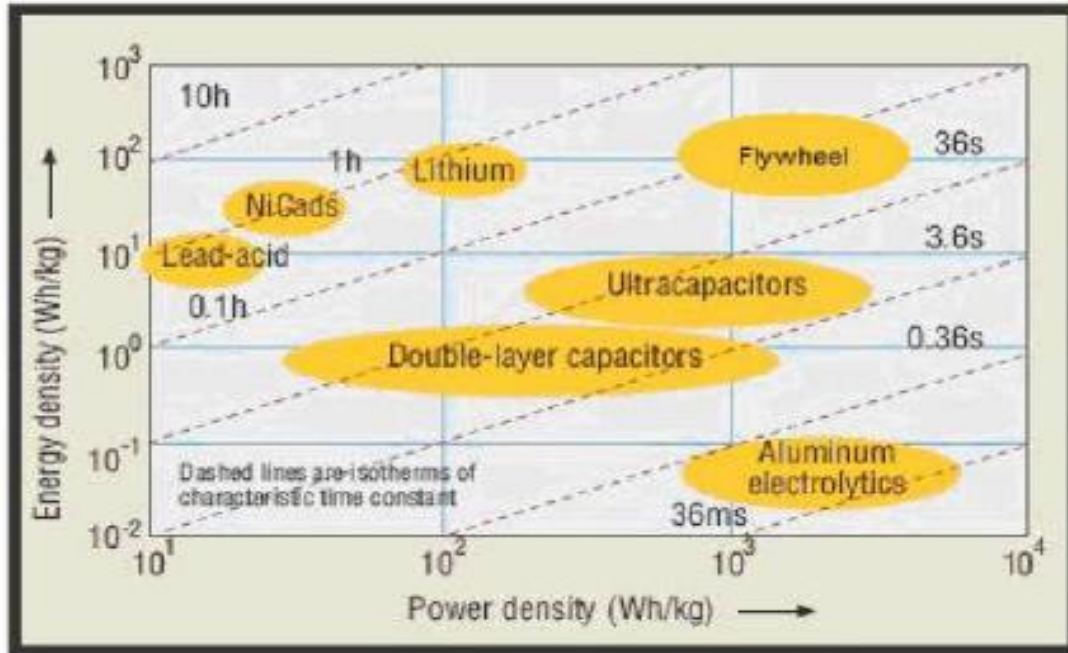


Figure II.6 : Ratio puissance spécifique / énergie spécifique des différentes formes de stockage d'énergie.

La batterie utilisée dans le modèle fonctionne à 330V de tension nominale (bien que cette tension soit rarement réellement atteinte, car la tension varie en fonction de la charge de la batterie et de la puissance requise) et d'une capacité de 48 Ah. Un autre paramètre est le courant de décharge, qui a été réglé à 20% de la capacité. Sur la base des batteries existantes, il est courant qu'elles aient une décharge nominale de 20 A, tension à pleine charge, de 1,15 fois la tension nominale et la résistance interne de 0,046 Ohm.

Ensuite, à la figure II.7. Courbe caractéristique de décharge, la courbe caractéristique de décharge au courant nominal (20 Amps) utilisée est montrée.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

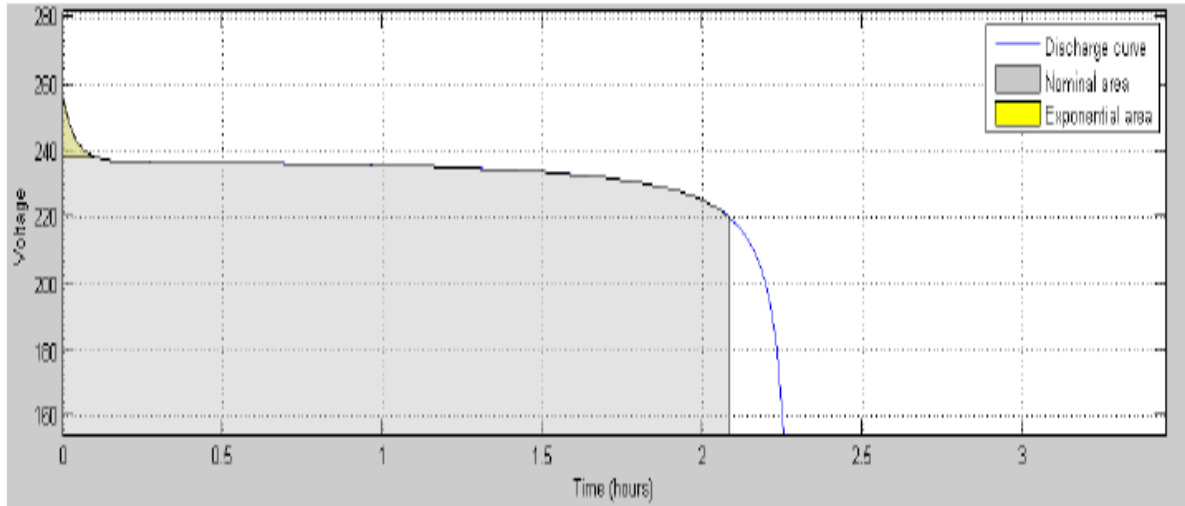


Figure II.7 : Courbe caractéristique de décharge. Propre préparation / Simulink.

Le SOC (State-of-Charge) est la relation entre la capacité à ce moment et la capacité totale. La variation SOC est exprimée comme suit :

$$\Delta SOC = \frac{idt}{Q} \dots\dots\dots(1)$$

Où Q, la capacité en ampères-heures, est fonction de l'intensité instantanée

Par conséquent, le SOC est :

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{idt}{Q} \dots\dots\dots(2)$$

La capacité énergétique de la batterie, qui est généralement exprimée en KWh, est donc:

$$Energie = \int_0^t Vid_t \dots\dots\dots(3)$$

Où "V" dépend du SOC et de l'intensité et "i" du temps.

Il est particulièrement important, lors de l'élaboration de stratégies énergétiques, de connaître l'efficacité obtenue lors du chargement et du déchargement de la batterie, ce qui, comme on le verra, réduit considérablement la plage de fonctionnement de la batterie.

Dans la Figure 8. Courbes d'efficacité de charge / décharge de la batterie, les deux courbes sont présentées, ainsi que leurs effets combinés, pour donner une idée des intervalles SOC qu'il est commode de déplacer.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

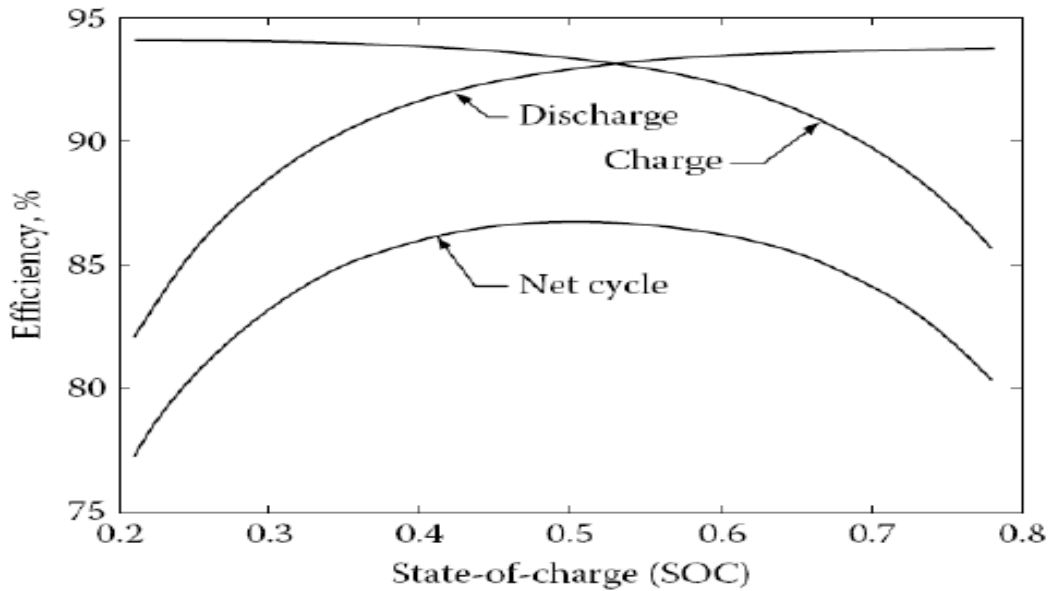


Figure II.8 : Courbes d'efficacité de charge / décharge de la batterie.
Propre élaboration / Simulink.

Il est fortement recommandé de se déplacer dans les valeurs intermédiaires du SOC.

Il n'est pas très efficace (bien que normalement, dans les applications automobiles, si nécessaire) charge complètement la batterie, il n'est pas particulièrement recommandé de la décharger très sévèrement.

Il faut également garder à l'esprit que se déplacer dans des zones où les pertes sont plus importantes implique une augmentation de la dissipation de chaleur, ce qui peut être dangereux pour l'intégrité de la batterie et même du véhicule.

Pour des informations plus détaillées sur la modélisation de la batterie, vous pouvez aller à [8], [9], [10] et [11].

Un chargeur de connexion au réseau n'a pas été modélisé ; au lieu de cela, le modèle permet d'établir la valeur initiale de l'état de charge, car pour que l'évaluation soit effectuée à partir des cycles, il est supposé que l'utilisateur effectuera un itinéraire plus court que celui qui nécessiterait une merde complète.

En cas de dépassement, il suffirait simplement d'arrêter la simulation, d'établir la valeur SOC après cette deuxième charge de connexion réseau et de relancer la simulation, le nouveau cycle représentant l'utilisation du pilote après le chargement.

II.2.3 Redresseur

Son schéma de fonctionnement est illustré à la figure 18 ci-dessous

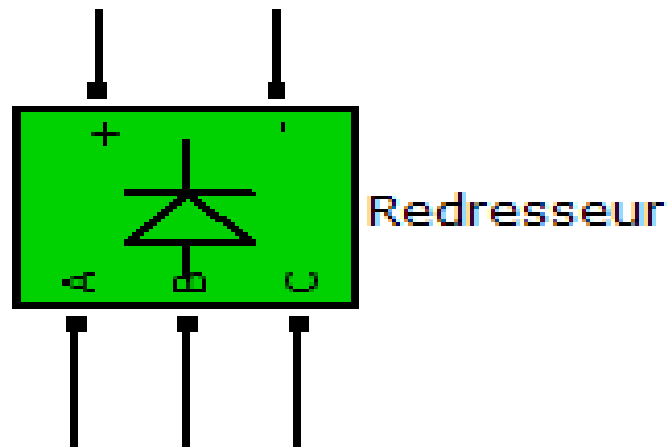


Figure II.9 : Redresseur triphasé

Il agit de manière analogue à l'onduleur, mais avec l'objectif opposé, c'est-à-dire transformer le courant triphasé provenant du générateur électrique (du groupe électrogène thermique) en courant continu qui servira à charger les batteries.

Dans le modèle, le redresseur utilisé se révèle être une version simple composée uniquement d'un ensemble de diodes, chargées de filtrer l'onde sinusoïdale.

L'objectif est d'atteindre ce que montre la figure II.10. Rectification d'une onde sinusoïdale.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

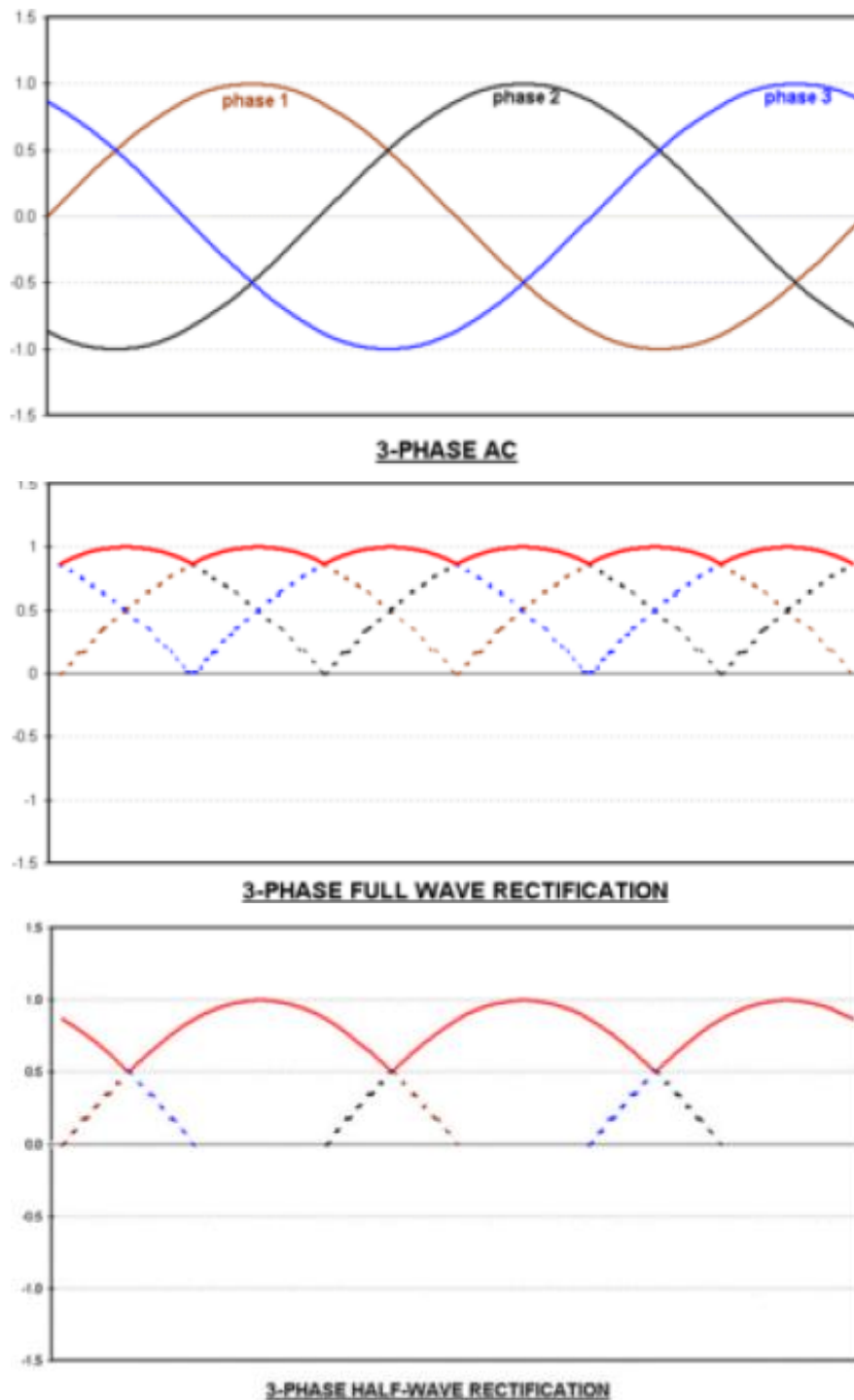


Figure II.10 : Rectification d'une onde sinusoïdale / "www.wikipedia.org".

Comme on le voit, aucun signal parfaitement continu n'est obtenu, mais il est suffisamment proche pour répondre aux exigences indiquées dans le modèle.

L'architecture d'un redresseur est montrée dans Figure II.11.

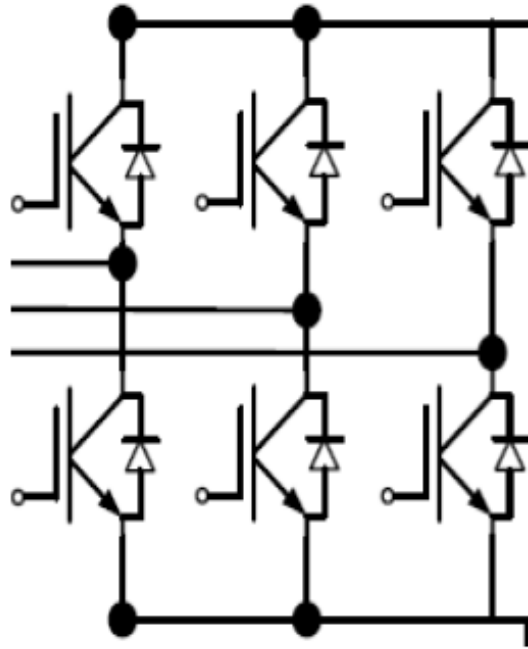


Figure II.11 : Structure d'un redresseur.

II.2.4 Inverseur :

C'est l'élément électrique responsable de la transformation du courant continu provenant des batteries en courant alternatif qui sera utilisé par le moteur électrique. Il consiste en un oscillateur qui commande un transistor, qui à son tour transforme le courant entrant dans le signal carré. Par la suite, il nourrit un transformateur, qui redresse ce signal en le rendant plus semblable à un sinusoïdal. Dans le modèle de ce projet, l'onduleur utilise des diodes IGBT comme transistor.

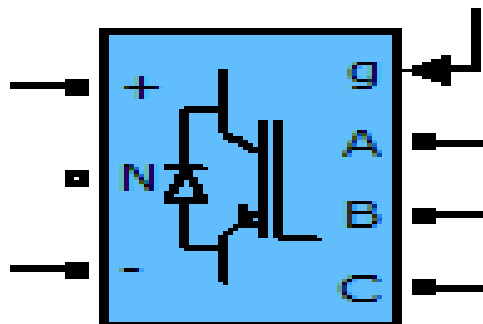


Figure II.12 : Inverseur Triphasé

Dans le cas d'un freinage par récupération avec une charge de batteries, l'onduleur doit être bidirectionnel.

La figure II.13 montre la structure réelle d'un inverseur.

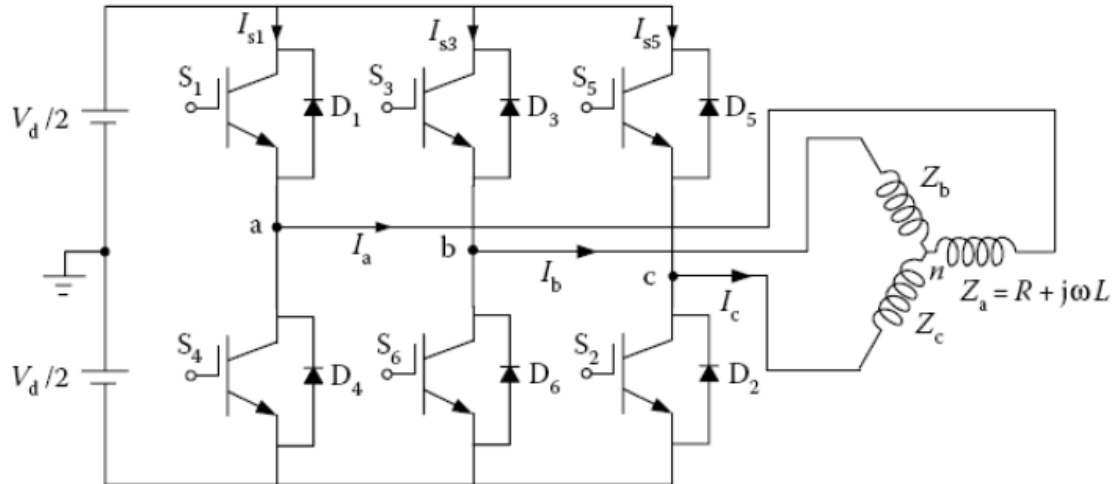


Figure II.13 :Disposition réelle / Inverseur.

II.2.5 Unité de contrôle électronique (U.C.E):

Dans le modèle, il est responsable du contrôle du fonctionnement du groupe électrogène.

Pour commencer, vous devez savoir si le véhicule est en mode purement électrique (et ne met donc pas le groupe électrogène en marche sauf en cas d'urgence) ou en mode hybride.

Dans le modèle, cette entrée est directement réglée par l'utilisateur, en fonction des scénarios que vous souhaitez tester, mais un algorithme pourrait être implémenté pour détecter si le véhicule circule sur une route urbaine à émissions restreintes ou, au contraire, via une liaison extra-urbaine et donc déterminer le mode de fonctionnement le plus approprié.

L'état de charge de la batterie (SOC) est une autre donnée fondamentale. Ce sera, avec la stratégie de contrôle, un facteur déterminant lors de la détermination de l'allumage ou non du groupe électrogène, ainsi que du point de fonctionnement.

C'est-à-dire, par exemple, si une valeur SOC minimale préétablie est atteinte, le groupe électrogène sera forcé d'agir.

La troisième entrée est la température de l'huile du moteur thermique.

S'il fait froid, et donc que l'huile est inférieure à 110 ° C, la stratégie de chargement sera moins "agressive" pour minimiser les émissions de froid et augmenter la durabilité du moteur.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

En outre, si on estime que le moteur est déjà chaud et s'il est intuitif que, même s'il est actuellement possible de déconnecter le moteur thermique, il sera nécessaire de l'activer dans un proche avenir (par exemple deux minutes), le moteur peut être maintenu. Connecté pour le maintenir à une température plus adéquate.

Pour le mode hybride, en particulier pour la stratégie de "maintien de charge", il est également essentiel que le calculateur connaisse la puissance demandée par le moteur d'entraînement. Selon qu'il est supérieur ou inférieur, vous devrez donner plus ou moins d'énergie pour maintenir le niveau de charge de la batterie.

Pour éviter de fortes fluctuations qui conduiraient à une réduction de l'efficacité et à une instabilité accrue, au lieu de prendre en compte la puissance de la demande instantanée, une moyenne de la période est établie, dans le cas où l'objet de l'étude est 60 secondes.

II.2.6 Contrôle Orienté du Flux:

II.2.6.1 Dynamique du véhicule :

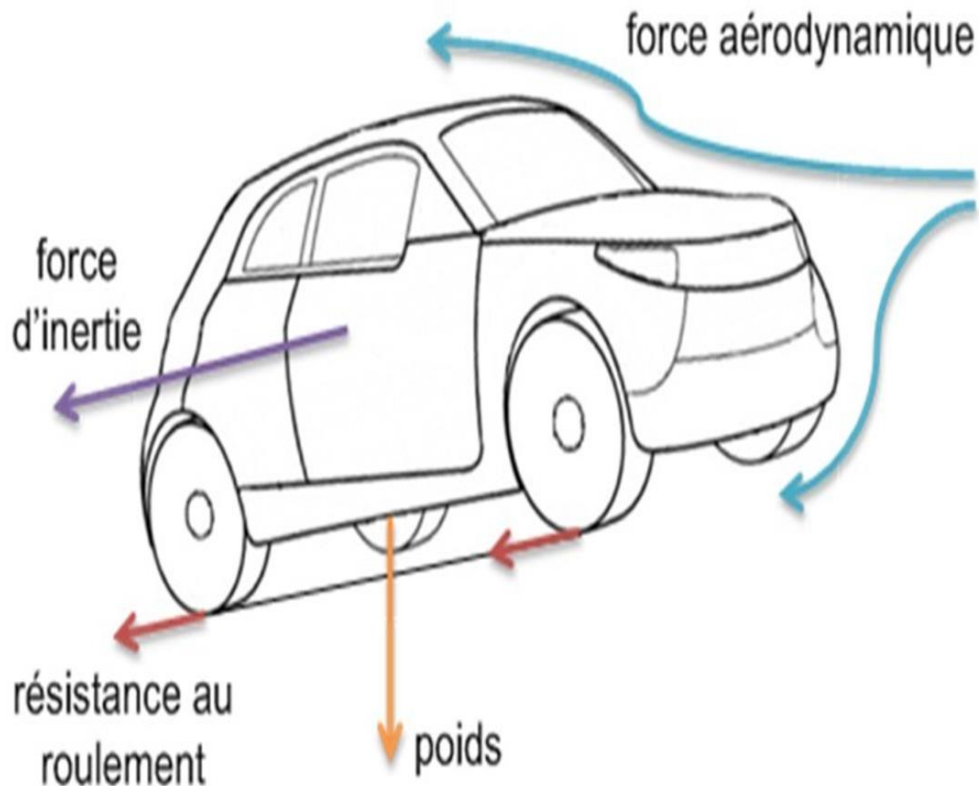


Figure II.15 : les différentes forces agissant sur un véhicule

Le comportement d'un véhicule en mouvement est le long de son sens de déplacement est déterminé par toutes les forces qui agissent sur lui dans la direction.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Le système de propulsion doit fournir un effort de traction au niveau de la roue égale à la somme des forces pour surmonter la traînée aérodynamique, la résistance au roulement et l'inclinaison de la route. Il doit également fournir l'effort nécessaire à l'accélération du véhicule. Selon (Fan, et al., 1993), la force nécessaire à la traction du véhicule au niveau des roues est définie à partir des équations suivantes :

$$F_{\text{tot}} = F_w + F_r + F_h + F_a \dots \dots \dots (4)$$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho A_f C_w V_{\text{res}}^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$F_r = m g C_r \cos \alpha \dots \dots \dots (6)$$

$$F_h = m.g.\sin(\alpha) \dots \dots \dots (7)$$

$$F_a = m.\lambda \frac{dV_{\text{res}}}{dt} \dots \dots \dots (8)$$

Où F_w est la force aérodynamique, F_r est la force de résistance au roulement, F_h la force due à l'inclinaison et F_a la force de l'accélération du véhicule.

V_{res} : vitesse relative du véhicule, $V_{\text{res}} = V + V_w$ avec V la vitesse du véhicule et V_w la vitesse du vent.

α : angle d'inclinaison

A_f : surface frontale du véhicule (m^2)

C_w : coefficient de frottement aérodynamique,

C_r : coefficient de résistance des roues au roulement,

m : la masse du véhicule (kg),

λ : facteur de masse $\in [1.06 ; 1.34]$ qui dépend de la vitesse engagée,

ρ : densité de l'air (kg/m^3)

g : accélération gravitationnelle (m/s^2)

$$F_a = m \lambda \frac{dV_{\text{res}}}{dt} = \left[m + \sum J \left(\frac{i}{r} \right)^2 \right] \frac{dV_{\text{res}}}{dt} \dots \dots \dots (9)$$

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Où J est le moment d'inertie au niveau de la circonférence de la roue motrice, i le rapport de la boîte de vitesse et r le rayon de la roue (m).

La force aérodynamique F_w est d'une part proportionnelle à C_w , ainsi, plus ce coefficient est réduit, le profil du véhicule est meilleur.

La force aérodynamique F_w est d'autre part proportionnelle à la surface frontale du véhicule A_f , ainsi une réduction de A_f minimise la consommation d'énergie.

Pour identifier les coefficients du modèle mécanique du véhicule, est de lancer le véhicule à une vitesse donnée et de laisser en roue libre (débrayer le moteur). A partir de l'équation précédentes, on obtient :

$$\frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_w \times V_{res}^2 + mgC_r \times \cos \alpha + m \times g \times \sin \alpha + m \times \lambda \times \frac{dV_{res}}{dt} = 0 \dots (10)$$

Aucune vitesse n'étant enclenchée, on a $\lambda = 1$. Sachant que $\frac{dV_{res}}{dt} = \frac{dV}{dt} + \frac{dV_w}{dt}$

En considérant la vitesse du vent est constante donc :

$$\frac{dV_{res}}{dt} = \frac{dV}{dt} \dots \dots \dots (11)$$

Remarque :

La vitesse du vent n'est pas souvent prise en compte dans les études énergétiques des véhicules. En effet, le vent est un processus aléatoire complexe à modéliser, qui peut augmenter la puissance demandée à la traction s'il est de face mais aussi la diminuer s'il est de dos. Donc c'est un phénomène qui peut être négligé pour la simplification du calcul.

Le modèle mécanique du véhicule peut comporter donc trois variables d'entrée qui sont la vitesse du véhicule, son accélération et l'inclinaison de la route. La masse est un paramètre d'entrée du modèle qui dépend du dimensionnement de la chaîne de traction.

II.2.6.2 Moteur à induction :

Le moteur électrique, qui doit être en charge du déplacement du véhicule, doit suivre la consigne de couple et de vitesse transmise par le créateur du cycle. Il est prévu que le slogan ne sera pas toujours respecté à cent pour cent, car il y aura un retard et que le contrôleur PI chargé de minimiser la différence par rapport au slogan doit être ajusté, mais doit être plus

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

proche dans le plus grand nombre. Dans la mesure du possible, et dans le cas étudié dans ce projet, la différence de vitesse, par exemple, ne dépasse jamais 1%.

Le moteur choisi est à induction et à commande orientée champ. En effet, bien que sa puissance spécifique soit inférieure à celle d'un moteur synchrone, il est cependant plus robuste et fiable et sa maintenance est abordable.

Son premier avantage par rapport aux moteurs à courant continu est qu'il n'a pas besoin de commutateur.

Il est également plus léger et plus petit, et même généralement moins cher et plus efficace.

Il existe deux types principaux de moteurs à induction :

- En cage d'écurie
- Fil enroulé

Pour le modèle, un moteur à cage d'écurie a été sélectionné, car les moteurs à rotor bobiné sont plus coûteux en coûts de maintenance, tout en étant moins robustes.

Comme illustré à la figure II.16, un moteur de ces caractéristiques est composé d'un stator dans lequel se trouvent les enroulements des phases a, b et c, disposés à 120° pour créer un champ électromagnétique sinusoïdal, et d'un rotor contenant les barreaux court-circuités.

Ces barres sont en aluminium et en court-circuit aux deux extrémités du rotor.

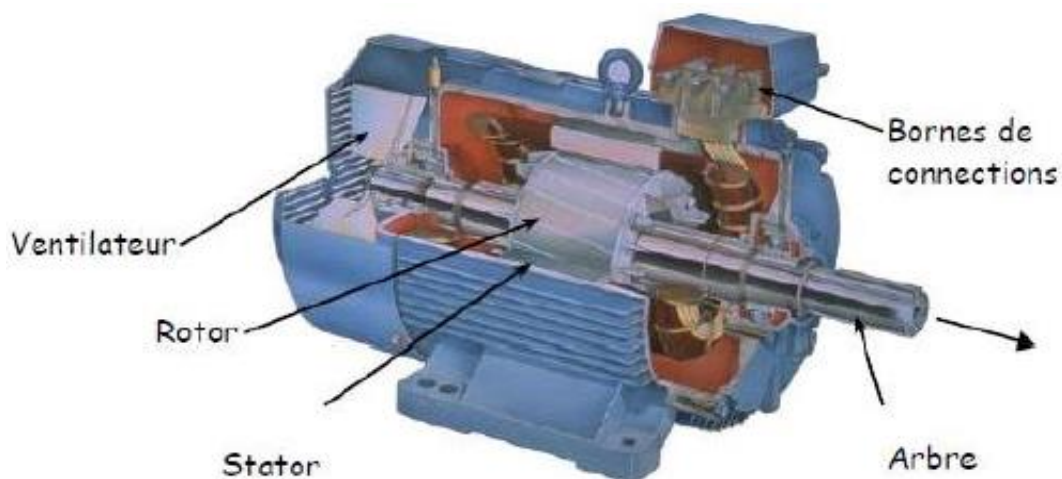


Figure II.16 :Schéma du moteur à induction.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

II.2.6.3 Modélisation de la MAS dans le plan triphasé abc :

Soit une machine asynchrone triphasée au stator et au rotor représentée schématiquement par la figure I.2 et dont les phases sont repérées respectivement par SA, SB, SC. L'angle électrique θ variable en fonction du temps définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases SA et Ra choisis comme axes de référence [9].

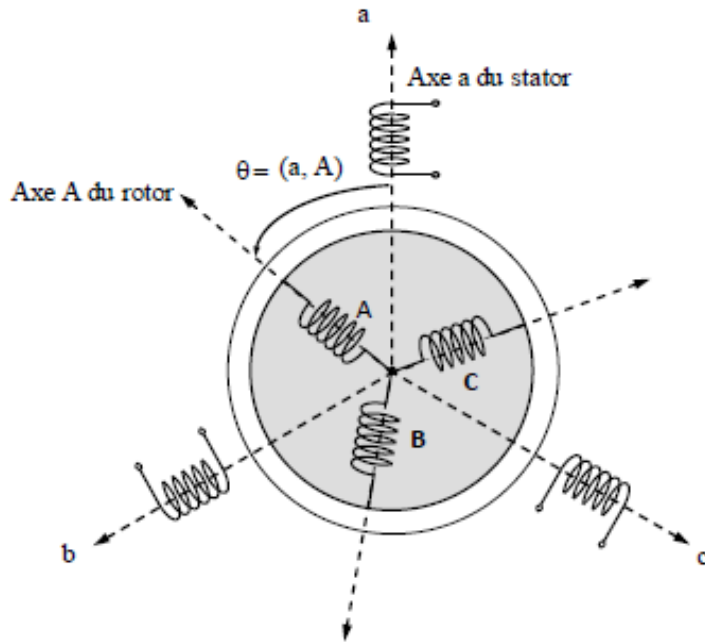


Figure II.17 : Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasée.

II.2.6.3 Équations générales de la machine asynchrone triphasée :

Dans ces conditions, si on considère que le moteur à induction est triphasé au stator et au rotor. Les trois types d'équations traduisant le comportement du moteur sont [13]:

a-Équations électriques :

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques Sont :

$$\begin{cases} V_{sa} = R_s i_{sa} + \frac{d}{dt} \Phi_{sa} \\ V_{sb} = R_s i_{sb} + \frac{d}{dt} \Phi_{sb} \\ V_{sc} = R_s i_{sc} + \frac{d}{dt} \Phi_{sc} \end{cases} \dots\dots\dots(12)$$

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

$$\begin{cases} V_{ra} = R_r i_{ra} + \frac{d}{dt} \Phi_{ra} \\ V_{rb} = R_r i_{rb} + \frac{d}{dt} \Phi_{rb} \\ V_{rc} = R_r i_{rc} + \frac{d}{dt} \Phi_{rc} \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

En désignant par :

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Tensions appliquées aux trois phases statoriques ,

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} : courants qui traversent les trois phases statoriques ,

$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$: flux totaux a travers ces enroulements ,

V_{ra}, V_{rb}, V_{rc} : tentions rotoriques ,

i_{ra}, i_{rb}, i_{rc} : courants rotoriques,

$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$:Flux rotoriques ,

R_r : résistance d'une phase rotorique,

R_s :Résistance d'une phase statorique,

Les équations (12) et (13) peuvent êtres écrites sous la forme matricielle suivant :

Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$V_{s[abc]} = [R_s][i_{s(abc)}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{s(abc)}]$$

Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$V_{r[abc]} = [R_r][i_{r(abc)}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{r(abc)}]$$

b-Equation magnétiques :

Les hypothèses simplificatrices citées antérieurement conduisent à des relations linéaires entre les flux et les courants de la machine asynchrone, ces relations s'écrivent matriciellement comme suit :

Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + [M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(16)$$

Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} = [L_r] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + [M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix}$$

$$\text{Telque : } [M_{sr}] = [M_{rs}]^T$$

On désigne par :

$[L_s]$: Matrice des inductances statoriques.

$[L_r]$: Matrice des inductances rotoriques.

$[M_{sr}]$: Matrice des inductances mutuelles statoriques.

$[M_{rs}]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques.

Où :

$$[L_r]: \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \text{ et } [L_s]: \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix}$$

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Ainsi :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = M_0 \begin{bmatrix} \cos(0) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(0) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(0) \end{bmatrix}$$

- l_s : Inductance propre d'une phase statorique.
- l_r : Inductance propre d'une phase rotorique.
- M_s : Inductance mutuelle entre phases statoriques.
- M_r : Inductance mutuelle entre phases rotoriques.
- θ : Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes statoriques et les axes rotoriques qui sont choisis comme axes des références.
- M : Maximum de l'inductance mutuelle entre phase du stator et la phase correspondante du rotor.

c-Equations mécaniques :

L'étude des caractéristiques de la machine asynchrone fait introduire de la variation non seulement des paramètres électriques (tension, courant, flux) mais aussi des paramètres mécaniques (couple, vitesse).

$$C_e = P [i_{s(abc)}]^T \frac{d}{dt} [M_{sr}] [i_{r(abs)}] \dots \dots \dots (17)$$

Pour avoir un modèle complet de la machine il nécessite d'introduire l'équation du mouvement de la machine est exprimée comme suivant :

$$J \frac{d}{dt} \Omega_r = C_e - C_r - f \Omega_r \dots \dots \dots (18)$$

Avec :

- J : Moment d'inertie des masses tournantes.
- C_r : Couple résistant imposé à l'arbre de la machine.
- Ω_r : Vitesse rotorique.
- C_e : Couple électromagnétique.
- f : Coefficient de frottement visqueux.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Les équations (I.4) ainsi obtenus sont à coefficients variables entraînant la complexité de résolution du modèle défini par (I.3). Cela conduira à l'usage de la transformation de Park qui permettra de rendre constant ces paramètres.

Les équations (4) ainsi obtenus sont à coefficients variables entraînant la complexité de résolution du modèle défini par (14).

II.2.6.4 Commande Vectorielle :

Dans ce contrôle, le flux et le couple sont, deux variables essentielles de réglage, sont découplées et commandées indépendamment.

II.2.6.4.1 La Commande vectorielle par orientation du flux (CV-OF):

L'objectif de la commande par orientation du flux est le découplage des grandeurs responsables de la magnétisation de la machine et de la production du couple. Mathématiquement, la loi de la commande consiste à établir l'ensemble des transformations pour passer d'un système possédant une double non linéarité structurelle à un système linéaire qui assure l'indépendance entre la création du flux et la production du couple comme dans une machine à courant continu à excitation séparée.

Commande par orientation du flux consiste à régler le flux par une composante du courant et le couple par l'autre composante. Pour cela, il faut choisir un système d'axe « d, q ». Un choix judicieux de l'angle d'orientation du repère « d, q » entraîne l'alignement de l'axe «d» sur la résultante du flux, cet alignement permet l'annulation de la composante transversale du flux comme l'indique dans la figure .

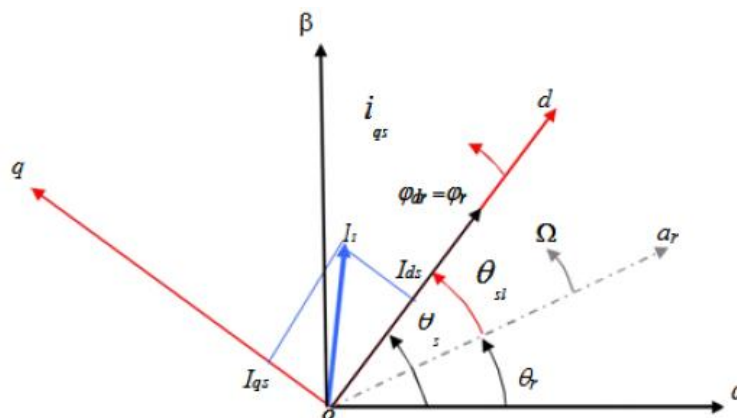


Figure II.18 :Orientation du flux (rotorique, statorique, d'entrefer)

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

a. Choix d'orientation de flux:

Le choix des axes d'orientation peut être fait selon l'une des directions des flux de la machine à savoir le flux rotorique, statorique ou d'entrefer.

$\Phi_{rq} = 0$ et $\Phi_r = \Phi_{rd}$: c'est le flux rotorique qui orienté.

$\Phi_{sq} = 0$ et $\Phi_s = \Phi_{sd}$: c'est le flux statorique qui orienté.

$\Phi_{mq} = 0$ et $\Phi_m = \Phi_{md}$: c'est le flux d'entrefer qui orienté.

Dans les trois cas le couple est proportionnel au produit du flux par la composante du courant statorique en quadrature avec le flux.

L'orientation du flux rotorique permet d'obtenir un couple de démarrage important et nécessite la connaissance des paramètres rotorique.

Dans tout ce qui va suivre l'orientation du flux rotorique est la méthode qui sera retenue.

b. Principe du contrôle par flux orienté :

Dans ce cas le flux rotorique est orienté sur l'axe «d» d'une référence solidaire au champ tournant de vitesse (ω_s), donc on peut remarquer les propriétés suivantes [14]:

- La composante transversale du flux rotorique est nulle. ($\Phi_{rq} = 0$) .
- L'axe «d» est aligné systématiquement sur le vecteur du flux rotorique . ($\Phi_r^- = \Phi_{rd}$) .

La composante longitudinale du courant rotorique est nulle si le flux rotorique est maintenu constant. ($\Phi_r^- = cst \rightarrow i_{rd} = 0$)

La présente expression est analogue à celle du couple d'une machine à courant continu. La figure II.19 illustre l'équivalence entre l'expression du couple que l'on réalise avec la commande découplé classique d'une machine à courant continu et la commande vectorielle d'une machine asynchrone [14].

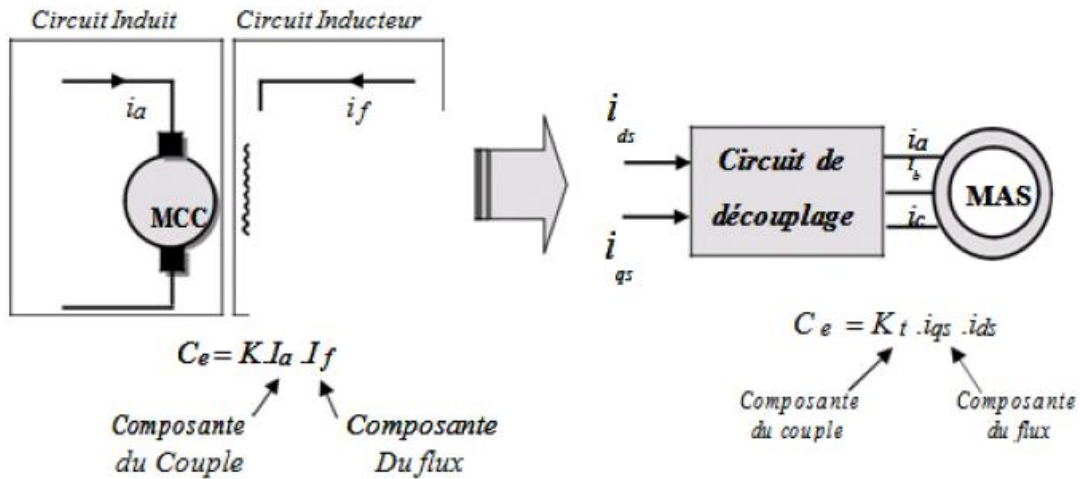


Figure II.19 : Analogie de la machine asynchrone avec le moteur à courant continu

Ainsi le système balais-collecteur dans la machine à courant continu est remplacé, dans le cas de la machine asynchrone par le système d'autopilotage qui permet de réaliser une harmonie entre la fréquence de rotation et celle des courants induits dans le rotor, telle que la relation suivante :

$$\omega_s = \omega_r + \omega = P\Omega_r + \omega \dots \dots \dots (19)$$

$$\theta_s = \int \omega_s dt \dots \dots \dots (20)$$

c. Types de la commande vectorielle :

Tous les travaux de recherches effectués sur ce sujet utilisent deux principales méthodes, la première appelée méthode directe qui à été développé par F. Blaschke , la seconde connue par la méthode indirecte développée par K .Hasse.

1. Commande vectorielle directe:

Pour déterminer le position et la norme du flux (contrôler par contre réaction) il faut utiliser les capteurs à effet HALL placés sur les dents de stator (ceci nécessite des moteur spéciaux), ils sont mécaniquement fragiles et ne peuvent pas travailler dans les conditions sévères telles que les vibrations et les échauffements excessifs, et leur fréquence varie avec la vitesse ce qui nécessite des filtres ajustables.

L'application de cette méthode impose plusieurs inconvénients de natures différentes :

- La non fiabilité de la mesure du flux ;

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

- Problème de filtrage du signal mesuré.
- Précision médiocre de la mesure qui varie en fonction de la température (échauffement de la machine) et de la saturation.
- Le coût de production élevé (capteurs+filtre)

Afin de pouvoir utiliser une machine standard les capteurs de flux doivent être remplacés par estimateur de flux.

Nous appliquons la commande vectorielle directe à la machine asynchrone alimentée en tension avec convertisseur.

2. Commande vectorielle indirecte:

Cette méthode n'exige pas l'utilisation d'un capteur de flux rotorique mais nécessite l'utilisation d'un capteur ou un estimateur de position (vitesse) du rotor. Cette dernière peut être développée par deux groupes principaux :

- Le vecteur du flux rotorique est obtenu indirectement à partir des courants et des tensions statoriques mesurées.
- Dans le deuxième groupe, le vecteur de flux rotorique est estimé à partir de la mesure des courants statoriques et de la vitesse du rotor, en se basant sur les équations du circuit rotorique du moteur asynchrone dans un système de référence tournant en synchronisme avec le vecteur de flux rotorique.

L'inconvénient majeur de cette méthode est la sensibilité de l'estimation en vers la variation des paramètres de la machine due à la saturation magnétique et la variation de température, surtout la constante de temps rotorique T_r .

En plus, c'est qu'elle utilise un circuit de commande considérablement compliqué.

II.2.6.3 Régulation:

L'objectif de la commande, en général, est d'avoir un système de hautes performances. Plusieurs critères de performance peuvent être définis [15], [16], [17] ; à savoir :

- Précision en poursuite.
- Précision en régulation :

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

- Temps de montée.
- Temps de réponse.
- Dépassement.
- Stabilité.
- Robustesse vis-à-vis des perturbations (charge, moment d'inertie)
- Sensibilité à la variation de paramètres.

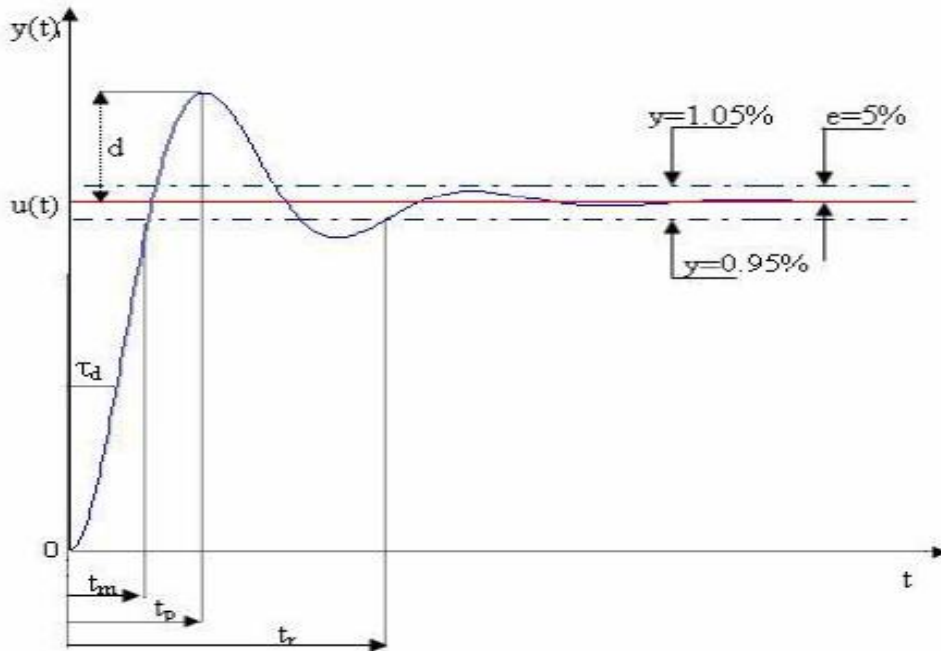


Figure II.20 :Caractéristiques de la réponse des systèmes

A partir de ce point, des différentes techniques de commandes sont utilisées afin de remplir le cahier de charge de la commande, techniques classiques ou avancées. L'une des techniques classiques consiste à utiliser les régulateurs type proportionnel et intégral PI dont les coefficients sont calculés à partir des paramètres de la machine à commander [18].

II.2.6.3.1 Régulation de Courant :

Du découplage proposé à la figure II.21, on aboutit au schéma bloc simple et identique pour les deux axes.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

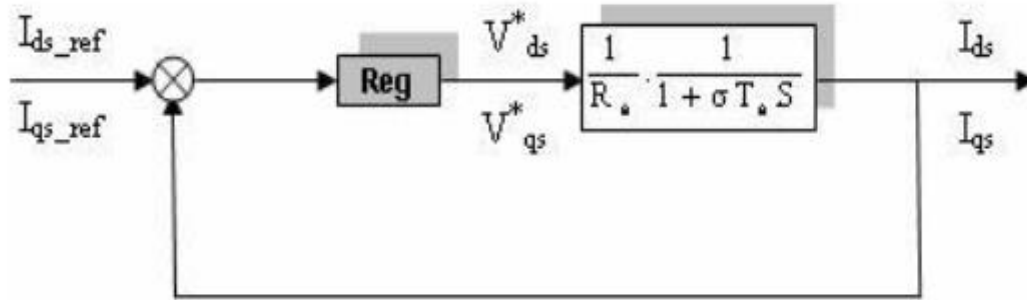


Figure II.21 : Boucle de courant après découplage

Chaque boucle de courant est dotée d'un régulateur proportionnel intégral (PI) classique, il comporte une action proportionnelle qui sert à régler la rapidité avec laquelle la régulation doit avoir lieu et une action intégrale qui sert à éliminer l'erreur statique entre la grandeur régulée et sa propre consigne[19],[20].

Le régulateur PI (action proportionnelle-intégrale) est une combinaison d'un régulateur P et d'un régulateur I.

II.2.6.3.2 Régulation De Vitesse :

Le schéma de régulation de la vitesse avec un régulateur PI est le suivant :

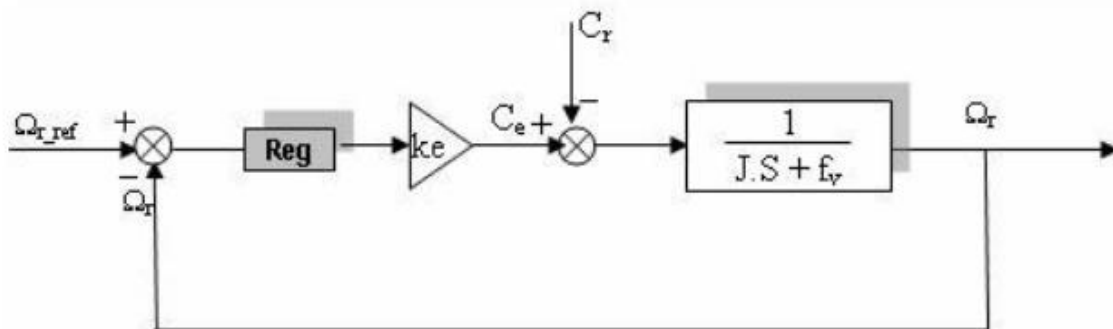


Figure II.22 : Boucle de régulation de vitesse à structure PI

k_e : Constante du couple électromagnétique

Avec cette structure de régulation (PI) de vitesse, on n'a pas pu avoir de bonnes performances à la fois pour l'asservissement (réponse par rapport à la consigne) et pour la régulation (réponse par rapport à la perturbation)

Alors, on est amené à utiliser la structure de régulation de vitesse IP, tel que schématisée sur la figure II.23.

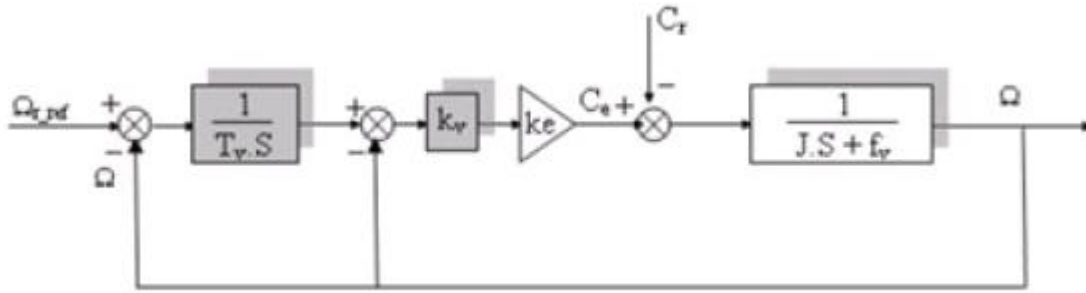


Figure II.23: Boucle de régulation de vitesse structure IP

II.2.6.4 Mode Défluxage :

Plusieurs applications, plus particulièrement la traction électrique, exigent un fonctionnement en survitesse à puissance constante. Or, pour assurer un tel fonctionnement, dans le cas d'un entraînement à vitesse variable utilisant un moteur asynchrone, une tension élevée à l'entrée est requise. Pour contourner cette sur demande en tension, on réduit le flux de référence aux vitesses élevées. De plus, pour optimiser la demande du courant de magnétisation de la machine à induction, il est nécessaire de défluxer de manière à offrir à la machine le flux dont elle a besoin pour produire son couple maximal sans aucune violation des contraintes thermique imposées sur la machine et sur les composants de puissances du convertisseur [37].

Le principe de défluxage consiste à maintenir le flux rotorique constant et égal au flux nominal et en le faisant varier sur une plage pour les vitesses supérieures à la vitesse nominale.

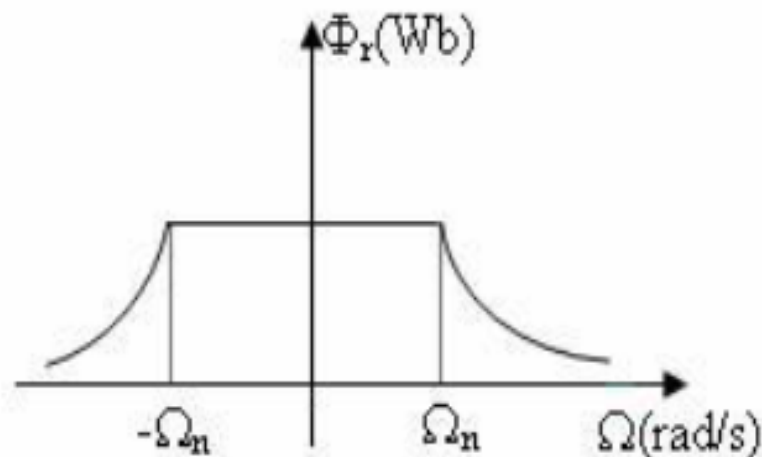


Figure II.24 :Opération en mode défluxé

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

II.2.6.3.1 Notre Modèle de Simulation :

a. Schéma globale :

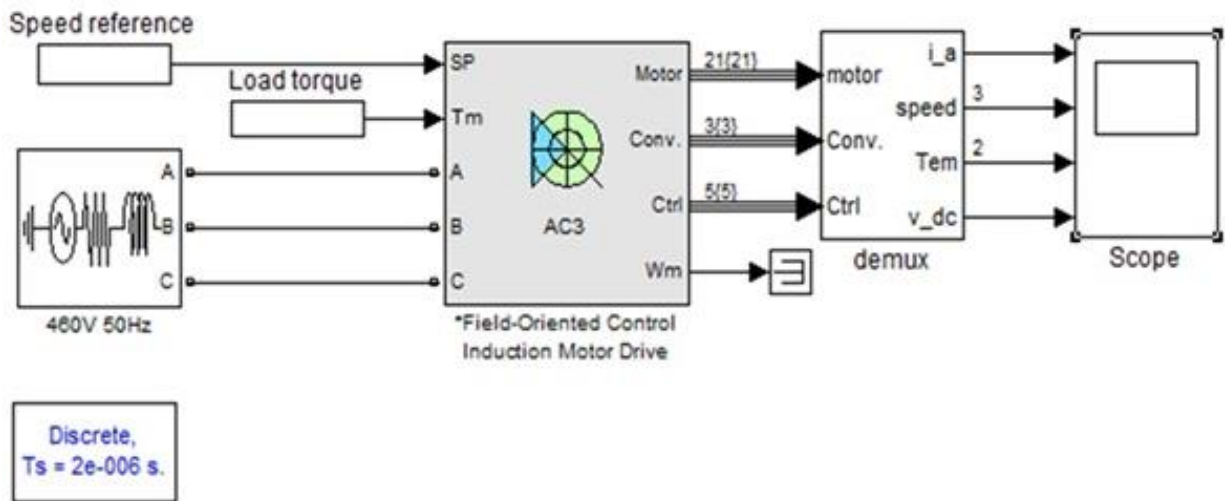


Figure II.25 : Schéma globale de simulation

b. Schéma détaillée :

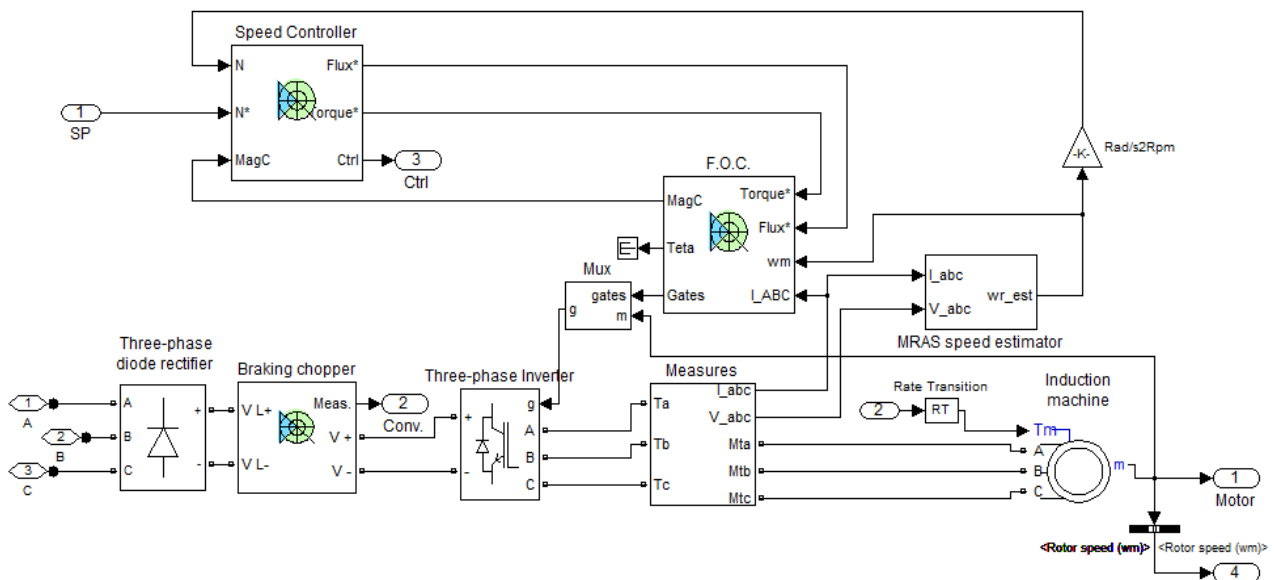


Figure II.26 : Schéma détaillée de notre modèle sur Simulink/MATLAB

Le contrôle du moteur est effectué à l'aide d'un intégrateur à shunt proportionnel, déjà intégré dans le bloc de simulation du moteur.

Chapitre II : Modélisation du véhicule EHS

Les paramètres du PI utilisé finalement ont été:

- Gain proportionnel : 110
- Gain d'intégration : 40

Le moteur utilisé dans le modèle fonctionne à 575V et a une puissance nominale de 39KW et un maximum de 47KW. Ces valeurs ont été choisies parmi celles connues de la Mitsubishi iMiev, afin de pouvoir faire une comparaison fiable par rapport à ce véhicule, mais elles sont facilement modifiées et adaptables au véhicule que l'on souhaite simuler.

Autres paramètres moteur de propulsion électrique utilisée :

Fréquence	50Hz		
Inertie	10Kg/m ²		
Paire de pole	2		
Stator	Résistance : 0.435Ω	Inductance : 0.816H	
Rotor	Résistance : 0.002Ω	Inductance : 0.002H	Inductance mutuelle : 0.07H
Glissement	1		
Angle initiale	0°		

II.3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le modèle mathématique du chaque composant du VEHS. Nous avons limité notre étude sur le moteur à induction et sa commande vectorielle. Dans le chapitre suivant, nous montrons nos résultats de simulation.

Troisième Chapitre

Résultats et interprétation

Chapitre III : Résultats et interprétation

III.1 Introduction :

Sur Simulink/MATLAB on a réalisé le modèle présenté et élaboré dans le chapitre précédent làoù on a eu les résultats suivants.

III.1 les résultats de simulation :

III.1.1 diagramme de courant statorique :

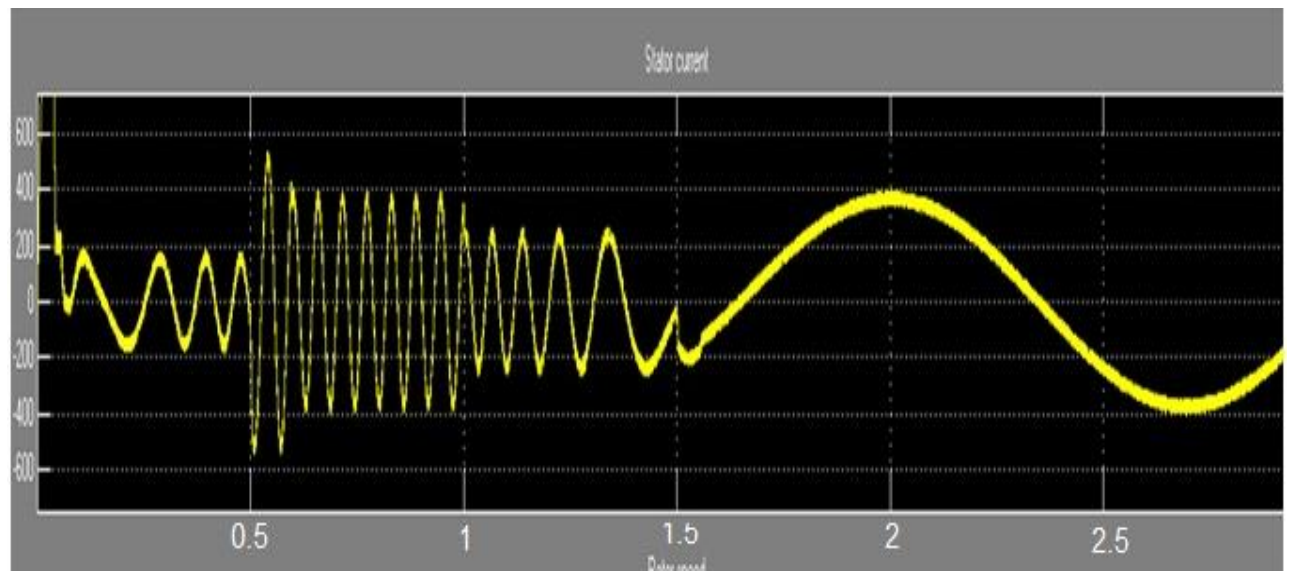


Figure III.1 Courbe de courant statorique.

III.1.2 diagramme de vitesse rotorique :

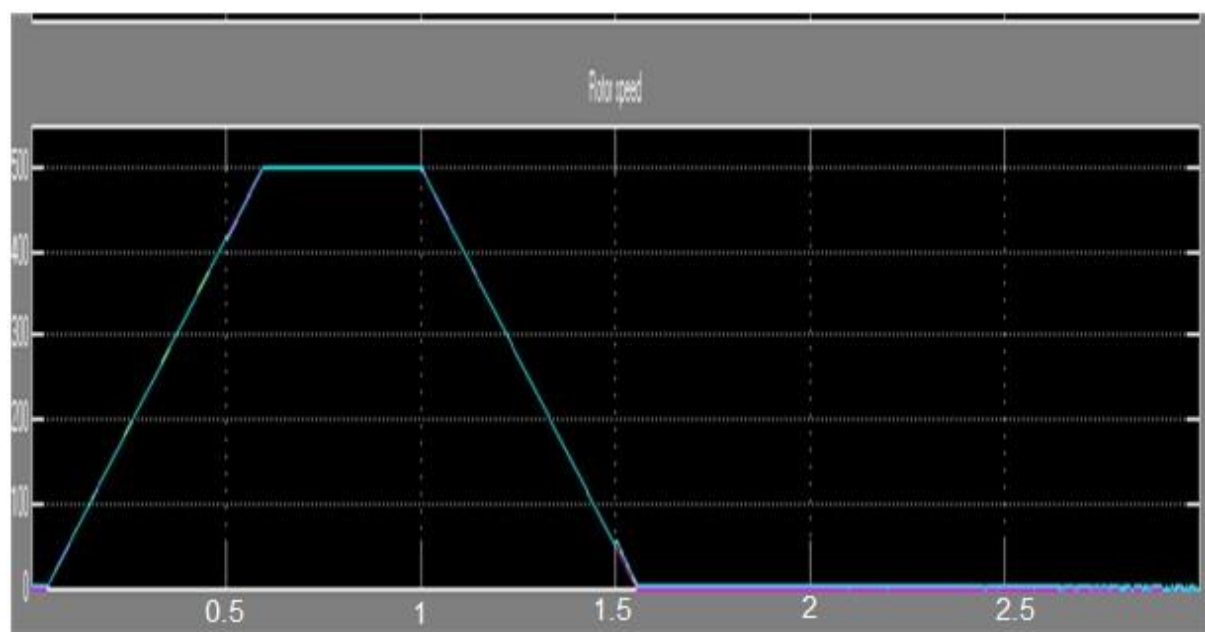


Figure III.2 Courbe de la vitesse rotorique.

Chapitre III : Résultats et interprétation

III.1.3 diagramme de couple électromagnétique :

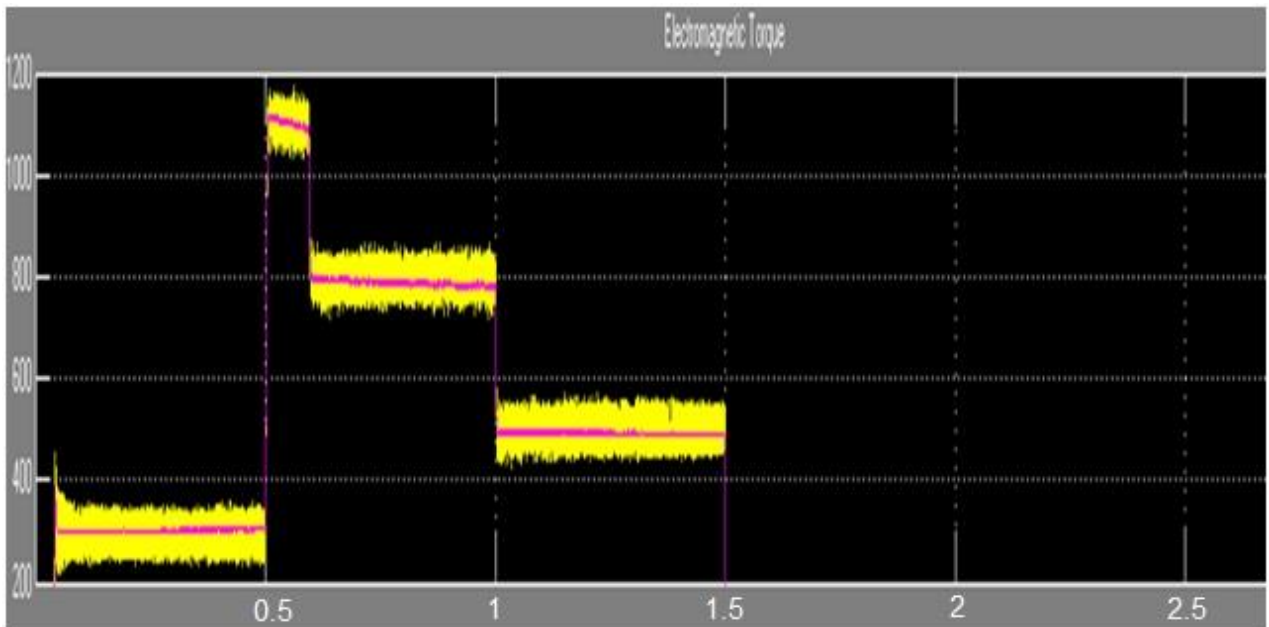


Figure III.3 Courbe de couple électromagnétique.

III.2. Interprétation des graphes :

Lorsqu'on démarre la simulation. Nous pouvons observons le courant du stator du moteur, la vitesse du rotor, le couple électromagnétique et la tension du bus CC(DC) sur le oscilloscope. Le point de consigne de vitesse et le point de consigne de couple sont également indiqués.

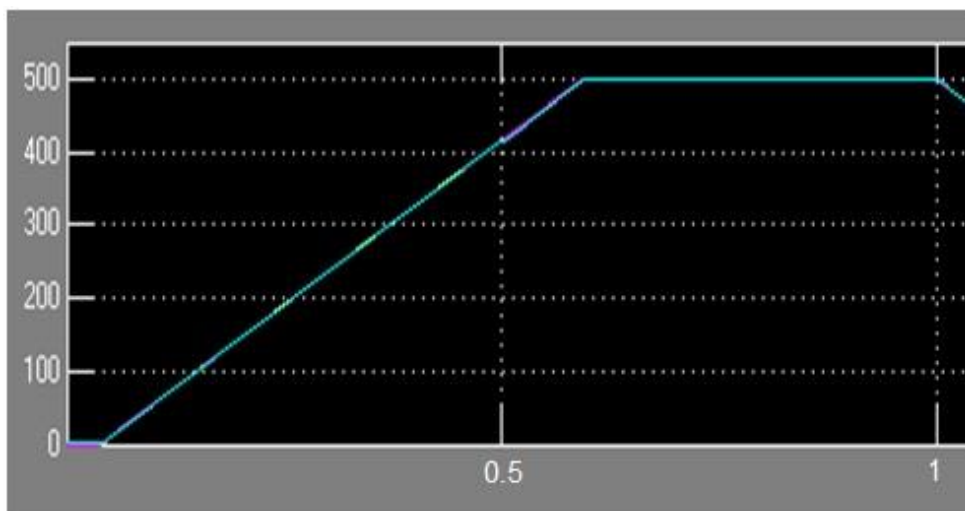


Figure III.4 : Courbe de la vitesse rotorique (Zoom)

Chapitre III : Résultats et interprétation

- A l'instant $t=0s$, la consigne de vitesse est de 500 tr/min (rpm). Observe que la vitesse suit précisément la rampe d'accélération
- A $t=0.5s$, la pleine charge est appliquée à l'arbre du moteur alors que la vitesse du moteur augmente encore jusqu'à sa valeur finale. Cela force le couple électromagnétique à augmenter jusqu'à la valeur maximale définie par l'utilisateur (1200 N.m) et à se stabiliser à 820 N.m une fois la vitesse terminée et le moteur atteint 500 tr/min.(figure)

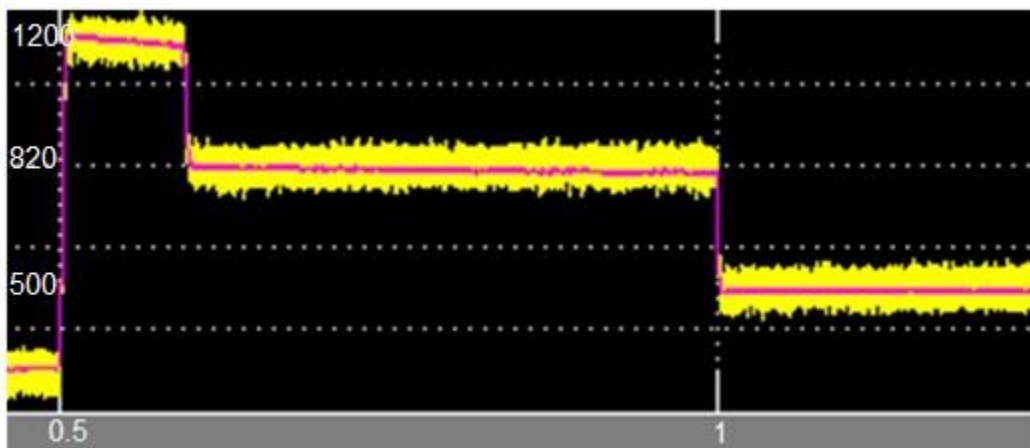


Figure III.5 : Courbe de couple électromagnétique (zoom)

- A $t=1 s$, la consigne de vitesse passe à 0tr/min. la vitesse diminue jusqu'à 0tr/min en suivant précisément la rampe de décélération même si la charge mécanique est abruptement inversée, passant de 792N.m à -792 N.m, à $t=1.5s$ peu de temps après , la vitesse du moteur se stabilise à 0 tr/min.(figure)

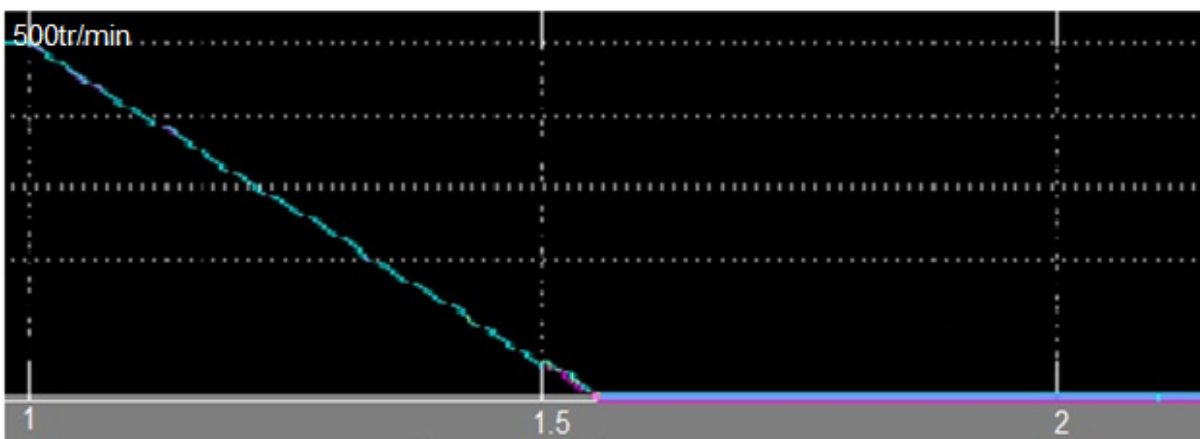


Figure III.6 : Courbe de la vitesse rotorique (zoom)

III.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté nos résultats de simulation de la commande vectorielle de la machine asynchrone, ce dernier qui intervient comme composante importante dans la chaîne de traction du VEHS.

Nous avons conclu que la commande classique de cette machine présente des inconvénients, parmi ces inconvénients est l'oscillation du couple électromagnétique, ce qui nous ramène à envisager une commande avancée.

Conclusion Générale

Conclusion générales et Perspectives

Les émissions polluantes des véhicules, comme le gaz à effet de serre, est devenue un des plus importants challenge à relever par les constructeurs automobiles mais aussi par les gouvernements qui durcissent les lois relatives aux rejets nocives des véhicules. Ainsi, depuis peu, des nouvelles structures alternatives aux véhicules conventionnels, qui allient les avantages des propulsions thermique et électrique, sont mises en place. Ces nouveaux véhicules sont nommés véhicules hybrides.

C'est l'étude de ces derniers qui a fait l'objet de notre travail.

Dans le premier chapitre, un état de l'art sur les véhicules hybrides, leurs types et les différentes architectures existantes, les avantages et les inconvénients de ces configurations sont.

Dans le deuxième chapitre, nous avons fait une description des divers organes constituant un véhicule hybride et en particulier série, par la suite le modèle dynamique de la chaîne de traction du véhicule. Vue la complexité du système nous avons abordé le moteur à induction et sa commande vectorielle.

Le troisième chapitre présente nos résultats de simulation sur la commande vectorielle de la machine asynchrone, nous avons conclut que la commande vectorielle présente des inconvénients, c'est l'oscillation du couple électromagnétique qui génèrent des harmoniques et par conséquent le bruit de la machine. Ces derniers représentent des contraintes sur les performances du véhicule.

Pour réduire ces pulsations nous suggérons aux futurs étudiants à introduire une commande avancée pour atteindre l'objectif : améliorer les performances du véhicule.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] C.chao « the state of the art of electric and hybridvehicles »proc.of the IEEE-Febru.
- [2] M.EHSANI,Y.GAO ,S.gay,A.EMADI « Modern electric,hybridelectricandfuelcellvehicles-fundamentalstheory and Design ».
- [3]M.Ehsani,Y.GAO ,A.EMADI « modern electric, hybridelectric and fuel cellvehicles »,second edition,CRCpress ,USA,2010.
- [4] A.Fuhs « Hybridvehicls and the future of personal transportation ».CRcPress,USA ,2009.
- [5] A.Fuhs « Hybridvehicls and the future of personal transportation ».CRcPress,USA ,2009.
- [6] D.Bouqain « contribution à la modélisation et à l'optimisation des architectures des véhicules hybride »,Thèse doctorat, université de technologie de Belfort-Montbéliard,2008.
- [7] A. Rostami Asaei Behazad « A Novel Method for estimating the Initial Rotor Position of PM Motors Without The Position Sensor » Science Direct ,Energy conversion and Management Journal 2009.
- [8] Yamada,k. ;Yamada,Y. ;otsu,k. ;Machiyama, y. ;Emori,A. ;okshi,T. « the inteligentautomotivebattery » journal of power sources 185(2008) 1478-1483.
- [9] Besehard,J.O. « Handbook of batterymaterials ».Ed.Wiley VCH ,1999.
- [10] Chacon,J.J. « las baterias para vehiculoselectricoshibridos ».Asepa,Madrid 2010.
- [11] He, Y. ;Liu, W. ;koch, j. « Batteryalgorithmverification and developementusing hardware-in-the-looptesting » journal of power sources 195(2010)2969-2974.
- [12]TamraabentHanene « Robustesse d'un contorl vectoriel de structure Minimal d'une Machine asynchrone « thèse de magistère ,batna ,20.05.2006.
- [13] Tchialifouad, Maghraoui Noura « Modélisation et commande des onduleurs Multi niveaux asymétrique »PFE Dép d'électrotechnique,U.S.T.H.B 2004.
- [14]ChekimaDjamel « commande d'une machine asynchrone par logique floue »,thèse de master, universitédeELOued 2014.
- [15] MezianSalima , « commandes adaptative et prédictive de la machine asynchrone » Thèse de doctorat, Mentouri de constantine 2009.
- [16]Michael A.johnson et Mohammad H.Moradi,PID control New Identification and Design Methodds, springer-verlag London limited,2005.

Bibliographie

- [17] Katsuhiko Ogata, Modern control engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1997.
- [18] M. Bazisail, « contribution à la commande robuste d'une machine asynchrone par technique PSO », Thèse de magister, université de batna, 2009.
- [19] Baghlilofti : contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Thèse présentée pour l'obtention du titre de doctorat à l'université Henri Poincaré, Nancy I, en génie électrique, 1999.
- [20] Sorin Gusia, « modélisation des systèmes électroniques puissance à commande MLIA application aux actionnements électriques », université catholique de Louvain, thèse de doctorat 2005.
- [21] Tarbouchi Mohamed, « commande par linéarisation exacte d'une machine asynchrone, régime défluxé ». Thèse présentée pour l'obtention du grade de (P.H.D) à l'université de Laval. Québec, 1997.
- [22] Lopez, J.M « la tecnología de los vehículos híbridos y eléctricos ». Asepa, Madrid 2010.

Résumé :

Ce travail est consacré à la modélisation et à la simulation d'un véhicule électrique hybride ayant deux sources d'énergies : un moteur thermique et une motorisation électrique. Ce mémoire traite dans un premier temps, l'état de l'art sur les véhicules électriques hybrides. L'architecture série est adoptée pour la modélisation, Le modèle du véhicule construit pour la simulation consiste à assembler les différents blocs des composants en les reliant d'une manière structurée tout en respectant la causalité physique. Pour la commande de l'ensemble motopropulseur une stratégie de commande est représentée, dont le rôle est de choisir à chaque instant la meilleure répartition de puissance entre les différentes sources d'énergie d'une manière à minimiser la consommation de carburant et les émissions des polluants.

Mot clés : voiture hybride, commande vectorielle, moteur asynchrone.

Abstract:

This work is devoted to the modeling and simulation of hybrid electric vehicles with two sources of energy: a combustion engine and an electric motor. This thesis deals firstly, the state of the art in hybrid electric vehicles. Series architecture is adopted for modeling, so each part of the traction is modeled separately. The constructed vehicle model for simulation consists of assembling different blocks by connecting components in a structured manner while respecting the physical causality. For the control of the power train, a control strategy is developed, whose role is to choose at every moment the best power distribution between different energy sources in order to minimize fuel consumption and pollutants emissions.