

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA Bejaia
Faculté de Technologie
Département de génie électrique



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Automatique
Spécialité: Automatique et informatique industrielle

Thème :

Commande adaptative d'un actionneur électromécanique.

Réalisé par :

- HADDAD Yassine
- Ait KHELIFA Khelaf

Devant le jury

Mr. CHARIKH

Mr. Lehouche

Encadré par :

Mr K.OUARI

Promotion: 2017/2018

Remerciements

On tiens à remercier tout d'abord et plus particulièrement, notre encadreur, Monsieur ouari kamel, pour ses qualités d'encadrement et son suivi durant notre projet de fin d'études. Vos compétences et vos remarques nous ont beaucoup apporté sur le plan professionnel, on vous remercie pour votre temps que vous avez consacré pour nous, pour votre patience, votre disponibilité, et surtout votre confiance et votre bienveillance.

On veut également remercier les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail pour toutes remarques et critiques.

On tiens aussi à remercier les enseignants de l'université de béjaia qui ont contribué à notre formation dans les meilleures conditions.

Dédicaces

je dédie ce modeste travail à:

mes chers parents, ma famille, et à mes frères et tous

mes amis

et à la mémoire de mon grand père

K.Ait Khelifa

je dédie ce modeste travail à:

mes chers parents, ma famille, et à mes frères et soeur et tous

mes amis

Y.Haddad

Sommaire :

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I: Etat d'art de la commande adaptative

I.1 Introduction.....	2
I.2 Différents types de commandes avancées	2
I.2.1 Commande prédictive.....	2
I.2.1.1 Principe de la commande prédictive.....	2
I.2.1.2 Commande prédictive généralisé.....	3
I.2.1.3 Les avantages de la commande prédictive	4
I.2.1.4 Domaines d'applications	4
I.2.2 Commande optimale.....	5
I.2.2.1 Principe d'optimalité.....	6
I.2.2.2 Classement des problèmes de la commande optimale.....	6
I.2.2.3 Courts chemins de Reeds et Sheeps	7
I.2.3 Commande par la logique floue.....	7
I.2.3.1 Les systèmes flous	7
I.2.3.2 Structure de régulateur floue	7
I.2.3.3 Principe de régulateur floue.....	8
I.2.3.4 Les avantages de la commande par logique floue	8
I.2.3.5 Les domaines d'applications	9
I.2.4 Commande par réseaux de neurones	9
I.2.4.1 Neurone formel.....	9
I.2.4.2 Réseaux de neurones	10
I.2.4.2.1 Les types des réseaux de neurones.....	10
I.2.4.2.1.1 Le perceptron.....	10
I.2.4.2.1.2 Le perceptron multicouche.....	10
I.2.4.2.1.3 Réseaux de neurone linéaire..	10
I.2.4.2.1.4 Réseau RBF (RAdial Basis Function).....	11
I.2.4.2.1.5 Réseau hopfield.....	11
I.2.4.2.2 Structure du réseau de neurone.....	11
I.2.4.2.2.1 Réseau non bouclé.....	11

I.2.4.2.2 Réseau bouclé.....	12
I.2.4.3 Synthèse de la commande neuronale.....	12
I.2.4.4 Apprentissage dans les réseaux de neurones	13
I.2.4.5 Domaine d'applications	13
I.2.4.6 Les avantages des réseaux de neurones dans l'application l'industrie	13
I.2.5 Commande adaptative	13
I.2.5.2 Les approches de la commande adaptative.....	14
I.2.5.2.1 Commande à gain programmé.....	14
I.2.5.2.2 Commande auto-ajustable.....	14
I.2.5.3 Les avantages de la commande adaptative.....	16
I.2.5.4 Domaines d'application.....	16
I.2.5.5 Système à commande adaptative.....	16
I.2.5.5.1 Principe du système à commande a.....	17
I.2.5.5.2 Caractéristiques du système de commande adaptative.....	17
I.3 Conclusion.....	17

Chapitre II : modélisation du moteur à courant continu

II.1 Introduction	18
II.2 Définition.....	18
II.3 Constitution	19
II.3.1 Stator(Inducteur).....	19
II.3.2 Induit (rotor)	20
II.3.3 Le collecteur et les balais.....	20
II.4 Principe de fonctionnement.....	21
II.5 Les différents types de moteurs.....	22
II.5.1 Les moteurs à excitation série	22
II.5.2 Les moteurs à excitation shunt	22
II.5.3 Les moteurs à excitation composé.....	22
II.5.4 Les moteurs à excitation séparée	23
II.6 Les avantages et les inconvénients	24
II.7 Domaines d'applications	24

II.8 Modélisation du moteur à courant continu à excitation séparé.....	24
II.8.1 Les équations électriques et mécaniques du MCC.....	25
II.8.1.1 Equations électriques.....	25
II.8.1.2 Équations mécaniques.....	25
II.9 Fonction de transfert.....	26
II.10 Conclusion.....	28

Chapitre III : Application et simulation

III.1 Introduction.....	29
III.2 Synthèse de la commande à model de référence.....	29
III.3 Résultats de simulations de la commande (MRAC) avec MCC.....	31
III.3.1 Variations paramétriques mécaniques.....	34
III.3.2 Variations paramétriques électriques.....	37
III.4 Conclusion.....	40
Conclusion générale.....	41

Liste des figures

Chapitre I : Etat d'art de la commande adaptative

Figure I.1: Evolution temporelle de la prédiction a l'horizon fini..... 3

Figure I.2: Schéma fonctionnel du GPC..... 4

Figure I.3: Schéma de régulateur flou..... 8

Figure I.4 : Le schéma de principe du régulateur flou..... 8

Figure I.5: Schéma de base d'un neurone formel..... 10

Figure I.6: Schéma de perceptron a couche caché..... 11

Figure I.7: Schéma de réseaux de neurones récurrents..... 12

Figure I.8 : Schéma direct de la commande neuronale..... 12

Figure I.9 : Commande adaptative a gain programmé..... 14

Figure I.10 : Commande auto-ajustable..... 15

Figure I.11 : Commande adaptative à modèle de référence..... 16

Chapitre II : Modélisation du moteur à courant continu

Figure II.1: Fonctionnement du moteur à courant continu..... 18

Figure II.2 : description du moteur à courant continu..... 19

Figure II.3 : Inducteur..... 19

Figure II.4: Le rotor..... 20

Figure II.5 : Le collecteur / balais..... 20

Figure II.6 : Machine à excitation série..... 22

Figure II.7 : Machine à excitation shunt..... 22

Figure II.8 : Machine à excitation composée..... 23

Figure II.9 : Machine à excitation indépendante..... 23

Figure II.10 : Schéma illustratif du moteur a courant continu..... 25

Figure II.11: <i>Schéma bloc d'un moteur à courant continu</i>	26
Figure II.12: <i>Allure de la vitesse du moteur</i>	28
Figure II.13: <i>Allure du courant I</i>	28

Chapitre III : Application et simulation

Figure III.1: <i>Schéma bloc de la commande adaptative (MRAC) avec MCC</i>	30
Figure III.2 : <i>Schéma bloc du moteur a courant continu</i>	31
Figure III.3 : <i>Réponse en vitesse et l'erreur pour $(\gamma=1)$</i>	31
Figure III.4 : <i>Réponse en vitesse et l'erreur pour $(\gamma=8)$</i>	32
Figure III.5 : <i>Réponse en vitesse et l'erreur pour $(\gamma=30)$</i>	33
Figure III.6 : <i>schéma bloc du MCC avec variations paramétriques mécaniques</i>	33
Figure III.7 : <i>Vitesse du rotor</i>	34
Figure III.8 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=1, C_r = 0 \text{ N.m})$</i>	34
Figure III.9 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=8, C_r = 0 \text{ N.m})$</i>	34
Figure III.10 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=30, C_r = 0 \text{ N.m})$</i>	35
Figure III.11 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=1, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	35
Figure III.12 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=8, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	36
Figure III.13 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=30, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	36
Figure III.14 : <i>Schéma bloc du MCC avec variations paramétriques électriques</i> ...37	
Figure III.15 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=1, C_r = 0 \text{ N.m,})$</i>	37.
Figure III.16 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=8, C_r = 0 \text{ N.m})$</i>	37
Figure III.17 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=30, C_r = 0 \text{ N.m})$</i>	38
Figure III.18 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=1, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	38
Figure III.19 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=8, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	39
Figure III.20 : <i>L'erreur de vitesse avec $(\gamma=30, C_r = 0.2 \text{ N.m})$</i>	39

Symboles et notations

GPC: Commande prédictive généralisée

RNA: Réseaux de neurones artificiels

MRAC: Commande adaptative à modèle de référence

MCC: Moteur à courant continu

F.M.M: Force magnétomotrice

F.e.m : Force électromotrice

Φ : Flux électromagnétique

$\Omega(t)$: La vitesse angulaire

R : La résistance de l'induit

L : L'inductance

$E(t)$: La force électromotrice

$i(t)$: Courant de l'induit

T_{em} : Le couple électromagnétique

P_{em} : La puissance électromagnétique

R : La résistance de l'induit

c_u : Couple utile

c_r : Couple résistant

$V(t)$: Tension aux borne de l'induit

J : Moment d'inertie

f : Coefficient de frottement

t : Temps

MIT: Massachusetts institute of technology

e : L'erreur

Θ : paramètre du contrôleur

$G(s)$:Fonction de transfert de 2^{ème} ordre

γ : Gain d'adaptation

u_c : La consigne

y : La sortie du moteur

y_m : La sortie du modèle

Introduction générale

L'évolution considérable de la micro-informatique a poussé les chercheurs de se concentrer de plus en plus vers l'utilisation des techniques de commande avancée [1].

Le progrès de l'électronique de puissance et la micro-électronique a rendu possible l'implantation et l'application des commandes modernes telles que la commande adaptative est bien développée au cours des dernières années, aux différents types de machine électrique [1].

Face aux limitations des régulateurs conventionnels, le régulateur adaptatif a pour but d'améliorer les performances, il permet de réaliser de meilleures performances face aux variations paramétriques et les perturbations. Par contre , il demande un calcul relativement plus complexe.

L'objectif de ce travail est d'appliquer la technique de la commande adaptative à modèle de référence (MRAC) à un moteur à courant continu en utilisant une technique développée sous le nom (la règle de MIT: Massachusetts Institute of Technology).

Ce mémoire est structuré en trois parties :

-Dans le premier chapitre, on présente l'état d'art des commandes avancées (commande prédictive, commande optimale, commande neuronale, commande par logique floue), puis on s'intéresse à la commande adaptative.

-Dans le deuxième chapitre, on donne les généralités sur le moteur à courant continu, par la suite, on traite sa modélisation en utilisant les équations mécaniques et électriques.

-Dans Le troisième chapitre, on applique la commande adaptative à modèle de référence au moteur à courant continu et on présente les résultats de la simulation de celle-ci.

Et en fin, on terminera par une conclusion générale.

Chaptire I

Etat d'art de la commande adaptative

I.1 Introduction

L'apparition des commandes avancées a connu un progrès très important dans les sciences de l'automatique et la technologie moderne, elles deviennent actuellement le domaine de recherche plus actif, l'usage de ces techniques montre leurs efficacités et donne des meilleurs performances dans l'application industrielle.

Le but de ce chapitre est de présenter et d'expliquer le principe de différents types de commande.

I.2 Différents types de commandes avancées

I.2.1 Commande prédictive

Les principes de la commande prédictive ont été introduits, pour la première fois, par Smith à la fin des années 50 et a été émergé de manière industrielle qu'à partir du milieu des années 1980, même si de nombreux travaux ont fait état de son intérêt dès la fin des années 1970[2].

I.2.1.1 Principe de la commande prédictive

La commande prédictive est une technique de commande avancée de l'automatique. Elle a pour objectif de commander des systèmes industriels complexes. Le principe de cette technique est d'utiliser un modèle dynamique du processus à l'intérieur du contrôleur en temps réel afin d'anticiper le futur comportement du procédé [3].

La commande prédictive se différencie des autres techniques de commande par le fait que doit être résolu en ligne, elle consiste à optimiser, à partir des entrées/sorties d'un système, le comportement futur prédit du système considéré. La prédiction est faite à partir d'un modèle interne du système sur un intervalle de temps fini appelé horizon de prédiction. La solution du problème d'optimisation est un vecteur de commande dont la première entrée de la séquence optimale est injectée au système. Le problème est à nouveau résolu sur l'intervalle de temps suivant en utilisant les données du système mises à jour [4].

La philosophie de la commande prédictive est donc, connaissant la sortie du processus à commander, de déterminer la commande permettant de lui faire rallier la consigne selon une trajectoire prédéfinie (trajectoire de référence) sur la sortie du processus en accord avec la figure (I.1). Il s'agit donc de déterminer la séquence future de commande à appliquer à

l'entrée du processus afin de réaliser le ralliement. Seule la première commande est appliquée, les autres commandes seront oubliées car à la période d'échantillonnage suivante, les séquences sont décalées, une nouvelle sortie est mesurée et la séquence d'opération est alors recommencée chaque période d'échantillonnage selon le principe de l'horizon fuyant[3]. Cette stratégie de commande a montré son efficacité, sa flexibilité et son succès dans des applications industrielles, même pour des systèmes à faible période d'échantillonnage. L'application de la commande prédictive dans le domaine des commandes numériques a donné des bons résultats en termes de rapidité et de précision [5].

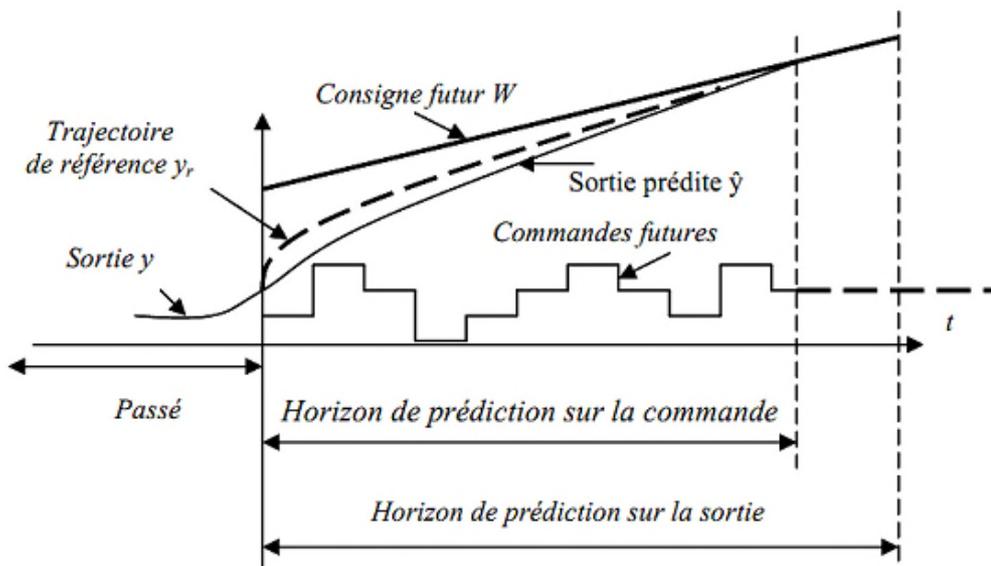


Figure I.1: Evolution temporelle de la prédiction à l'horizon fini

I.2.1.2 Commande prédictive généralisé

La commande prédictive généralisée (GPC : GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL) de Clarke, est considérée comme la méthode la plus utilisée dans le l'industrie des méthodes de prédiction, Elle permet de combiner la prédiction du comportement futur du procédé avec la commande de rétroaction.

Principe de fonctionnement de la commande prédictive c'est la résolution répétée (chaque pas de temps d'un problème de commande optimale) : "comment aller de l'état actuel à un objectif de manière optimale en satisfaisant des contraintes". Pour cela, il faut connaître à chaque itération l'état du système en utilisant un outil de résolution numérique [6].

Le schéma fonctionnel de GPC est représenté dans la figure(I.2):

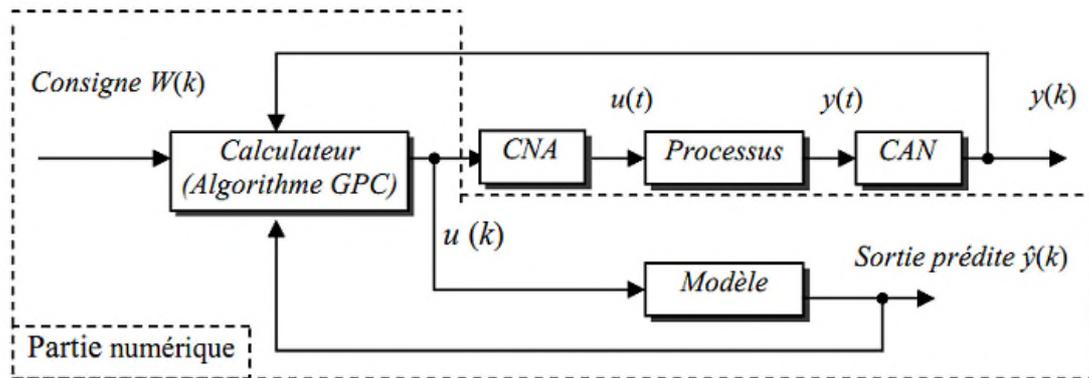


Figure I.2 : Schéma fonctionnel du GPC

Pour coïncider l'état de futur pour la sortie de système pour une consigne donnée, on doit prédire les sorties futures du processus sur un horizon bien défini, grâce au modèle numérique du système, puis on calcule la séquence des commandes futures par minimisation d'un critère quadratique des erreurs entre les sorties prédites et les consignes, enfin on applique seulement la première commande sur le système, et répéter cette procédure (la prochaine période d'échantillonnage selon la stratégie de l'horizon fuyant).

I.2.1.3 Les avantages de la commande prédictive

La plupart des régulations industrielles sont réalisées souvent avec des régulateurs PID analogiques avec une efficacité remarquable et un rapport prix/performance avec lequel il est difficile de les rivaliser. Toutefois, ce type de régulateur ne couvre pas tous les besoins et ses performances souffrent dans un certain champ d'applications dont on cite [3]:

- Les processus difficiles, notamment non linéaires, instables, non stationnaires, à grand retard purs et aussi multi variables.
- Lorsque les performances sont tendues par l'utilisateur, notamment : forte atténuation des perturbations, erreur de traînage nulle en poursuite, réponse en temps minimal, ce qui amène à fonctionner sous contraintes qui affectent soit les variables de commande, soit les variables internes du processus.

I.2.1.4 Domaines d'applications

Les principaux utilisateurs de la commande prédictive sont :

- Les raffineries de pétroles.
- L'industrie chimique et agroalimentaire.
- La métallurgie l'aérospatiale.

I.2.2 Commande optimale

Depuis toujours, lorsque les gens sont amenés à faire un choix entre plusieurs possibilités, ils cherchent à choisir la meilleure. Ils doivent alors résoudre certains problèmes d'optimisation, trouver le maximum ou le minimum. Nous appelons cela résoudre un problème d'extremum. Voici quelques exemples :

Problème isopérimétrique: Il a été établi dans ce problème que le cercle et la sphère ont la plus grande contenance parmi toutes les courbes de même longueur ou parmi toutes les surfaces de même aire. Ce résultat a été utilisé dans le fameux exemple de Didon (la princesse a demandé de lui accorder une surface de terre qui peut être encerclée par une peau de bœuf. Après, elle a découpé la peau en fines lamelles, les attacha bout à bout, formant une longue corde qui lui permit de délimiter un terrain considérable, où elle fonda la ville de Carthage).

Problème d'Euclide: Dans un triangle ABC donné, nous voulons inscrire un parallélogramme $ADEF$ d'aire maximale. Le résultat recherché s'obtient lorsque nous choisissons les points D , E et F comme étant les milieux des côtés correspondants du triangle ABC .

Problème du brachistochrone: Nous l'appelons aussi le problème de descente en temps minimal. Si nous avons deux points A et B dans un plan vertical, nous voulons déterminer le chemin AMB suivant lequel un corps M , entraîné par son poids, effectuera le trajet de A à B en temps minimal. Galilée a trouvé erronément que la courbe était le cercle, mais en 1696 Bernoulli écrivit un article où il a résolu ce problème et découvert que la solution est plutôt une cycloïde.

Problème aérodynamique de Newton: En 1687, Newton détermina la forme de la surface de révolution qui éprouve la moindre résistance lorsqu'elle bouge dans un fluide, suivant la direction de son axe.

Problème élémentaire de temps minimum: Si nous avons un wagonnet qui se déplace horizontalement sur des rails, nous allons appliquer une force extérieure, que l'on peut toujours faire varier dans des limites bien définies de telle sorte que le wagonnet s'arrête dans une position déterminée en temps minimal [7].

Les problèmes de commande optimale se rencontrent dans la vie de tous les jours : Comment arriver à destination le plus rapidement possible, comment minimiser sa consommation. Pour un système dynamique donné et dont les équations sont connues, le

problème de commande optimale consiste alors à trouver la commande minimisant un critère donné. C'est sous cette forme que la commande optimale a été étudiée dès le 19^{ème} siècle avec le calcul des variations. Une des grandes applications de la commande optimale a été l'application au lanceur Apollo dans les années 1960 [8].

En 1953, Bellman et Pontriaguine ont réussi à trouver une technique pour résoudre ces problèmes d'une manière pratique. Pour que la solution soit optimale la condition nécessaire est d'utiliser le principe de Pontriaguine.

I.2.2.1 Principe d'optimalité

Le principe d'optimale est basé sur deux concepts fondamentaux :

- Au lieu de chercher toutes les valeurs de la séquence optimale du signal de commande simultanément, on calcule une valeur par itération jusque ce que toute la séquence soit déterminée.
- Ce principe décompose un problème de décision de N étapes à N sous-processus de décisions élémentaires sur une seule itération.
- Le calcul des commande optimales se fait de la décision finale u_{n-1} vers la décision u_0 initiale.

I.2.2.2 Classement des problèmes de la commande optimale

On peut classer les fonctions objectives en deux critères physiques de performance.

- Temps optimal.
- Coût optimal.

Il existe des problèmes qui combinent les deux critères physiques de performance, et on parlera dans ce cas d'un problème de contrôle en temps et en coût optimal. Dans certains problème de contrôle optimal, il peut s'avérer utile et efficace de s'intéresser tout d'abord au problème de minimisation du temps de transfert afin de pouvoir traiter correctement le problème de minimisation du coût. On comprend bien qu'une minimisation de la consommation d'énergie se doit de ne pas engendrer de temps de transfert prohibitif à l'égard du temps de transfert minimum [8].

La commande optimale a montré son efficacité vu que son champ d'application et s'élargie dans plusieurs domaine (aérospatial, industrie,...etc.).

Dans la robotique, d'autres chercheurs ont beaucoup travaillé sur le principe d'optimisation afin d'améliorer les performances pour les trajectoires des robots.

I.2.2.3 Courts chemins de Reeds et Sheeps

En 1990, Reeds et Shepp pensais qu'en l'absence d'obstacles, les trajectoires de longueur minimale pour un robot sujet à une contrainte sur le rayon de courbure mais capable d'effectuer des manœuvres (marches arrière). Pour le robot de Reeds et Shepp, les trajectoires optimales présentent des points de rebroussement où le robot passe de la marche avant à la marche arrière. Un plus court chemin pour ce robot vérifie que la vitesse angulaire du robot prend des valeurs extrémums ou nulles [9].

I.2.3 Commande par la logique floue

Ce type de commande regroupe plusieurs outils connus sous ce nom ou aussi appelé l'intelligence Artificielle. Parmi ces commandes on retrouve la logique floue, Les bases de la logique floue (fuzzy logic) datent de 1965 aux USA. A l'opposé de la logique simple Binaire du "tout ou rien", la logique floue permet de traiter des variables incertaines dont la valeur varie Entre 0 et 1. Elle est souvent utilisée pour résoudre des problèmes où la mise en équation est difficile. La logique floue a pour but de raisonner à partir des connaissances imparfaites. Les travaux de Mamdani sur une chaudière à vapeur ont confirmé l'efficacité de cet outil. Le Chercheur japonais M.Sugeno introduit cette technique au Japon dans le domaine d'application de la commande [10].

I.2.3.1 Les systèmes flous

Les descriptions linguistiques telles que "rapide", "chauffant", et "grand" ne sont pas des quantités déterministes et ne tendent pas à être tout à fait subjectives et qualitatives. Ainsi, une proposition telle que "l'eau est chaude" peut avoir une valeur de vérité qui est partiellement vraie et partiellement fausse.

La logique conventionnelle et binaire est insatisfaisante pour manipuler de telles propositions, donc la logique floue est une forme tout à fait générale permettant de traiter de telles situations non déterministes [11].

I.2.3.2 Structure de régulateur floue

Le système flou est composé de 4 blocs principaux qui sont :

- Un bloc de connaissance sous forme de règles floues et paramètres des fonctions d'appartenance.
- Un bloc de décision ou moteur d'inférence ;
- La fuzzification qui consiste en la transformation des entrées précises en degrés d'appartenance
- La défuzzification qui consiste en la transformation des résultats flous en des sorties précises.

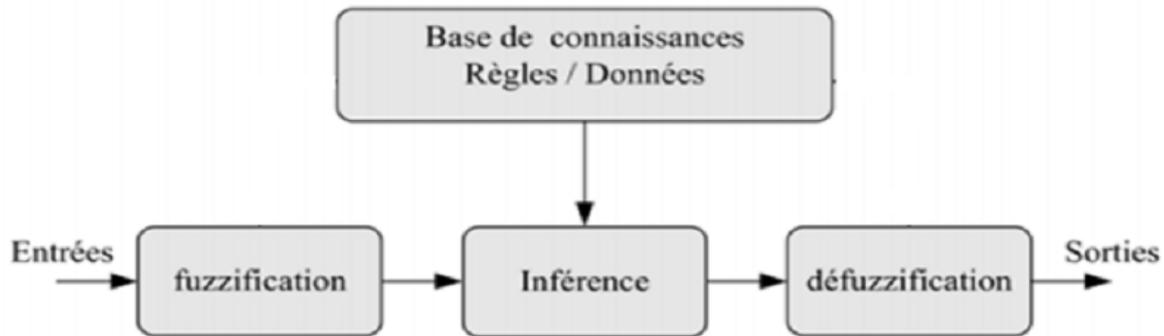


Figure I.3: Schéma de régulateur flou

I.2.3.3 Principe de régulateur flou

Un régulateur flou permet de déterminer la commande à appliquer à un processus à partir de la valeur de la variable de sortie de ce contrôleur ; celle-ci est elle-même déterminée à partir des valeurs des variables d'entrée n'est pas limité du régulateur par des relations floues, ou règles floues. Théoriquement, le nombre d'entrée n'est pas limité. En pratique, cependant, il n'est pas rationnel d'utiliser plus de trois variables d'entrée puisque la détermination des règles devient trop complexe.

Pour le régulateur décrit par la figure (I.4), nous n'avons intervenir que deux variables d'entrée :

$e(k) = y_d(k) - y(k)$: Ecart entre la consigne $y_d(k)$ et le signal de sortie $y(k)$.

$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1)$: Variation du signal d'écart à l'instant k [12].

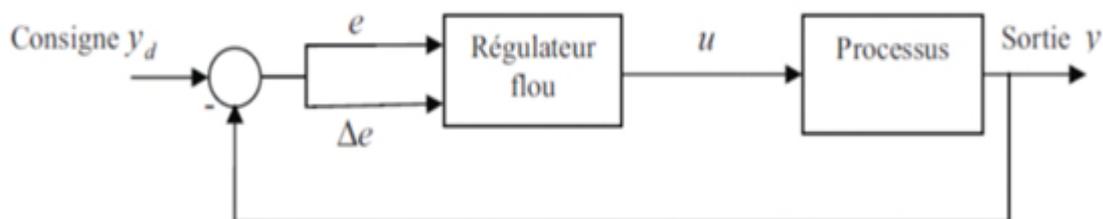


Figure I.4 : Le schéma de principe du régulateur flou

I.2.3.4 Les avantages de la commande par logique floue

Le réglage par la logique floue possède certainement un nombre d'avantages

Les avantages de la logique floue :

- La théorie est simple et s'applique à des systèmes complexes.
- Robustesse de la commande floue face à des incertitudes.

- Possibilités de commande auto-adaptative aux variations du procédé.
- La maîtrise du système à régler avec un comportement complexe.
- L'obtention fréquente de meilleures prestations dynamiques (régulateur non linéaire).

I.2.3.5 Les domaines d'applications

Les automatismes ont constitué le domaine d'application par excellence de la logique floue car c'est là où existe le grand nombre d'applications. On peut classer ses applications par domaines d'utilisation :

- Automatismes industriels.
- Automatismes d'entreprise et de transport.
- Automatismes dans les appareils grand public.
- Intelligence artificielle et reconnaissance des formes.
- Programmation et recherche opérationnelle.
- Statistiques.

I.2.4 Commande par réseaux de neurones

Les études des réseaux de neurones artificiels (RNA) datent depuis les années 1940. Grâce aux développements des recherches sur le cerveau et la disponibilité des outils de simulation, les chercheurs étudièrent des ensembles de neurones formels interconnectés. Ces réseaux, déjà développés à l'époque, permettaient d'effectuer quelques opérations logiques simples. Jusqu'aux années 1980, la recherche était freinée par la limitation théorique du perceptron. Juste après cette époque, Hopfield lança de nouveau en 1982 la recherche dans ce domaine après avoir montré l'analogie entre les RNA et les systèmes physique [13].

I.2.4.1 Neurone formel

Un neurone formel est un automate très simple imitant grossièrement la structure et fonctionnement d'un neurone biologique. La première version de ce dernier est celle de MCCULLOCH et W. PITTTS et date de 1943. S'inspirant de leurs travaux sur les neurones biologiques, ils ont proposé le modèle du neurone formel qui se voit comme un opérateur effectuant une somme pondérée de ses entrées suivie d'une fonction d'activation (ou de transfert) [14], comme indiqué par la figure (I.5):

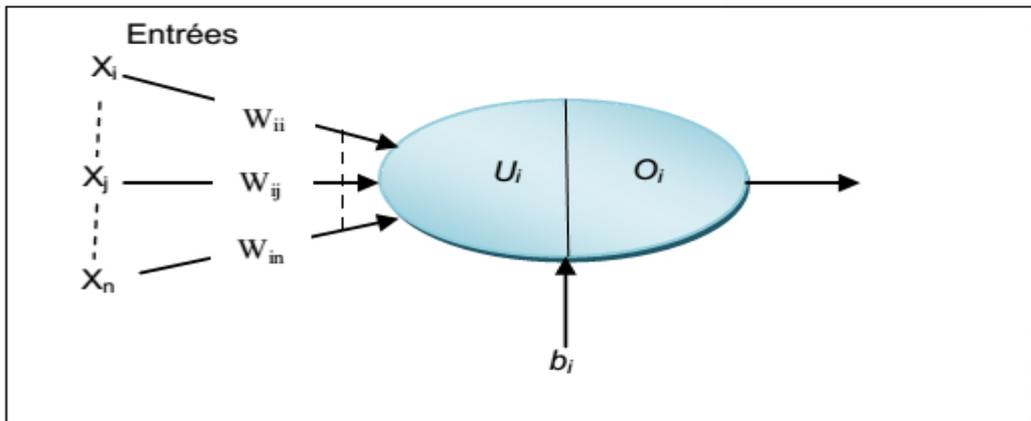


Figure I.5 : Schéma de base d'un neurone formel

o_i : la somme pondérée des entrées du neurone, sa loi s'écrit :

$$u_i = \sum w_{ij} x_j + b_i$$

x_j : L'entrée j connectée au neurone i

b_j : Le seuil interne de neurone

w_{ij} : Le poids de la connexion reliant l'entrée j au neurone.

I.2.4.2 Réseau de neurones

Un réseau de neurones artificiels (RNA) est un système qui a des caractéristiques semblables aux réseaux de neurones biologiques. Il est constitué de plusieurs unités (neurones) organisées sous forme de niveaux différents, appelés couches du réseau.

I.2.4.2.1 Les type des réseaux de neurones

I.2.4.2.1.1 Perceptron

Le perceptron est la forme la plus simple d'un réseau de neurones, il modélise la perception visuelle. Il comprend trois principaux éléments: la rétine, les cellules d'association et les cellules de décision. La fonction d'activation utilisée dans ce réseau est de type tout ou rien.

I.2.4.2.1.2 Perceptron multicouche

Cette classe représente la généralisation du perceptron monocouche avec une fonction d'activation de type sigmoïde et une ou plusieurs couches cachées.

I.2.4.2.1.3 Réseau de neurone linéaire

Cette classe de réseaux diffère du perceptron car elle possède un neurone dont la fonction d'activation est linéaire.

I.2.4.2.1.4 Réseau RBF (Radial Basis Function)

Ce réseau comporte une seule couche cachée dont la fonction d'activation est appelée fonction-noyau ou gaussienne et une couche de sortie avec une fonction d'activation linéaire [13].

I.2.4.2.1.5 Réseau HopField

Ce réseau est basé sur les principes de la physique statistique et il est fondamentalement une mémoire adressable par son contenu.

I.2.4.2.2 Structure de réseau de neurone

I.2.4.2.2.1 Réseau non bouclé

Dans ce type de structure dite feedforward, la propagation de l'information se fait uniquement de l'entrée vers la sortie. Les neurones de la même couche peuvent se connecter uniquement avec les neurones de la couche suivante. L'architecture la plus utilisée est le perceptron multicouche. Les neurones composant ce réseau s'organisent en N couches successives(3). La figure (I.6) ,illustre un perceptron à trois couches [14].

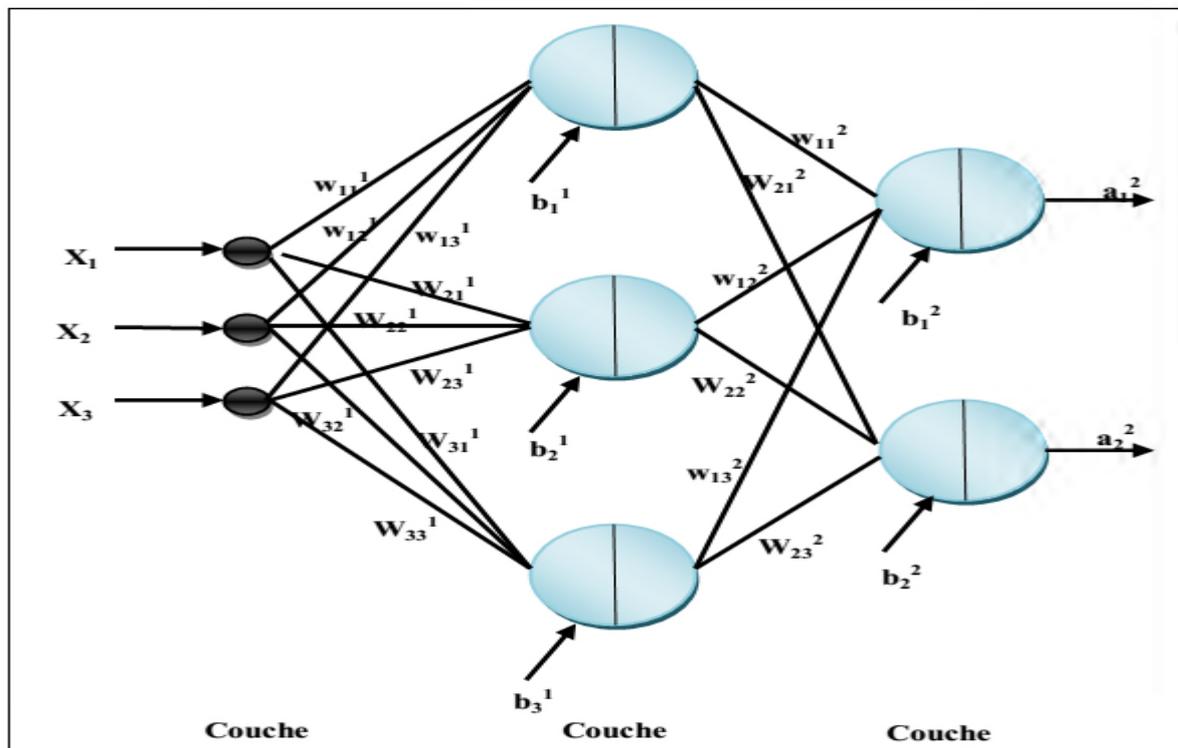


Figure I.6 : Schéma de perceptron a couche caché

I.2.4.2.2.1 Réseau bouclé

Un réseau dynamique ou récurrent possède la même structure qu'un réseau multicouche muni de rétroactions. Les connexions rétroactives peuvent exister entre tous les neurones du réseau sans distinction, ou seulement entre certains neurones (les neurones de la couche de sortie et les neurones de la couche d'entrée ou les neurones de la même couche par exemple) [15].

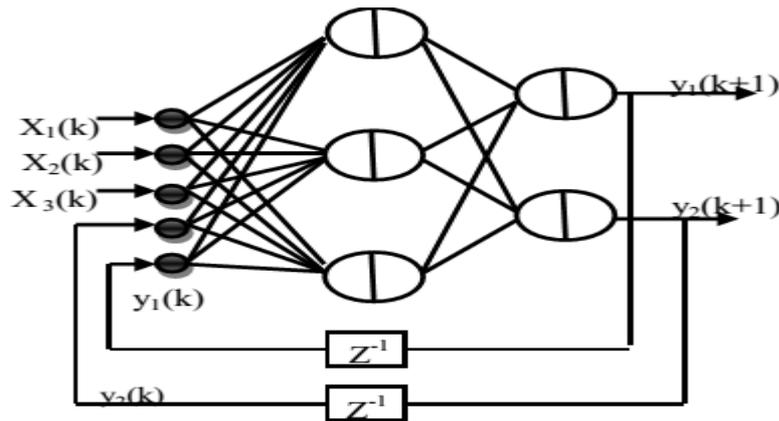


Figure I.7 : Schéma de réseaux de neurones récurrents

I.2.4.3 Synthèse de la commande neuronale

La méthode la plus simple pour construire un système de commande neuronal à partir d'un modèle du système dynamique commandé, identifié sous forme d'un réseau de neurone en boucle ouvert, est l'inversion directe du modèle, le système de commande est alors simplement l'inverse du modèle du processus comme le montre cette figure suivante :

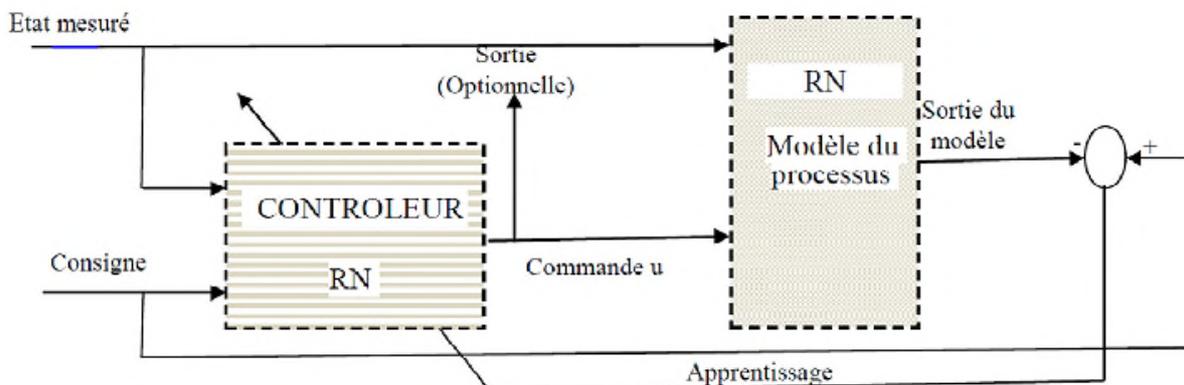


Figure I.8 : Schéma direct de la commande neuronale

Dans cette figure, on a adjoint au réseau de neurones qui constitue le modèle du processus un Réseau de neurones qui calcule la loi de commande. Ce réseau non bouclé qui a

pour entrée l'état et d'une façon optionnelle la consigne désirée (état au temps suivant) dans le cas où l'on souhaite que cette consigne soit variable. Sinon le contrôleur admet pour entrée unique l'état du système au temps k . la sortie du contrôleur est la commande au temps k qui, lors de l'apprentissage est appliquée à l'entrée de commande du modèle et au processus [16].

I.2.4.4 Apprentissage dans les réseaux de neurones

On peut définir l'apprentissage comme la capacité d'emmagasiner des informations. Le but de l'apprentissage pour un réseau est de trouver un ensemble de poids synoptiques qui minimisent l'erreur entre la sortie du réseau et le résultat désiré. C'est la caractéristique principale des réseaux de neurones [13].

I.2.4.5 Domaine d'applications

Vu ses avantages les réseaux de neurones sont plus en plus utilisés dans l'industrie. Dans cette Section nous citons quelques applications industrielles utilisant les réseaux neurones :

- La commande des systèmes électriques ;
- Le traitement des eaux.
- La reconnaissance des formes [16].

I.2.4.6 Les avantages des réseaux de neurones dans l'application industrielle

Les principales qualités des réseaux de neurones sont :

- La capacité d'adaptabilité et d'auto-organisation.
- La de résoudre des problèmes non-linéaires avec une bonne approximation.
- Une bonne immunité aux bruits.
- La rapidité d'exécution [16].

I.2.5 Commande adaptative

L'origine de la commande adaptative remonte les année 50, elle a été motivée par ces problèmes de l'aéronautique, beaucoup de recherches ont été activement menée vers des méthodes sophistiquées, telle que la commande adaptative était nécessaire de compenser ces fortes variations dans la dynamique de l'avion, car a l'époque les contrôleurs feedbacks était incapables de garantir les performances désiré lors du changement de son point de fonctionnement [17].

I.2.5.1 Principe de la commande adaptative

La terminologie de la commande adaptative désigne un ensemble de méthodes permettant un ajustement automatique en temps réel des paramètres des régulateurs mis en œuvre dans une boucle de commande afin de réaliser ou de maintenir un niveau de performance désire lorsque les paramètres du processus sont inconnus ou varient légèrement dans le temps. Son utilisation requiert la mesure d'un certain indice de performance qui est comparé à l'indice désiré. Suivant l'écart obtenu, le mécanisme d'adaptation (algorithme d'adaptation) modifie les paramètres du correcteur ajustable afin de maintenir l'indice de performance à la valeur désirée [18].

I.2.5.2 Les approches de la commande adaptative

I.2.5.2.1 Commande à gain programmé

Cette méthode suppose que les non-linéarités sont connues, car il n'existe pas de correction pour compenser une programmation incorrecte (fonctionnement en boucle ouverte). Elle a cependant l'avantage d'ajuster rapidement les paramètres du correcteur lors de changements rapides de la dynamique du processus, voir la figure (I.5) [18] :

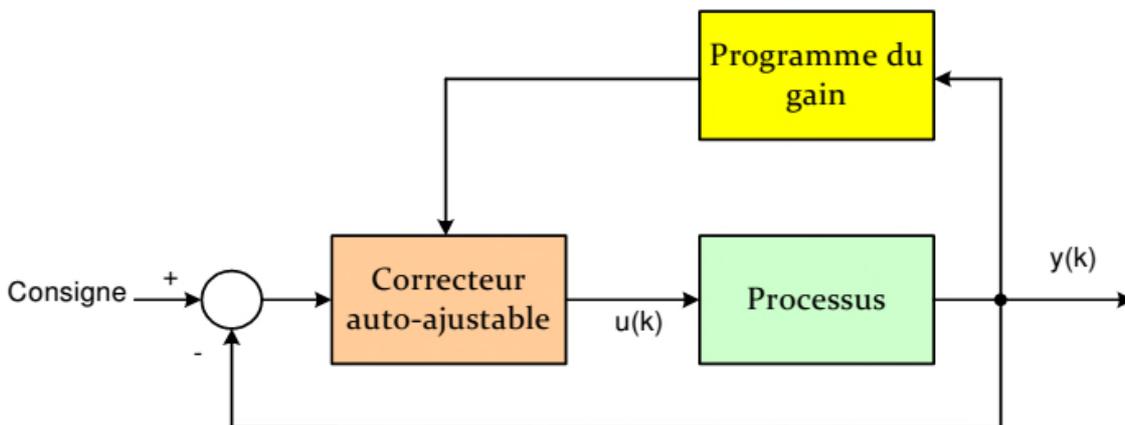


Figure I.9: *Commande adaptative a gain programmé*

I.2.5.2.2 Commande auto-ajustable

En 1958, kalman a proposé le schéma de la commande auto-ajustable. Les premières applications de ces techniques remontent au début des années 1970. Leur développement est basé sur une bonne compréhension des aspects "algébriques" des différentes stratégies de commande son principe consiste à choisir un modèle tel que les paramètres de régulateur sont ajusté en deux étapes :

- Estimation des paramètres du modèle du procédé.
- Calcul de ceux du régulateur à partir des paramètres estimés.

Cette commande comporte une boucle interne, la boucle classique processus-correcteur, et une boucle externe comprenant un estimateur (identification des paramètres du processus) et un mécanisme d'adaptation qui minimise l'erreur entre la sortie du processus et son estimation comme le montre la figure (5-3) [19].

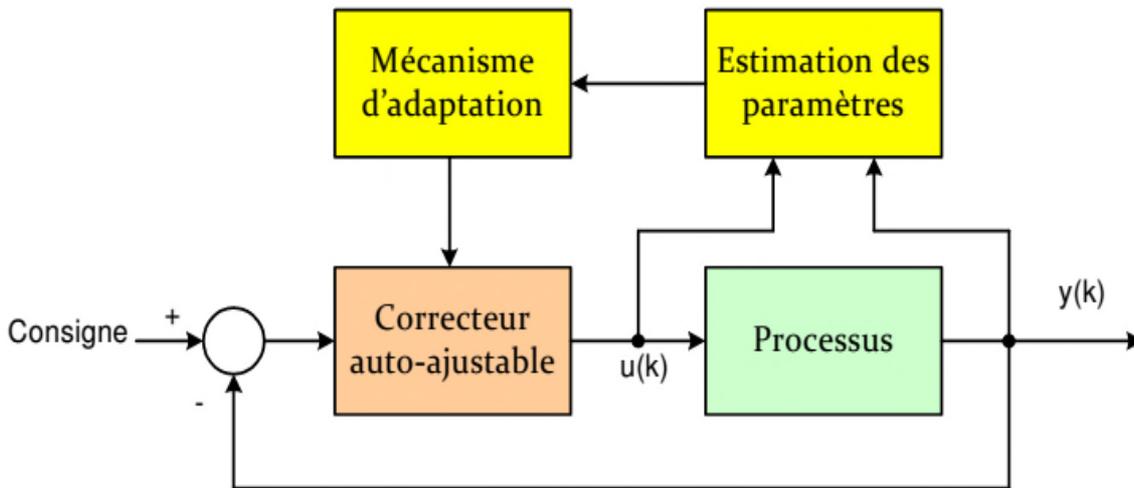


Figure I.10 : *Commande auto-ajustable*

I.2.5.2.3 Commande à modèle de référence

Le schéma de la commande adaptative à modèle de référence a été originellement proposé par whittaker, Yamron et Kazer, pour traiter les problèmes de l'asservissement. Elle fait partie d'un ensemble de techniques destinées à ajuster automatiquement les paramètres du contrôleur.

Le comportement dynamique du processus est défini par modèle de référence et les paramètres du contrôleur sont ajustés par la boucle externe de façon à minimiser l'erreur de sortie de processus-modèle. Cette méthode est utilisée en général pour les systèmes continus, déterministes. ($e = y - y_m$) [18].Le schéma fonctionnel est ;

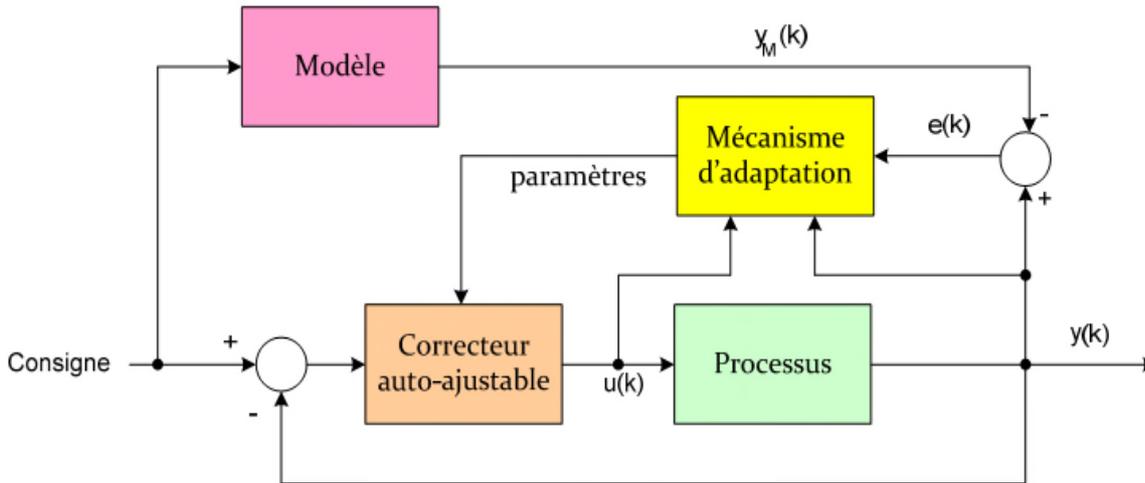


Figure I.11 : *Commande adaptative à modèle de référence*

I.2.5.3 Les avantages de la commande adaptative

La commande adaptative a un grand intérêt vu les tâches qu'elle réalise:

- elle permet d'ajuster automatiquement le régulateur à la mise en œuvre.
- elle maintient des performances vis-à-vis des variations qui subit le procédé.
- elle détermine automatiquement les paramètres optimaux du régulateur.
- elle sert à la mise en œuvre des régulateurs plus complexes. [19]

I.2.5.4 Domaines d'applications

La technique de commande adaptative a été utilisée dans plusieurs domaines, nous citons :

- Asservissement à moteur électrique.
- Les robots manipulateurs.
- Réacteurs chimiques
- régulation de pH.

I.2.5.5 Système à commande adaptative

Le système de commande adaptative permet de traiter l'écart entre l'indice de performance désiré et celui qui est mesuré dans le système réel. Le mécanisme d'adaptation intervient lors de l'ajustement des paramètres du régulateur pour réaliser un comportement souhaité du système en boucle fermée.

I.2.5.5.1 Principe du système à commande adaptative

Le système de commande adaptative est un système qui traite l'écart entre l'indice de performance désiré et celui qui est mesuré dans le système réel. Le mécanisme d'adaptation intervient lors de l'ajustement des coefficients du régulateur afin de réaliser un comportement souhaité du système en boucle fermée.

I.2.5.5.2 Caractéristiques du système de commande adaptative

Voici quelques spécificités du système de commande adaptative :

- Présence au moins de deux boucles : de contre réaction et d'auto-ajustement.
- Présence des éléments à paramètres ou structure variable au cours de fonctionnement selon un algorithme prédéfini.
- Présence des calculateurs.
- Utilisation des signaux aléatoires pour effectuer des recherches automatiques.
- Une grande stabilité par rapport aux paramètres du système
- La détection des variations anormales des caractéristiques du système à commander
- Le maintien des performances de système de commande quand les caractéristiques du système varient dans le temps.
- L'ajustement automatique des paramètres au cours de fonctionnement.

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques techniques de commande avancée (commande prédictive, commande optimale, commande par logique floue, commande neuronale, commande adaptative) puis on a élaboré les principes de chaque technique et on a donné les avantages et leurs domaines d'applications, finalement, on a présenté le système de commande adaptative.

Chapitre II
Modélisation du moteur à courant continu

II.1 Introduction

Les moteurs à courant continu sont très utilisés dans le domaine de la robotique qui nécessite une variation précise de la vitesse de rotation.

Dans la première partie de ce chapitre, on présente la description de la machine à courant continu et son principe de fonctionnement. Il s'agit d'établir les différents types des moteurs à courant continu. Ensuite on donne les avantages et les inconvénients d'utilisation.

Dans la deuxième partie, on modélise notre moteur à base des équations mathématiques.

II.2 Définition

Une machine à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique.

En fonctionnement moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.

En fonctionnement générateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (elle peut se comporter comme un frein).

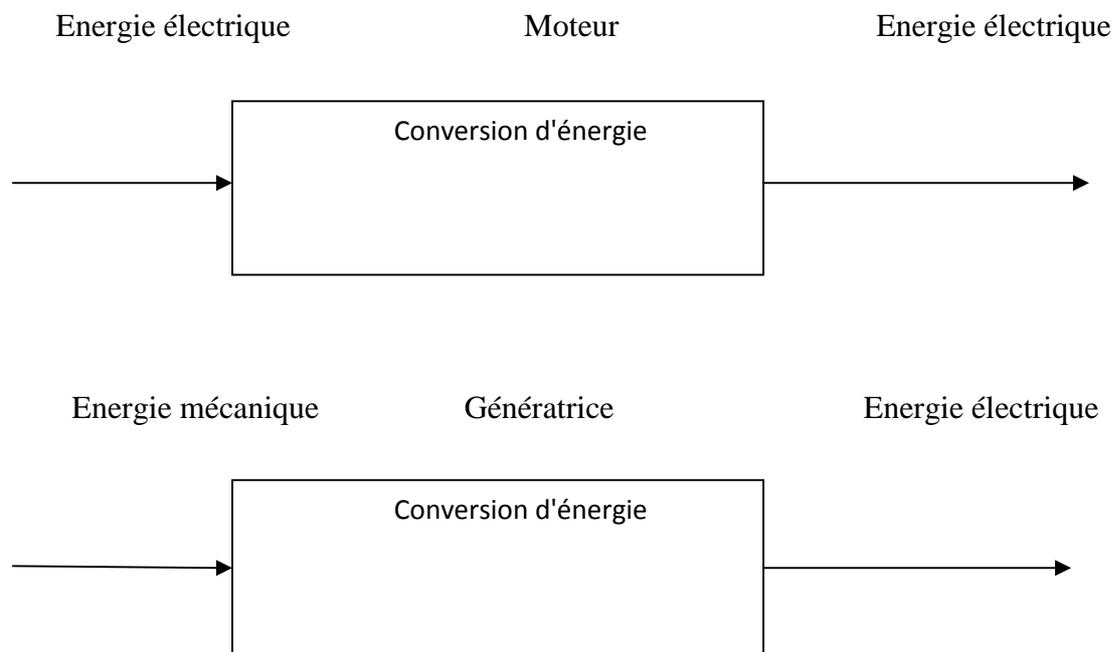


Figure II.1 : *Fonctionnement du moteur à courant continu*

II.3 Constitution

Le moteur à courant continu est constitué de trois parties principales qui sont :

- Inducteur
- Induit
- Balais / collecteur

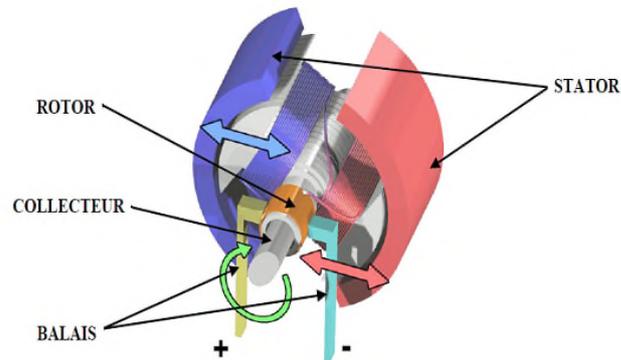


Figure II.2 : description du moteur à courant continu

II.3.1 Stator (Inducteur)

Le bobinage inducteur, traversé par un courant inducteur, produit le flux magnétique dans la machine. Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la force magnétomotrice (F.M.M.) nécessaire à la production du flux [20].



Figure II.3 : Inducteur

II.3.2 Induit (rotor)

L'induit est composé d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un noyau cylindrique. Il est monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur. L'induit constitue un ensemble de conducteurs qui coupent les lignes de champ magnétique. Les bobines sont disposées de telle façon que leurs deux côtés coupent respectivement le flux provenant d'un pôle nord et d'un pôle sud de l'inducteur [20].

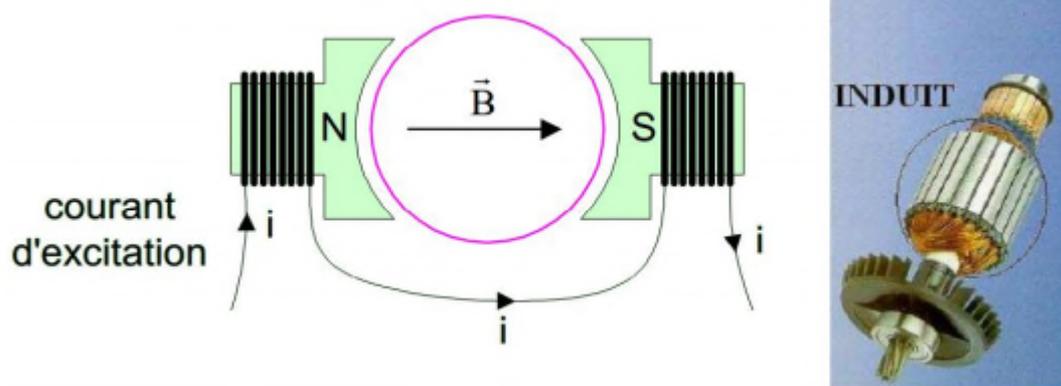


Figure II.4 : Le rotor

II.3.3 Le collecteur et les balais

Le collecteur est un ensemble cylindrique de lames de cuivre isolées les unes des autres par des feuilles de mica. Le collecteur est monté sur l'arbre de la machine, mais isolé de celui-ci. Les deux fils sortant de chaque bobine de l'induit sont successivement et symétriquement soudés aux lames du collecteur [20].



Figure II.5 : Le collecteur/balais

II.4 Principe de fonctionnement

L'inducteur ou stator crée un champ magnétique fixe \vec{B} . Ce stator peut être à aimant permanent ou constitué d'électro-aimants.

L'induit ou le rotor porte des conducteurs parcourus par un courant continu (alimentation du moteur); ces spires, soumises à des forces (forces dites de la place), entraînent la rotation du rotor.

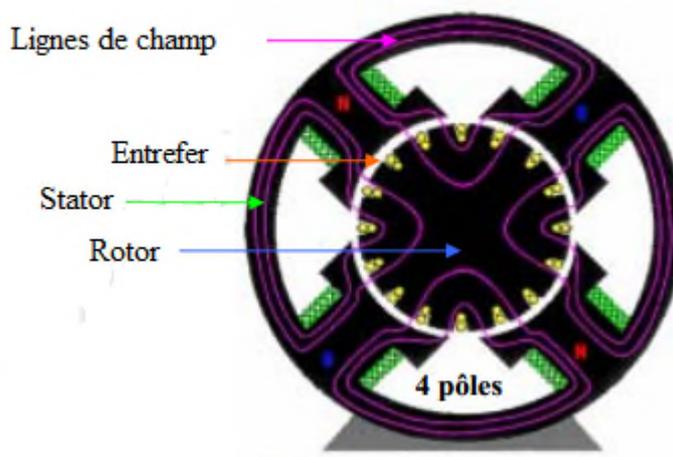
Il en résulte une variation du flux du champ magnétique à travers chaque spire, elle engendre une force électromotrice (f.é.m.).

La valeur moyenne E de cette f.é.m. est proportionnelle à la vitesse angulaire Ω du rotor, au flux maximal du champ magnétique créée par l'inducteur à travers les spires ($\Phi = B * S$) et à une constante K qui dépend des caractéristiques de la conception du moteur (nombres du conducteurs, surface de chaque spire, nombre de paires de pôles).

Ω en rad/s

Φ en Wb

E en volt



Remarque : Si l'inducteur n'a pas d'influence sur le champ magnétique.

Si l'induit présente une f.é.m. E Alors est parcouru par un courant I , il reçoit une puissance électromagnétique P_{em} :

$$P_{em} = E * I \quad (\text{II.1})$$

Le rotor tourne à la vitesse angulaire Ω de sorte que cette puissance s'écrit :

$$P_{em} = E * I = T_{em} * \Omega \quad (\text{II.2})$$

En tenu compte de l'expression de la f.é.m., le couple électromagnétique est donné :

$$T_{em} = k * I \quad (\text{II.3})$$

T_{em} En N.m

P_{em} En W

II.5 Les différents types de moteurs

II.5.1 Les moteurs à excitation série

Dans un moteur à excitation série le circuit d'induit est en série avec l'inducteur, le flux dépend du courant qui circule dans l'induit.

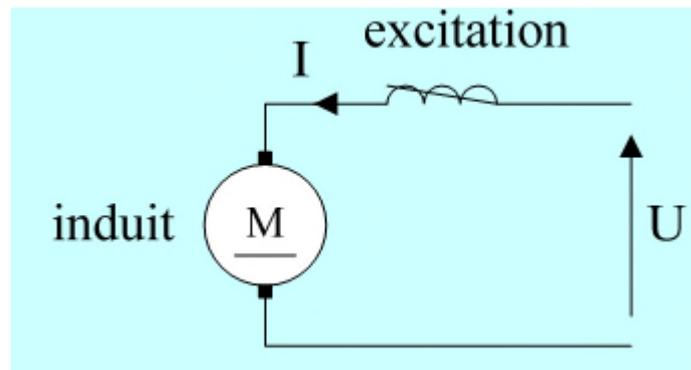


Figure II.6 : Machine à excitation série

II.5.2 Les moteurs à excitations shunt

La même source d'alimentation alimente l'induit et l'inducteur. L'inducteur est mis parallèle avec l'induit. Ce genre d'excitation assure la rotation du l'induit par une vitesse constante.

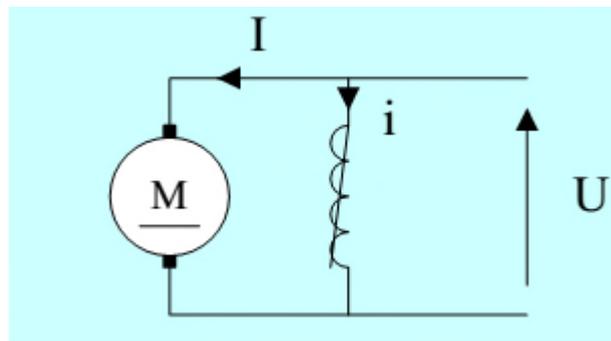


Figure II.7 : Machine à excitation shunt

II.5.3 Les moteurs à excitation composée

Dans ce type de moteur on conçoit deux techniques de branchement qui sont:

- Courte dérivation : L'enroulement est shunté directement avec l'induit.
- Long dérivation : L'enroulement est shunté en parallèle avec l'induit.

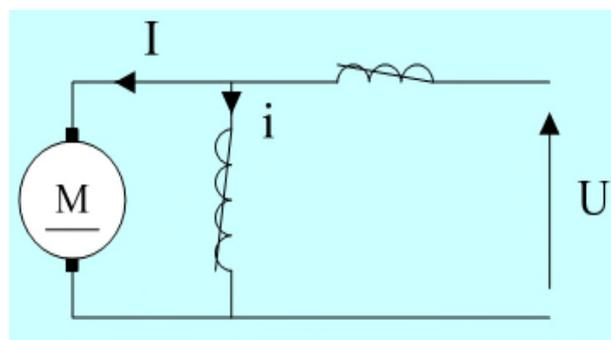


Figure II.8 : Machine à excitation composée

II.5.4 Les moteurs à excitation séparée

Dans un moteur à excitation séparée, le circuit d'excitation est séparé du circuit d'induit. Si l'inducteur est un aimant permanent, le flux (Φ) est constant. Si l'inducteur est un électroaimant alimenté par une source de tension continue, le flux (Φ) ne dépend que du courant dans l'inducteur appelé courant d'excitation (i).

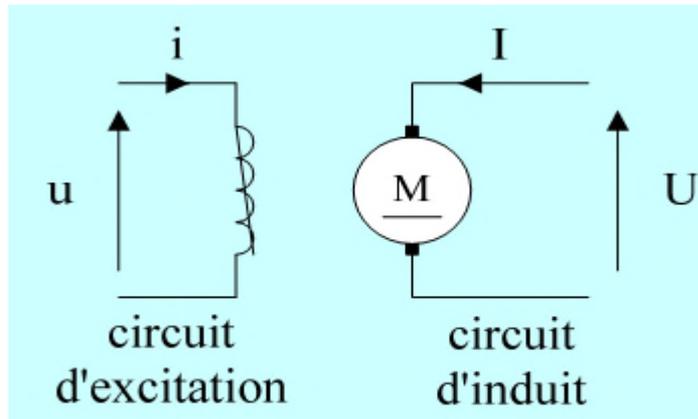


Figure II.9 : Machine à excitation indépendante

On a :

$$U = E + R * I \quad (\text{II.4})$$

$$u = R * i \quad (\text{II.5})$$

Quelques remarques pour le fonctionnement :

Pour les conditions d'excitation fixées, le flux Φ est constant, donc on a :

$$T_{em} = k * I \quad (\text{II.6})$$

On pose :

$$k = K * \Phi \quad (\text{II.7})$$

En première approximation, on peut négliger les pertes ; dans ce cas, le couple électromagnétique T_{em} est égal au couple utile c_u donc au couple résistant c_r imposé par la charge.

-C'est la charge couplée au moteur qui impose le courant I .

-La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation de l'induit.

II.6 Les avantages et les inconvénients

- **Avantages**

-Alimentation aisée dans les systèmes transportant leur réserve d'énergie (autonome) : batterie. -
La variation de fréquence de rotation est simple à réaliser.

- **Inconvénient**

-Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les balais doivent appuyer fort pour rester en contact et plus le frottement est important.

-Aux vitesses élevées les charbons doivent être remplacés très régulièrement.

-Le contact électrique imparfait cause des arcs électriques, usant rapidement le commutateur et générant des parasites dans le circuit d'alimentation.

II.7 Domaines d'applications

Les moteurs à courant continu sont très utilisés dans divers domaines, on cite:

-démarreur (automobile ...).

-moteur de traction (locomotive, métro ...).

-appareils de levage.

-Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, pompes à piston.

-Machines-outils à couple variable ou à mouvement alternatif (étaux-limeurs, raboteuses).

-Bras de robots manipulateurs

II.8 Modélisation du moteur à courant continu à excitation séparée

Le moteur à courant continu peut être modélisé mathématiquement à l'aide d'équations électriques et mécaniques, on considère dans ce cas que l'entrée du moteur est sa tension d'alimentation et sa sortie c'est la vitesse de l'arbre.

II.8.1 Les équations électriques et mécaniques du MCC

Le comportement global d'un moteur à courant continu peut s'exprimer sous la forme du schéma :

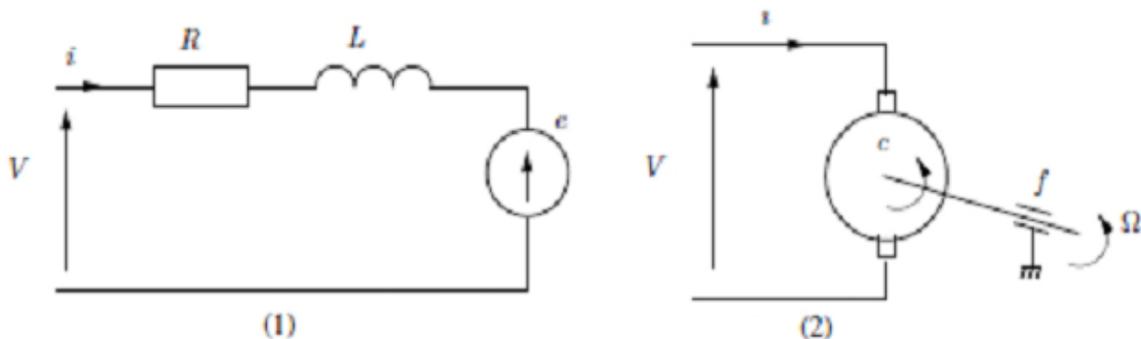


Figure II.10 : Schéma illustratif du moteur à courant continu

II.8.1.1 Equations électriques

La tension $V(t)$ au bornes de l'induit est donné par

$$V(t) = Ri(t) + \frac{Ldi(t)}{dt} + E(t) \quad (\text{II.8})$$

R : La résistance de l'induit

L : L'inductance

$E(t)$: La force électromotrice

$i(t)$: Courant de l'induit

La force électromotrice est exprimé par:

$$E(t) = K * \Omega(t) \quad (\text{II.9})$$

$\Omega(t)$: Vitesse de rotation

II.8.1.2 Équations mécaniques

$$\frac{Jd\Omega(t)}{dt} = c(t) - c_r(t) \quad (\text{II.10})$$

J : Moment d'inertie

$c(t)$: Le couple moteur

$$c_r(t) = f\Omega(s) \quad (\text{II.11})$$

$c_r(t)$: Le couple résistant

f : Le coefficient de frottement visqueux

Le couple de moteur est donné par:

$$c(t) = K * i(t) \quad (\text{II.12})$$

En utilisant la transformée de Laplace, on obtient :

$$E(s) = K\Omega(s) \quad (\text{II.13})$$

$$V(s) = E(s) + (R + Ls)I(s) \quad (\text{II.14})$$

$$c(s) = KI(s) \quad (\text{II.15})$$

$$c_r(s) = f\Omega(s) \quad (\text{II.16})$$

$$c(s) - c_r(s) = Js\Omega(s) \quad (\text{II.17})$$

Ces équations suivantes nous ramène à présenter ce schéma bloc suivant,

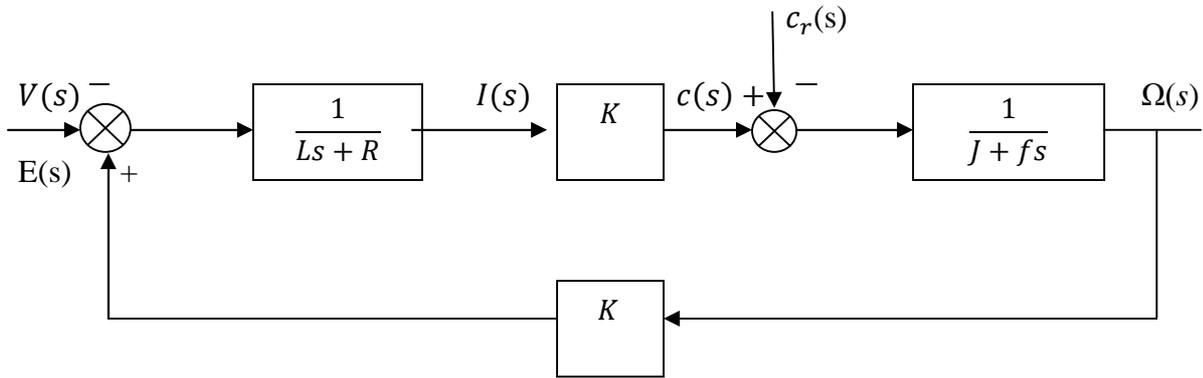


Figure II.11 : Schéma bloc d'un moteur à courant continu

II.9 Fonction de transfert

On remplace l'équation (II.13) dans (II.14) on obtient :

$$V(s) = K\Omega(s) + RI(s) + LsI(s) \tag{II.18}$$

Puis, On remplace (II.15) et (II.16) dans (II.17) on aura :

$$KI(s) - f\Omega(s) = Js\Omega(s) \tag{II.19}$$

On déduit expression de $\Omega(s)$:

$$\Omega(s) = \frac{KI(s)}{Js+f} \tag{II.20}$$

L'expression de $I(s)$ est :

$$I(s) = \frac{Js+f}{K} \Omega(s) \tag{II.21}$$

On remplace dans (II.10), on obtient :

$$V(s) = K\Omega(s) + R \frac{Js+f}{K} \Omega(s) + Ls \frac{Js+f}{K} \Omega(s)$$

D'où,

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{LJs^2 + (Lf + RJs) + K^2} \tag{II.22}$$

Les caractéristiques du moteur maxon F2260/813 sont :

Tension nominale	24 V
Vitesse à la tension nominale	3820 tr/min
Tension maximale	32 V
Vitesse limite	5000 tr/min
Courant maximal à vide	22 mA
Courant maximal permanent	3.3 A
Courant de démarrage maximal	12.6 A
Couple permanent maximale	200 mN.m
Résistance aux bornes	1.91 Ω (Ohm)
Inductance	0.62 mH
Constante de vitesse	60.3 mV/(tr/min)
Constante du couple	60.3 mN.m.A ⁻¹
Coefficient de frottements visqueux	2.5 10 ⁻⁵
Inertie du moteur	10 ⁻⁴ Kg.m ²

Après une simulation sous matlab , Les paramètres du moteurs ci-dessus nous a donné ces figures suivante :

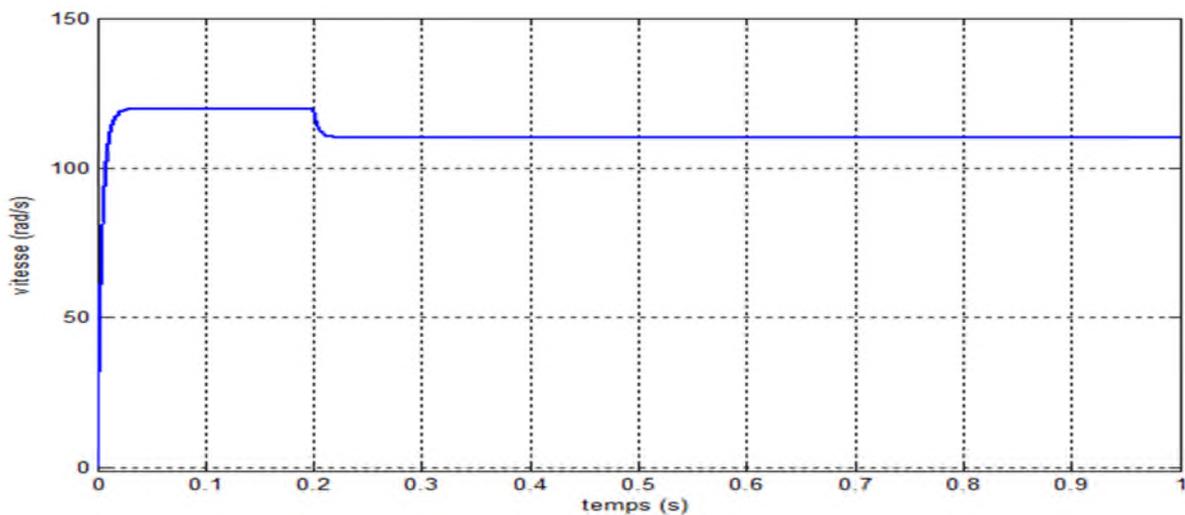


Figure II.12 : Allure de vitesse

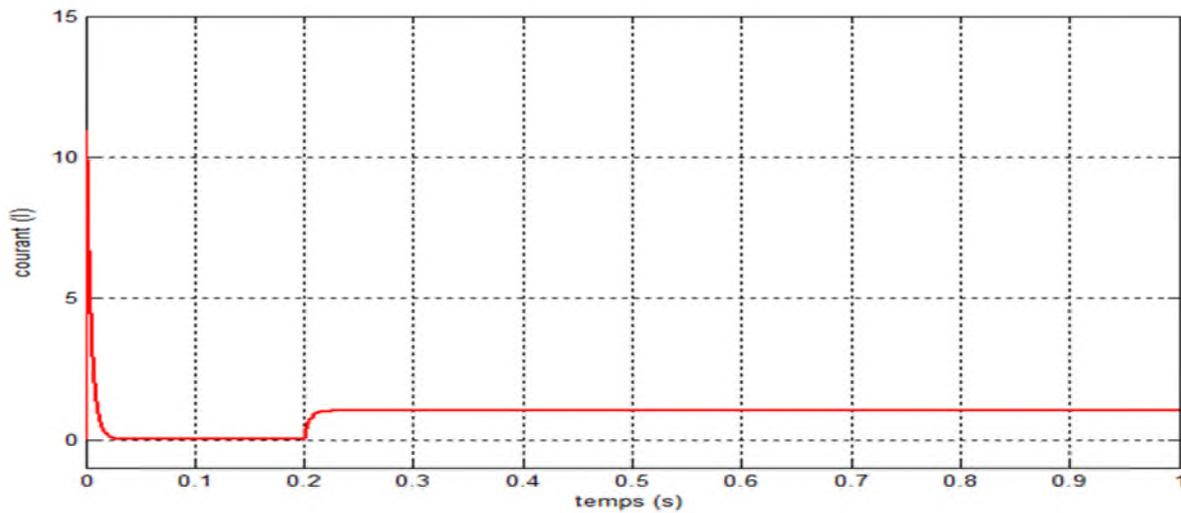


Figure II.13 : *Allure du courant I*

Pour une entrée de $u = 24 V$, On remarque qu'au démarrage du moteur le signal de vitesse augmente progressivement pour atteindre la vitesse de $\Omega = 120 \text{ rad/s}$ le moteur absorbe un courant I , En appliquant une charge de $c_r = 0.2 \text{ N.m}$ à $t = 0.2 \text{ s}$ la vitesse chute puis stabilise dans le régime permanent et le courant augmente pour atteindre le courant maximale.

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons constaté que la réponse en vitesse change considérablement pour un courant d'entrée, nous avons vu que le système est amorti après avoir appliqué une charge qui est considéré comme une perturbation, donc, la nécessité d'une commande pour le système est indispensable pour améliorer ces performances.

Chapitre III
Application et simulation

III.1 Introduction

La règle de MIT est développée la première fois en 1960 par les chercheurs de l'institut de technologie de Massachusetts et utilisé dans conception de l'autopilotage. La règle de MIT est une technique pour donner la synthèse de la commande à modèle de référence.

Dans ce chapitre, on applique la commande à modèle de référence au moteur utilisé.

III.2 Synthèse de la commande à modèle de référence [21]

Dans la règle de MIT, la fonction de cout est donné :

$$J(\theta) = e^2 / 2 \quad (\text{III.1})$$

$$e = y - y_m \quad (\text{III.2})$$

y : La sortie du système à commander.

y_m : La sortie du modèle.

e : L'erreur entre la sortie du modèle et celle du système à commander

θ : paramètre de contrôleur

Pour minimiser J , il est logique de faire varier les paramètres dans la direction négative du gradient de J :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} \quad (\text{III.3})$$

En dérivant l'équation (III.1),

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (\text{III.4})$$

$\frac{\partial e}{\partial \theta}$: Dérivée de sensibilité

On considère que le système à commander est un système de second ordre, notre objectif est de forcer la sortie de notre système afin qu'il suive la trajectoire du modèle avec la fonction de transfert $G_m(s) = K_0 G(S)$ et K_0 est un paramètre inconnu

Sachant que notre système est linéaire avec fonction transfert $KG(s)$

$$G(s) = \frac{K}{LJs^2 + (Lf + Rj)s + K^2}$$

L'expression de l'erreur est donnée :

$$e(s) = KG(s)U(s) - K_0G(s)U_c(s) \tag{III.5}$$

La loi de commande est,

$$u(t) = \Theta^* u_c \tag{III.6}$$

De (III.5) et (III.6), et en appliquant les différentiels,

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = KG(s)U(s) = \frac{K}{K_0} y_m(s) \tag{III.7}$$

L'algorithme modifié normal de la loi d'adaptation est donnée,

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{-\gamma e \varphi}{\alpha + \varphi' \varphi} \tag{III.8}$$

$\varphi = \frac{\partial e}{\partial \theta}$ et α ($\alpha > 0$) est introduit pour annuler la difficulté de zéro division quand φ est très petit.

Les équations (III.3), (III.6) et (III.8) nous ramène à construire le schéma suivant :

On applique un filtre à l'entrée de notre système défini par sa fonction de transfert :

$$F(p) = \frac{3}{p^2 + 2p + 3}$$

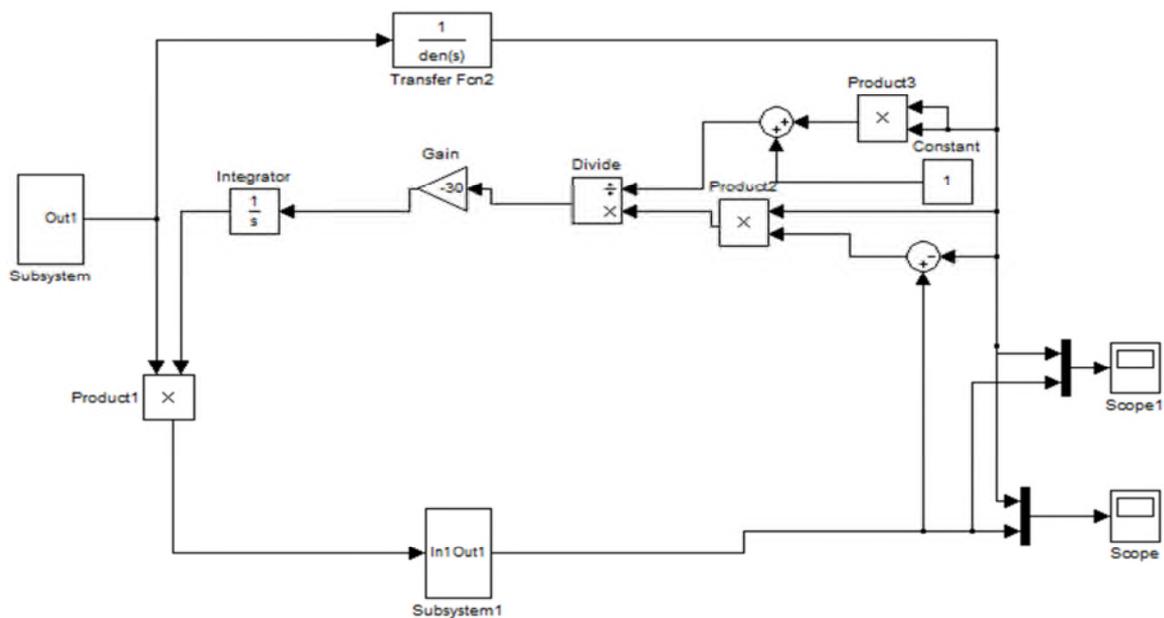


Figure III.1 : Schéma bloc de la commande adaptative (MRAC) avec MCC

Le sous-système (int1out1) représente le schéma suivant: (in1) représente un échelon unité et (out1) est la vitesse du notre moteur

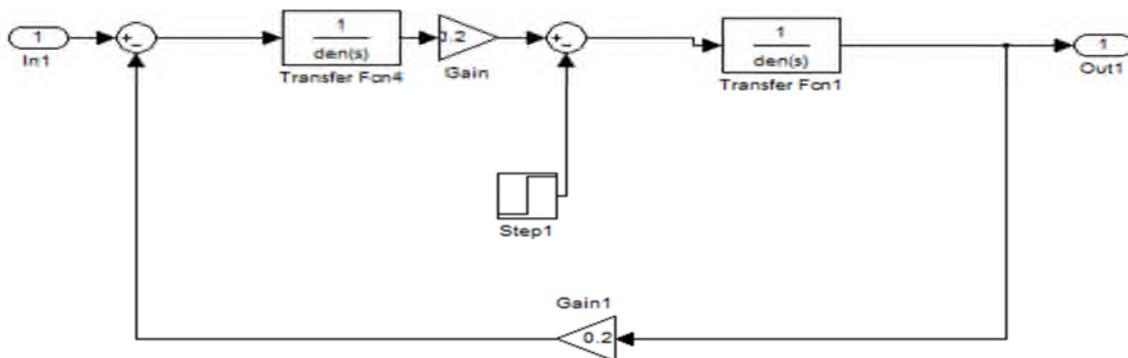


Figure III.2 : Schéma bloc du moteur à courant continu

III.3 Résultats de simulations de la commande (MRAC) avec MCC

En utilisant les paramètres du moteur utilisé. La variation du gain d'adaptation (γ), nous conduit à ces figures suivantes:

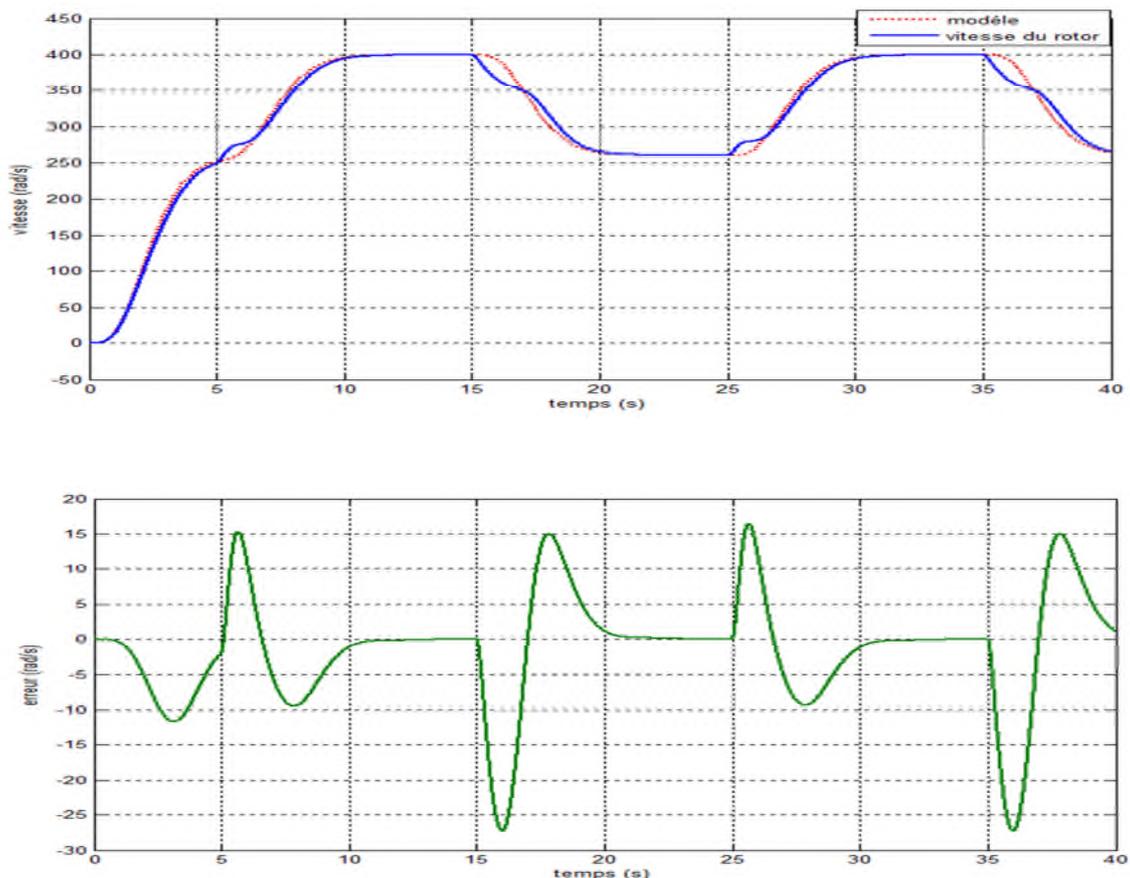


Figure III.3 : Réponse en vitesse et l'erreur pour ($\gamma=1$)

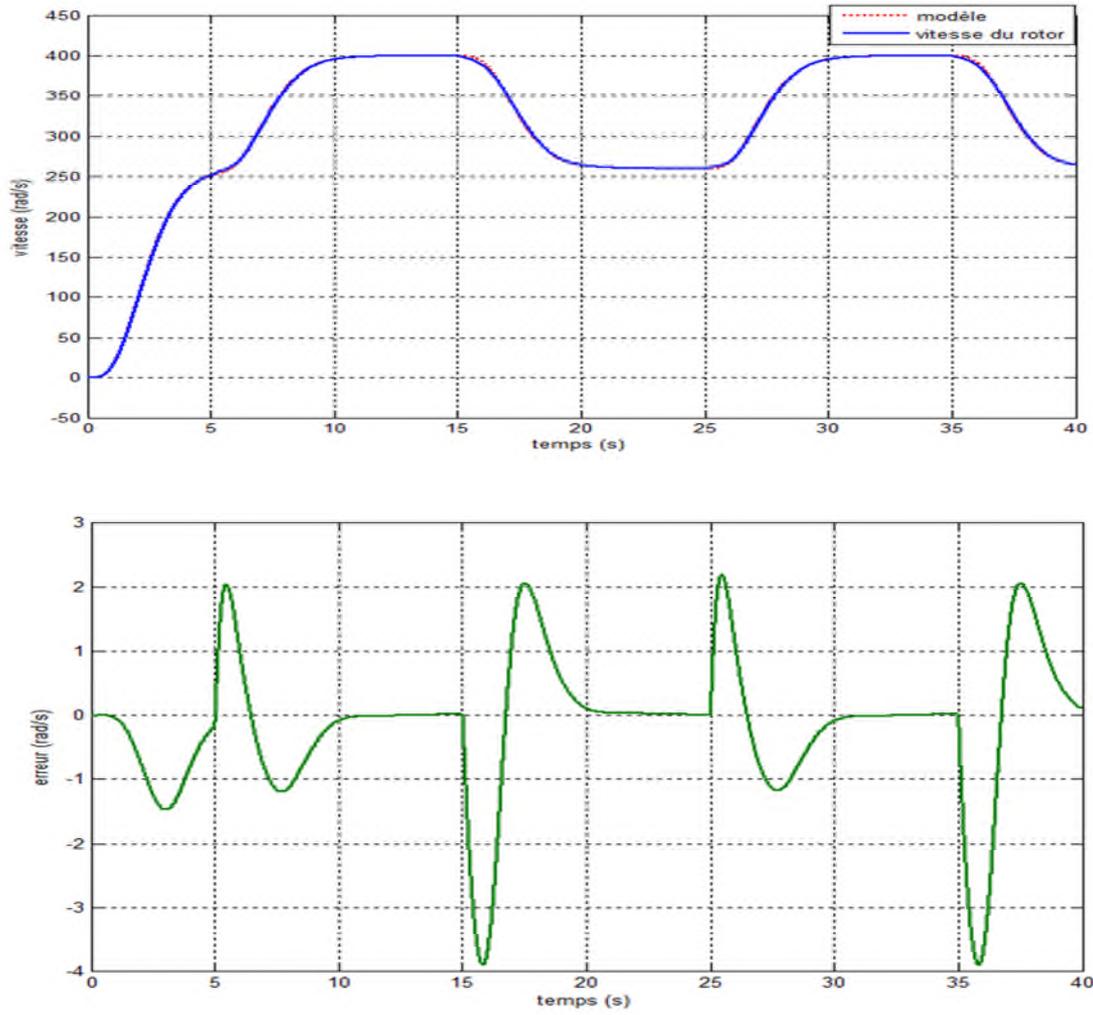
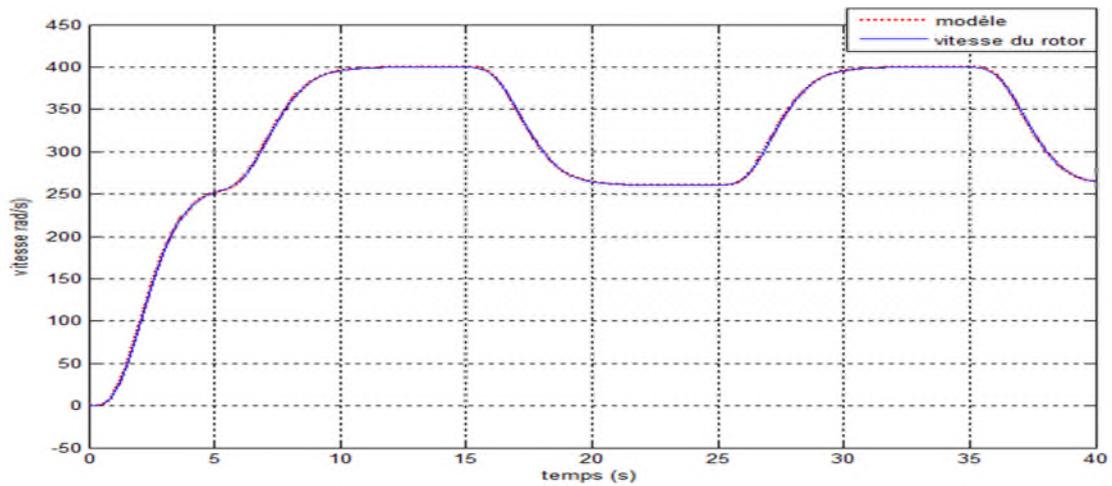


Figure III.4 : Réponse en vitesse et l'erreur pour $(\gamma=8)$



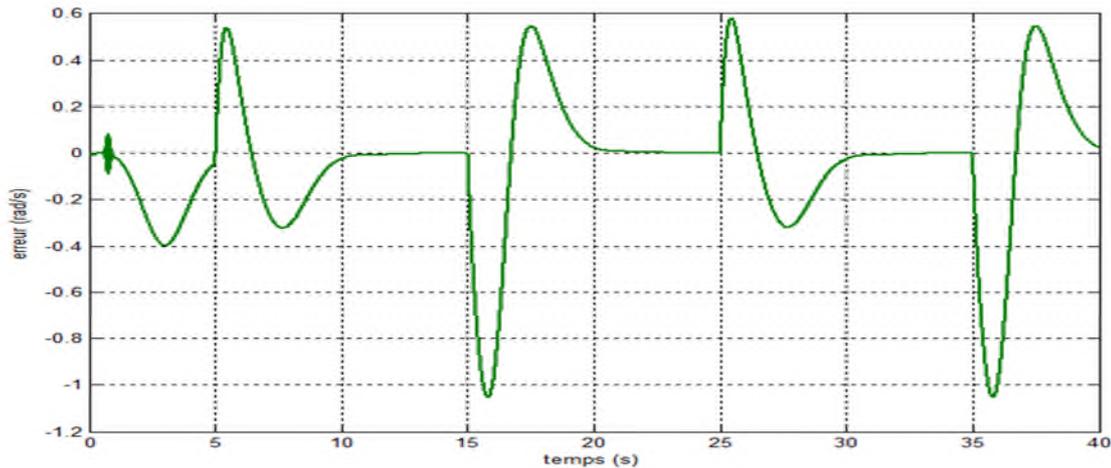


Figure III.5 : Réponse en vitesse et l'erreur pour ($\gamma=30$)

Dans les figures obtenu on remarque que pour les différents valeurs de $\gamma=1$, $\gamma=8$ et $\gamma=30$, les erreurs permanentes diminuent et le signal de sortie du moteur se converge au celui du modèle.

Maintenant on fait augmenter la valeur de coefficient du frottement de 5% de sa valeur initiale c'est-à-dire ($f = 1.05 * 2.5 * 10^{-5}$) à partir de $t = 24 s$, dans les schémas suivants:

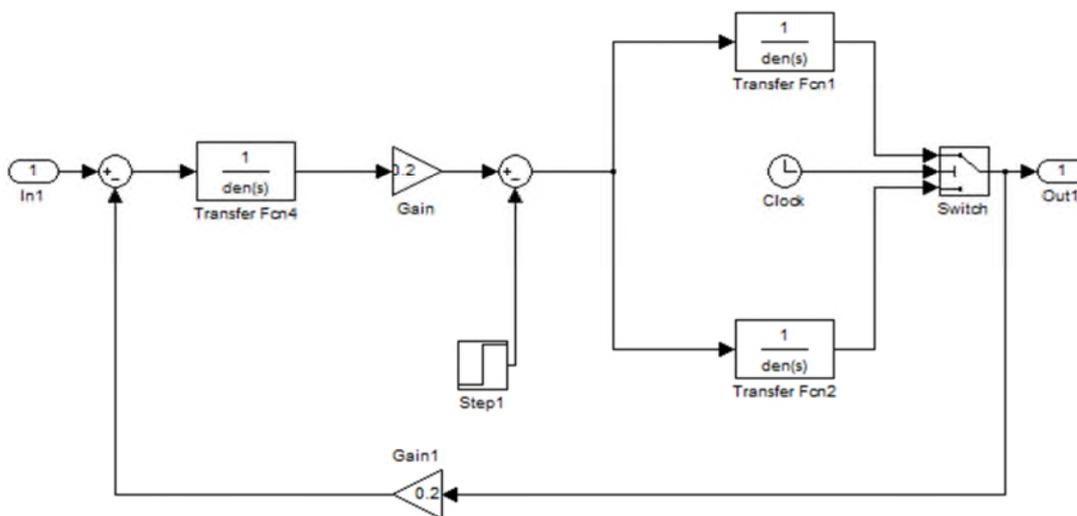


Figure III.6 : schéma bloc du MCC avec variations paramétriques mécaniques

La figure (III.6) nous conduit à ces figures suivantes :

III.3.1 Variations paramétriques mécaniques

Test à vide

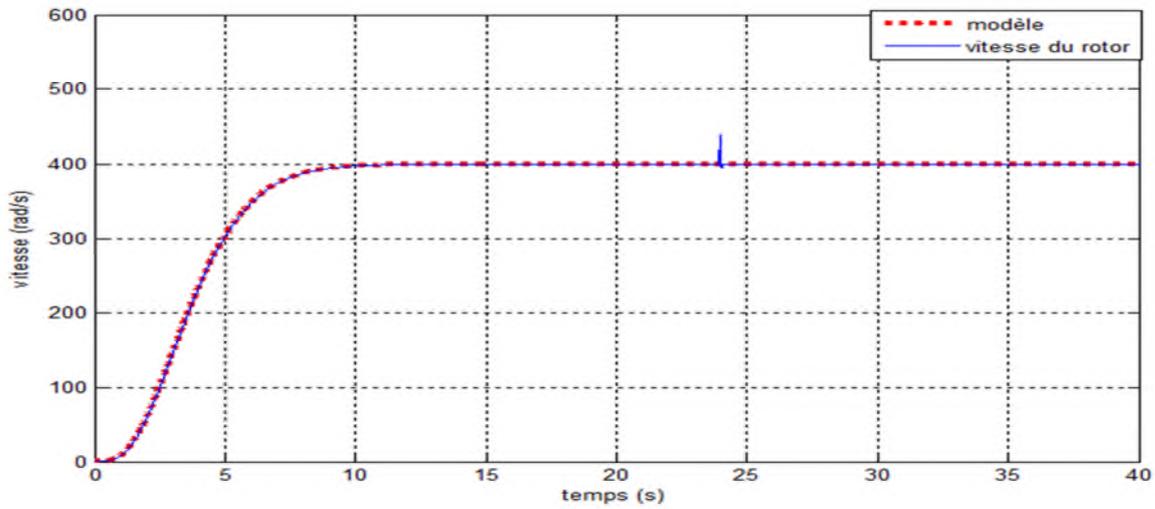


Figure III.7 : Vitesse du rotor

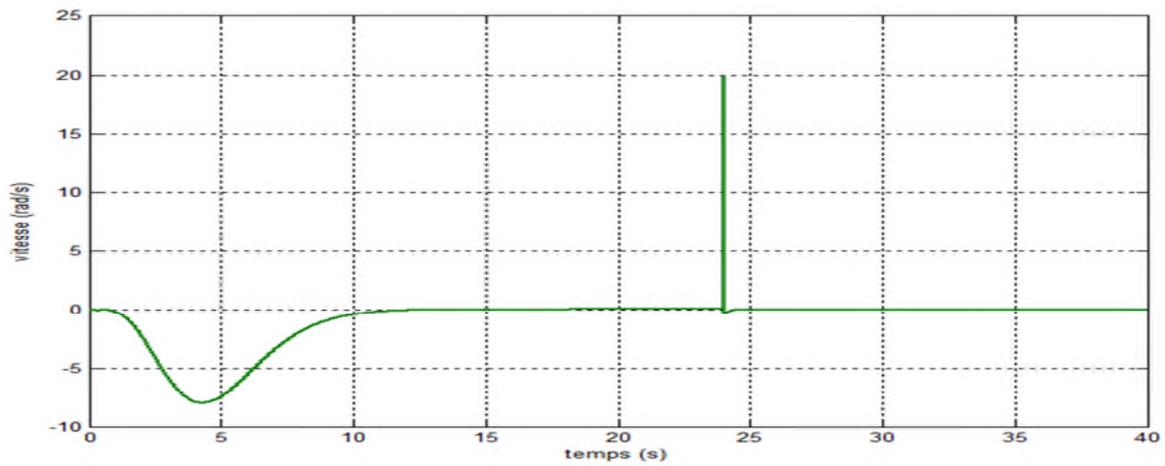


Figure III.8 : L'erreur de vitesse avec ($\gamma=1, C_r = 0 \text{ N.m}$)

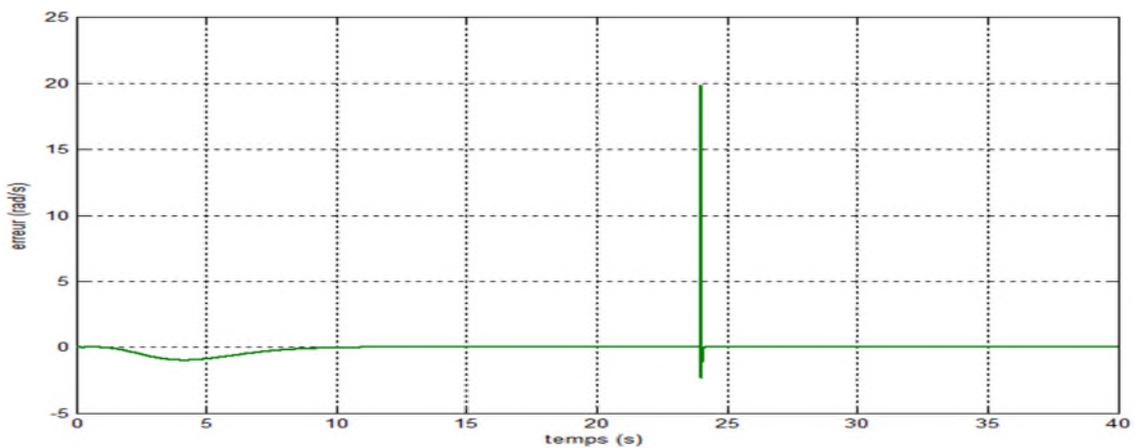


Figure III.9 : L'erreur de vitesse avec ($\gamma=8, C_r = 0 \text{ N.m}$)

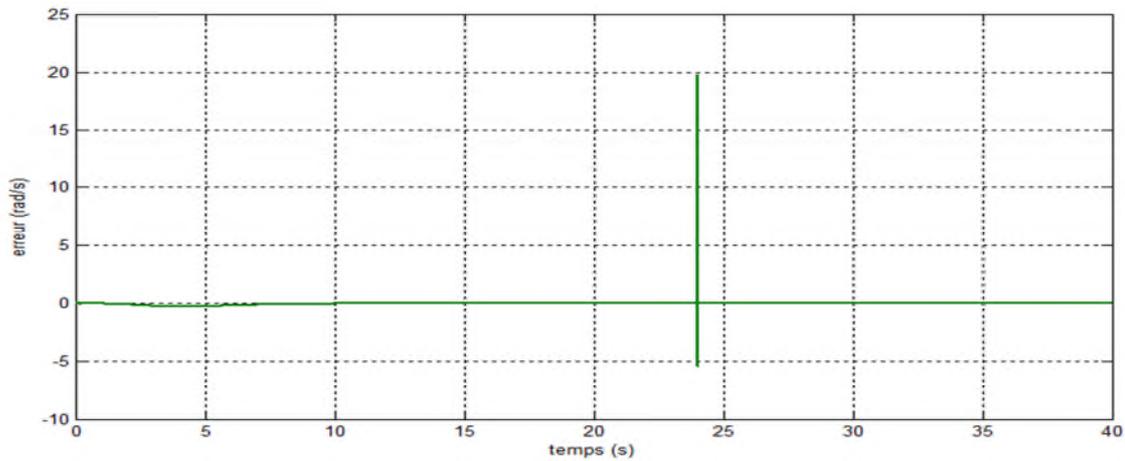


Figure III.10 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=30, C_r = 0 N.m$)*

D'après les figure (III.8), (III.9) et (III.10) nous avons constaté que la valeur de l'erreur due aux variations paramétriques mécanique reste fixe en fonction des variations du gain d'adaptation mais la trajectoire de la réponse en vitesse monte à $t = 24 s$ puis descend très vite pour suivre celle du modèle.

En charge : On applique une charge de $c_r = 0.2 N.m$ à $t = 15 s$, comme le montre ces figures suivantes :

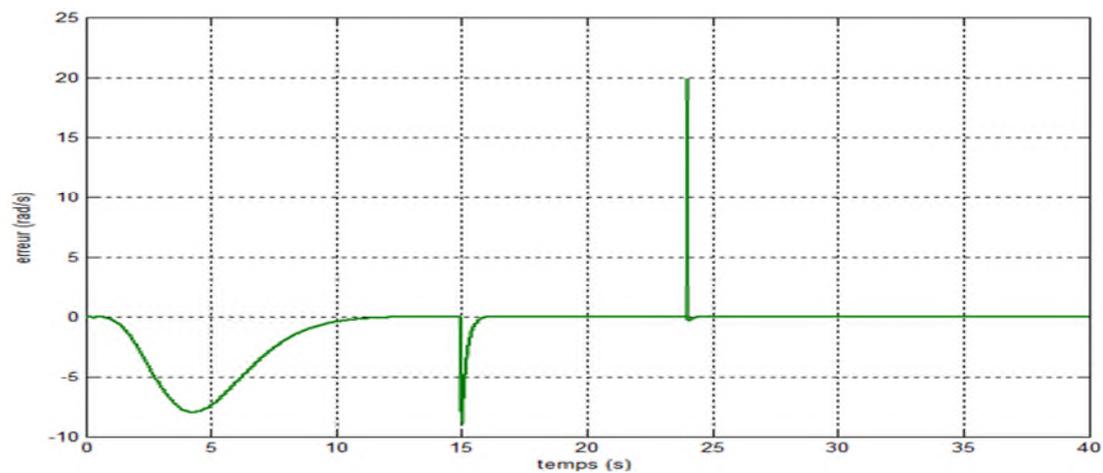


Figure III.11 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=1, C_r = 0.2 N.m$)*

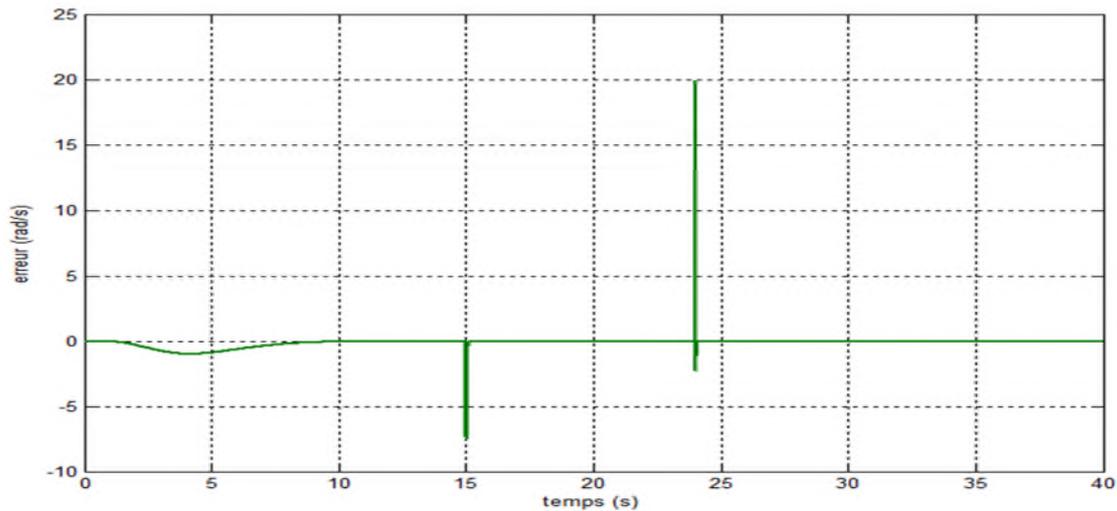


Figure III.12 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=8, C_r = 0.2 N.m$)*

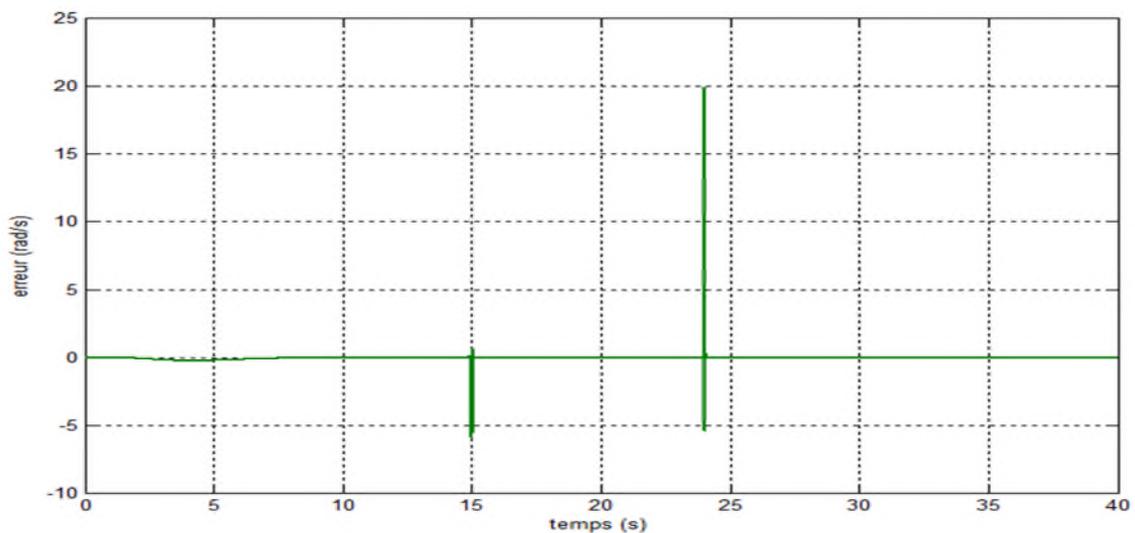


Figure III.13 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=30, C_r = 0.2 N.m$)*

On remarque dans les figures (III.11), (III.12) et (III.13) que l'erreur due à la charge diminue à $t = 15$ s en fonction de l'augmentation de la valeur de γ . La vitesse du moteur subit une variation puis converge vers le modèle.

Maintenant on fait augmenter la valeur de la résistance c'est-à-dire ($R = 5.73 \Omega$) à partir de $t = 24$ s, dans le schéma suivant :

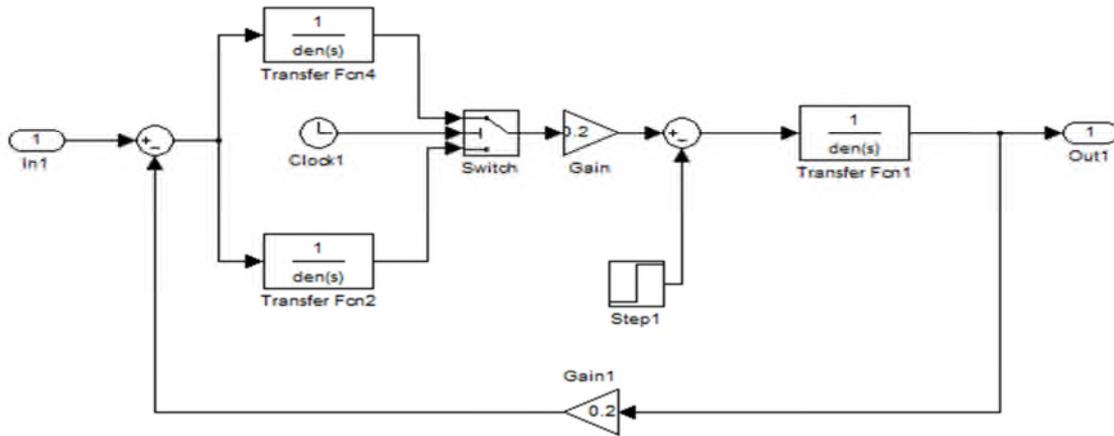


Figure III.14 : Schéma bloc du MCC avec variations paramétriques mécaniques

En se basant sur le schéma (III.15) on aura ces figures suivantes :

III.3.2 Variations paramétriques électriques

Test à vide:

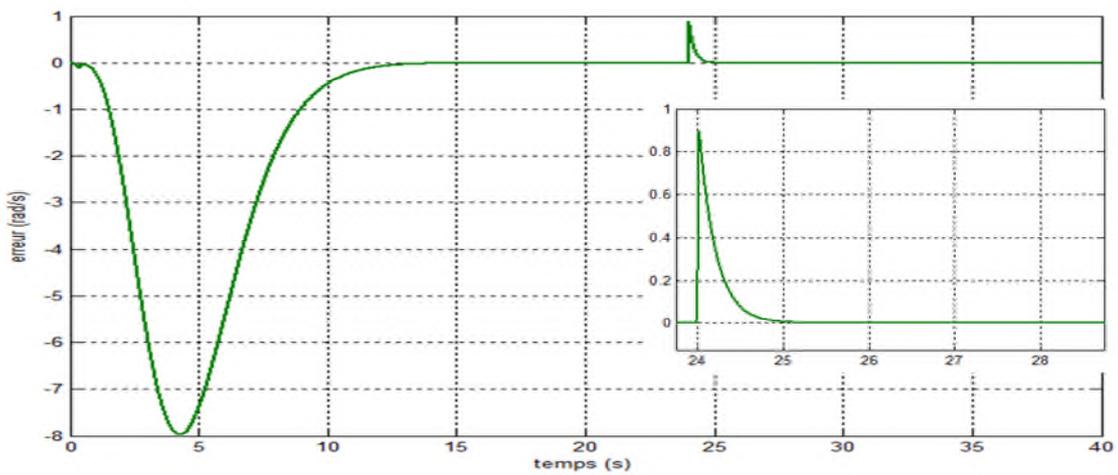


Figure III.15 : L'erreur de vitesse avec ($\gamma=1, C_r = 0 \text{ N.m}$)

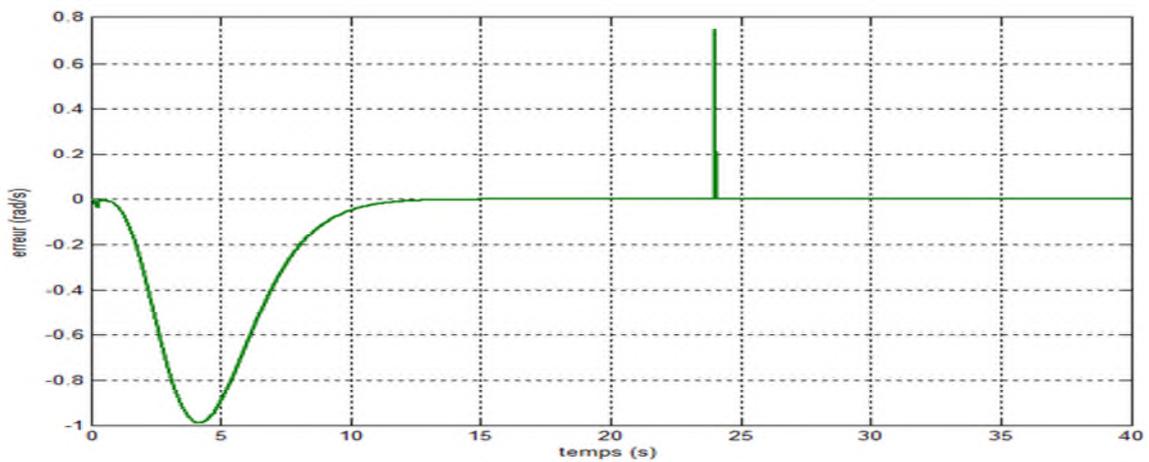


Figure III.16 : L'erreur de vitesse avec ($\gamma=8, C_r = 0 \text{ N.m}$)

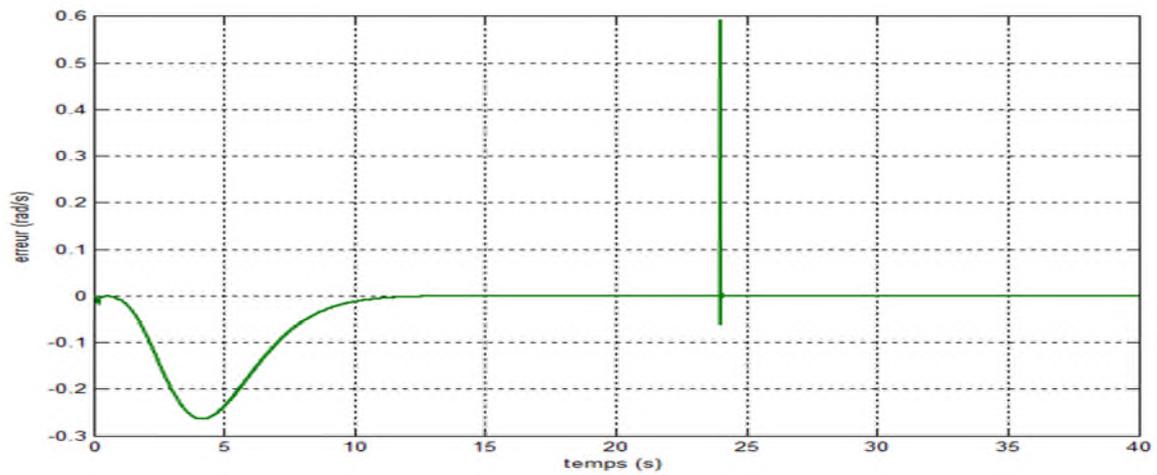


Figure III.17 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=30, C_r = 0 \text{ N.m}$)*

On remarque dans les figures (III.15), (III.16) et (III.17) que la variation de gain d'adaptation fait diminuer la valeur de l'erreur due aux variations paramétriques électriques à $t = 24 \text{ s}$. La réponse en vitesse suit le modèle.

Test en charge : $c_r = 0.2 \text{ N.m}$

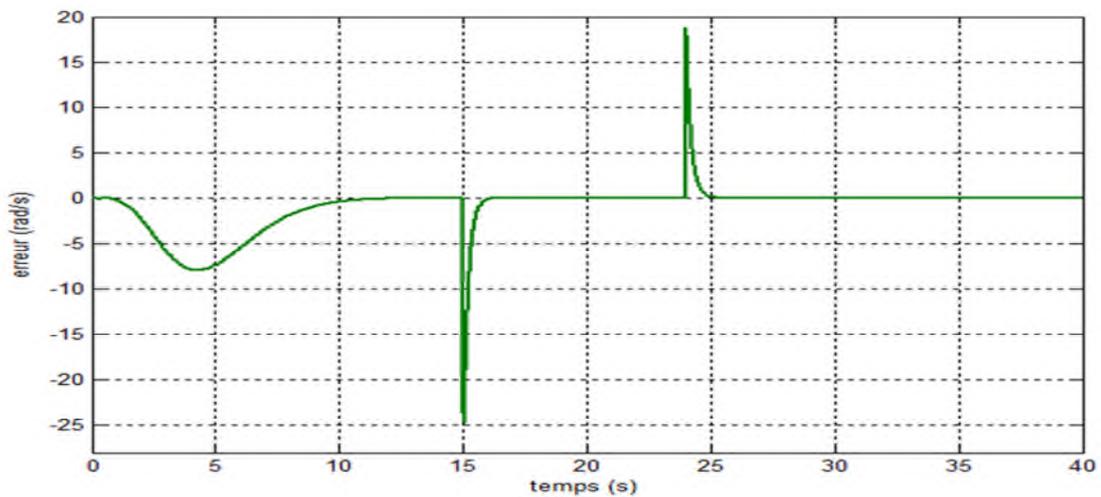


Figure III.18 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=1, C_r = 0.2 \text{ N.m}$)*

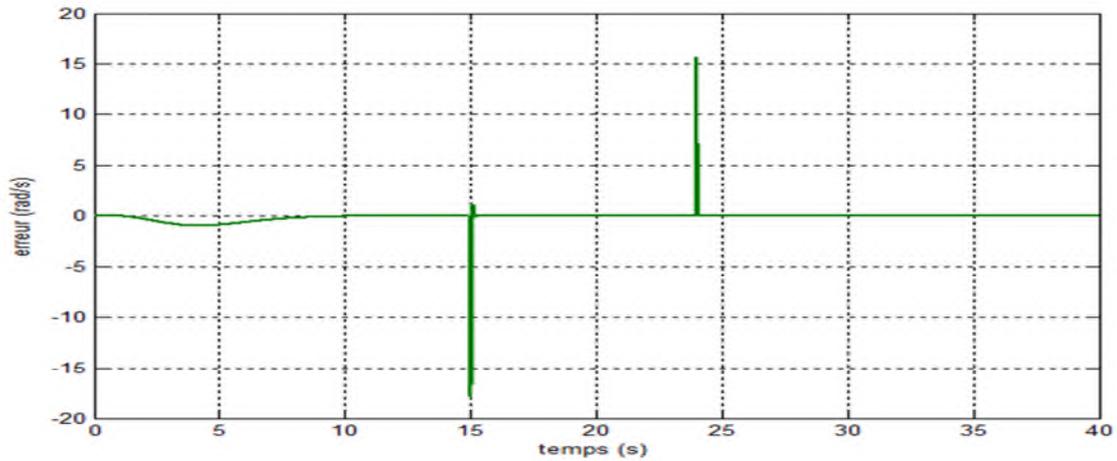


Figure III.19 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=8, C_r = 0.2 \text{ N.m}$)*

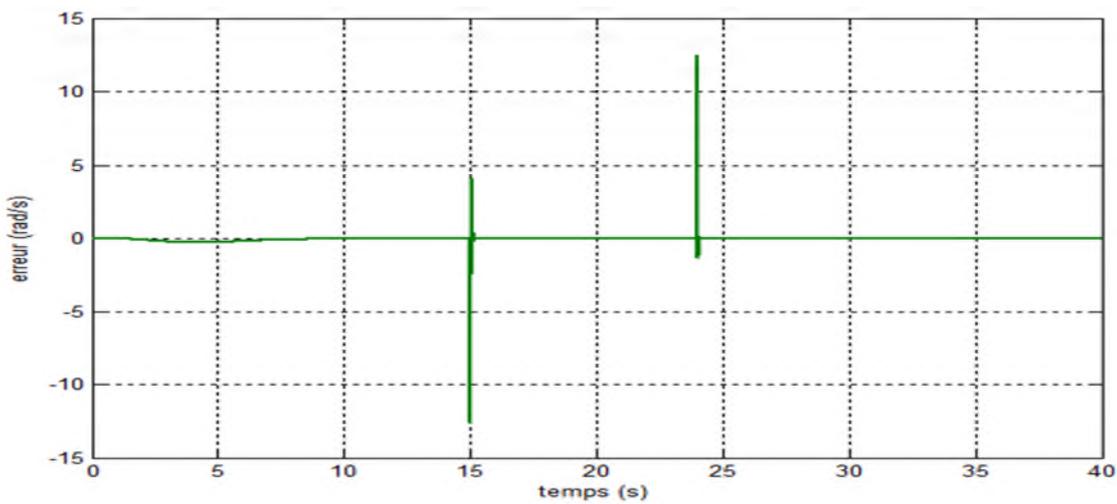


Figure III.20 : *L'erreur de vitesse avec ($\gamma=30, C_r = 0.2 \text{ N.m}$)*

Les figures (III.18), (III.19) et (III.20) montre bien la diminution de l'erreur due à la charge à $t = 15s$ et l'erreur due aux variations paramétriques électrique à $t = 24 s$ pour les différents valeurs de γ , et on constate aussi que l'erreur des variations paramétriques électrique dépend de la charge.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné la synthèse de la commande adaptative à modèle de référence, son principe c'est d'utiliser une technique de la loi de MIT modifiée (algorithme normalisé) se base a la minimisation d'une fonction afin d'identifier le paramètre d'adaptation.

Après les tests de simulations obtenus nous avons constaté que la commande garde toujours ses performances vis-à-vis des variations paramétriques.

On a vu que pour certains grandes valeurs du paramètre d'adaptation, la sortie du moteur utilisé suit parfaitement celle du modèle, il s'agit de bien choisir ce paramètre car pour certains autres le système deviens instable, puis on a conclu que les variations du gain d'adaptation et la charge influence sur l'erreur due aux variations paramétriques électriques, contrairement aux variations paramétriques mécaniques.

Et en fin, on a déduit que notre commande réalise des bonnes performances (rejet de perturbation et suivi de consigne).

Conclusion générale

La commande adaptative est une technique très importante dans la régulation des procédés sans champs d'application s'élargie dans plusieurs domaines à savoir l'industrie, l'automatique, et l'électronique.

On a vu à travers ce travail l'intérêt de la commande adaptative a modèle de référence dans l'application sur le moteur à courant continu son principe se base sur le fait que d'ajuster les paramètres de contrôleur sur le comportement de celui-ci.

Durant notre étude, on a essayé décrire une technique développée dans le domaine de la commande adaptative à modèle de référence. Il s'agit de la règle MIT modifiée.

Après un aperçu sur les résultats obtenu, nous avons constaté que la trajectoire de la réponse en vitesse du moteur suit le modèle et qu'après avoir appliqué les variations sur notre processus (moteur), nous avons vu que la vitesse varie mais retourne très rapidement à sa valeur du modèle

Finalement, on a déduit que la commande adaptative à modèle de référence garde ses performances face aux variations paramétriques.

Les références bibliographiques

- [1] MOHAMED MOULDI ENNACEUR ,<< Etude et conception d'un algorithme adaptatif pour la commande de position d'un moteur à courant continu>>, thèse doctorat , université du québec à trois-rivières, décembre 1991.
- [2] J.Richalet,A.Rault,J.L.Testud et J.Papon,<<Model predictive heuristic:Control applications to insdustrial processes>>, Automatica, 14(5), pp. 413-428, 1978
- [3] Kamel Barra << Commande Prédictive Généralisée (GPC) des Associations Convertisseurs - Machines à Induction >> Thèse de doctorat science en électrotechnique, université de Batna 2008.
- [4] E. G. MIGLIORE, << Commande Prédictive à Base de Programmation Semi Définie>>, thèse de doctorat, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse,2004.
- [5] Meziane Salima << Commande adaptative et prédictive de la machine asynchrone >> Thèse de doctorat science en électrotechnique,université de Mantouri Constantine 2009.
- [6] Ben Brahim Amal << Commande Prédictive Généralisée d'une Machine Synchrone à Aimants Permanents>>, thèse de magister en électrotechnique, université de Batna 2009.
- [7] Fouad Zitouni <<Problèmes de commande optimale stochastique generalizes>>,thèse doctorat,université de montréal 2015.
- [8] BENHADDOUCHE DJAMEI, <<Commande Optimale Appliquée à un Robot mobile>> ,mémoire master,L'université de Batna, 2013.
- [9] Chabha Boussamet, <<Commande optimale pour la navigation sûre d'un robot mobile>>', ,mémoire master, université Blaise Pascal 2009.
- [10] Mihoub Youcef,<<'Commande floue adaptative de la machine asynchrone>>,thèse doctorat, université des sciences et de technologies d'oran mohamed boudiaf 2012.
- [11] TOUAFEK Mohamed Yaakoub,<< Amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques par un contrôle neuro-flou des systèmes FACTS>>,mémoire magister, université ferhat abbas — setif 2012.
- [12] Fersous chikh bey Ahmed,<<Commande floue d'un twin rotor>>,mémoire master, universite kasdi merbah ouargla 2014.
- [13] Hicham Chaoui,<< conception et comparaison de lois de commande adaptative à base de réseaux de neurones pour une articulation flexible avec non-linéarité dure>>,thèse,université de quebec, Décembre 2012.
- [14] R. Teschl, W. L. Randeu, and F. Tesc, <<Improving weather radar estimates of rainfall using feed-forward neural networks>>, Neural Networks, vol. 20, p. 519/527, 2007.

- [15] O. Hiroyuki and G. Yukio Pegio, <<Recurrent neural network architecture with pre-synaptic inhibition for incremental learning>>, Neural Networks, vol. 19, p. 1106–1119, 2006.
- [16] Dr.Mohamed Assaad HAMIDA, << Introduction à la commande par réseaux de neurons>>,cours,chapitre II.
- [18] Dr.Merabet Boulouiha,<< Technique de commande avancée>>,note de cours,centre universitaire de Relizane Ahmed Zabana,année 2014/2015.
- [17] Ahmed CHEMORI,<< Introduction a la commande adaptative>>,Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier LIRMM, Université Montpellier 2 –CNRS 161, rue Ada 34095
- [19] Achoury AbdelYazid, <<Technique de commande avancée>>,note de cours, université de béjaia.
- [20] Claude Chevassu,<<Machine à courant continu>>,cours ,école national supérieur maritime,21 septembre 2014.
- [21] <http://www.ripublication.com/aeee.htm>

