

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE: COMMANDE DES SYSTEMES ELECTRIQUE

THEME

Détection et isolation des défauts d'un moteur asynchrone
à cage d'écureuil par observateurs d'état

Proposé et dirigé par:

- Mr : OUBABAS Hocine

Présenté par:

-HADJ HAFSI ZOHIR

Année Universitaire : 2012/2013

N° d'ordre : 083

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
OPTION: COMMANDE DES SYSTEMES ELECTRIQUES

THEME

Détection et isolation des défauts du moteur asynchrone à cage

Par observateur d'état

Proposé et dirigé par :

Mr : OUBABAS Hocine

Présenté par :

HADJ HAFSI Zohir

RESUME:

Les entraînements électriques utilisent de plus en plus les moteurs asynchrones à cause de leur robustesse, de leur puissance massique et de leur coût. Leur maintenance et leur diagnostic deviennent donc un enjeu économique. Il est important de détecter de manière précoce les défauts qui peuvent apparaître dans ces machines et donc de développer des méthodes de diagnostic. Ainsi, un modèle fin de la machine a été développé et a permis d'analyser l'impact des défauts sur le comportement du moteur. Il a permis d'obtenir des signatures spécifiques aux défaillances électriques et de prévoir l'évolution de ces dernières.

Notre approche repose sur la détection et l'isolation des défauts par la méthode d'estimation d'état.

Un état de l'art sur le diagnostic, ainsi que sur la synthèse d'observateurs d'état est proposé.

L'observateur à grand gain a été choisi pour la détection et l'isolation des défauts de la MAS, vu sa robustesse. Cette méthode a été validée par des simulations sur la machine sans et avec défauts.

MOTS CLES :

Moteur a synchrone ; observateur grand gain ; diagnostic.

N° d'ordre : 083

Remerciements

À l'issue de ce projet de fin d'études, j'adresse mes sincères remerciements à ALLAH le tout puissant qui m'a donné la santé, la volonté et la patience.

Ensuite, je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à mon encadreur Mr H.OUBABAS pour m'avoir encadré, suivi et encouragé.

Je remercie également, tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail. Ainsi que tous mes enseignants du Département de Génie électrique.

Je n'exclue pas de ces remerciements toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire. Je veux également remercier ma famille et mes amis pour leurs soutiens moraux. Enfin, je remercie tout particulièrement mes parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes longues années d'études.

Dédicace

*Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir
donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré
toutes les difficultés rencontrées.*

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège

*Pour leurs soutien moral et financier, pour leurs
Encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.*

A mes frères

A mes sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis

A tous les amis d'études Promotion 2013

Sommaire

Introduction générale	
I.1. Introduction	4
I.2. Généralités et définitions	4
I.2.1. Définitions	4
I.2.2. Types de défauts	4
I.2.2. 1.Défauts actionneurs	5
I.2.2. 2. Défauts capteurs	5
I.2.2. 3.Défauts systèmes	5
I.2.2. 4.Défauts à effets additifs	6
I.2.2. 5. Défauts à effets multiplicatifs	6
I.2.3. Modélisation des défauts	6
I.2.4. Modélisation en présence des perturbations	6
I.2.5 Principe du diagnostic des défauts	7
I.2.5 .1 Détection	9
I.2.5 .2 Localisation	9
I.2.5 .3 Identification	10
I.3 Classification des méthodes de diagnostic	10
I.3.1 Méthode quantitative	10
I.3.1.a Principe de méthode quantitative	10
I.3.1.b Méthode de diagnostic basée sur les observateurs	11
I.3.1.c Méthodes d'estimation paramétrique	11
I.3.1.d Méthode basée sur l'espace de parité	12
I.3.2 Méthode qualitative	13
I.3.2.a Diagnostic par reconnaissance des formes	13
I.3.2.b L'avantage principal des méthodes qualitatives	13
I.3.2.cInconvénients	13
I.4. Conclusion	14
CHAPITER II	
II.1 Introduction :	16
II.2. Les causes des défauts	16
II.3. Les différents défauts	17
II.3.1. Les cassures de barres et de portions d'anneaux des cages	17
II.3.2. Les courts-circuits internes	17
II.3.3. Les décharges partielles	17

II.3.4. Dissymétrie du rotor	18
II.4 Etudes statistiques	18
II.5. Défauts de la machine asynchrone	19
II.6 Modélisation de la machine asynchrone	19
II.6.1 Hypothèse simplificatrices	19
II.6.2 Modèle triphasé équivalent d'une machine asynchrone.....	21
II.6.3.Modélisation de la MAS	23
II.6.3.1. Dans le repère de Park	23
II.6.3.2. Dans le repère (d-q)	24
II.6.3.3. Dans le repère α_{β}	27
Le modèle de la machine asynchrone dans le repère se met sous la forme suivante	27
II.7. Modélisation de la machine asynchrone en vue de son diagnostic	27
CHAPITER III	
III.1. Introduction	30
III.2. Définitions	30
III.3. Classification des observateurs	31
III.3.1 Observateurs déterministes	31
III.3.1.1 Observateur de Luenberger généralisé	31
III.3.2 Les observateurs stochastiques	33
III.3.3 Les observateurs linéaires	33
III.3.4 Les observateurs non linéaires	33
III.3.4 .1 Le filtre de Kalman étendu	33
III.3.5. Observateurs à modes glissants	34
III.3.5.1 La dynamique sur la surface de glissement	36
III.3.5.2 Attractivité de la surface de glissement	36
III.3.6 Observateur grand gain.....	38
III.3.6.1 Réduction de l'observateur	40
III.4. Conclusion	41
CHAPITER IV	
IV-1 Simulation de la machine asynchrone saine en boucle ouverte	43
IV-2 Résultats de simulation de la machine asynchrone à vide	43
IV-3 Résultats de simulation de la machine asynchrone en charge	46
IV-4 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur à vide	49
IV-5 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur en charge	51
IV-6 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur + défaut sur actionneur.....	54
IV-7 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur et défaut sur capteur :	58

IV-8 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur et défaut sur système :	60
Conclusion générale	64
Annexe :	67 خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.

Liste des figures

Figure I.1	Différents défauts agissant sur le système	5
Figure I.2	Etapes de diagnostic	8
Figure I.3	Difficulté de localiser des défauts	9
Figure I.4	Détection et localisation des défauts	11
Figure I.5	Génération de résidu par estimation paramétrique	12
Figure II.1	Proportion des défauts	18
Figure II.2	Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace électrique	20
Figure II.3	Représentation de Park	25
Figure III.1	Typologie de l'observation	31
Figure III.1	Evolution des courants statorique à vide	45
Figure III.2	Evolution Flux rotorique à vide	46
Figure III.3	Evolution de la vitesse de rotation à vide	46
Figure III.4	Evolution des courants statorique en charge	48
Figure III.5	Evolution Flux rotorique avec la charge	49
Figure III.6	Evolution la vitesse de rotation de la MAS en charge	49
Figure III.7	Evolution Flux rotorique à vide sans défaut	51
Figure III.8	Evolution Résistance rotorique sans défaut	51
Figure III.9	Evolution Résude flux rotorique	53
Figure III.10	Evolution Flux rotorique en charge	53
Figure III.11	Résistance rotorique en charge	53
Figure III.12	Evolution Résude flux rotorique	55
Figure III.13	Evolution flux rotorique avec un défaut sur la tension V_d	55
Figure III.14	Evolution Résistance rotorique avec un défaut sur la tension V_d	56
Figure III.15	Evolution Résude flux rotorique	56
Figure III.16	Flux rotorique avec un défaut sur la tension V_q	57
Figure III.17	Résistance rotorique avec un défaut sur la tension V_q	57
Figure III.18	Evolution Résude flux rorique	58
Figure III.19	Evolution flux rotorique avec un défaut sur les courants statorique	59
Figure III.20	Evolution Résistance rotorique avec un défaut sur les courants statorique	60
Figure III.21	Evolution flux rotorique avec un défaut sur système	61
Figure III.22	Evolution Résistance rotorique	62

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le moteur asynchrone est certainement la machine électrique la plus fréquemment utilisée dans l'industrie. Cela tient, surtout s'il s'agit du moteur à cage, à sa grande robustesse, à la facilité avec laquelle on peut le démarrer, et à son prix de revient. Ces machines sont soumises pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures. L'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur qui peuvent aller jusqu'à l'endommagement total du moteur, ce qui paralyse le processus industriel et se répercute par conséquent sur la production. [7]

Le diagnostic des défauts de fonctionnement de tout système est devenu incontournable en raison des contraintes croissantes imposées par les exploitants. Ces défauts sont essentiellement dus aux échauffements excessifs, à une fatigue causée par les forces électromagnétiques et les contraintes de l'environnement que doit subir la machine asynchrone pendant son usage.

La caractérisation des défauts que peut rencontrer la machine a ouvert un très large champ d'étude. Il en est de même pour les méthodes de diagnostic qui doivent s'adapter ou être adapté dans le sens versatile, aux différents types de défauts devant être détectés.

Un effort important a été effectué sur la modélisation des machines asynchrones en présence de quelques défauts comme la cassure d'une ou plusieurs barres consécutives et/ou d'une portion d'anneau de court circuit, le court circuit entre spires dans les bobinages et les différents types d'excentricités.[8]

L'objectif de notre travail, concerne la synthèse d'observateurs d'état en vue de la détection et l'isolation des défauts de la machines asynchrone à cage d'écureuil. Pour en faire on répartit ce mémoire en quatre chapitre :

Dans le premier chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les approches utilisées pour le diagnostic des systèmes technologiques, particulièrement les méthodes se basant sur les modèles mathématiques.

Dans le deuxième chapitre, on va aborder la modélisation de la machine asynchrone saine et avec présence de défauts, afin de réaliser son diagnostic à base d'observateurs à grand gain.

Dans le troisième chapitre, quelques observateurs dédiés au diagnostic de défauts pour les systèmes linéaires et non linéaires seront étudiés. Nous allons focalisé notre étude sur les observateurs à grand gain.

Dans le quatrième chapitre des simulations seront effectuées sur la machine asynchrone à vide, en charge, avec observateur à grand gain et en présence de défauts et sans défauts.

Enfin, on termine par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I
ETAT DE L'ART SUR
LE DIAGNOSTIC

I.1. Introduction :

Le diagnostic consiste à détecter, à localiser et éventuellement à identifier les défaillances et/ou les défauts qui affectent un système. Plus généralement, le diagnostic apporte une contribution à la solution de détection et de localisation d'un mauvais fonctionnement. [1]

I.2. Généralités et définitions :

I.2.1. Définitions :

Les termes utilisés les plus souvent utilisés en diagnostic sont :

-La fiabilité : C'est l'aptitude d'un système à accomplir sa mission dans des conditions données d'utilisation.

-La disponibilité : c'est l'aptitude d'un système à fonctionner lorsqu'on le sollicite.

-La sûreté : c'est l'aptitude d'un système à respecter l'utilisateur et son environnement.

Les systèmes industriels sont souvent soumis à des anomalies ou des changements inattendus, qui entraînent un mauvais fonctionnement. Par rapport aux performances du système, trois types d'anomalies sont à considérer :

-L'erreur : Tout écart entre la valeur mesurée ou calculée, et la valeur réelle.

-Le défaut : C'est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction (s) requise(s) avec des performances définies dans les spécifications techniques.

-La défaillance : c'est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise.

-Le diagnostic : consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance. Les informations issues de capteurs du système sont utilisées pour obtenir des indicateurs de défauts ou résidus. Si le système fonctionne correctement et en l'absence de bruit ou d'erreurs de modélisation, la valeur du résidu est égale à zéro.

I.2.2. Types de défauts :

Les défauts sont des événements qui apparaissent à différents endroits du système. Ils peuvent être purement aléatoires (défauts cataleptiques), ou progressifs dans le cas du vieillissement ou de l'usure (défauts évolutifs). Dans la littérature, les défauts sont classés en fonction de leur localisation :

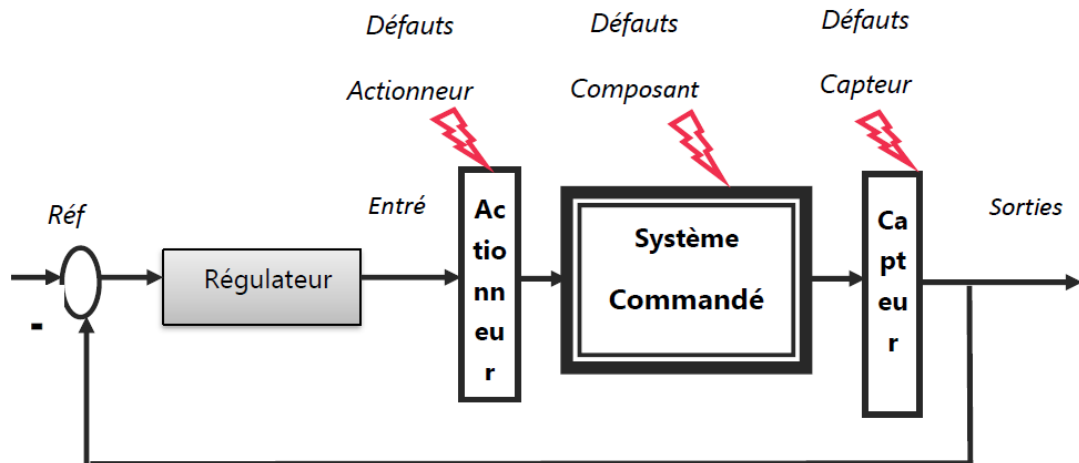


Figure I.1 Différents défauts agissant sur le système.

I.2.2. 1. Défauts actionneurs :

Les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative et détériorent le signal d'entrée du système. Ils représentent une perte totale (défaillance) ou partielle d'un actionneur agissant sur le système. Un exemple de perte totale d'un actionneur est un actionneur qui est resté "collé" sur une position entraînant une incapacité à commander le système par le biais de cet actionneur. Les défauts actionneurs partiels sont des défauts d'actionneurs réagissant de manière similaire au régime nominal mais en partie seulement, c'est-à-dire avec une certaine dégradation dans leur action sur le système. [2]

I.2.2. 2. Défauts capteurs :

Ce type de défaut est la cause d'une mauvaise image de l'état physique du système. Un défaut capteur partiel produit un signal avec plus ou moins d'adéquation avec la valeur vraie de la variable à mesurer. Ceci peut se traduire par une réduction de la valeur affichée par rapport à la valeur vraie, ou de la présence d'un biais ou de bruit accru empêchant une bonne lecture. Un défaut capteur total produit une valeur qui n'est pas en rapport avec la grandeur à mesurer.

I.2.2. 3. Défauts systèmes :

Ce type de défaut provient du système lui-même; bien souvent les défauts n'appartenant pas à un défaut à la catégorie des défauts capteur ou actionneur sont classés de manière arbitraire dans cette catégorie. Néanmoins, un défaut composant résulte de la casse ou de l'altération d'un composant du système réduisant les capacités de celui-ci à effectuer une tâche.

I.2.2. 4. Défauts à effets additifs :

Ils correspondent à des entrées inconnues agissant sur le système, et les sorties de ce système varie indépendamment des entrées connues.

I.2.2. 5. Défauts à effets multiplicatifs :

Ils correspondent à des modifications des paramètres du modèle représentant le système, ils engendrent des variations des sorties du système dont l'amplitude dépend de la valeur des entrées connues.

I.2.3. Modélisation des défauts :

On considère le modèle linéaire d'un procédé, sa représentation d'état est comme suit :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = AX(t) + Bu(t) \\ y(t) = CX(t) \end{cases} \quad (I.1)$$

Où $x(t)$ représente le vecteur d'état, $u(t)$ le vecteur de commandes et $y(t)$ le vecteur de sorties système, tels que : $x \in \mathcal{R}^n$, $u \in \mathcal{R}^m$, et $y \in \mathcal{R}^p$, et les matrices A, B et C sont de dimensions respectivement $n \times n$, $n \times m$ et $n \times p$.

Alors les défauts sont modélisés de la manière suivante :

- Les défauts actionneurs sont modélisés comme des signaux additifs aux signaux d'entrée.
- Les défauts système ou composants sont modélisés comme une dynamique additionnelle avec une matrice de distribution.
- Les défauts capteurs sont modélisés par des signaux additifs aux signaux de sortie.

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B(u(t) + f_a(t) + Hf_p(t)) \\ y(t) = Cx(t) + f_c(t) \end{cases} \quad (I.2)$$

f_a : Défaut actionneur.

f_p : Défaut système.

f_c : Défaut capteur.

I.2.4. Modélisation en présence des perturbations :

Le système est soumis aux défauts, aux incertitudes de modélisation mais aussi aux perturbations et bruits qui sont la plupart du temps des entrées inconnues, donc le système avec défauts et perturbation se met sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B(u(t) + f_a(t)) + Hf_p(t) + Ed_a(t) \\ y(t) = Cx(t) + f_c(t) + d_c(t) \end{cases} \quad (I.3)$$

Où $d_a(t) \in \mathcal{R}^d$ et $d_c(t) \in \mathcal{R}^p$ représentent respectivement les perturbations et les bruits affectant le système. La matrice E est dite matrice de distribution de $d_a(t)$.

Pour des raisons de simplicité, il est préférable de mettre le système précédant sous la forme suivante:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + E_d d(t) + E_f f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_d d(t) + F_f f(t) \end{cases} \quad (I.4)$$

Où $E_f = [BH \ 0_{n \times p}]$; $E_d = [E \ 0_{n \times p}]$; $E_f = [0_{p \times m} \ 0_{p \times c} \ I_{p \times p}]$; $F_d = [0_{p \times d} \ I_{p \times p}]$; $d(t) = [d_a \ d_c]^T \in \mathcal{R}^q$ et $f(t) = [f_a \ f_b \ f_c]^T \in \mathcal{R}^s$. les matrices $I_{p \times p}$ et $0_{n \times p}$ sont respectivement la matrice identité de dimension $p \times p$ et la matrice nulle de dimension $n \times p$.

C'est cette dernière modélisation (I.4), qui est généralement prise en compte, dans les problèmes de détection et de localisation des défauts à base d'observateurs.

I.2.5 Principe du diagnostic des défauts :

Le diagnostic consiste en la détection et l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'outils issues des statistiques, du traitement du signal ou de l'automatique en exploitant un ensemble d'informations.

Cette définition résume les deux tâches essentielles en diagnostic :

- Observer les symptômes (indices) de la défaillance.
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur ces observations.

La procédure de diagnostic de défaillances et de dégradations susceptibles d'affecter les différentes entités d'un processus industriel s'articule autour des étapes suivantes :

- L'extraction des informations à partir de mesures appropriées ou d'observations.
- La mise en œuvre d'une méthode de diagnostic.
- La prise de décision.

Ces étapes de diagnostic sont résumées dans le schéma suivant :

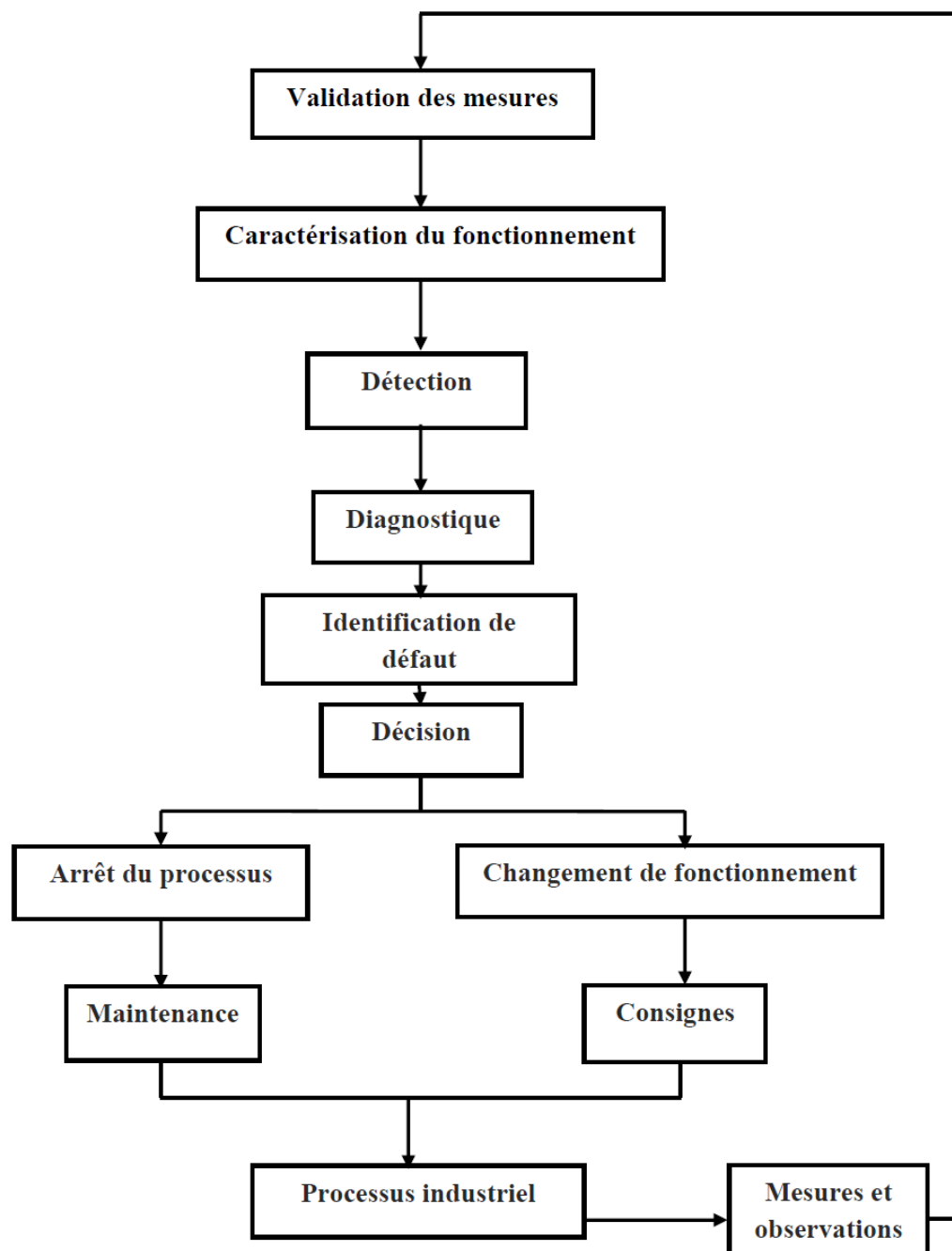


Figure I.2 Etapes de diagnostic.

I.2.5 .1 Détection :

C'est l'opération qui permet de décider si le système est en fonctionnement normal ou non. La fonction de détection permet de discerner tout écart du système par rapport à son état de fonctionnement normal. Autrement dit, elle permet de déterminer la présence de défauts dans un système.

Les problèmes qui peuvent survenir lors de l'accomplissement de cette tâche sont :

- **La fausse détection** : conduisant à des arrêts ou des reconfigurations inutiles.
- **La non-détection** : peut conduire à une panne, intolérable dans les systèmes à haut niveau de sécurité (aéronautique, nucléaire...).

I.2.5 .2 Localisation :

La localisation suit l'étape de détection ; elle attribue le défaut à un sous-système particulier : capteur, actionneur, organe de commande, processus...

Il s'agit de localiser le sous-système affecté par le défaut détecté, responsable de la défaillance du système. La localisation consiste, en effet, à remonter les symptômes pour retrouver l'ensemble des éléments défaillants. Ce problème est difficile à résoudre. En effet, il est possible de détecter une défaillance, ou une panne, résultant d'un défaut. Par contre, la détermination de son origine reste difficile puisque une panne peut résulter d'un ou plusieurs défauts, comme il est montré dans la figure I.3 :

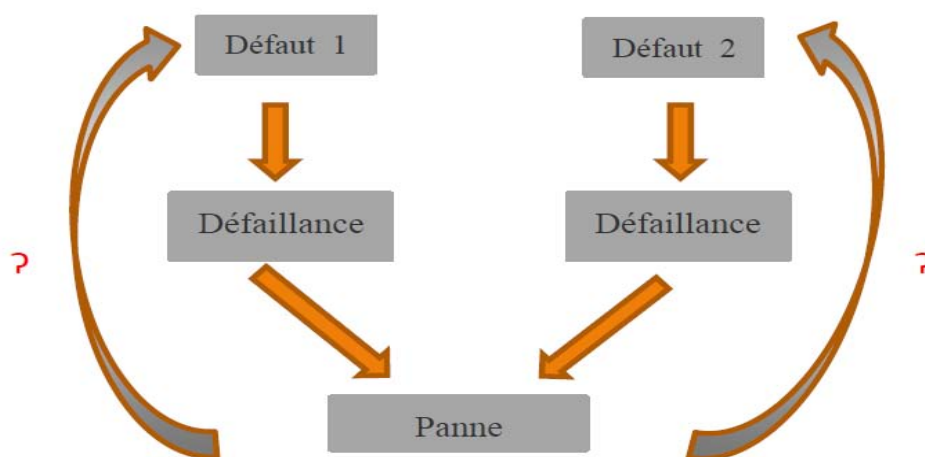


Figure I.3 Difficulté de localiser des défauts.

I.2.5 .3 Identification :

L'identification consiste à déterminer la taille, l'amplitude et le comportement temporel du défaut.

I.3 Classification des méthodes de diagnostic :[2]

Les méthodes du diagnostic sont des méthodes modernes, elles permettent d'éliminer la redondance matérielle pour le diagnostic des systèmes industriels. Ces méthodes sont classifiées comme suit :

- Méthode quantitative.
- Méthode qualitative.

I.3.1 Méthode quantitative :

L'approche à base de modèles mathématiques pour la détection et la localisation des défauts des systèmes industriels a fait l'objet de nombreux travaux durant ces trente dernières années. L'objectif est de fournir quelques outils basé modèle analytique pour la mise en œuvre d'un système de surveillance, destiné à la détection, à la localisation et éventuellement la reconstruction des défauts d'un procédé industriel.

I.3.1.a Principe de méthode quantitative :

Ce type d'approche, connu sous le nom plus général de redondance analytique, consiste à estimer, à l'aide d'un modèle mathématique du système, les grandeurs mesurées sur celui-ci. Si le modèle reflète bien le comportement du système sain, tout écart entre les grandeurs estimées et mesurées traduira l'apparition d'un ou plusieurs défauts. Les défauts sont alors détectés par comparaison des résidus à des seuils convenablement choisis.

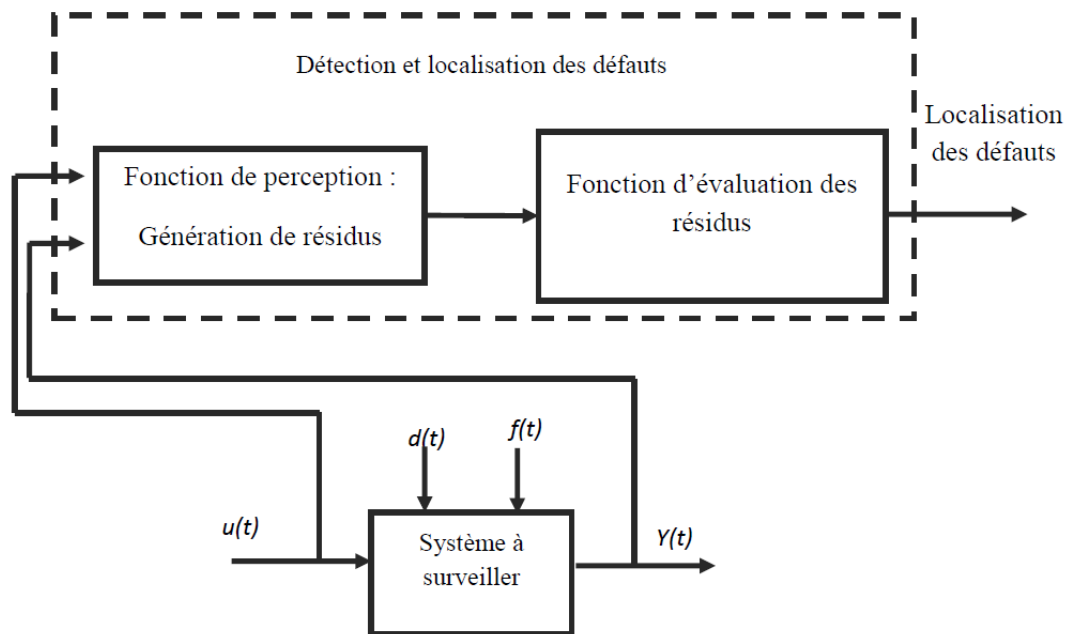


Figure I.4 Détection et localisation des défauts.

I.3.1.b Méthode de diagnostic basée sur les observateurs :

L'idée fondamentale des approches basées sur les observateurs ou filtres est de prédire la sortie du système à partir des variables mesurées (ou une partie de ces variables) tels que par un observateur de Luenberger dans le cadre déterministe ou par un filtre de Kalman dans le contexte stochastique. Un résidu peut être conçu comme l'erreur de sortie pondérée (ou l'innovation dans le cadre stochastique). La flexibilité de ces approches réside dans le choix du gain des observateurs.

I.3.1.c Méthodes d'estimation paramétrique :

La détection et localisation des défauts peuvent être effectuées par l'utilisation des techniques d'identification, si la structure du modèle est connue. L'idée de base consiste à estimer les paramètres du système en temps réel et de les comparer à leurs analogues en état normal. On distingue deux approches :

- Méthodes de l'erreur d'équation.
- Méthodes de l'erreur de sortie.

Pour détection de défauts par la méthode d'estimation paramétrique, on procède par les étapes suivantes :

- 1- Modélisation mathématique du procédé.

2- Description des relations entre les constantes physiques supposées connues et les paramètres du modèle.

3- Estimation des paramètres du modèle à partir des entrées et sorties du système en absence de défauts.

4- Estimation des paramètres du système en présence de défauts.

5- Le vecteur de résidus est obtenu en faisant la différence entre les grandeurs estimées et les valeurs nominales.

L'apparition d'un défaut au sein du système entraîne une modification de ses caractéristiques physiques d'où résulte une évolution significative des paramètres par rapport à leur valeur nominale autrement dit tout écart notable des paramètres par rapport aux valeurs nominales est révélateur d'un défaut. Le schéma suivant (**figure I.5**) représente le principe de la généralisation de résidu à partir d'une estimation paramétrique en temps réel des paramètres du système.

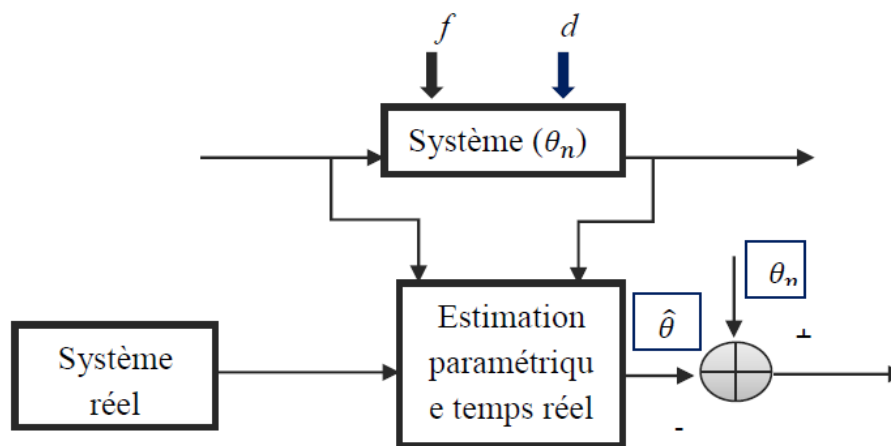


Figure I.5 Génération de résidu par estimation paramétrique.

Où $\hat{\theta}$ représente le vecteur des paramètres issu de l'identification en temps réel et θ_n les valeurs nominales correspondantes.

I.3.1.d Méthode basée sur l'espace de parité :

L'idée de base de cette méthode est de vérifier la cohérence entre les relations mathématiques du système et les mesures (relations redondance analytique). On suppose qu'une mesure puisse s'exprimer en fonction des autres par une relation connue. La différence entre la mesure et sa valeur calculée à l'aide du modèle est appelée résidu. Alors si le résidu est nul, les mesures sont cohérentes par rapport au modèle, donc le système est déclaré sans défaut. Et dans le cas où le résidu est non nul,

indique l'apparition d'un écart, qui veut dire un défaut. Donc la méthode par espace de parité suppose la connaissance d'un modèle mathématique du système.

La redondance est une notion essentielle des techniques de diagnostic. Le terme redondance est utilisé ici pour traduire la possibilité de connaître la valeur d'une variable de différentes manières. On distingue deux types de redondances, la redondance statique et la redondance dynamique.

I.3.2 Méthode qualitative :

Elle intervient en raison de la complexité des phénomènes physiques mis en jeu. Dans ce cas, les connaissances utilisables reposent sur le savoir et l'expérience d'opérateur humaine maîtrisant l'installation à surveiller en basant sur des connaissances symboliques et/ou sur un ensemble de données numériques correspondant aux divers modes de fonctionnement de l'installation.

I.3.2.a Diagnostic par reconnaissance des formes :

La méthode de diagnostic par reconnaissance des formes permet d'associer un ensemble de mesures (continues ou discrètes) effectuées sur le système à des états de Fonctionnement connus. Cette fonction permet d'avoir une relation d'un espace caractéristique vers un espace de décision, de façon à minimiser le risque de mauvaise classification. Trois techniques de reconnaissance des formes sont :

La première technique est une technique classique de discrimination basée sur les outils de la statistique. Cette technique peut se montrer insuffisante car elle suppose une connaissance a priori de tous les états de fonctionnement et ne prend pas en compte l'évolution du système. Les deux autres techniques de discrimination reposent sur la théorie de l'intelligence artificielle. Ces deux techniques sont la reconnaissance des formes par la logique floue et la reconnaissance des formes par réseaux de neurones.

I.3.2.b L'avantage principal des méthodes qualitatives:

Possibilité de n'utiliser que le modèle qualitatif: aucun besoin de grandeurs numériques des paramètres ni de connaissances profondes sur la structure du système.

I.3.2.inconvénients :

Il n'est pas aisé de déterminer les valeurs limites inférieures et supérieures des déviations. D'autre part un problème combinatoire peut apparaître lors des procédures d'inférences pour les systèmes complexes.

I.4. Conclusion :

Ce chapitre présente un état de l'art sur le diagnostic des défauts et les différentes méthodes proposées dans ce domaine, ainsi que les différentes définitions et généralités dédiées au diagnostic. Bien qu'il existe dans la littérature plusieurs classifications, nous avons distingué, essentiellement, entre les méthodes analytiques ou quantitatives (estimation d'état, estimation paramétrique, équation de parité) qui sont basées sur l'existence de modèles mathématiques et les méthodes symboliques ou qualitatives (intelligence artificielle, logique floue, réseaux de neurones,...etc.) qui sont utilisées dans le cas où la modélisation mathématique du système serait complexe ou inexistante. Nous avons présenté aussi la procédure de détection et l'isolation de défauts. Cette dernière passe par deux étapes essentielles : la génération et l'évaluation du vecteur des résidus.

Le second chapitre fera l'objet de la modélisation de la machine asynchrone.

CHAPITRE II
MODELISATION DE
LA MACHINE
ASYNCHRONE

II.1 Introduction :

Le moteur asynchrone à cage est une composante clé de la plupart des équipements industriels, du fait de sa grande robustesse et son prix de revient.

Malgré toutes ces qualités, un certain nombre de contraintes de différentes natures (thermiques, électriques, mécaniques et d'environnement) peuvent affectés la durée de vie de la machine en faisant apparaître des pannes dans le stator et le rotor. Ces pannes occasionnent des pertes économiques considérables, il faut donc mettre en œuvre des systèmes de surveillance afin d'éviter les arrêts imprévus. [3]

Un mauvais fonctionnement d'un moteur asynchrone peut être due aux :

Défauts rotoriques :

- Rupture de barres.
- Cassure d'anneaux.
- Excentricité statique et/ou dynamique.
- Défaut de circuit magnétique (rupture de tôles).

Défauts statoriques :

- Court circuit dans les spires d'une même phase.
- Court circuit entre phases.
- Coupure d'une phase.

II.2. Les causes des défauts : [2]

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes:

- Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage d'alimentation...
- Les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement...

- Les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, défektivité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine...

II.3. Les différents défauts :

Des études statistiques nous révèlent que certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres, ce qui nous amène à axer notre étude vers les types de défauts les plus courants.

Parmi les pannes majeures, nous trouvons les suivantes :

II.3.1. Les cassures de barres et de portions d'anneaux des cages :

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leurs apparitions, la machine continue de fonctionner. Ces défauts ont par ailleurs un effet cumulatif. Le courant que conduisait une barre cassée, par exemple, se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine. Elles provoquent aussi une dissymétrie de répartition de courants au rotor et des à-coups de couples, ceci va générer des vibrations et l'apparition de défauts mécaniques.

II.3.2. Les courts-circuits internes :

Un court-circuit entre phases provoquerait un arrêt net de la machine. Cependant, un court-circuit au bobinage près du neutre ou entre spires n'a pas un effet aussi radical. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui a une répercussion directe sur le couple. Ce type de défauts perturbe aussi sensiblement les commandes développées sur la base du modèle de Park (Hypothèse d'un modèle équilibré).

II.3.3. Les décharges partielles :

Ce phénomène naturel dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse s'amplifie avec le vieillissement des isolants. Il est pratiquement imperceptible dans les isolants neufs par les moyens de mesures classiques car son effet n'est pas discernable par rapport aux bruits de mesure. Sa présence précède l'apparition des courts-circuits entre phases ou entre phase et masse lorsque ces décharges partielles ont suffisamment détérioré les isolants.

II.3.4. Dissymétrie du rotor :

Celui-ci provoque la variation de l'entrefer dans le moteur, une répartition non homogène des courants dans le rotor et le déséquilibre des courants statorique. Le déséquilibre des efforts sur les barres génère un couple global non constant.

II.4 Etudes statistiques :[5]

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200 kW) a donné les résultats suivants (Fig. II-1) :

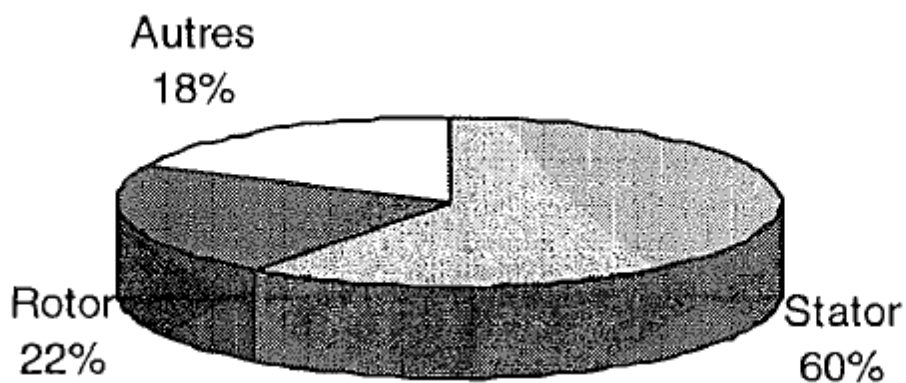


Figure II.1 Proportion des défauts.

D'autre part les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988 les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période. La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est comme suit :

Enroulements stator: 51 %	Tôlerie stator: 9 %
Défauts au rotor: 22 %	Roulements: 8 %
Autres: 10%	

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) donnée les résultats suivants:

Enroulements stator: 13%	Couplage mécanique: 4%
Défauts au rotor: 8 %	Roulements: 41 %

Autres: 34 %

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique

Le taux élevé des pannes dues aux roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue.

II.5. Défauts de la machine asynchrone :[2]

Les défauts typiques des machines asynchrones peuvent être regroupés comme suit :

- Des défauts du stator ayant pour résultat l'ouverture ou le court-circuit d'un ou plusieurs enroulements d'une phase statorique.
- Un raccordement anormal des enroulements du stator.
- Un défaut au niveau du rotor qui serait une rupture total ou partielle d'une barre au niveau de l'anneau de la cage d'écureuil ou une rupture d'une position d'anneau.
- Un défaut de contact balai-bague dans le cas d'un rotor bobiné.
- Des irrégularités statiques et / ou dynamiques de l'espace vide entre stator et rotor (défauts d'excentricité).
- Un bobinage d'excitation du rotor court-circuité.
- Un axe coudé ou incliné (excentricité dynamique).
- Un défaut d'isolation électrique au niveau du bobinage du stator suite à un vieillissement prématuré dû au milieu de fonctionnement hostile ou non et à la façon dont est alimenté le moteur.

- Une dégradation par usure prématurée ou non des roulements à billes.

II.6 Modélisation de la machine asynchrone : [3] :

II.6.1 Hypothèse simplificatrices :

L'étude de la modélisation de la machine asynchrone sera faite dans le contexte habituel

D'hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'entrefer constant.
- L'effet des encoches néglige.
- La distribution spatiale sinusoidale des forces magnétomotrices d'entrefer.

- Le circuit magnétique non saturé et à perméabilité constante.
- Les pertes ferromagnétiques négligeables.
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques, ne sont pas pris en compte.
- La constante des inductances propres.

- La structure principale de la machine asynchrone est représentée par la figure (II.2), elle est composée de six enroulements dans l'espace électrique, les axes statoriques sont décalés entre eux d'un angle ($2p/3$), Ainsi que les axes rotoriques. L'angle θ représente l'angle entre l'axe de la phase rotorique de référence (R_a) et l'axe fixe de la phase statorique de référence (S_a). Les flux sont considérés positifs selon le sens des axes des enroulements de la machine asynchrone.

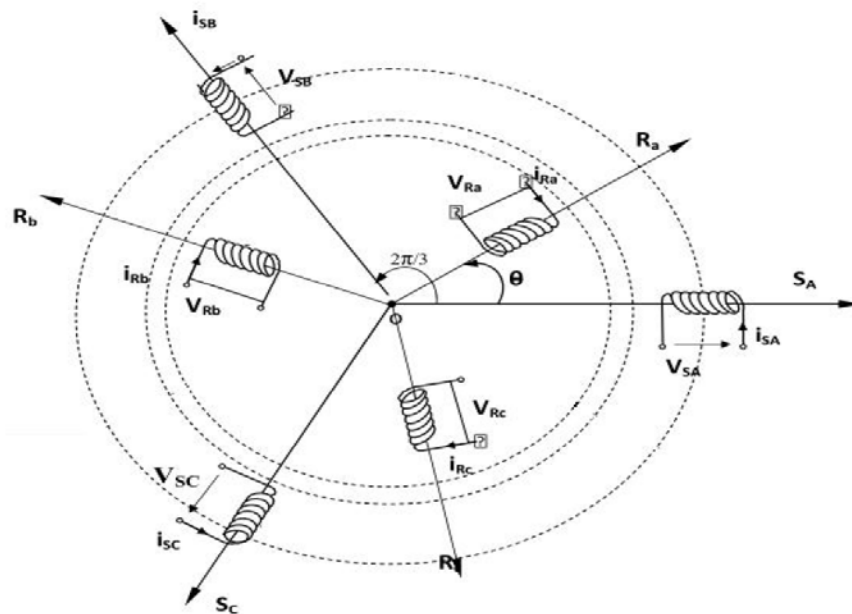


Figure II.2 Représentation des enroulements de la machine asynchrone triphasée dans l'espace électrique.

II.6.2 Modèle triphasé équivalent d'une machine asynchrone :[4]

Par application de la loi de Faraday à l'un des six enroulements statoriques et rotoriques de la machine, la loi des mailles s'exprime par la relation :

$$V = R \cdot I + \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{II.1})$$

La machine peut être modélisée par les équations suivantes :

$$[U_s] = [R_s][I_s] + [P\Phi_s] \quad (\text{II.2})$$

Cette notation est l'écriture condensée de :

$$\begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \\ U_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

$$[0] = [R_r][I_r] + [P\Phi_r] \quad (\text{II.4})$$

Cette notation est l'écriture condensée de :

$$\begin{bmatrix} U_{ra} \\ U_{rb} \\ U_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

$$[\Phi_s] = ([M_{ss}] + [L_{sf}])[I_s] + [M_{sr}][I_r] \quad (\text{II.6})$$

$$[\Phi_r] = [M_{rs}][I_s] + [M_r][I_r] + [L_{rf}][I_r] \quad (\text{II.7})$$

Ou :

P désigne opérateur différentiel

Les variables $[U_s] = \begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \\ u_{sc} \end{bmatrix}$, $[I_s] = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix}$, $[\varphi_s] = \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix}$ représentent les tensions, les

courants et les flux ou stator respectivement.

Les variables $[I_r] = \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}$, $[\varphi_r] = \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix}$ représentent les courants et les flux au rotor

respectivement.

Les inductances sont données par les expressions suivantes :

$$[L_{sf}] = \begin{bmatrix} L_{sf} & 0 & 0 \\ 0 & L_{sf} & 0 \\ 0 & 0 & L_{sf} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

La résistance de chaque phase statorique est proportionnelle au nombre de spires utiles. On écrit alors la matrice des résistances statoriques $[R_s]$ est donnée par :

$$[R_s] = R_s \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

Lorsque le moteur tourne .les coefficients $[M_{sr}]$ et $[M_{rs}]$ ne sont pas constante. Ils varient en fonction de l'angle θ position angulaire entre le rotor et le stator.

Ceci rend le modèle triphasé équivalent difficilement utilisable tant en commande qu'en surveillance dans l'approche qui suit une transformation mathématique est applique sur les équation du modèle précédent afin de rendre l'ensemble calculable en ligne.

Equations électromagnétique et mécaniques :

L'équation de mouvement est donnée par:

$$J \frac{d}{dt} \Omega + f\Omega = c_e - c_r \quad (\text{II.12})$$

Le couple est donné par l'expression suivante :

$$C_e = p \frac{M_{sr}}{L_r} [(i_{sb} \Phi_{rc} - i_{sc} \Phi_{rb}) - (i_{sa} \Phi_{rc} - i_{sc} \Phi_{ra}) + (i_{sa} \Phi_{rb} - i_{sb} \Phi_{rb})] \quad (\text{II.13})$$

II.6.3. Modélisation de la MAS :

II.6.3.1. Dans le repère de Park :

La transformation de Park appelée souvent transformation à deux axes, fait correspondre aux variables réelles leurs composantes :

- d'axe direct.
- d'axe en quadrature.
- homopolaire.

d : Indice de la composante directe.

q : Indice de la composante en quadrature.

o : Indice de la composante homopolaire.

La transformation du modèle d'un enroulement triphasé en un modèle d'un enroulement biphasé, en prenant en compte la conservation des puissances est permis par la matrice de park donnée ci après :

$$[P] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

Le facteur $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$ est la pour conserver la puissance électrique instantanée.

$$[P]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

θ est l'angle de rotation du repère(d. q).

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} = [P] \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = [P]^T \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Le modèle de la machine asynchrone dans le repère de Park est non linéaire à cause de la présence de la vitesse dans les équations électriques du système d'état. L'extension éventuelle du système à d'autres variables augmenterait cette non linéarité.

La transformation du modèle d'un enroulement biphasé (d_q) en un modèle d'un enroulement biphasé (α_β). On exprime toutes les grandeurs dans seul repère. les grandeurs statorique et rotorique sont projetées dans le repère généralisé (d_q). qui décale d'un angle θ par rapport au repère fixe (α_β) cette transformation se fait à l'aide de la matrice orthnormale de rotation $T_{(d,q)}(\theta)$ comme suit :

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = T_{(d,q)}(\theta) \begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} \quad ; \quad \begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} = T^{-1}_{(d,q)}(\theta) \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

Ou :

$$T_{(d,q)}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad ; \quad T^{-1}_{(d,q)}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

II.6.3.2. Dans le repère (d-q) :

Dans ce référentiel. Le repère (d_q) tourne à la vitesse électrique du champ tournant ω_s

Nous pouvons aligner l'axe (od) avec le courant magnétique rotorique du champ (le flux rotorique (ϕ_{dr})). alors dans ce cas on aura $\frac{d\phi_{qr}}{dt} = 0$. Le modèle sain de la machine asynchrone dans ce référentiel ($d - q$) est donné par équation (II.19) ou le vecteur commande $[V_{ds}, V_{qs}]$ et les variables d'état sont $[i_{ds}, i_{qs}, \phi_{dr}, \Omega]$:

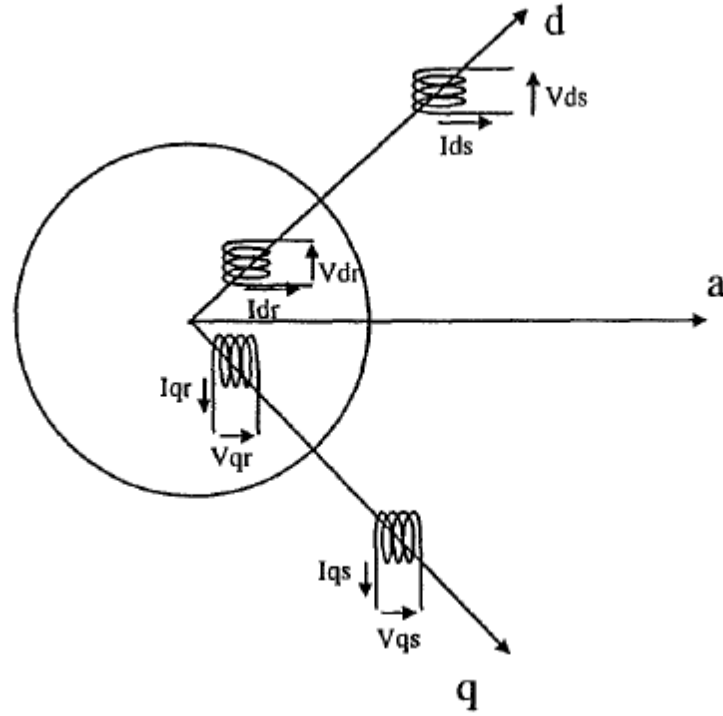


Figure II.3 Représentation de Park.

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -a i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r \tau_r} \phi_{dr} + \frac{V_{ds}}{\sigma L_s} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -a i_{qs} - \omega_s i_{ds} - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} P \phi_{dr} \Omega + \frac{V_{qs}}{\sigma L_s} \\ \frac{d\phi_{dr}}{dt} = \frac{L_m}{\tau_r} i_{ds} - \frac{1}{\tau_r} \phi_{dr} \\ \frac{d\phi_{qr}}{dt} = \frac{L_m}{\tau_r} i_{qs} + \frac{1}{\tau_r} \phi_{qr} \\ \frac{d\Omega}{dt} = \frac{P L_m}{L_r J} i_{qs} \phi_{dr} - \frac{f}{J} \Omega - \frac{T}{J} \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

$$\omega_s = P \Omega + \frac{L_m}{\tau_r \phi_{dr}} i_{qs} \quad (\text{II.20})$$

$$a = \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma \tau_r} \right) \text{ et } \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \quad (\text{II.21})$$

L_m, L_r, L_s sont les inductance mutuelle, rotorique et statorique ω_s est pulsation statorique. τ_r constante du temps $\left(\frac{L_r}{R_r}\right)$. P nombre de pair de poles. J est le moment d'inertie, T c'est le couple résistant.

Cette transformation est orthonormée. Elle conserve la puissance instantanée. La Composante homopolaire s'annule si la machine est supposée équilibrée. Si le système n'est pas équilibré, que ce soit par son alimentation (défaut d'alimentation), ses courants ou ses flux

(défaut de bobinage ou défaut de circuit magnétique) la représentation biphasée n'est plus valide et ne conduirait plus à un découplage aussi intéressant que celui de Park. Dans le cas d'une machine équilibrée, les transformations suivantes sont appliquées au stator et au rotor :

$$[V_{dq0}] = [P] \cdot [V_{abc}], [i_{dq0}] = [P] \cdot [i_{abc}], [\varphi_{dq0}] = [P] \cdot [\varphi_{abc}] \quad (\text{II.22})$$

A partir des équations du stator et du rotor de (1), on peut écrire :

Au :

$$\text{stator} : \begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \frac{d\theta_s}{dt} \varphi_{ds} \\ V_{s0} = R_s i_{s0} + \frac{d\varphi_{s0}}{dt} \end{cases} \quad \text{et au rotor} \begin{cases} V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} - \frac{d\theta_r}{dt} \varphi_{qr} \\ V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} + \frac{d\theta_r}{dt} \varphi_{dr} \\ V_{r0} = R_r i_{r0} + \frac{d\varphi_{r0}}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.23})$$

3) Sachant que:

$$\begin{bmatrix} \varphi_{ds} \\ \varphi_{qs} \\ \varphi_{s0} \\ \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \\ \varphi_{r0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & 0 & L_m & 0 & 0 \\ 0 & L_s & 0 & 0 & L_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ L_m & 0 & 0 & L_r & 0 & 0 \\ 0 & L_m & 0 & 0 & L_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_{r0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{s0} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \\ i_{r0} \end{bmatrix} \quad (\text{II.24})$$

V_{s0} et V_{r0} sont nulles. La machine asynchrone est représentée uniquement dans les axes d et q :

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ds} \\ \varphi_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{d\theta}{dt} \\ \frac{d\theta}{dt} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{ds} \\ \varphi_{qs} \end{bmatrix} \quad (\text{II.25})$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{d\theta}{dt} \\ \frac{d\theta}{dt} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix}$$

L'expression du couple électromagnétique C_e est devenue :

$$C_e = p(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \quad (\text{II.26})$$

On peut aussi, en utilisant les flux rototrique obtenir : $C_e = p \frac{L_m}{L_r} (\varphi_{dr} i_{qs} - \varphi_{qr} i_{ds})$

II.6.3.3. Dans le repère (α_beta) :

Le modèle de la machine asynchrone dans le repère se met sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{x} = A(x, u) \\ y = Cx \end{cases} \quad (II.27)$$

Où les variable d'état sont $X = [I_{\alpha s} \ I_{\beta s} \ \varphi_{\alpha r} \ \varphi_{\beta r} \ \Omega]^T$ et la commande $u = [V_{\alpha s} \ V_{\beta s}]^T$ et la sortie est $y = [I_{s\alpha} \ I_{s\beta} \ \omega]^T$.

$$A(x, u) = \begin{bmatrix} -\gamma x_1 + a x_3 + K p x_4 x_5 + e V_1 \\ -\gamma x_2 + a x_4 - K p x_3 x_5 + e V_2 \\ b x_1 - c x_3 - p x_4 x_5 \\ b x_2 - c x_4 + p x_3 x_5 \\ d(x_3 x_2 - x_1 x_4) - \frac{c_r}{j} - \frac{k_f}{j} x_5 \end{bmatrix}; c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.28)$$

Où :

$$\gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r L_r^2}{\sigma L_r^2 L_s}; \quad \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}; \quad T_r = \frac{L_r}{R_r}; \quad K = \frac{L_m}{\sigma L_r L_s} \quad (II.29)$$

$$a = \frac{K}{T_r}; \quad b = \frac{L_m}{T_r}; \quad c = \frac{1}{T_r}; \quad e = \frac{1}{\sigma L_s}; \quad (II.30)$$

II.7. Modélisation de la machine asynchrone en vue de son diagnostic :[4]

Le diagnostic des défauts de la MAS par les méthodes à base de modèle, et plus particulièrement celles à base d'observateurs, nécessite une modélisation adéquate de celle-ci où il sera mis en évidence les défauts que l'on désire détecter et éventuellement les entrées inconnues.

Dans cette étude, nous nous intéressons à la détection et la localisation des défauts se traduisant par des variations des résistances et inductances statorique et rotorique de la MAS, en supposant que la détection doit se faire indépendamment des variations du couple résistant, des frottements et de l'inertie. Ces derniers sont donc considérés comme étant des perturbations.

On considère le système d'équations :

$$\begin{cases} \dot{X} = g(X, U, d, f) \\ Y = CX \end{cases} \quad (II.31)$$

Le vecteur défaut est représenté par les variations des résistances et inductances statorique et rotorique autour de leurs valeurs nominales, à savoir :

$$f = \begin{bmatrix} \Delta R_s \\ \Delta L_s \\ \Delta R_r \\ \Delta L_r \end{bmatrix} \text{ tel que: } \begin{cases} \Delta R_s = R_s - R_{s0} \\ \Delta L_s = L_s - L_{s0} \\ \Delta R_r = R_r - R_{r0} \\ \Delta L_r = L_r - L_{r0} \end{cases} \quad (\text{II.32})$$

$R_{s0}, L_{s0}, R_{r0}, L_{r0}$ étant respectivement les valeur nominales de la résistance statorique inductance statorique , résistance rotorique ,l'inductance rotorique.

Les perturbations sont représentées par les variations du couple résistant, des frottements et de l'inertie autour d leurs valeur nominales données respectivement par $C_r, K_f, et j_0$:

$$d = \begin{bmatrix} \Delta C_r \\ \Delta K_f \\ \Delta j \end{bmatrix} \text{ tel que : } \begin{cases} \Delta C_r = C_r - C_{r0} \\ \Delta K_f = K_f - K_{f0} \\ \Delta j = j - j_0 \end{cases} \quad (\text{II.33})$$

$$\begin{cases} \dot{X} = A(X, U) + E_d(X)d + E_f(X)f \\ Y = CX \end{cases} \quad (\text{II.34})$$

Ou $E_d(X)$ et $E_f(X)$ sont des distributions vectorielle déterminées en effectuant un développement de taylor de $g(X, U, d, f)$ autour des valeurs nominales des paramètres considérées telle que :

$$E_d(X) = \frac{\partial g(X, U, d, f)}{\partial d} \downarrow C_{r0}, K_{f0}, j_0 \quad \text{et} \quad E_f(X) = \frac{\partial g(X, U, d, f)}{\partial f} \downarrow R_{s0}, L_{s0}, R_{r0}, L_{r0} \quad (\text{II.35})$$

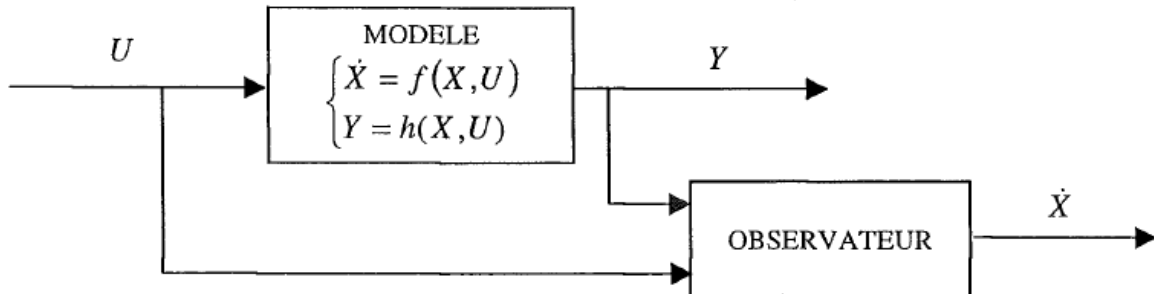
Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle de la machine asynchrone sous forme de représentation d'état dans deux repères qui sont le repère (d-q) et le repère α (- β) .nous avons aussi présenté le modèle de la machine dédié au diagnostic, ainsi que les défauts pouvant affecter cette machine.

CHAPITRE III
SYNTHESE
D'OBSERVATEURS
NON LINEAIRES

III.1. Introduction :

Un observateur ou reconstituer d'état est un système dynamique qui permet d'obtenir une estimation de la valeur courante de l'état non mesuré d'un système à partir des informations antérieures sur les entrées et la sortie de ce dernier.[6]



III.1 Typologie de l'observation.

L'observation se fait en deux phases; la première est une étape d'estimation et la seconde est une étape de correction. L'estimation se fait par le calcul des grandeurs d'état à l'aide de Modèles proches du système, et la correction se fait par l'addition ou la soustraction de la Différence entre les états estimés et ceux mesurés (erreur d'estimation) que l'on multiplie par Un gain G . Ce gain régit la dynamique et la robustesse de l'observateur, donc son choix est Important et doit être adapté aux propriétés du système dont on veut effectuer l'observation des états.

On va dénombrons des observateurs déterministes et d'autres stochastiques, d'autre part, ils se répartissent en observateurs linéaires et non linéaires [5].

III.2. Définitions :

-L'observabilité : L'observabilité d'un système exprime la possibilité de reconstruire l'état initial $x(t_0)$ à partir de la seule connaissance des sorties $y(t, t_0)$ et des entrées $u(t, t_0)$ pendant un intervalle de temps suffisamment long contenu dans $[t_0, t_0 + T]$.

La notion d'observabilité est basée sur la possibilité de différencier deux conditions initiales distinctes. On parlera ainsi de la distinguabilité d'un couple de conditions initiales.[6]

Pour les systèmes linéaires stationnaires :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad x \in \mathbb{R}^n, u \in \mathbb{R}^u, y \in \mathbb{R}^p \quad (\text{III.1})$$

L'observabilité est caractérisée par la fameuse condition du rang : le système (III.1) est :

$$\text{observable si et seulement si la matrice } \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} \text{ est de rang plein(= n)} \quad (\text{III.2})$$

La distinguabilité est un concept global. Il arrive souvent que pour engendrer deux trajectoires à partir de x_0 et x_1 , on ait besoin de s'éloigner suffisamment de x_0 et x_1 . Les deux définitions qui suivent sont de nature locale.

-Observabilité locale : On dit que le système est localement observable en x_0 si pour tout voisinage ouvert V_{x_0} de x_0 , l'ensemble des points qui sont indistinguables de x_0 dans V_{x_0} via les trajectoires dans V_{x_0} est le point x_0 lui-même.

III.3. Classification des observateurs :

III.3.1 Observateurs déterministes :

Ce sont les observateurs qui ne prennent pas en compte les bruits de mesures et les Fluctuations aléatoires des variables d'état : l'environnement est déterministe. Parmi ces observateurs nous pouvons citer l'observateur Luenberger dans le cas de modèles linéaires ou l'observateur par entrée inconnue. [5]

III.3.1.1 Observateur de Luenberger généralisé : [1]

C'est l'un des observateurs proposé pour le problème fondamental de généralisation des résidus (Fundamental Problem of Residual Generation), qui permet l'estimation combinaison linéaire de l'état.

Pour les systèmes linéaires nous allons voir un exemple suivant :

Le principe de l'utilisation d'observateur de Luenberger généralisé pour la détection et localisation des défauts consiste à estimer une combinaison linéaire de l'état à savoir $Tx(t)$ ainsi que les grandeurs disponibles afin de générer le vecteur résidu, soit le système linéaire suivant :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + E_d d(t) + E_f f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_d d(t) + F_f f(t) \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

Où $x(t) \in \mathcal{R}^n$, $u(t) \in \mathcal{R}^m$, $y(t) \in \mathcal{R}^p$ représente respectivement les vecteur d'état, de commande et de sortie. $d(t) \in \mathcal{R}^q$ et $f(t) \in \mathcal{R}^n$ représente respectivement les perturbation et les défauts. La dynamique de l'observateur de leunberger est donnée par :

$$\begin{cases} \dot{\hat{z}}(t) = N\hat{z} + Gy(t) + Mu(t) \\ r(t) = P\hat{z}(t) + Ky(t) \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

Où $\hat{z}(t)$ représente l'estimation de la combinaison linéaire des états. $r(t)$ est le vecteur résidu, déterminé à partir des états estimés, de la commande et de la sortie du système G, M, P, K et N sont des matrices de dimensions appropriées. La dynamique de l'erreur d'estimation et le résidu sont données par :

$$\begin{cases} \dot{e} = NT\hat{x} - (TA - GC)x - (TB - M)u - (TE_d - GF_d)d - (TE_f - GF_f)f \\ r = P\hat{z} + KCx + KF_d d + KF_f f \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

En absence de défauts et des entrées inconnues, le résidu et l'erreur d'estimation doit converger asymptotiquement vers zéro, pour assurer cette convergence, il suffit que l'observateur vérifient les conditions suivant :

$$\begin{cases} N \text{ stable} \\ NT = TA - GC \\ M = TB \\ GF_d - TE_d = 0 \end{cases} \quad \text{Et} \quad \begin{cases} PT = -KC \\ \text{et} \\ KF_d = 0 \end{cases} \quad (\text{III.6})$$

Et dans le cas de présence de défauts et les conditions précédentes (III.6) sont vérifiées, la dynamique de l'erreur et le résidu sont donnés par des expressions suivantes :

$$\begin{cases} \dot{e} = NT(\hat{x} - x) + (GF_f - TE_f)e \\ r = PT(\hat{x} - x) + KF_f f \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

L'observateur de Luenberger généralisé permet de générer des résidus robuste vis-à-vis des défauts, et découplé des perturbations comme l'indique l'expression suivante :

$$R_S = G_{rd}(s)D(s) + G_{rf}(s)F(s) \quad (\text{III.8})$$

Tel que :

$$\begin{cases} G_{rd}(s) = P(SI - N)^{-1}[GF_d - TE_d] + KF_d \\ G_{rf}(s) = P(SI - N)^{-1}[GF_f - TE_f] + KF_f \end{cases} \quad (\text{III.9})$$

$G_{rd}(s)$ Représente le transfert résidu/perturbation.

$G_{fr}(s)$ Représente le transfert résidu/défauts.

III.3.2 Les observateurs stochastiques :

Ces observateurs donnent une estimation optimale des états en se basant sur des critères Stochastiques. Leurs observations se basent sur la présence de bruit dans le système ce qui est Souvent le cas. L'algorithme du filtre Kalman illustre bien cette application.

III.3.3 Les observateurs linéaires :

Ce sont les observateurs dont la construction du gain est basée sur une matrice A du Système qui est linéaire et invariant dans le temps. Les observateurs de Luenberger et à entrée inconnue.

III.3.4 Les observateurs non linéaires :

Les systèmes peuvent être non linéaires (machine asynchrone). Dans ce cas des observateurs ont été développés pour palier cette difficulté.

Deux approches se généralisent :

La linéarisation autour du point de fonctionnement : pour chaque instant de fonctionnement, le système est considéré linéaire et une réactualisation se fait à chaque pas de temps. Ceci implique une réactualisation des matrices de gain. L'observateur de Kalman à Etat Retardé est un filtre de Kalman à structure particulière qui prend en compte la réactualisation de la matrice A.

III.3.4.1 Le filtre de Kalman étendu : [5] :

Notre présentation est restreinte à la structure d'observateurs utilisés par la suite. Le système non linéaire se met sous la forme :

$$\dot{x} = f(x, u) + W_x \quad (\text{III.10})$$

$$y = h(x, u) + W_y \quad (\text{III.11})$$

W_x et W_y sont des bruits blancs gaussiens.

L'observateur de Kalman étendu sera de la forme:

$$\begin{cases} \hat{x} = f(\hat{x}, u) - R \left(\frac{\partial h(\hat{x})}{\partial \hat{x}} \right)^T (h(\hat{x}) - y) \\ \dot{R} = Q + \left(\frac{\partial f(\hat{x}, u)}{\partial \hat{x}} \right) \cdot R + R \left(\frac{\partial f(\hat{x}, u)}{\partial \hat{x}} \right)^T - R \left(\frac{\partial h(\hat{x})}{\partial \hat{x}} \right)^T \cdot \left(\frac{\partial h(\hat{x})}{\partial \hat{x}} \right) R \end{cases} \quad (\text{III.12})$$

L'observateur se fait en deux étapes : une étape de prédiction $\hat{x} = f(\hat{x}, u)$ qui évalue les variables d'état à partir des équations du modèle, la seconde étape est celle de la correction $R \left(\frac{\partial h(\hat{x})}{\partial \hat{x}} \right)^T (h(\hat{x}) - y)$ qui consiste à corriger l'erreur de prédiction sur les variables en utilisant les différences existantes entre les variables observées et celles mesurées.

La matrice Q est constante. La matrice R est initialisée à un état donné et son évolution dépend de la résolution des équations différentielles. Elles sont symétriques définies positives et leur réglage ont une influence majeure sur le comportement de l'observateur (la dynamique et la stabilité).

Donc, le réglage de l'observateur se fait en initialisant les éléments de la matrice R et en affectant les éléments de la matrice Q .

III.3.5. Observateurs à modes glissants :

L'observateur à modes glissant est un observateur dont le terme correcteur est une fonction signe. Considérons le système suivant :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, u) \\ y = Cx \end{cases} \quad (\text{III.13})$$

$C = \text{diag} \{ C_1, C_2, \dots, C_p \}$ et le vecteur ligne $C_1 = (1, 0, \dots, 0)$.

L'un des observateurs à modes glissants le plus simple qui pouvant lui être associé est :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = f(\hat{x}, u) + \lambda \text{sign}(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad (\text{III.14})$$

Où λ est une matrice de gain $n \times p$ qui peut être dépendante du temps et de l'erreur,

$$\text{Avec :} \quad \text{sign}(y - \hat{y}) = \left(\text{sign}(y_1 - \hat{y}_1), \dots, \text{sign}(y_p - \hat{y}_p) \right)^t \quad (\text{III.15})$$

Où $\text{sign}(\cdot)$ est une fonction classique et $s = y - \hat{y}$ est la surface de glissement.

Ainsi l'erreur est : $e = x - \hat{x}$.

Alors la dynamique de l'erreur d'observation devient :

$$\dot{e} = \dot{x} - \dot{\hat{x}} = f(x, u) - f(\hat{x}, u) - \lambda \text{sign}(y - \hat{y}) \quad (\text{III.16})$$

La surface du glissement $S=0$ est attractive si et seulement si $S^T S < 0$ cette condition définit la région dans laquelle le mode de glissement existe. Pendant le glissement les dynamiques de l'erreur d'estimation sont réduites de l'ordre n (système initial) à l'ordre $n-p$ (système équivalent d'ordre réduit).

Dans cette partie, nous présentons un observateur de flux par modes glissant dans le repère (d-q) de la machine asynchrone, où le vecteur d'entrée est $V = [V_1 \ V_2]^T$ et le vecteur d'état est $X = [I_{s\alpha}, I_{s\beta}, \phi_{r\alpha}, \phi_{r\beta}]$ comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1 = -\gamma x_1 + a\hat{x}_3 + Kp\omega\hat{x}_4 + eV_1 + \lambda_1^T I_s \\ \dot{\hat{x}}_2 = -\gamma x_2 + a\hat{x}_4 - Kp\omega\hat{x}_3 + eV_2 + \lambda_2^T I_s \\ \dot{\hat{x}}_3 = bx_1 - c\hat{x}_3 - p\omega\hat{x}_4 + \lambda_3^T I_s \\ \dot{\hat{x}}_4 = bx_2 - c\hat{x}_4 + p\omega\hat{x}_3 + \lambda_4^T I_s \end{cases} \quad (\text{III.17})$$

Où a, b, c, e, K, p, ω et γ sont des paramètres appropriés à la machine asynchrone et $\lambda_i^T = 0, \dots, 4$ sont les gains de l'observateur à déterminer avec les $\lambda_i^T = [\lambda_{i1}^T \ \lambda_{i2}^T]$ et le vecteur I_s est donné par :

$$I_s = \begin{bmatrix} \text{sign}(S1) \\ \text{sign}(S2) \end{bmatrix} \quad (\text{III.18})$$

Les surface de glissement sont définies comme suit :

$$s = \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} x_1 - \hat{x}_1 \\ x_2 - \hat{x}_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.19})$$

$$Q = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} a & -p\omega K \\ p\omega K & a \end{bmatrix} \quad D = a^2 + p^2\omega^2 K^2 \quad (\text{III.20})$$

Le choix de Q est fait de manière à faciliter le calcul des gain de l'observateur . les variables mesurable sont les courant statorique $i_{s\alpha}$ et $i_{s\beta}$ et la vitesse du rotor ω par rapport au temp est aussi bornée.

La dynamique de l'erreur d'observation est donné par :

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = ae_3 + Kp\omega e_4 + \lambda_1^T I_s \\ \dot{e}_2 = ae_4 + Kp\omega e_3 - \lambda_2^T I_s \\ \dot{e}_3 = -ce_3 + p\omega e_4 - \lambda_3^T I_s \\ \dot{e}_4 = -ce_4 + p\omega e_3 - \lambda_4^T I_s \end{cases} \quad (\text{III.21})$$

Où :

$$e_i = x_i - \hat{x}_i, i = 1, \dots, 4$$

La synthèse de l'observateur consiste donc à déterminer les gains λ_1^T et λ_2^T de façon à assurer l'attractivité de la surface de glissement $S=0$. Et calcul λ_3^T et λ_4^T tels que le système d'ordre réduit obtenu quand $S \equiv \dot{S} \equiv 0$ est localement stable.

III.3.5.1 La dynamique sur la surface de glissement :

La propriété d'invariance de S permet d'obtenir le vecteur équivalent \tilde{I}_s . ainsi sur la surface de glissement la dynamique (\dot{s}) devienne :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} s_1 & 0 \\ 0 & s_2 \end{bmatrix} \quad (III.22)$$

Le vecteur équivalent, sur la surface de glissement est donné par :

$$\tilde{I}_s = \begin{pmatrix} \frac{e_3}{s_1} \\ \frac{e_4}{s_2} \end{pmatrix} \quad (III.23)$$

Avec cette dernière expression, le système d'ordre réduit s'écrit donc :

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} - \frac{\lambda_{31}}{s_1} - p\omega - \frac{\lambda_{32}}{s_2} \\ p\omega - \frac{\lambda_{41}}{s_1} - \frac{1}{T_r} - \frac{\lambda_{42}}{s_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (III.24)$$

Les gains de correction λ_3 et λ_4 sont calculés par identification à un système équivalent avec une dynamique qui assure le comportement désiré à savoir :

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (III.26)$$

Avec q_1 et $q_2 > 0$ et enfin on aura :

$$\begin{bmatrix} \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(q_1 - \frac{1}{T_r}\right)\delta_1 & -p\omega\delta_2 \\ p\omega\delta_1 & \left(q_2 - \frac{1}{T_r}\right)\delta_2 \end{bmatrix} \quad (III.27)$$

III.3.5.2 Attractivité de la surface de glissement :

Choisissons la fonction de Lyapunov $V = \frac{1}{2} S^T S$. La condition d'attractivité de la surface $S=0$ est donné par :

$$\dot{V} = S^T \dot{S} < 0 \quad \forall S \neq 0 \quad (III.28)$$

$$\dot{S} = Q \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \end{bmatrix} + \dot{Q} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.29})$$

$$\dot{S} = Q \left[\begin{pmatrix} a & p\omega K \\ -p\omega K & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_3 \\ e_4 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \lambda_{11}\lambda_{12} \\ \lambda_{21}\lambda_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{sign}(s_2) \\ \text{sign}(s_2) \end{pmatrix} \right] + \dot{Q} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.30})$$

$$\dot{Q} = \begin{bmatrix} a & p\omega K \\ -p\omega K & a \end{bmatrix}, n1 = -\frac{2ap^2K^2\omega\dot{\omega}}{D^2}, n2 = \frac{pK(D\dot{\omega} - 2p^2K^2\omega\dot{\omega})}{D^2} \quad (\text{III.31})$$

$$\begin{pmatrix} \lambda_{11}\lambda_{12} \\ \lambda_{21}\lambda_{22} \end{pmatrix} = Q^{-1}\Delta, \Delta = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 \\ 0 & \delta_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.32})$$

Donc :

$$\dot{V} = S^T \dot{S} = S_1 [f_1 - \delta_1 \text{sign}(S_1)] + S_2 [f_2 - \delta_2 \text{sign}(S_2)] \quad (\text{III.33})$$

$$\begin{cases} f_1 = e_3 + n1e_1 - n2e_2 \\ f_2 = e_4 + n2e_1 - n1e_2 \end{cases} \quad (\text{III.34})$$

Pour garantir l'attractivité de la surface $S=0$, il suffit que les conditions suivantes soient satisfaites :

$$\delta_1 = > |f_1|_{\max}, \delta_2 = > |f_2|_{\max} \quad (\text{III.35})$$

La dynamique sur la surface de glissement :

La propriété d'invariance de S permet d'obtenir le vecteur équivalent \tilde{I}_s . Ainsi sur la surface de glissement la dynamique (\dot{S}) devienne :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 \\ 0 & \delta_2 \end{bmatrix} [I_s] \quad (\text{III.36})$$

Le vecteur équivalent, sur la surface de glissement est donné par :

$$\tilde{\Gamma}_s = \begin{pmatrix} \frac{e_3}{\delta_1} \\ \frac{e_4}{\delta_2} \end{pmatrix} \quad (\text{III.37})$$

Avec cette dernière expression, le système d'ordre réduit s'écrit donc :

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} - \frac{\lambda_{31}}{\delta_1} - p\omega - \frac{\lambda_{32}}{\delta_2} \\ p\omega - \frac{\lambda_{41}}{\delta_1} - \frac{1}{T_r} - \frac{\lambda_{42}}{\delta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (\text{III.38})$$

Les gains de correction λ_3 et λ_4 sont calculés par identification à un système équivalent avec une dynamique qui assure le comportement désiré, à savoir :

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (\text{III.39})$$

Avec q_1 et $q_2 > 0$ et enfin on aura

$$\begin{bmatrix} \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(q_1 - \frac{1}{T_r}\right)\delta_1 & -p\omega\delta_2 \\ p\omega\delta_1 & \left(q_2 - \frac{1}{T_r}\right)\delta_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.40})$$

On remarque que l'observateur par modes glissant est, par construction, robuste en stabilité vis-à-vis des incertitudes paramétriques.

III.3.6 Observateur grand gain : [9]

Les modèles dynamiques des moteurs électriques sont non linéaires puisque les Matrices D'états dépendent de la pulsation rotorique (voir l'équation III.42). Il est donc Nécessaire de synthétiser des observateurs qui prennent en compte ce non linéarité.

Dans cette partie est présenté le suivi des paramètres du moteur asynchrone étendus à La résistance rotorique. Nous avons choisi le modèle de Park lié au champ tournant Le modèle de la MAS est présenté ci-dessous:

$$i_{ds} = -\left(\frac{1}{T_s\sigma} + R_r\left(\frac{1-\sigma}{L_r\sigma}\right)\right)i_{ds} + \omega_s i_{qs} + R_r\left(\frac{1-\sigma}{L_m L_r \sigma}\right)\varphi_{dr} + \left(\frac{1-\sigma}{L_m \sigma}\right)\omega_r \varphi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{ds} \quad (\text{III.41})$$

$$i_{qs} = - \left(\frac{1}{T_s \sigma} + R_r \left(\frac{1-\sigma}{L_r \sigma} \right) \right) i_{qs} - \omega_s i_{ds} + R_r \left(\frac{1-\sigma}{L_m L_r \sigma} \right) \phi_{qr} + \left(\frac{1-\sigma}{L_m \sigma} \right) \omega_r \phi_{dr} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{qs} \quad (\text{III.42})$$

$$\dot{\phi}_{dr} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds} - R_r \frac{1}{L_r} \phi_{dr} + \omega_{s1} \phi_{qr} \quad (\text{III.43})$$

$$\dot{\phi}_{qr} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs} - R_r \frac{1}{L_r} \phi_{qr} + \omega_{s1} \phi_{dr} \quad (\text{III.44})$$

$$\dot{\omega}_r = \frac{L_m P}{L_r J} (i_{ds} \phi_{qr} - i_{qs} \phi_{dr}) - \frac{C_r}{J} - \frac{K_f}{J} \omega_r \quad (\text{III.45})$$

Nous remarquons que le modèle est non linéaire à cause de la présence de la vitesse et de la résistance rotorique dans ces équations. Ceci nous conduit à retenir l'observateur grand gain.

Avec ce système, l'observateur grand gain est étendu à la vitesse rotorique.

L'observateur grand gain pour un système non linéaire est de la forme :

$$\dot{\hat{X}} = F(\hat{X}) + g(\hat{X})U - \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \hat{X}} (\hat{X}(t)) \right)^{-1} S_0^{-1} (h(\hat{X}) - y) \quad (\text{III.46})$$

La synthèse de l'observateur grand gain au système d'équations d'états consiste à construire les deux parties :

$$\left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \hat{X}} (\hat{X}(t)) \right) \quad \text{Et } S_0^{-1} \quad (\text{III.47})$$

Alors, nous avons :

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{i}_{ds} \\ \hat{i}_{qs} \\ \hat{\phi}_{dr} \\ \hat{\phi}_{qr} \\ \hat{\omega}_r \end{bmatrix}; h(\hat{X}) = \begin{bmatrix} \hat{i}_{ds} \\ \hat{i}_{qs} \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}; S_0^{-1} = \begin{bmatrix} 2\theta_1 & \theta_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \theta_1^2 & \theta_1^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\theta_2^2 & \theta_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \theta_2^2 & \theta_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2\theta_3^2 & \theta_3^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_3^2 & \theta_3^3 \end{bmatrix} \quad (\text{III.48})$$

$$\Gamma(X) = [h_1(X), L_f h_1(X), h_2(X), L_f h_2(X), h_3(X), L_f h_3(X)] \quad (\text{III.49})$$

Compte tenu de la complexité de développement, l'expression analytique de ce terme n'est développée que dans le cas réduit.

III.3.6.1 Réduction de l'observateur :

L'observateur étendu présente des termes de correction assez grands. Le suivi des variables observées en temps réel ne serait possible ou nécessiterait un ordinateur très puissant pour remédier à cet inconvénient, nous proposons de réduire l'ordre de l'observateur.

Les variables mesurées (vitesses et courants) sont supprimées du vecteur d'observation et la correction de l'observation se base sur la différence entre les flux calculés (à partir des mesures) et ceux observés.

Les flux estimés sont obtenus à partir de la mesure des courants :

$$\dot{\phi}_{dre} = \frac{L_r}{L_m} (V_{ds} - R_s * i_{ds}) - \frac{\sigma * L_r * L_s}{L_m} \left(\frac{di_{ds}}{dt} - \omega_s * i_{qs} \right) + \omega_s * \phi_{qre} \quad (III.50)$$

$$\dot{\phi}_{qre} = \frac{L_r}{L_m} (V_{qs} - R_s * i_{qs}) - \frac{\sigma * L_r * L_s}{L_m} \left(\frac{di_{qs}}{dt} - \omega_s * i_{ds} \right) + \omega_s * \phi_{dre} \quad (III.51)$$

Donc le modèle sur lequel est construit l'observateur grand gain étendu est réduit. est de la forme suivante :

$$\dot{X}_1 = \frac{L_r X_3}{L_m} i_{ds} - \frac{X_3 X_1}{L_r} + (\omega_s - \omega_r) X_2 \quad (III.52)$$

$$\dot{X}_2 = \frac{L_r X_3}{L_m} i_{qs} - \frac{X_3 X_2}{L_r} - (\omega_s - \omega_r) X_1 \quad (III.53)$$

$$\dot{X}_3 = 0 \quad (III.54)$$

Avec : $[X_1, X_2, X_3] = [\phi_{dr}, \phi_{qr}, R_r]$.

La construction de l'observateur est de la forme suivante :

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{dr} \\ \hat{\phi}_{qr} \\ \hat{R}_r \end{bmatrix}; h(\hat{X}) = \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{dr} \\ \hat{\phi}_{qr} \end{bmatrix}; y = \begin{bmatrix} \phi_{dre} \\ \phi_{qre} \end{bmatrix} \quad (III.55)$$

$$S_{\theta}^{-1} = \begin{bmatrix} 2\theta_1 & \theta_1^2 & 0 \\ \theta_1^2 & \theta & 0 \\ 0 & 0 & 2\theta_2 \end{bmatrix}; \quad \left[\frac{\sigma\Gamma}{\sigma\hat{X}}(\hat{X}(t)) \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\hat{R}_r}{\hat{\phi}_{dr}} & -\frac{L_r}{\hat{\phi}_{dr}} & \frac{(\omega_r - \omega_s)L_r}{\hat{\phi}_{dr}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.56})$$

Alors :

$$\begin{bmatrix} \hat{\phi}_{dr} \\ \hat{\phi}_{qr} \\ \hat{R}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_r \hat{R}_r}{L_m} i_{ds} - \frac{\hat{R}_r * \hat{\phi}_{dr}}{L_r} + (\omega_s - \omega_r) \hat{\phi}_{qr} \\ \frac{L_r \hat{R}_r}{L_m} i_{qs} - \frac{\hat{R}_r * \hat{\phi}_{qs}}{L_r} - (\omega_s - \omega_r) \hat{\phi}_{dr} \\ 0 \end{bmatrix} - \left[\frac{\sigma\Gamma}{\sigma\hat{X}}(\hat{X}(t)) \right] \begin{bmatrix} 2\theta_1 & \theta_1^2 & 0 \\ \theta_1^2 & \theta & 0 \\ 0 & 0 & 2\theta_2 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} \hat{\phi}_{dr} \\ \hat{\phi}_{qr} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{\phi}_{dre} \\ \hat{\phi}_{qre} \\ 0 \end{bmatrix} \right) \quad (\text{III.57})$$

III.4. Conclusion :

Ce chapitre, donne une synthèse d'observateurs linéaires et non linéaires , on a présenter la structure de l'observateur de l'uemberger généralisé dans le cas linéaire déterministe. Pour le cas non linéaire, l'algorithme du filtre de kalman étendu est illustré dans le cas stochastique. Et dans le cas déterministe on a présenté l'algorithme de l'observateur mode glissant ainsi que l'observateur à grand gain. Ces deux derniers sont illustrés sur la machine asynchrone. Notre intérêt ce porte sur l'observateur à grand gain, qui sera appliqué pour la détection et l'isolation des défauts de la MAS.

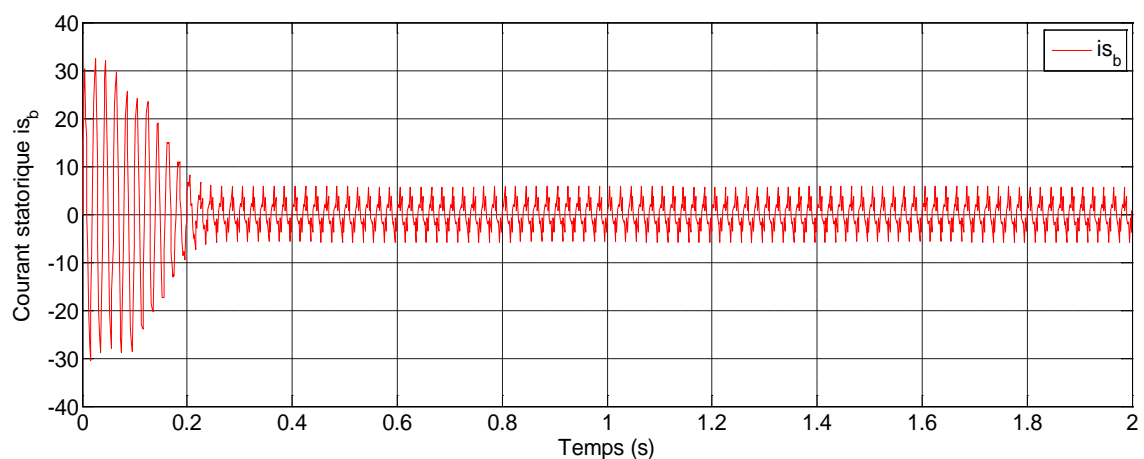
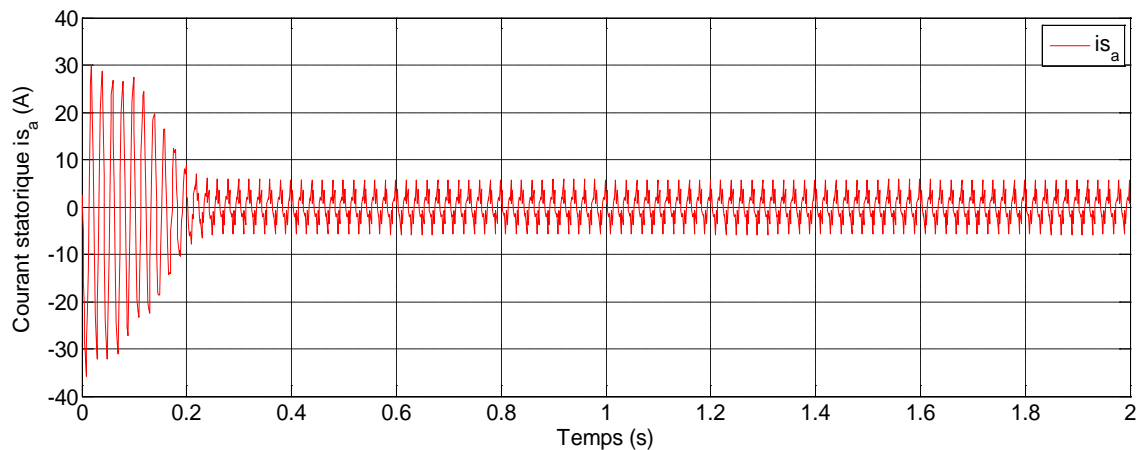
CHAPITRE IV
RESULTATS DE
SIMULATION

Introduction :

Après avoir établi un modèle de la machine asynchrone, un programme a été développé en utilisant MATLAB 7.14 pour simuler son comportement en boucle ouverte en absence de défauts (Les paramètres de cette machine se trouvent dans l'annexe I). Les simulations obtenues à vide et en charge sont représentées sur les figures suivantes :

Simulation de la machine asynchrone saine en boucle ouverte :

IV-2 Résultats de simulation de la machine asynchrone à vide ($C_r=0$) :



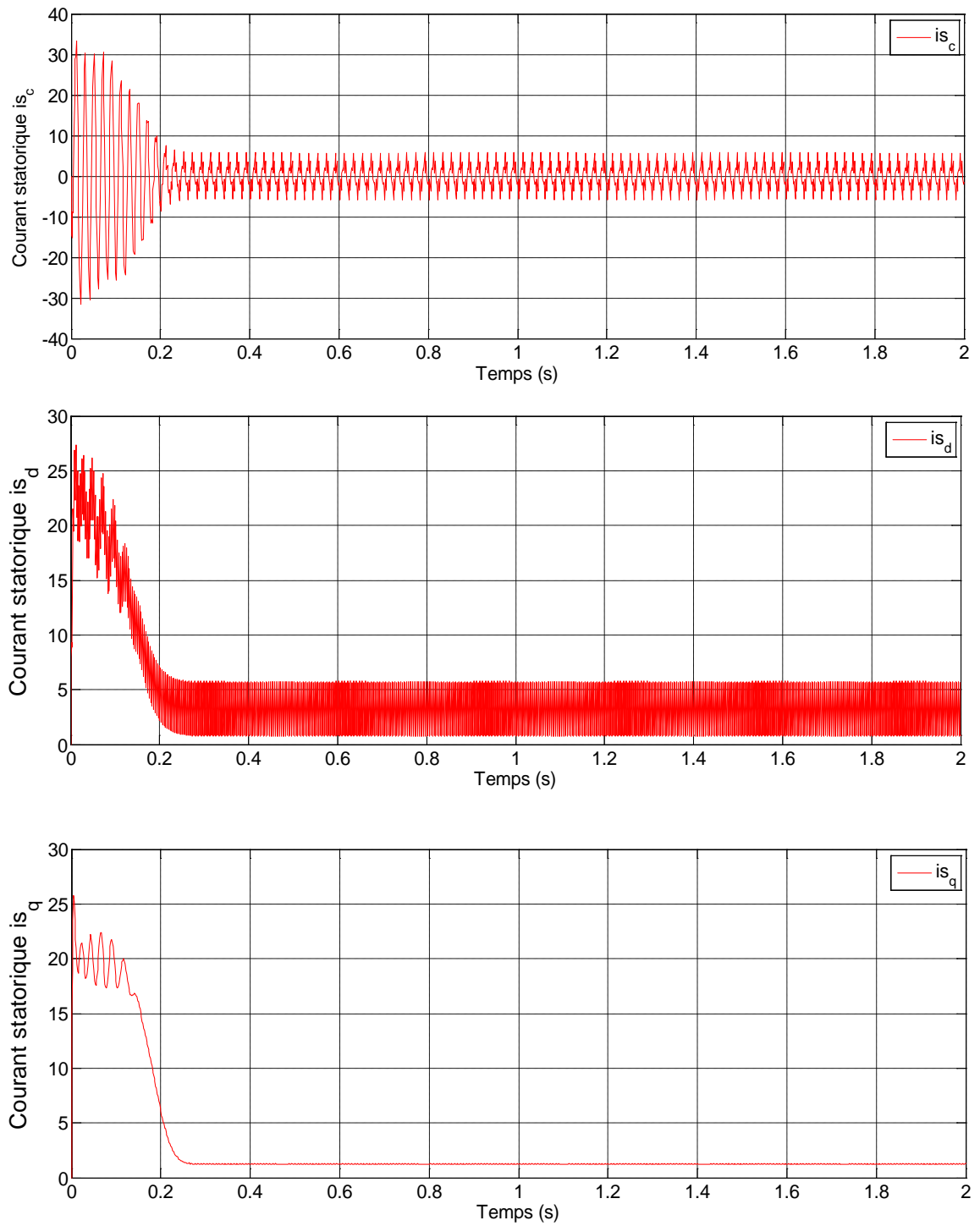


Figure III.1 Evolution des courants statoriques de la MAS à vide

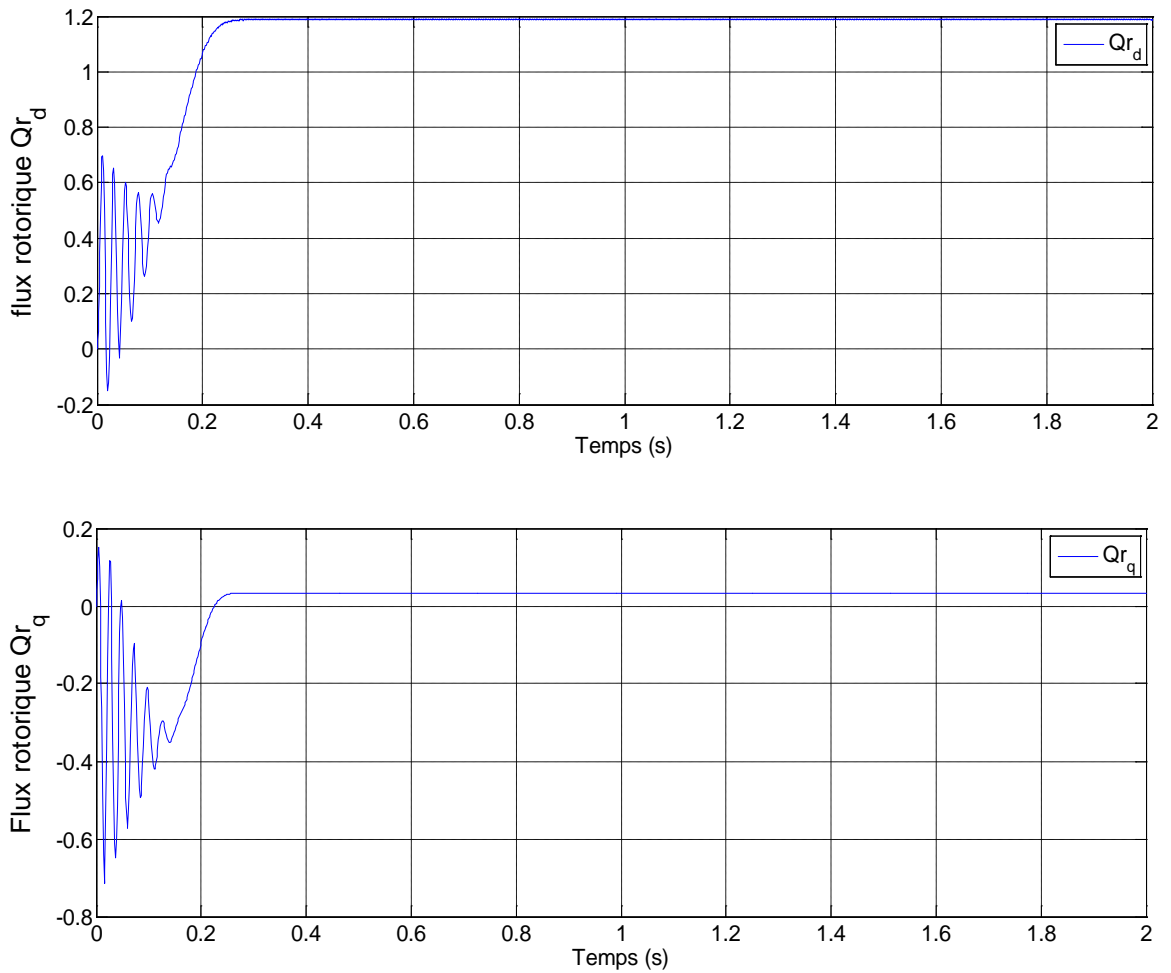


Figure III.2 Evolution du Flux rotorique de la MAS à vide

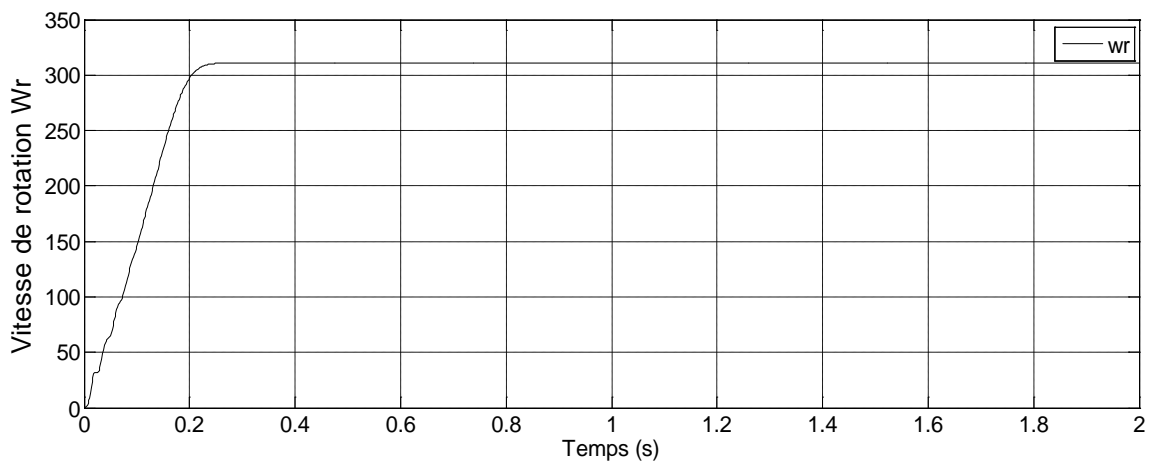
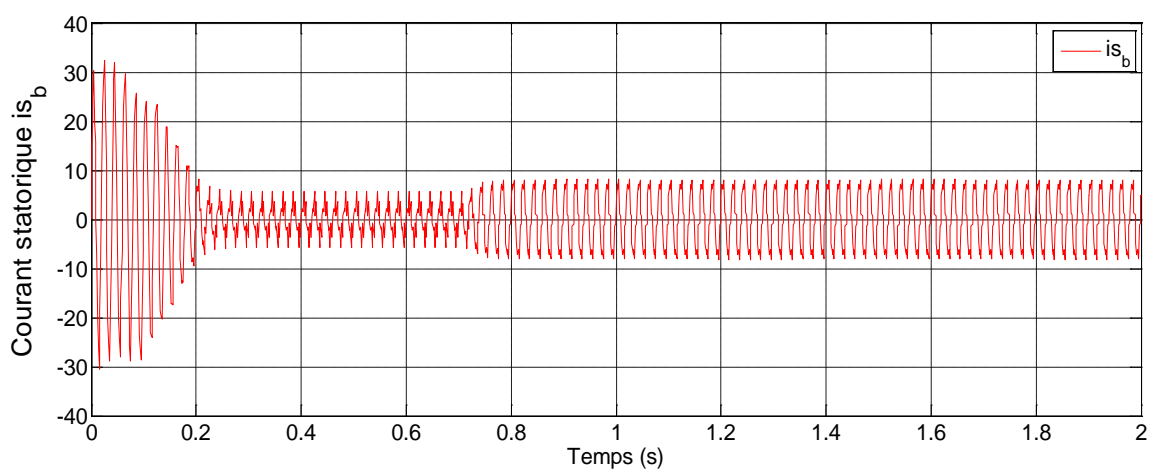
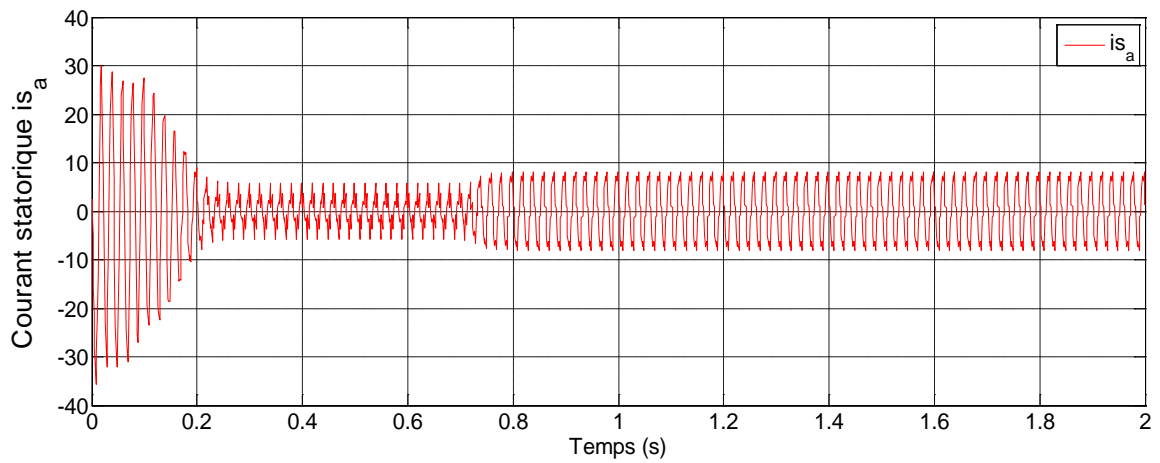


Figure III.3 Evolution de la vitesse de rotation à vide

IV-3 Résultats de simulation de la machine asynchrone en charge ($Cr = 6, T = 0.7s$) :



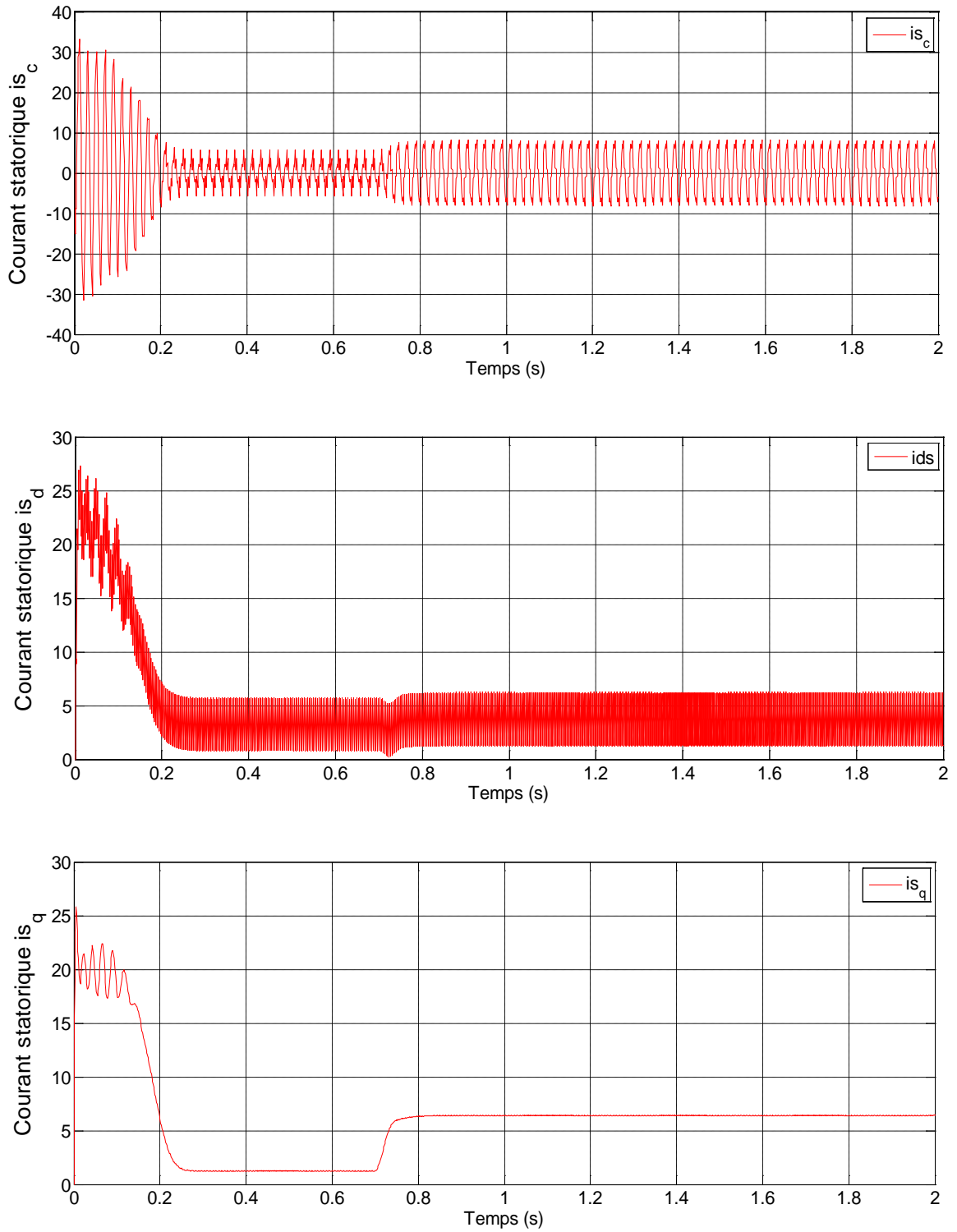


Figure III.4 Evolution des courants statoriques en charge

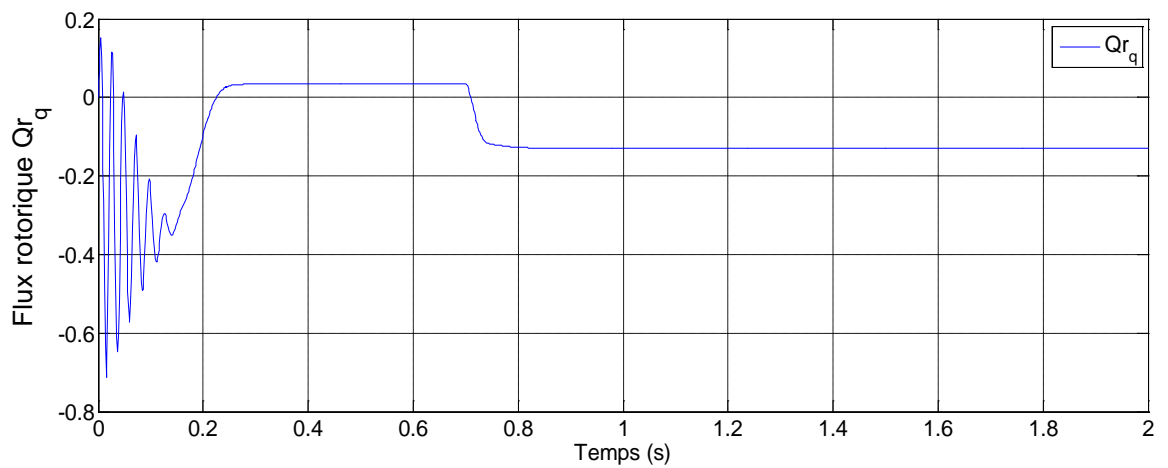
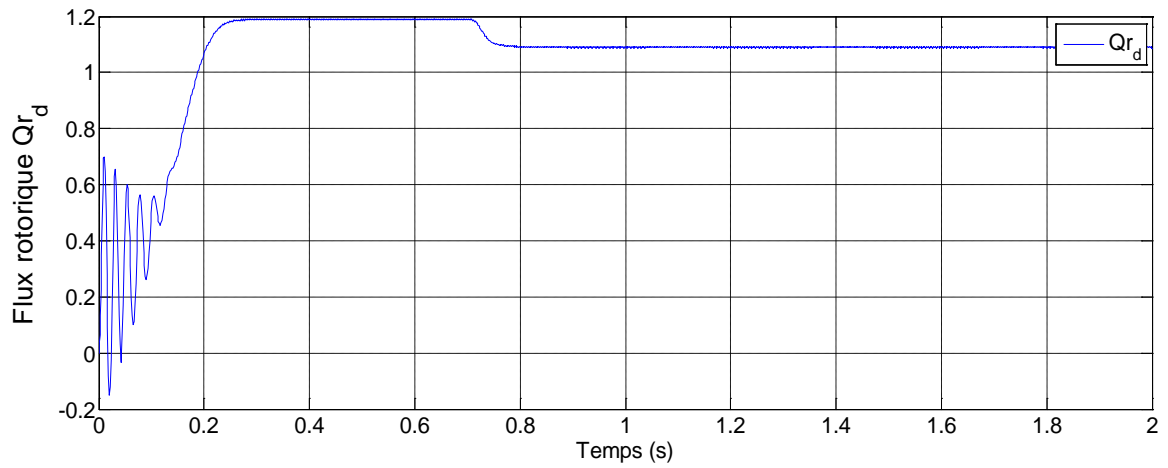


Figure III.5 Evolution du Flux rotorique avec la charge

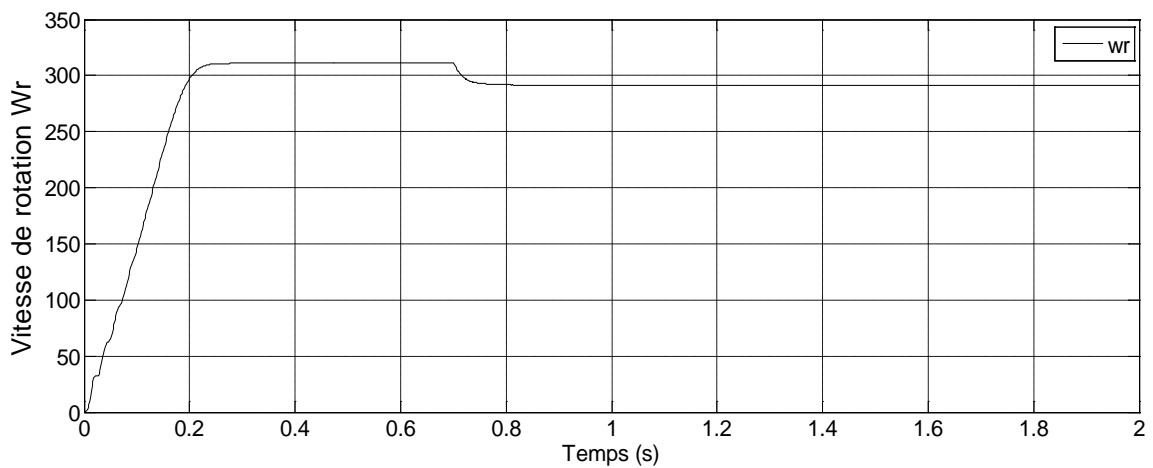


Figure III.6 Evolution du la vitesse de rotation de la MAS en charge

Interprétation des résultats :

Sur les figures III.1, III.2 et III.3, sont représentées les évolutions des courants statorique, flux rotorique et vitesse de rotation pour la machine asynchrone alimenté en tension.

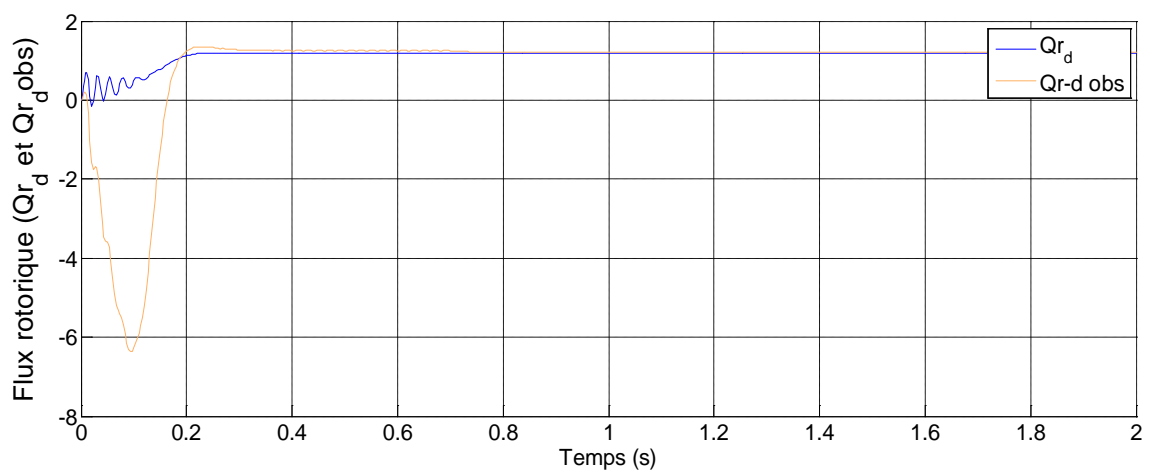
En régime transitoire, les courants statorique oscillent entre -30A et 30A, pour atteindre -6 et +6 en régime permanent et cela est du au fait qua la vitesse du rortor s'approche de celle du champ tournant.

Lors de l'application du couple résistant des ondulations sont apparues(le courant entre [-8 et +8])

Au démarrage, les flux rotorique oscillent autour de zéro et l'amplitude de ces oscillations augmente jusqu'à atteindre les valeurs max ($F_{dr}=1.2\text{wb}$, $F_{qr}=0.033\text{wb}$), en régime permanent. Dès qu'on applique le couple résistant, les oscillations sont légèrement réduites.

La vitesse de rotation se stabilise à une vitesse de ≈ 310 rad /s en 0,25s. A l'application du couple résistant de 6 N.m à l'instant $t=0.7\text{s}$. La vitesse de rotation décroît du fait qu'elle est inversement proportionnelle à la charge, et la vitesse se stabilise à la valeur de ≈ 292 rad /s.

IV-4 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur à vide ($C_r=0$) :



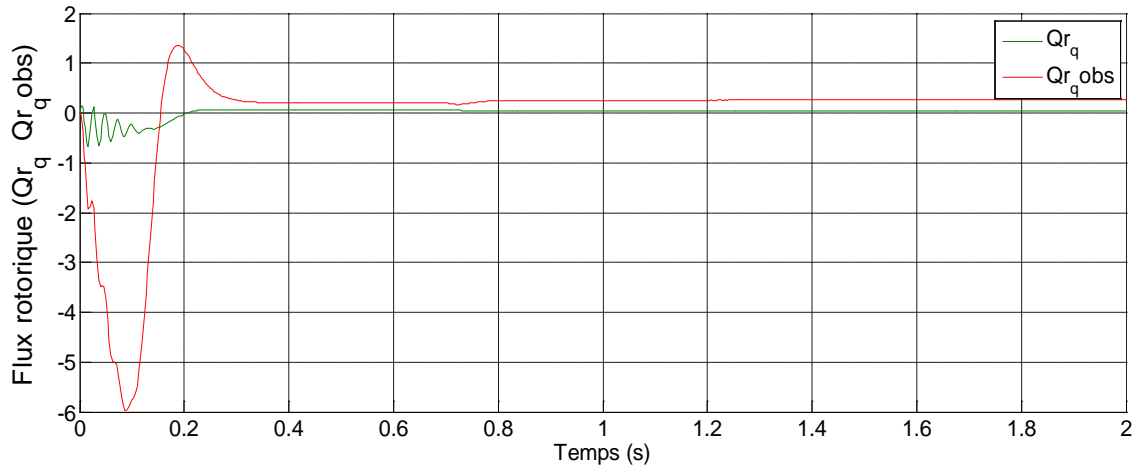


Figure III.7 Evolution du Flux rotorique à vide sans défaut

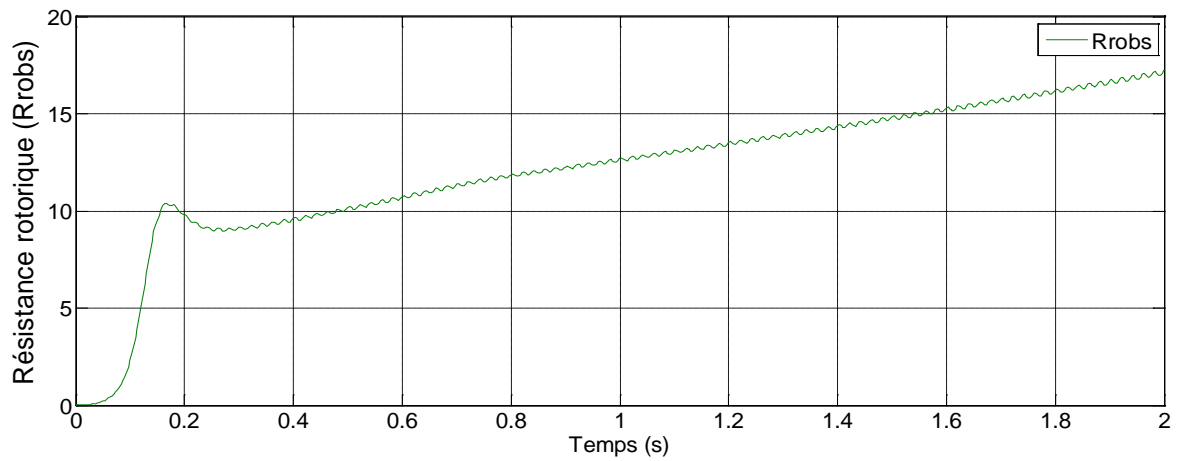
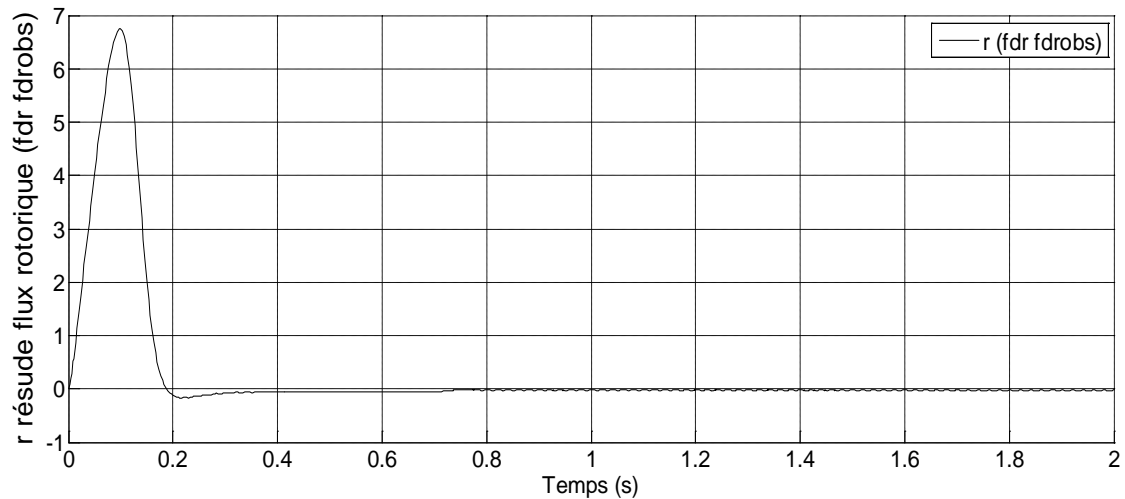


Figure III.8 Evolution de la Resistance rotorique sans défaut



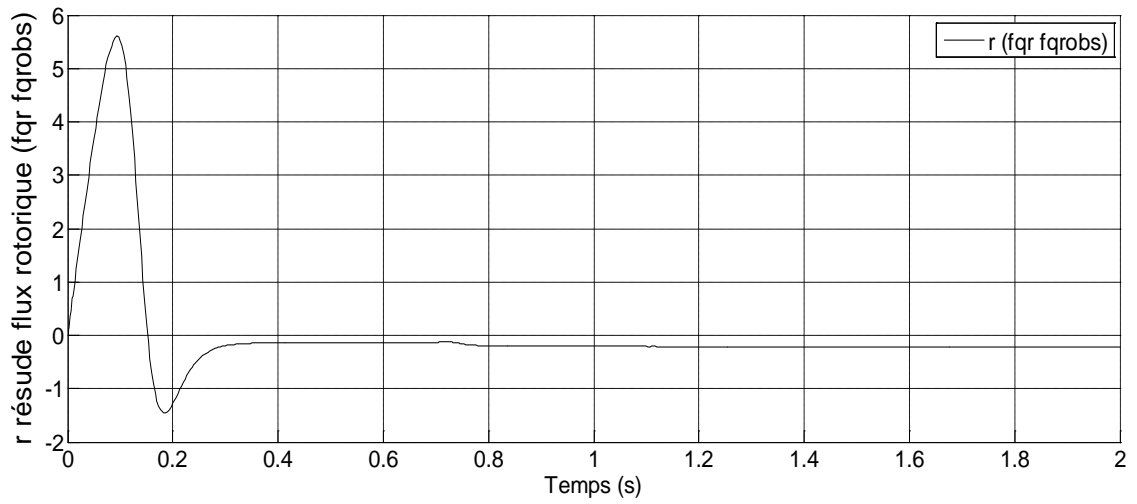
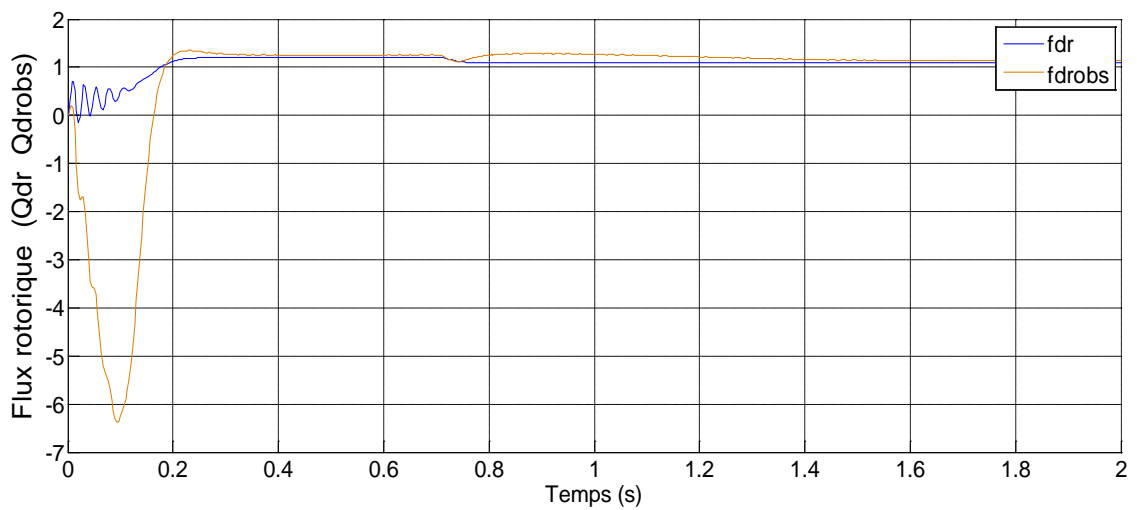


Figure III.9 Evolution du Résidu du flux rotorique

IV-5 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur en charge ($Cr = 6, T = 0.7$) :



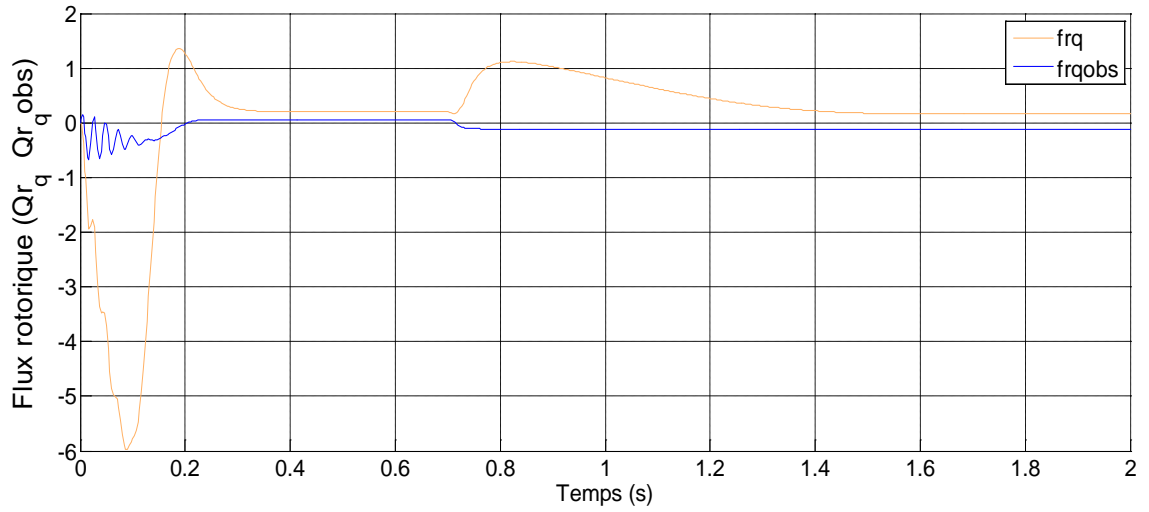


Figure III.10 Evolution du Flux rotorique en charge

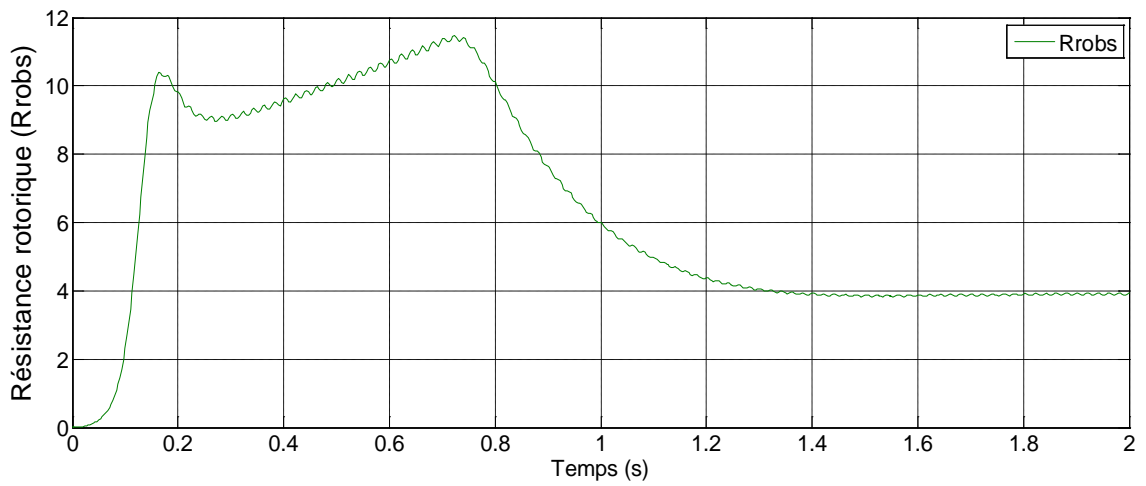
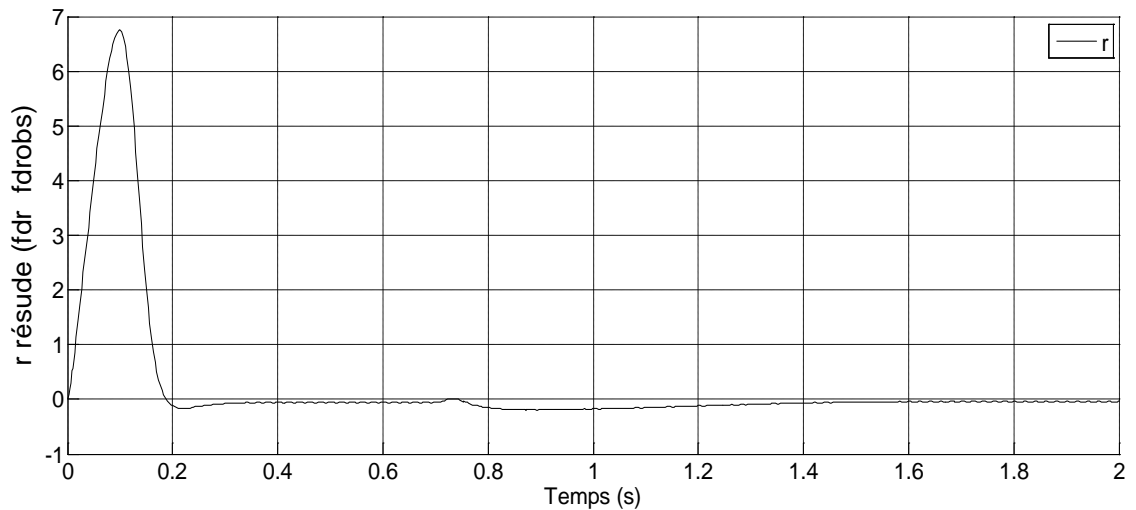


Figure III.11 Evolution de la Résistance rotorique en charge



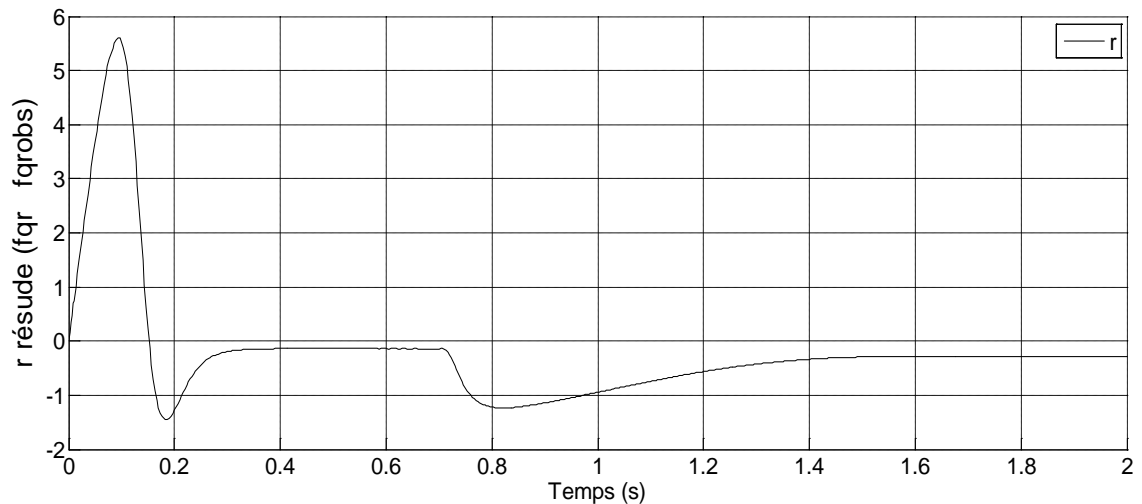


Figure III.12 Evolution du Résidu su le flux

Interprétation des résultats :

Les figures précédentes représentent les résultats de simulation du moteur asynchrone avec un observateur (à vide et en charge) et en absence de défauts et de perturbations. On constate que l'observateur à bien reconstruit les états du système, l'erreur d'observation converge vers zéro rapidement. L'apparition d'un écart au démarrage est dû au fait que les conditions initiales de l'observateur et celle du système étudié sont différentes. Les résidus définis comme grandeurs de comparaison entre les mesures et leurs estimées.

Au démarrage, la résistance rotorique oscillent autour de zéro et l'amplitude de ces oscillations augmente. A l'application du couple résistant de 6 N.m à l'instant $t=0.7s$, la résistance rotorique est décroît [0.7s 1.3s], et la résistance rotorique se stabilise à la valeur 4.

IV-6 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur + défaut sur actionneur :

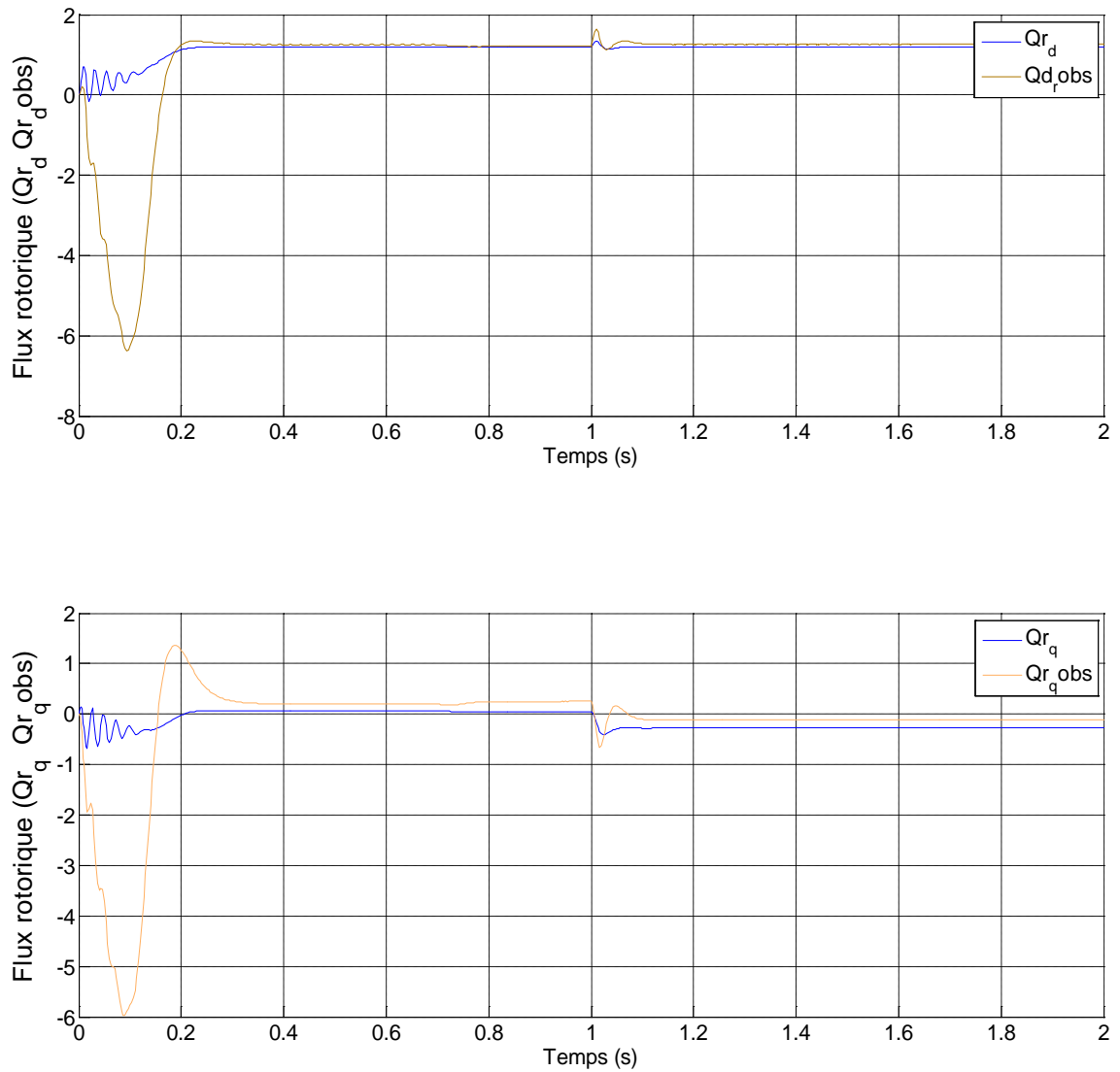


Figure III.13 Evolution du flux rotorique avec un défaut sur la tension Vd

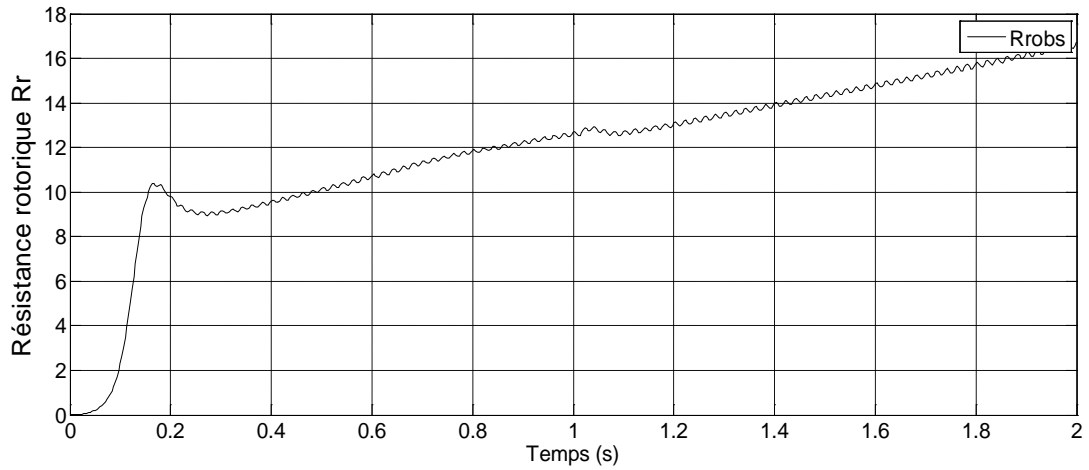


Figure III.14 Evolution de la Résistance rotorique avec un défaut sur la tension Vd

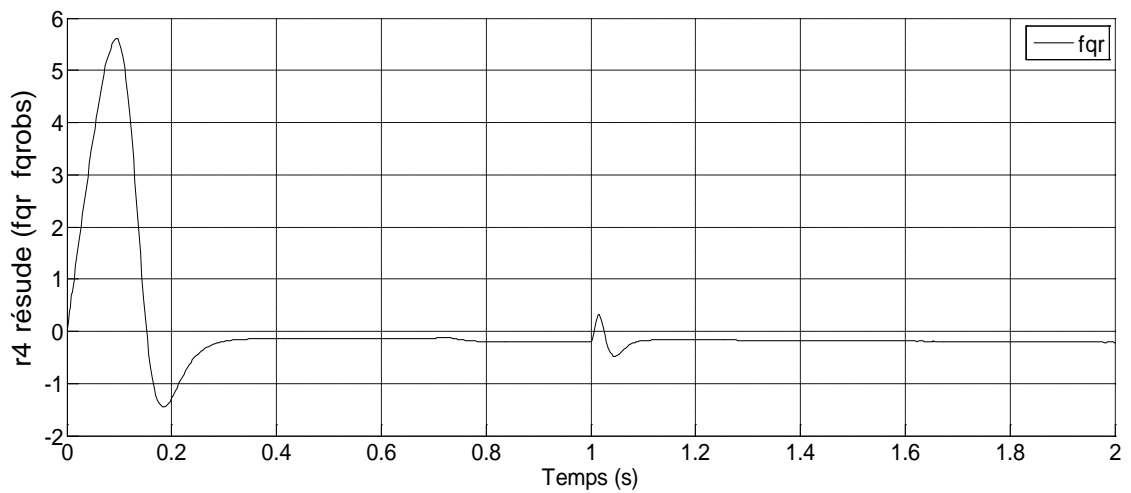
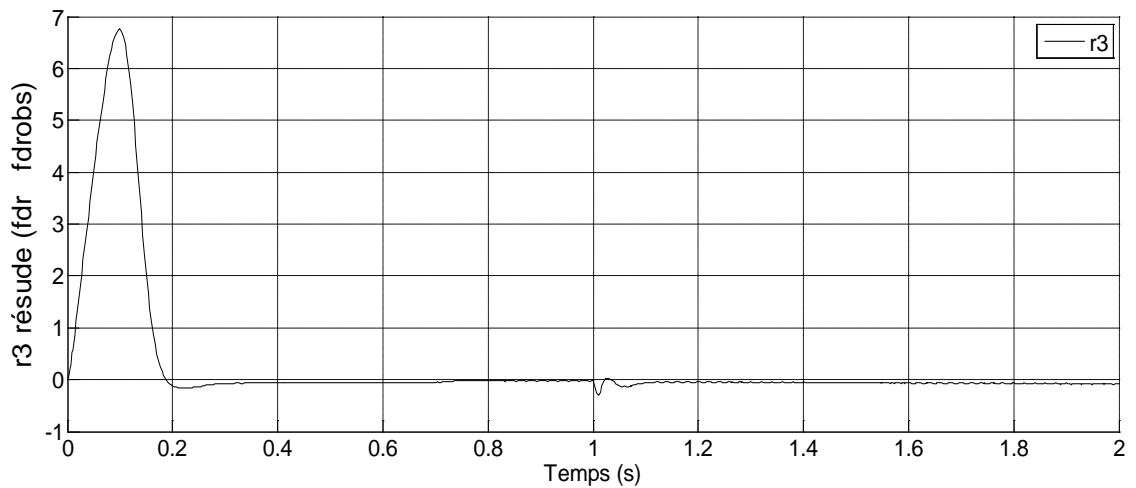


Figure III.15 Evolution du Résidu sur le flux

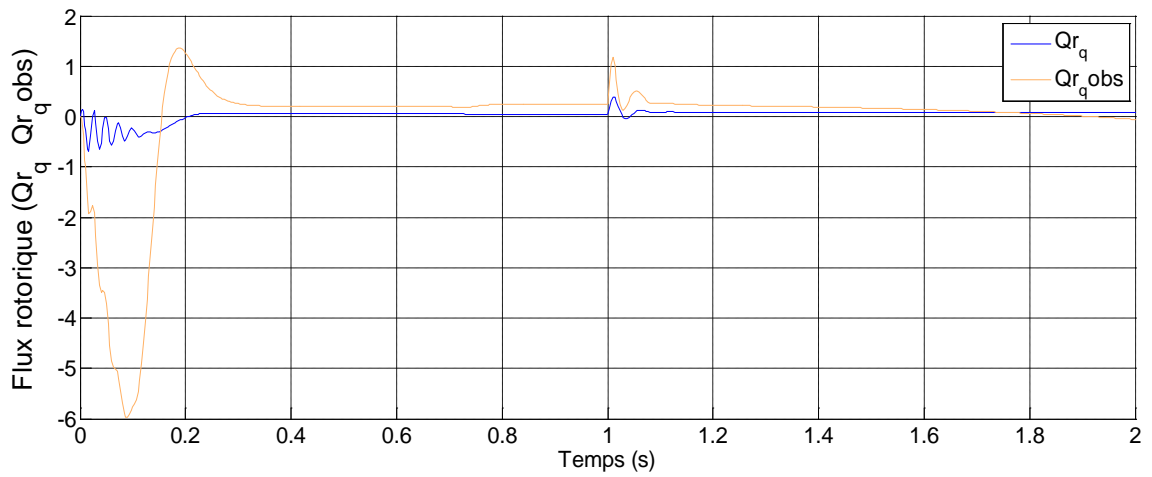
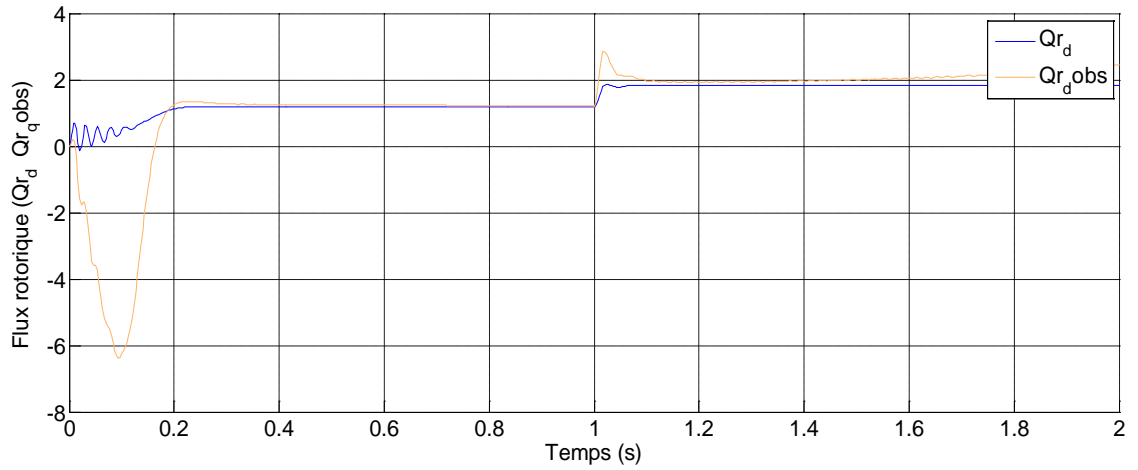


Figure III.16 Flux rotorique avec un défaut sur la tension V_q

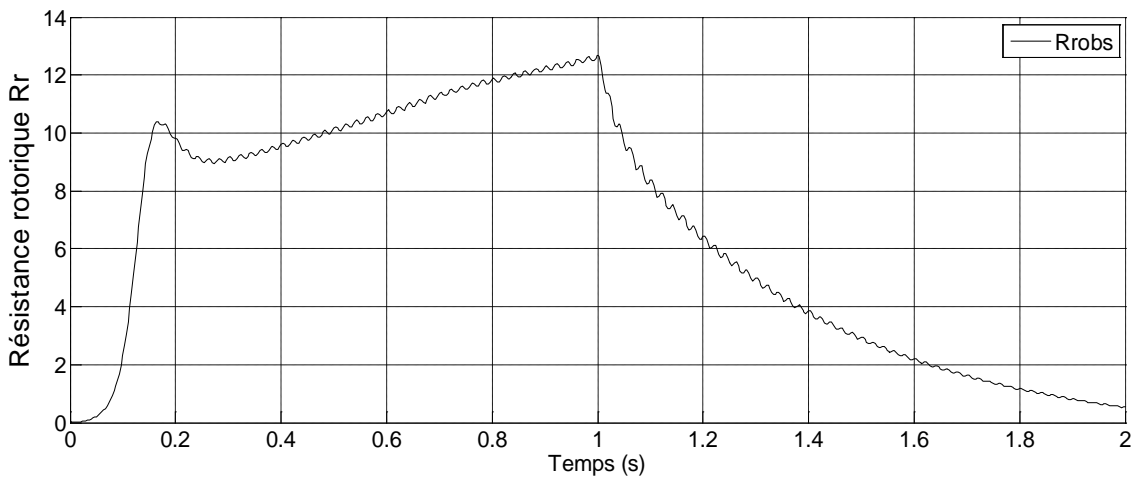


Figure III.17 Evolution du laRésistance rotorique avec un défaut sur la tension V_q

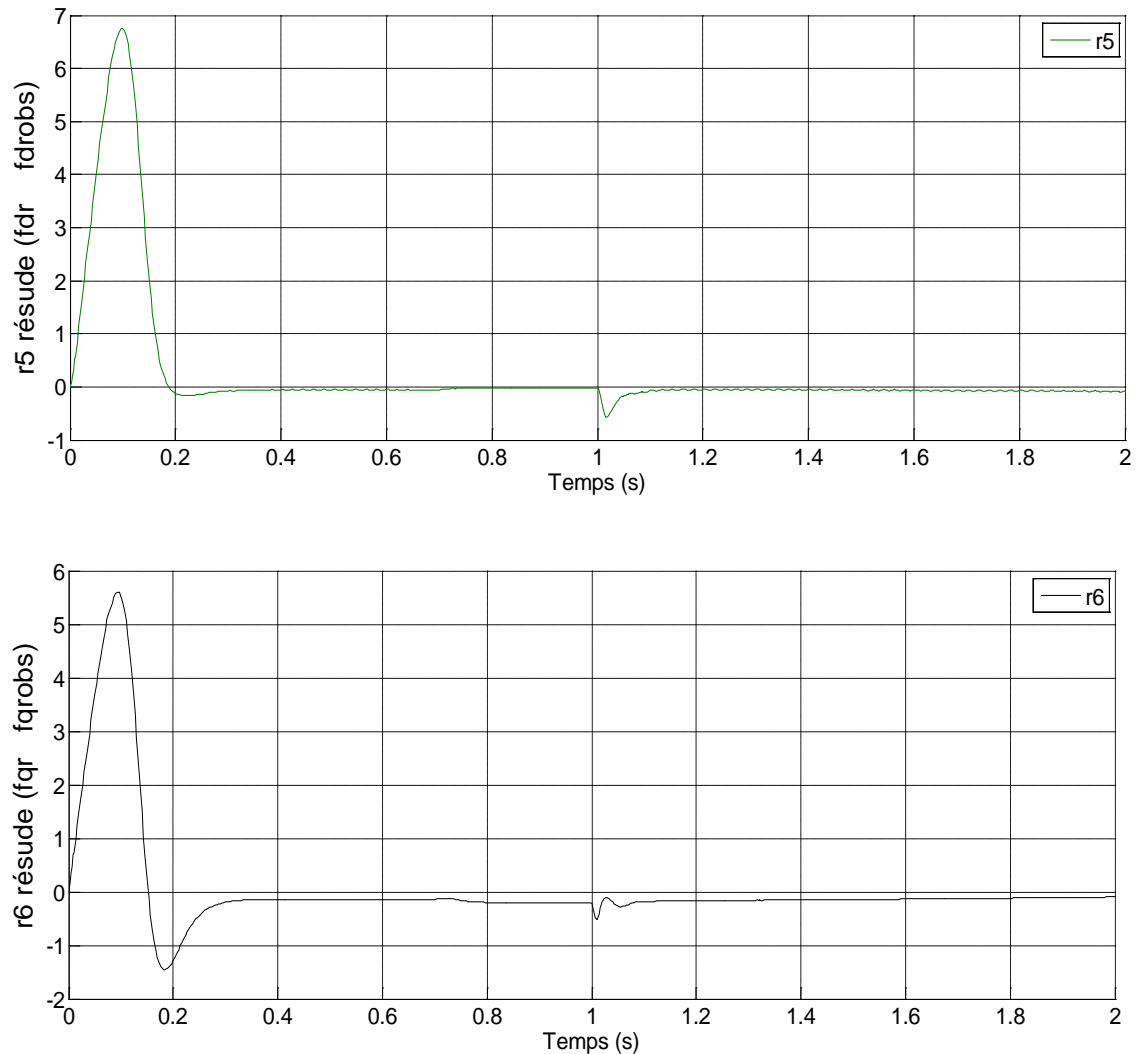


Figure III.18 Evolution du Résidu sur flux rotorique

Interprétation des résultats :

Les figures précédentes représentent les résultats de simulation du moteur asynchrone avec un observateur et un défaut sur l'actionneur (V_d , V_q).

A l'instant $T=1s$ on génère un défaut sur l'entrée (V_d puis V_q). On remarque une variation brusque des paramètres de la machine à l'instant de l'apparition du défaut

L'application du défaut sur l'entrée V_d fait apparaître une légère variation sur le (flux f_{dr} et la résistance rotorique), et une augmentation du flux (f_{qr}) ceci signifie qu'il y'a un couplage entre cette entrée V_d et le flux f_{qr} . (le flux f_{qr} est sensible au défaut appliqué sur V_d .

L'application du défaut sur l'entrée V_q fait apparaître une légère variation sur le (flux f_{qr}) est une augmentation du flux (f_{dr}) ainsi qu'une diminution importante de la valeur de la résistance rotorique. Ceci signifie qu'il y'a un couplage entre cette entrée v_q et le flux f_{dr} , ainsi que la résistance rotorique. (Le flux f_{dr} et la résistance rotorique sont sensibles au défaut appliqué sur V_q).

IV-7 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur et défaut sur capteur :

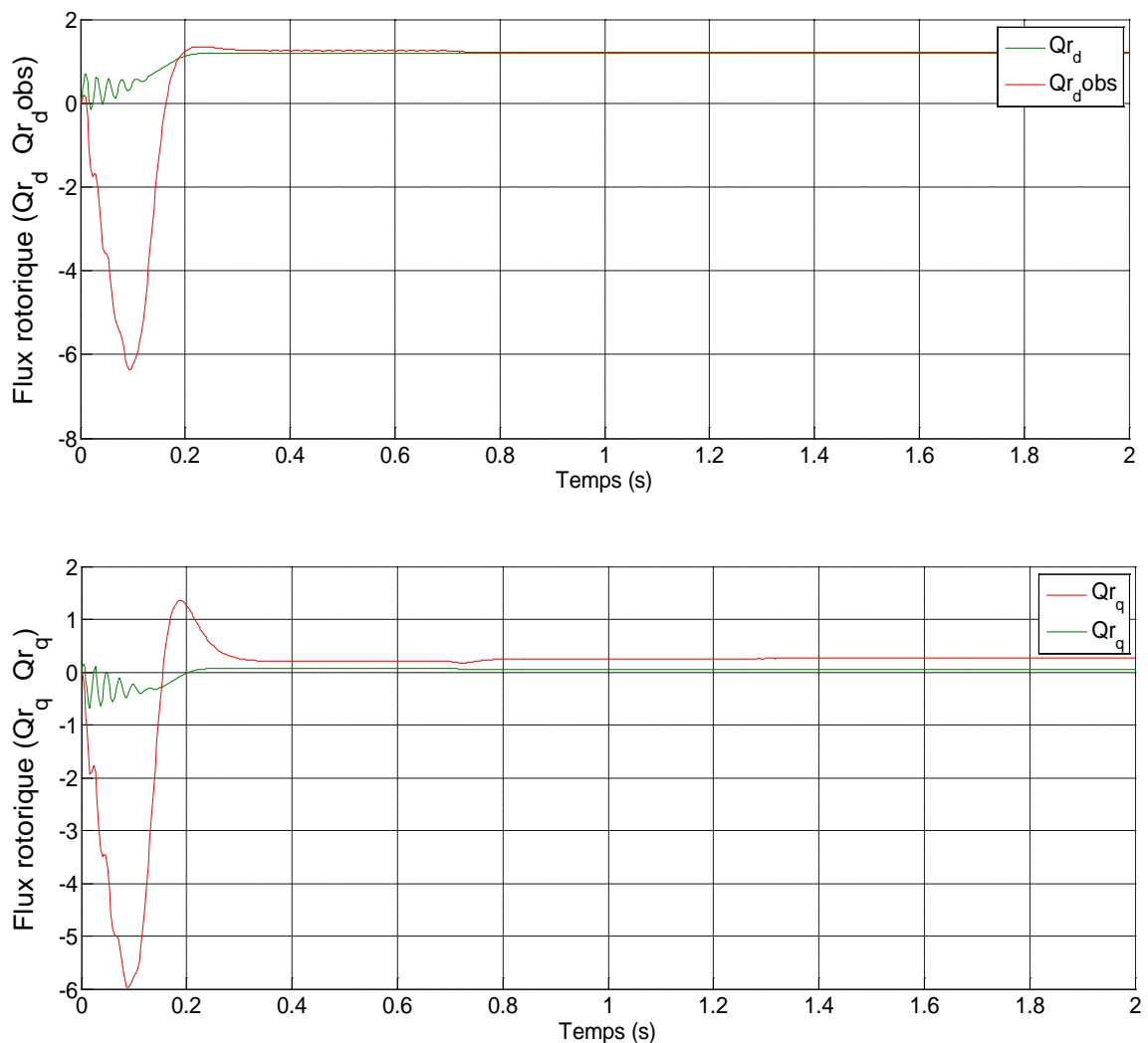


Figure III.19. Evolution flux rotorique avec un défaut sur les courants statorique

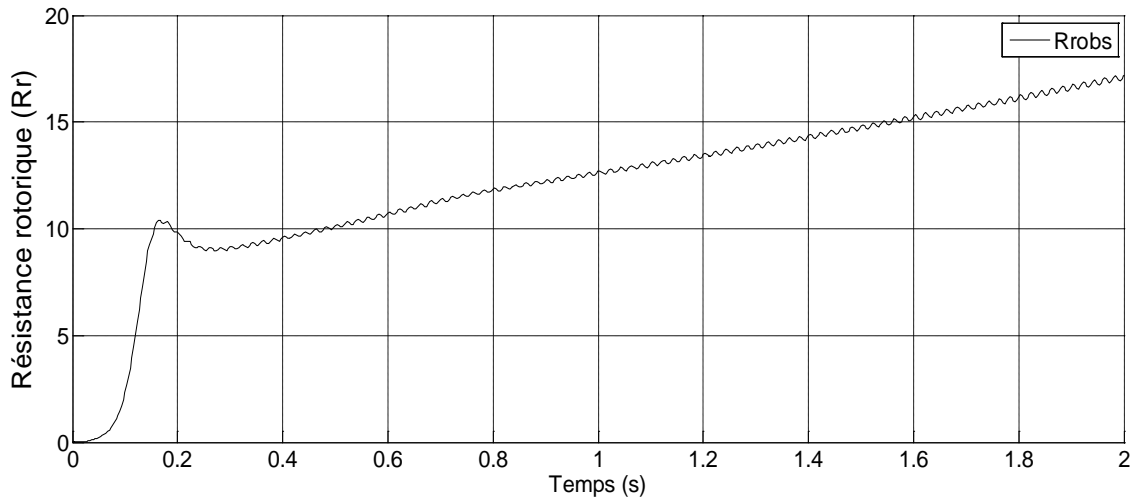


Figure III.20 Evolution de la Résistance rotorique avec un défaut sur les courants

intruption

Les figures ci-dessus représentent les résultats de simulation du moteur asynchrone avec son observateur et un défaut sur la sortie (i_{ds} ou i_{qs}).

A l'instant $T=1s$ on génère un défaut sur l'une des sorties ou les deux sorties simultanément (c.à.d. défauts multiple). On remarque aucune variation des paramètres de la machine à l'instant de l'apparition du défaut, ceci est dû au fait qu'on travaille en boucle ouverte (il n'y a pas de retour d'information donc il n'y aura pas d'influence des défauts capteurs sur les autres paramètres du système).

IV-8 Résultats de simulation de la machine asynchrone avec un observateur et défaut sur système :

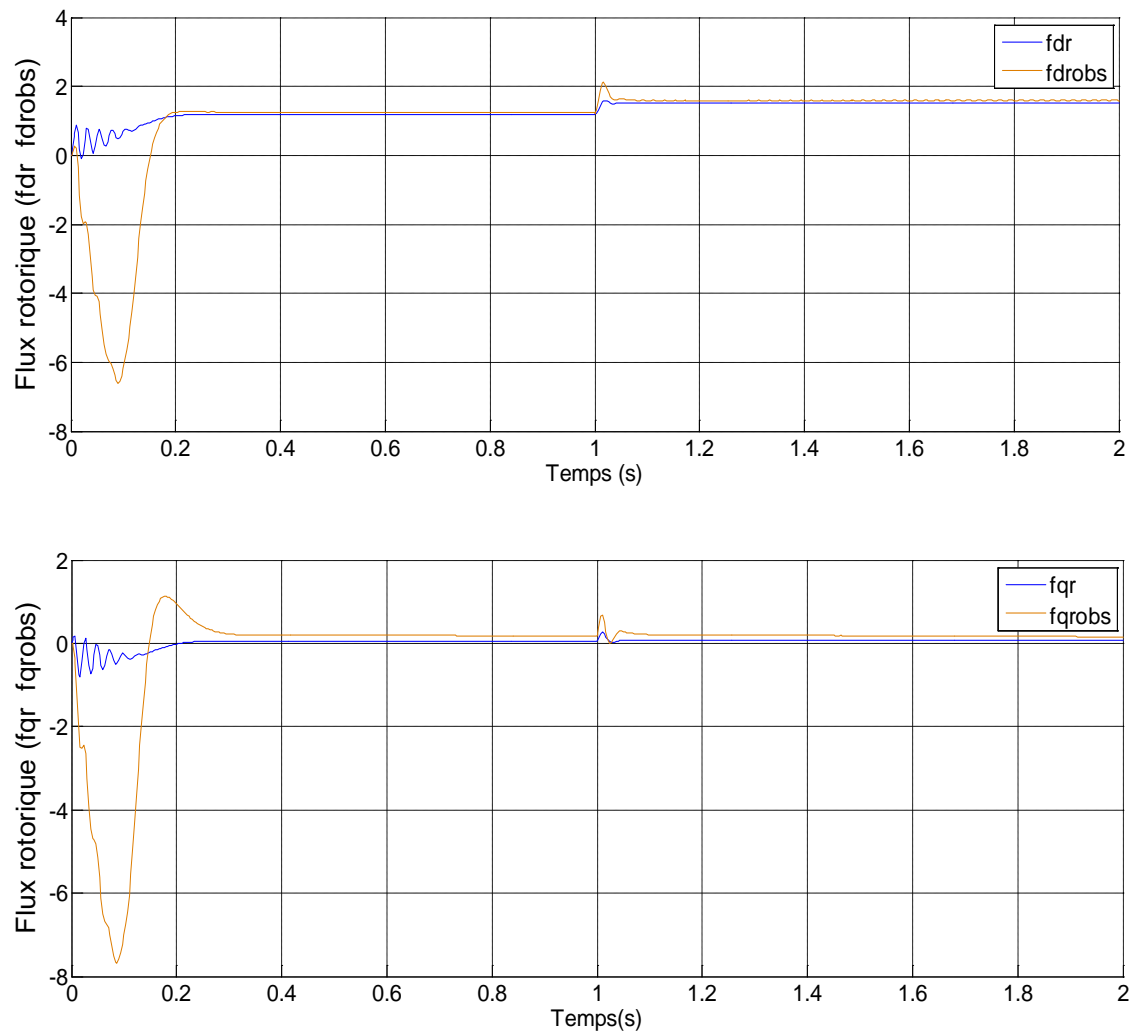


Figure III.21 Evolution du flux rotorique avec un défaut sur le système

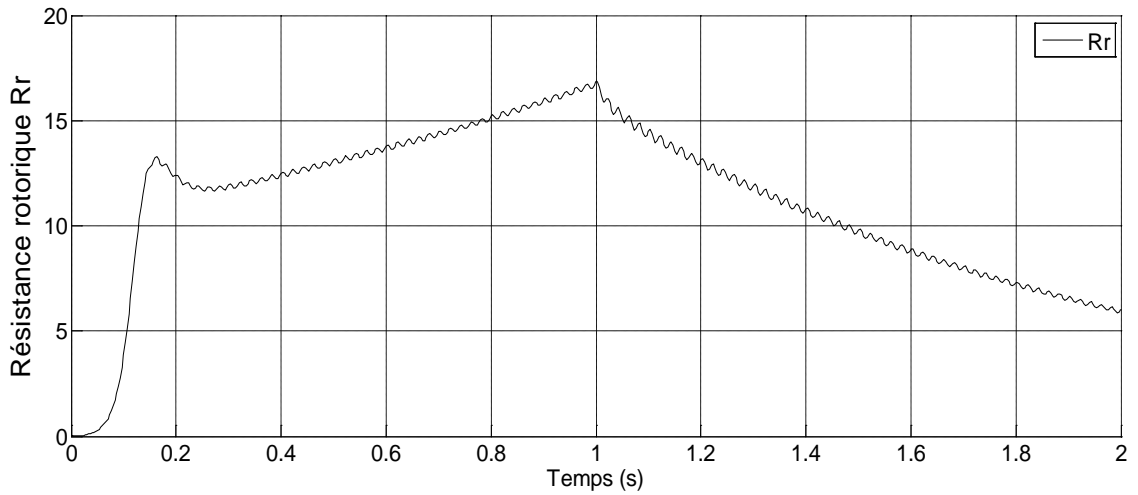


Figure III.22 Evolution de la Résistance rotorique

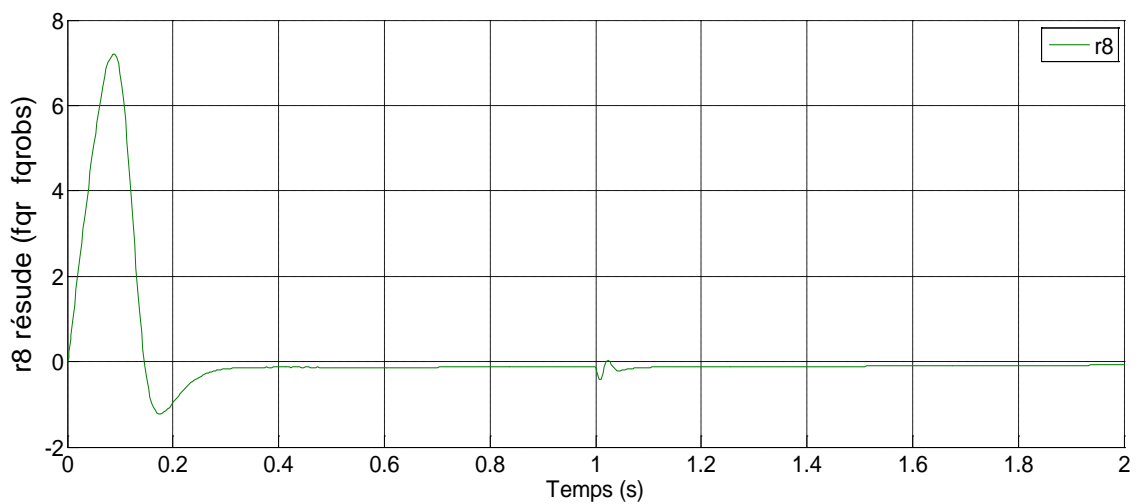
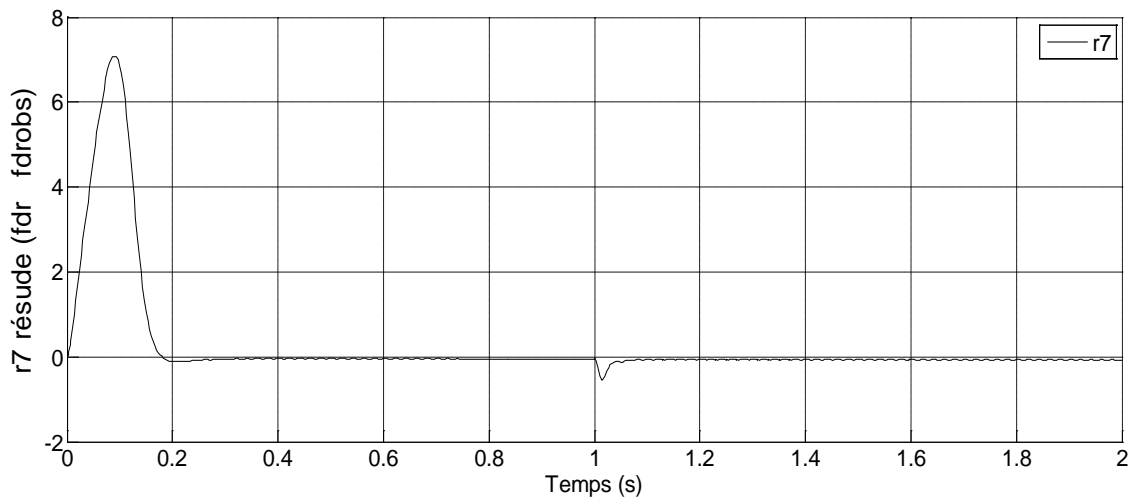


Figure III.23 Evolution du Réside de la flux rotorique

Interprétation des résultats :

Les figures précédentes représentent les résultats de simulation du moteur asynchrone avec un observateur +un défaut sur la résistance rotorique (R_r) (cassure de barres rotoriques) .

A l'instant $T=1s$ on applique un défaut sur la résistance rotorique (R_r).

On remarque une variation brusque des paramètres de la machine à l'instant de l'apparition du défaut. Le défaut de cassure de barres rotoriques affectent tous les paramètres du système.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé le problème de détection et d'isolation des défauts d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil par approche observateurs d'état.

La conception d'observateurs pour les systèmes non linéaires est une tâche assez difficile, car on fait souvent appel à des relations mathématiques qui peuvent s'avérer complexes à résoudre.

Deux stratégies de diagnostic par observateurs d'état non linéaires ont été abordées dans ce mémoire. La première consiste à détecter et à isoler les défauts actionneur affectant le système, en utilisant l'observateur mode glissant. La deuxième consiste à utiliser l'observateur à grand gain pour reconstruire les défauts actionneur et capteurs des systèmes linéaires et les défauts actionneur des systèmes non linéaires.

L'observateur calculé pour la MAS est un observateur à grand gain réduit aux flux et à la résistance rotorique. Vu que les courants i_{ds} et i_{qs} (les sorties) sont mesurables. Ce choix a été motivé aussi par le volume de calcul que prend l'algorithme de l'observateur à grand gain complet.

Les résultats obtenus en simulation montrent que les paramètres reconstruits par l'observateur à grand gain convergent rapidement vers les paramètres réels du système. Et ceci en absence et en présence de défauts.

Les résultats obtenus montrent aussi, que l'observateur à grand gain est un observateur robuste, et ceci est conditionné par le choix du gain de ce dernier.

Comme perspective on propose de calculer des observateurs complets à modes glissants d'ordre supérieur, en vue de la reconstruction des défauts de la MAS.

L'observateur calculé pour la MAS est un observateur réduit aux flux et à la résistance rotorique. Vu que les courants i_{ds} et i_{qs} (les sorties) sont mesurables. Ce choix a été motivé aussi par le volume de calcul que prend l'algorithme de l'observateur à grand gain complet.

Les résultats obtenus en simulation montrent que les paramètres reconstruits par l'observateur à grand gain convergent rapidement vers les paramètres réels du système. Et ceci en absence et en présence de défauts.

Conclusion générale

Les résultats obtenus montrent que l'observateur à grand gain est un observateur robuste, et ceci est conditionné par le choix du gain de ce dernier.

Comme perspective on propose de calculer des observateurs complets à modes glissants d'ordre supérieur, en vue de la reconstruction des défauts de la MAS.

Annexe

Annexe :

Paramètres de la machine

Puissance nominale 1.5 KW

Tension nominale : 220/380 v

Rendement nominal : 0.78

Facteur de puissance nominal : 0.80

Vitesse nominale : 1420 tr/mn

Fréquence nominale : 50 Hz

Resistance rotorique (R_r) : 3.805 Ω

Resistance statorique (R_s) : 4.805 Ω

Inductance cyclique du stator (L_s) : 0.274H

Inductance cyclique du rotor (L_r) : 0.274H

Inductance mutuelle cyclique (L_m) : 0.258H

Nombre de paire de poles (p) : 2

Moment d'inertie (j) : 0.031 kg.m²

Coefficient de frottement (K_f) : 0.008 kg.m²/s

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AOUCHE. Salem. «*Diagnostic de défauts à base d'observateurs : Application à la Machine Asynchrone* ». Mémoire de Master en Automatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, **2012**.
- [2] BOUCHAREB. Ilhem. «*Modélisation & Simulation de Défauts D'une Machine Synchrone à Réductance Variable* ». Mémoire de Magister en électrotechnique, Université de Constantine, 2009.
- [3] DJAFAR. Djamel Eddine. «*Commande tolérante de la machine asynchrone en tenant compte des défauts*». Mémoire des Master en génie électrique, université de M'sila, 2012.
- [4] SAHRAOUI. M. «*Diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones à cage*». Université Mohamed KHIDER BP 145, Biskra. Algérie, 2004.
- [5] BOUMEGOURA. Tarek. «*Recherche des signatures électromagnétiques des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue de diagnostic*». Thèse de doctorat en génie électrique, Ecole centrale de Lyon, 2001.
- [6] LIU. Fenglong. «*Synthèse d'observateurs à entrées inconnues pour les systèmes non linéaires*». Université de Cean, Basse Normandie, 2007.
- [7] Ayan. Mahamoud Mohamed. «*Observation et diagnostic des systèmes industriels à modèle non linéaires, application aux machines électriques*». Thèse de doctorat , Ecole centrale de nantes, 2010.
- [8] Bouguerne. Abla. «*Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrone*». Mémoire de magister en Electrotechnique. Université Mentouri de constantine, 2009.