

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques
Thème

Analyse des défauts sur une chaîne de production

Présenté Par :

- 1) Melle KADA- MAHAMMED Samah
- 2) Melle AGHBIR Hadjer

Devant le jury composé de :

Dr. MENDAZ Kheira	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr. ALLAM Mohamed	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. ADJOUJ Redouane	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

A ALLAH le tout puissant qui nous a donné le courage, la patience et la santé pour arriver à ce qu'on est maintenant.

Nous voudrions, en premier lieu, adresser nos sincères remerciements à nos professeurs de nous avoir accompagné et soutenu durant toute la période de notre formation.

Nous remercions autant **Dr. ADJOUJ Redouane** qui a pleinement participé à la réalisation de ce travail par son aide, ses précieux conseils, sa volonté de transmettre son savoir et tout le temps consacré pour nous.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre modeste travail et de l'enrichir par leurs recommandations.

Enfin, notre profond respect va à toute personne qui, de près ou de loin, a participé à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A toi mon cher papa, tu m'as toujours motivée et encouragée pour réaliser ce travail, mais malheureusement tu nous as quitté avant de l'avoir vu achevé. J'espère te rendre fier...

A ma très chère maman **BELERDJ Zahia**, qui a toujours orienté mes pas vers le chemin de la réussite.

A mon frère **RAHMANI Ahmed**.

A ma copine **Hadjer**.

A toute personne qui a contribué de près ou de loin pour que ce travail voie le jour.

Je vous dédie ce modeste travail...

« Etudie non pour savoir davantage mais pour mieux savoir »
Sénèque

KADA MAHAMMED Samah

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et Qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A mes frères, AYOUB et MOHAMMED

A ma sœur et mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

Je leur souhaite tout le succès... tout le bonheur

Atout ma famille, mes proches pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours Accordé.

A ma chère binôme, Samah pour sa entente et sa sympathie

A tous ceux que j'aime....

AGHBIR HADJER

ملخص :

هذه المذكرة تستكشف بعمق أنظمة التحكم، مع التركيز على تحليل الأعطال في سلسلة الإنتاج. يضع الفصل الأول الأسس النظرية، بما في ذلك أنواع الأعطال، خصائصها وعواقبها. يتناول الفصل الثاني مختلف طرق تحليل أنظمة التحكم، مسلطاً الضوء على النهج المحددة للأنظمة المستمرة وتلك التي تعمل بالأحداث المنفصلة، بالإضافة إلى تقنيات مثل AMDEC والمراقبين للحالات. يطبق الفصل الثالث هذه المفاهيم على دراسة كشف وتحديد مواقع الأعطال في آلة غير متزامنة ومحاكاة تشغيل كهربائي.

الكلمات المفتاحية — التحليل، الأعطال، الفشل، الكشف عن الأعطال وعزلها FDI، التشخيص، المراقبة، AMDEC.

Résumé :

Ce mémoire de fin d'études explore en profondeur les systèmes de commande, en se concentrant sur l'analyse des défauts sur une chaîne de production. Le premier chapitre établit les fondements théoriques, notamment les types de défauts, leurs caractéristiques et leurs conséquences. Le deuxième chapitre se penche sur les différentes méthodes d'analyse des systèmes de commande, en mettant en lumière les approches spécifiques pour les systèmes continus et à événements discrets, ainsi que les techniques comme l'AMDEC et les observateurs d'états. Le troisième chapitre applique ces concepts à l'étude de la détection et de la localisation des défauts dans une machine asynchrone est simulation d'un entraînement électrique.

Mots-clés— l'analyse, défauts, défaillance, FDI, Diagnostic, surveillance, AMDEC.

Abstract:

This end-of-studies dissertation delves deep into control systems, focusing on fault analysis in a production chain. The first chapter establishes theoretical foundations, including types of faults, their characteristics, and consequences. The second chapter examines various methods for analyzing control systems, highlighting specific approaches for continuous and discrete-event systems, as well as techniques like FMEA and state observers. The third chapter applies these concepts to the study of fault detection and localization in an asynchronous machine and simulation of an electrical drive.

Keywords— analysis, faults, failure, FDI (Fault Detection and Isolation), diagnostics, monitoring, FMEA.

Table des matières :

Introduction générale:.....	12
Chapitre I : Etat de l'Art	
I.1. Introduction :.....	15
I.2. Architecture d'un système de commande :.....	16
I.3. Systèmes Continus (SC) et Systèmes à Evénements Discrets (SED) :	16
I.3.1. Systèmes Continus (SC) :.....	16
I.3.2. Systèmes à Événements Discrets (SED) :	16
I.4. Fonctionnement normal :.....	16
I.5. Fonctionnement en présence de défaut :.....	17
I.5.1. Perturbation :	17
I.5.2. Défaut Potentiel :	17
I.5.3. Défaut Réel :.....	17
I.5.4. Signature :.....	17
I.5.5. Résidu :.....	17
I.6. Types de Défaut :	18
I.6.1. Défaut actionneur :.....	18
I.6.2. Défaut capteur :.....	18
I.6.3. Défauts composants :	18
I.7. Classification de défaut :	18
I.7.1. Emplacement et Localisation :	18
I.7.2. Caractéristiques temporelles :.....	19
I.7.3. Modélisation :	19
I.8. Caractérisation de défauts :.....	19
I.8.1. Défaut abrupt :.....	19
I.8.2. Défaut graduel :	19
I.8.3. Défaut intermittent :.....	19
I.9. Conséquence des défauts :	19
I.9.1. Défaillance :.....	20
I.9.2. Types de défaillance :	20
I.10. Objectifs du diagnostic :.....	20
I.11. Architecture de diagnostic :	21

I.12. Définition du Diagnostic :	21
I.13. Etapes de Diagnostic et Analyses :	22
I.13.1. Détection de défauts :	22
I.13.2. Localisation de défauts :	22
I.13.3. Identification des défauts :	22
I.14. Techniques de Diagnostic :	22
I.14.1. FDI (Fault Detection and Isolation) :	22
I.14.2. Supervision :	22
I.14.3. Surveillance :	22
I.14.4. Gestion des alarmes industrielles avec OPC (Open Platform Communication) :	22
I.15. Conclusion :	23
<u>Chapitre II : Méthodes d'analyse des systèmes de commande</u>	
II.1. Introduction :	25
II.2. Objectifs de l'Analyse des systèmes de commande :	25
Détection précoce des anomalies :	25
Prévention des pannes :	25
Optimisation de la maintenance :	25
Amélioration de la sécurité :	25
Analyse des performances :	25
II.3. Méthodes d'analyse dédiées aux systèmes continus :	25
II.3.1. Analyse temporelle :	26
II.3.2. Analyse de la réponse fréquentielle :	26
II.3.3. Modélisation :	26
II.3.4. Représentation d'état :	26
II.4. Méthodes d'analyse spécifiques aux systèmes à événements discrets :	26
II.4.1. Algorithmes (ou algorigrammes) :	26
II.4.2. Modélisation des automates à états :	26
II.4.3. Réseaux de Petri :	27
II.4.4. Chaînes de Markov :	27
II.5. Méthodes d'analyse AMDEC :	27
II.5.1. Définition de l'AMDEC :	27
II.5.2. Principe de l'AMDEC :	27
II.5.3. Objectifs de l'AMDEC :	28
II.5.4. Étapes D'analyse de l'AMDEC :	28

II.6. Approches de FDI à base d'observateurs d'états :.....	31
II.6.1. Structure des observateurs :	32
II.6.2. Types d'observateurs :	33
II.6.3. Observateurs dédiés aux systèmes non linéaires :	34
II.7. Méthodologie d'intervention :	35
II.7.1. Action préventive : coactive.....	35
II.7.2. Action corrective : réactive	36
II.7.3. Action prédictive :	36
II.8. Conclusion :	37
Chapitre III : Analyse fréquentielle de la MAS en présence de défaut	
III.1. Introduction :	39
III.2. Contexte de l'étude :	39
III.2.1. Détection et Localisation de défauts :	39
III.2.2. Hypothèses de la modélisation :.....	40
III.2.3. Equations de base de la machine asynchrone :	40
III.2.3.1. Modèles des défauts dans la machine :.....	41
III. 3. Approche signal :	42
III.3.1. Choix de la variable à étudier :	42
III.3.2. Influence des boucles de contrôle :	42
III.3.3. Caractérisation fréquentielle des défauts :.....	42
III.3.3.1. Fonctionnement du moteur sain :	43
III.3.3.2. Fonctionnement du moteur avec défaut au stator sur une phase :.....	43
III.3.3.3. Fonctionnement du moteur avec défaut au rotor sur une phase :.....	44
III.3.4. Défaut onduleur :	44
III.3.5. Défauts capteurs :	45
III.3.6. Détection des défauts par la Méthode de Transformation Rapide (FFT) :.....	46
III.4. Conclusion :	48
Conclusion générale :	50
Bibliographie :.....	52

Liste des Figures :

Figure I.1 : Architecture d'un système de commande.....	16
Figure I.2 : Différents types de défauts affectant un système de commande	18
Figure I.3 : Évolution temporelle des différents types de défauts.	19
Figure I.4: Architecture du Diagnostic des systèmes automatiques.	21
Figure II.1: Principe de l'AMDEC.....	28
Figure II.2: Représentation de l'observateur d'état.	32
Figure II.3: observateur au cœur d'un système de conduite.....	33
Figure II.4: Différent types d'observateur.	33
Figure II.5 : Ensemble des observateurs pour la surveillance de paramètre.	34
Figure II.6: Exemple de filtrage par filtre de Kalman.	35
Figure II.7 : Process de la maintenance prédictive.	37
Figure III.1 : Schéma Bloc du Système Simplifié.	42
Figure III.2 : Spectre du courant statorique de la phase a en BF et HF.....	43
Figure III.3 : Spectre du courant statorique de la machine.....	43
Figure III.4 : Spectre du courant statorique de la machine en défaut.....	44
Figure III.5 : Défaut sur une phase au rotor.	44
Figure III.6 : Spectre du courant de la machine saine avec défaut onduleur.....	45
Figure III.7 : Spectre du courant de la phase a de la machine avec défaut	45
Figure III.8 : Spectre du courant de la phase a de la machine avec défaut	46
Figure III.9 : Défaut produit sur une phase au stator.....	46
Figure III.10: Défaut produit sur une phase au stator.....	46
Figure III.11 : Défaut d'onduleur de la machine saine.	47
Figure III.12 : Défaut sur le capteur de courant.	47

Liste des tableaux :

TABLEAU II.1 : LES TYPES DE L'AMDEC	28
TABLEAU II.2 : ESTIMATION DE LA GRAVITE.....	30
TABLEAU II.3 : ESTIMATION DE LA FREQUENCE D'OCCURRENCE	30
TABLEAU II.4 : DETECTION PRECOCE	31

Liste des abréviations :

FDI : Fault Detection and Isolation

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité

OPC : Open Platform Communication

SC : Systèmes Continus

SED : Systèmes à Evénements Discrets

BF : Basse fréquence

HF : Haute fréquence

SMQ : système de management de la qualité

LTI : Linéaires à Temps Invariant

LTV : Linéaires à Temps Variants

FFT : Transformation Rapide

Introduction Générale

Introduction générale :

La chaîne de production, également connue sous le nom de ligne de production ou ligne d'assemblage, est une séquence d'étapes ou de processus organisés de manière séquentielle pour fabriquer un produit. Ces étapes peuvent inclure l'approvisionnement en matières premières, la fabrication, l'assemblage, le contrôle qualité et l'emballage, entre autres. L'objectif principal de la chaîne de production est d'optimiser l'efficacité et la qualité de la production, tout en minimisant les coûts et les délais.

La présence de défauts dans un système industriel peut avoir des conséquences significatives. Ces défauts peuvent se manifester à différentes étapes de la chaîne de production et peuvent être dus à des erreurs humaines, des problèmes techniques ou des matériaux défectueux. Les conséquences des défauts dans un système industriel incluent des coûts supplémentaires liés aux retouches, aux rappels de produits et aux réparations, ainsi que des pertes de temps et des retards dans les délais de livraison. De plus, les défauts peuvent entraîner une diminution de la satisfaction client, une réputation négative pour l'entreprise et des risques pour la sécurité des consommateurs. En conséquence, il est essentiel pour les entreprises de mettre en place des systèmes de contrôle qualité efficaces pour détecter et corriger les défauts dès qu'ils se produisent.

Le diagnostic sur une chaîne de production consiste à identifier et à analyser les problèmes potentiels ou réels qui peuvent survenir à différents niveaux de la production. Cela peut inclure l'identification des défauts dans les produits finis, la détection des inefficacités dans les processus de fabrication, ou même l'évaluation des risques de défaillance des équipements.

Pour effectuer un diagnostic efficace, les entreprises utilisent souvent une combinaison de techniques telles que l'inspection visuelle, les tests de qualité, l'analyse statistique des données de production, et l'utilisation de technologies avancées telles que la surveillance en temps réel et l'analyse prédictive. Une fois les problèmes identifiés, des mesures correctives peuvent être mises en place pour résoudre les problèmes et améliorer la performance globale de la chaîne de production.

Le contrôle tient une place importante dans les chaînes de production dans la mesure où il permet de garantir la qualité des produits et ainsi la satisfaction des clients. Si l'opération était auparavant réalisée manuellement, elle se réalise aujourd'hui avec l'usage des systèmes d'inspection plus performants et plus innovants, comme. L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse de risques largement utilisée dans le contrôle de la chaîne de production. Elle permet d'identifier, d'évaluer et de prioriser les risques potentiels liés aux processus de production, ce qui aide à prendre des mesures préventives pour garantir la qualité et la sécurité des produits.

Notre travail se répartie en trois chapitres, dans le premier chapitre, on a présenté un état de l'art de quelques concepts généraux du diagnostic, les différents types de défauts et leur classification. Le chapitre aborde également les différentes techniques de diagnostic, notamment le FDI (Fault Détection and Isolation), la supervision, la surveillance et la gestion des alarmes industrielles avec OPC (Open Platform Communication).

Le deuxième chapitre présente les méthodes d'analyse des systèmes de commande, (les méthodes d'analyse spécifiques aux systèmes continus et événements discrets), Il aborde également les méthodes d'analyse AMDEC et les approches de FDI basées sur les observateurs d'états.

Enfin de chapitre en présentant une méthodologie d'intervention, incluant des actions préventives, correctives et prédictives, pour améliorer les performances des systèmes de commande.

Le troisième chapitre Analyse Fréquentielle fait l'objet de la planification et simulation des quelque défaut courant dans les chaînes de production (défauts dans la machine).

Enfin, le chapitre présente la détection des défauts par la Méthode de Transformation Rapide (FFT).

Chapitre I : Etat de l'Art

I.1. Introduction :

Les systèmes industriels automatisés sont des systèmes trop complexes, qui comportent une forte non linéarité en vue de leurs dynamiques, exposés à une multitude de perturbations internes soit t'elles où externes.

La surveillance permanente de ces systèmes est primordiale pour maintenir le bon fonctionnement normal en toute sécurité et d'assurer une certaine stabilité et robustesse face aux événements imprévisibles.

L'analyse des défaillances est une procédure logique basée sur des étapes précises de diagnostic, visant à l'identification de l'origine des défaillances ou à anticiper le défaut avant même qu'il ne se produise.

Généralement, les systèmes industriels contiennent trois éléments de base (les actionneurs, les capteurs et les interfaces IHM), Le défaut peut se produire dans chacune de ses parties. Le diagnostic repose sur la détermination du type, de l'amplitude et du moment d'un défaut, et comprend les trois étapes suivantes : la détection, la localisation et l'identification de défauts.

Un bon diagnostic contribue à optimiser les performances en identifiant les problèmes avant qu'ils ne deviennent critiques, en assurant la fiabilité des systèmes d'exploitation.

Ce chapitre jaillit la lumière sur l'aspect des systèmes de commande, les différents types de défauts et défaillance pour mieux comprendre les phénomènes qui surgissent durant le fonctionnement

I.2. Architecture d'un système de commande :

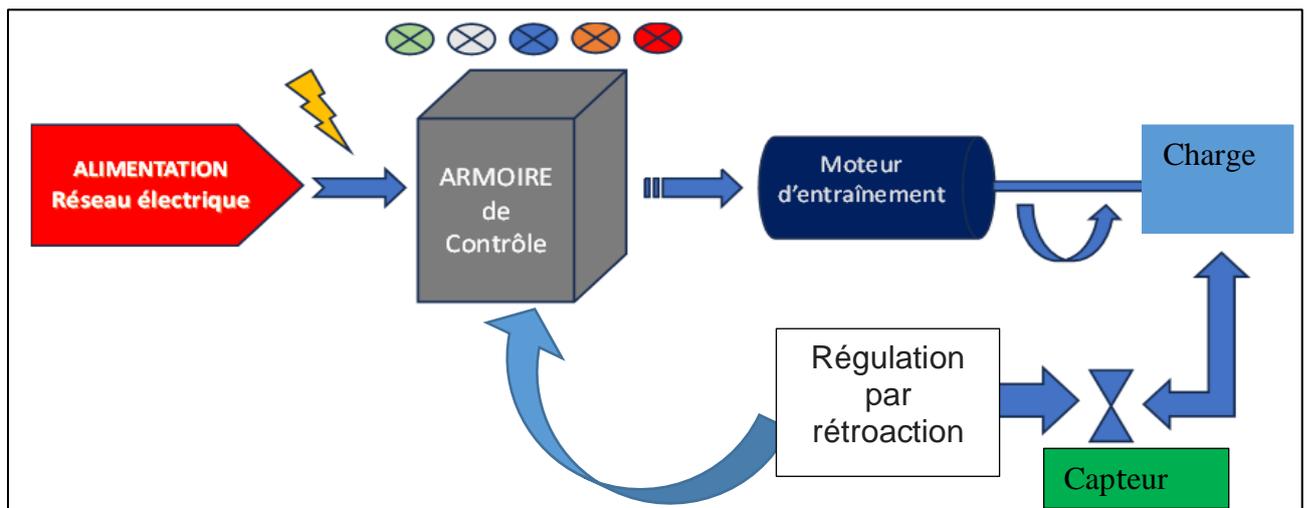


Figure I.1 : Architecture d'un système de commande

I.3. Systèmes Continus (SC) et Systèmes à Événements Discrets (SED) :

Les systèmes continus (SC) et les systèmes à événements discrets (SED) sont deux catégories de systèmes dynamiques utilisées pour modéliser et analyser différents types de processus. Voici une brève description de chacun.

I.3.1. Systèmes Continus (SC) :

- Les systèmes continus sont caractérisés par une évolution continue dans le temps.
- Leurs variables d'états caractérisant leurs dynamiques évoluent de manière fluide, sans sauts brusques.
- Les équations différentielles sont souvent utilisées pour décrire leur comportement.
- Un système dynamique est causal, ce qui signifie que son avenir ne dépend que des phénomènes passés ou présents.
- Il peut être déterministe, c'est-à-dire qu'à une condition initiale donnée à l'instant présent, un seul état futur possible est associé à chaque instant ultérieur.

I.3.2. Systèmes à Événements Discrets (SED) :

- Les systèmes à événements discrets sont basés sur des transitions entre états associées à des événements ponctuels.
- Le passage d'un état à un autre est déclenché par des événements spécifiques.
- Le temps entre les événements n'est pas continu, mais discret.
- Exemples de systèmes à événements discrets : réseaux de communication, systèmes informatiques, automates, etc.

Les systèmes à événements discrets sont basés sur des transitions d'état déclenchées par des événements spécifiques. [1]

I.4. Fonctionnement normal :

Lorsque tous les composants et éléments fonctionnent correctement selon les spécifications prévues :

- Équilibre des Phases : Dans les systèmes triphasés, le fonctionnement normal implique un

équilibre des charges et des tensions entre les différentes phases.

- Tension et Courant Nominaux : valeurs conformes aux valeurs nominales spécifiées.
- Absence de Défauts : Aucun court-circuit, aucune surtension, aucune surintensité, composante homopolaire I_0 ...ou autre défaut électrique n'est présent dans le système.
- Stabilité : Le système électrique maintient une stabilité acceptable, ce qui signifie que la tension et la fréquence restent dans des plages acceptables.
- Rendement énergétique du système est optimal.
- Sécurité : Les dispositifs de protection et équipements conformes.
- Conditions Ambiantes : température et taux d'humidité consignés.
- Contrôle et Régulation : Les systèmes de contrôle et de régulation fonctionnent correctement pour maintenir les paramètres électriques dans les limites spécifiées.

I.5. Fonctionnement en présence de défaut :

I.5.1. Perturbation :

La perturbation c'est l'événement perturbateur qui est à l'origine de l'altération ou l'interruption du fonctionnement normal d'un système, d'un processus ou d'une situation. Cela peut être causé par différents facteurs, tels que des changements soudains, des facteurs externes ou des événements imprévus.

Un défaut potentiel est une menace latente, tandis qu'un défaut réel a déjà des conséquences visibles.

I.5.2. Défaut Potentiel :

Il s'agit d'une anomalie ou d'une faiblesse dans un système ou un composant qui n'a pas encore entraîné de panne ou de dysfonctionnement. Par exemple, une surtension temporaire qui n'a pas encore endommagé un appareil.

I.5.3. Défaut Réel :

Un défaut devient réel lorsqu'il apparaît et provoque une panne ou un dysfonctionnement visible et qui entraînera un préjudice.

I.5.4. Signature :

Cela peut être dû à plusieurs facteurs, comme un mauvais réglage de la machine, une mauvaise qualité de l'image ou une usure des composants de la machine. Pour résoudre ce problème, vous pourriez essayer de nettoyer la machine, de régler ses paramètres ou de remplacer les composants usés.

I.5.5. Résidu :

Un résidu communément appelé indicateur de défaut ou variable d'écart, est un signal conçu comme indicateur d'anomalies comportementales ou fonctionnelles. Il exprime l'incohérence entre les informations disponibles et celles théoriques fournies par un modèle sensé décrire correctement le processus. [2]

I.6. Types de Défaut :

Les défauts sont des anomalies (erreur de conception, mauvaise fabrication ou d'une utilisation incorrecte), qui apparaissent à différents endroits du système. Cela a fait l'objet d'une distinction des types de défauts en fonction de leur localisation ou de leurs sources.

Un défaut ne provoque pas nécessairement une défaillance immédiate

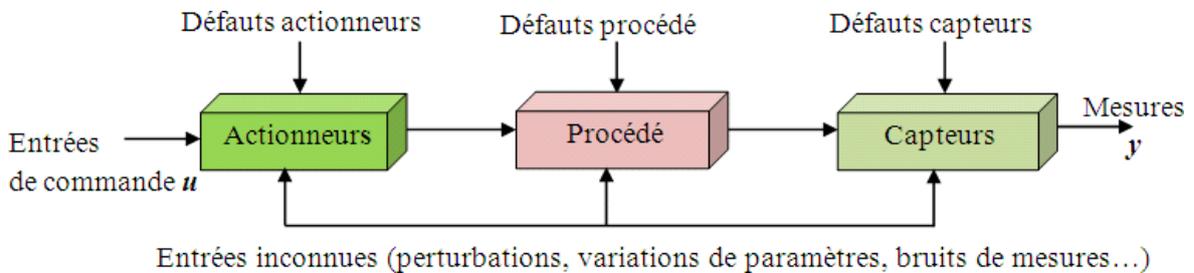


Figure I.2 : Différents types de défauts affectant un système de commande

I.6.1. Défaut actionneur :

L'actionneur est la partie de l'application qui fournit une image réelle qui montre le type de commande ou de signal de la part de la partie de contrôle. Les dysfonctionnements du conducteur sont souvent du côté opérationnel du système lorsque nous voyons un mouvement contraire à l'ordre du système (défaut ou grève) dans le système, ce qui génère le déclenchement de grèves dans le système en raison d'une erreur. [3]

I.6.2. Défaut capteur :

Les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative en détériorant le signal d'entrée du système. Ils correspondent à une perte totale ou partielle d'un actionneur. La perte totale d'un actionneur arrive lorsque celui-ci reste collé sur une position entraînant une incapacité à commander. Les défauts actionneurs partiels réagissent de manière similaire au régime nominal mais en partie seulement, ce qui entraîne une certaine dégradation dans leur action sur le système. [4]

I.6.3. Défauts composants :

Les défauts composants sont des défauts qui affectent les composants du système lui-même. Ces défauts qui ne peuvent pas être classifiés ni parmi les défauts actionneurs ni parmi les défauts capteurs.

Ces défaillances sont dues à des modifications de la structure ou des paramètres du modèle, Ces défauts induisent une instabilité du système. [3]

I.7. Classification de défaut :

I.7.1. Emplacement et Localisation :

La localisation des défauts dans une chaîne de production est essentielle pour garantir la qualité des produits.

L'emplacement et la localisation des défauts font référence à l'identification précise de problèmes ou de dysfonctionnements dans un système ou un processus, souvent à l'aide de techniques de diagnostic ou d'analyse spécifiques. Cela implique de déterminer où se trouvent

les problèmes et comment ils affectent le fonctionnement global.

I.7.2. Caractéristiques temporelles :

Les défauts sont essentiels pour diagnostiquer et comprendre les anomalies dans les machines.

La compréhension des caractéristiques temporelles est cruciale pour garantir la qualité et la fiabilité des systèmes.

I.7.3. Modélisation :

La modélisation dans les machines asynchrones est essentielle pour le diagnostic et la maintenance préventive.

En somme, la modélisation des défauts permet d'anticiper les problèmes potentiels et d'améliorer la fiabilité des machines asynchrones.

I.8. Caractérisation de défauts :

Les défauts sont caractérisés par leur comportement dans le temps. En fait, ils sont classés selon leurs évolutions temporelles. Ils peuvent être brusques, intermittents ou graduels, additifs ou multiplicatifs. [5]

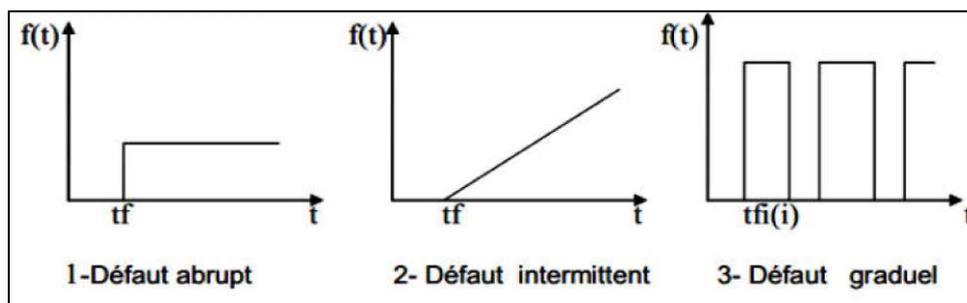


Figure I.3 : Évolution temporelle des différents types de défauts.

I.8.1. Défaut abrupt :

Il est caractérisé par une discontinuité brutale de l'évolution temporelle d'une variable du procédé. Il provoque un écart dans l'évolution de la variable en question.

I.8.2. Défaut graduel :

Il conduit à une divergence lente et continue des variables concernées. C'est un défaut difficile à détecter.

I.8.3. Défaut intermittent :

Il représente une particularité des défauts précédents avec des départs et retours successifs aux valeurs normales. Il est souvent provoqué par des faux contacts. [6]

I.9. Conséquence des défauts :

Le Défaut, Défaillance et Panne sont trois (3) concepts étroitement liés : Un défaut peut conduire à une défaillance, qui à son tour peut entraîner une panne.

$$\begin{aligned} \text{Défaut}(cause) &=> \text{Défaillance}(dysfonctionnement) = \\ &> \text{Panne}(conséquence) \end{aligned}$$

I.9.1. Défaillance :

[Norme X60-010 (AFN88)], "c'est la cessation de l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise". Toute défaillance qui se trouve sur un chemin critique ou sous-critique de sécurité, de production ou de qualité devra faire l'objet d'une action de maintenance. [7]

I.9.2. Types de défaillance :

I.9.2.a. Défaillances d'ordre mécaniques : Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques ou encore de l'arbre moteur.

I.9.2.b. Défaillances d'ordre électriques : les défaillances qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celles qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques.

I.9.2.c. Défaillances de communication : est un problème courant dans de nombreux contextes, qu'il s'agisse de la communication entre individus, d'appareils électroniques ou de systèmes informatiques,

I.9.2.d. Défaillances thermiques : si la température augmente au-dessus de cette température de fonctionnement, la durée de vie raccourcit rapidement. Cette augmentation de la température peut être due à une variation de tension ou de déséquilibre, à la répétition des démarrages dans un court laps de temps, à des surcharges, à une mauvaise ventilation ou alors à une haute température ambiante.

I.9.2.e. Défaillances hydrauliques et pneumatique : peut entraîner des problèmes dans les systèmes fluides.

Défaillances pneumatiques : Les systèmes pneumatiques peuvent également subir des défaillances similaires.

I.9.2.f. Défaillances logicielles : La défaillance logicielle se produit lorsqu'un programme informatique ne fonctionne pas correctement ou ne répond pas comme prévu.

I.9.2.g. Défaillances humaines : La défaillance humaine se produit lorsque des individus commettent des erreurs, font des choix inappropriés ou ne parviennent pas à accomplir une tâche de manière satisfaisante.

I.9.2.h. Défaillances environnementales : La présence de poussière et d'humidité ou de produits chimiques dans l'air ambiant peut détériorer la qualité de l'isolation et conduire à défaut d'enroulement.

I.10. Objectifs du diagnostic :

Vu les perturbations qui peuvent survenir sur les systèmes automatisés, il est impératif d'avoir recours aux diverses alternatives de diagnostic qui assurera différentes exigences.

Ces aspects sont étroitement liés et contribuent à des systèmes électriques performants et fiables

Fiabilité : Elle concerne la probabilité qu'un système électrique fonctionne correctement sans défaillance. Une conception robuste et des composants de qualité contribuent à la fiabilité.

Durabilité : Elle se rapporte à la longévité d'un système électrique. Des matériaux résistants à l'usure et une maintenance appropriée favorisent la durabilité.

Sécurité : Elle est primordiale pour protéger les utilisateurs et les équipements. Des dispositifs de protection (disjoncteurs, mise à la terre) assurent la sécurité.

Stabilité : Un système stable maintient ses performances malgré les perturbations. La régulation et la compensation aident à maintenir la stabilité.

Précision : Dans les systèmes de mesure et de contrôle, la précision est essentielle. Des capteurs et des algorithmes précis sont nécessaires.

Robustesse : Un système robuste résiste aux variations environnementales (température, humidité). Des tests rigoureux garantissent la robustesse.

Continuité de service : Elle implique que le système fonctionne sans interruption. Des redondances et des plans de secours assurent la continuité.

I.11. Architecture de diagnostic :

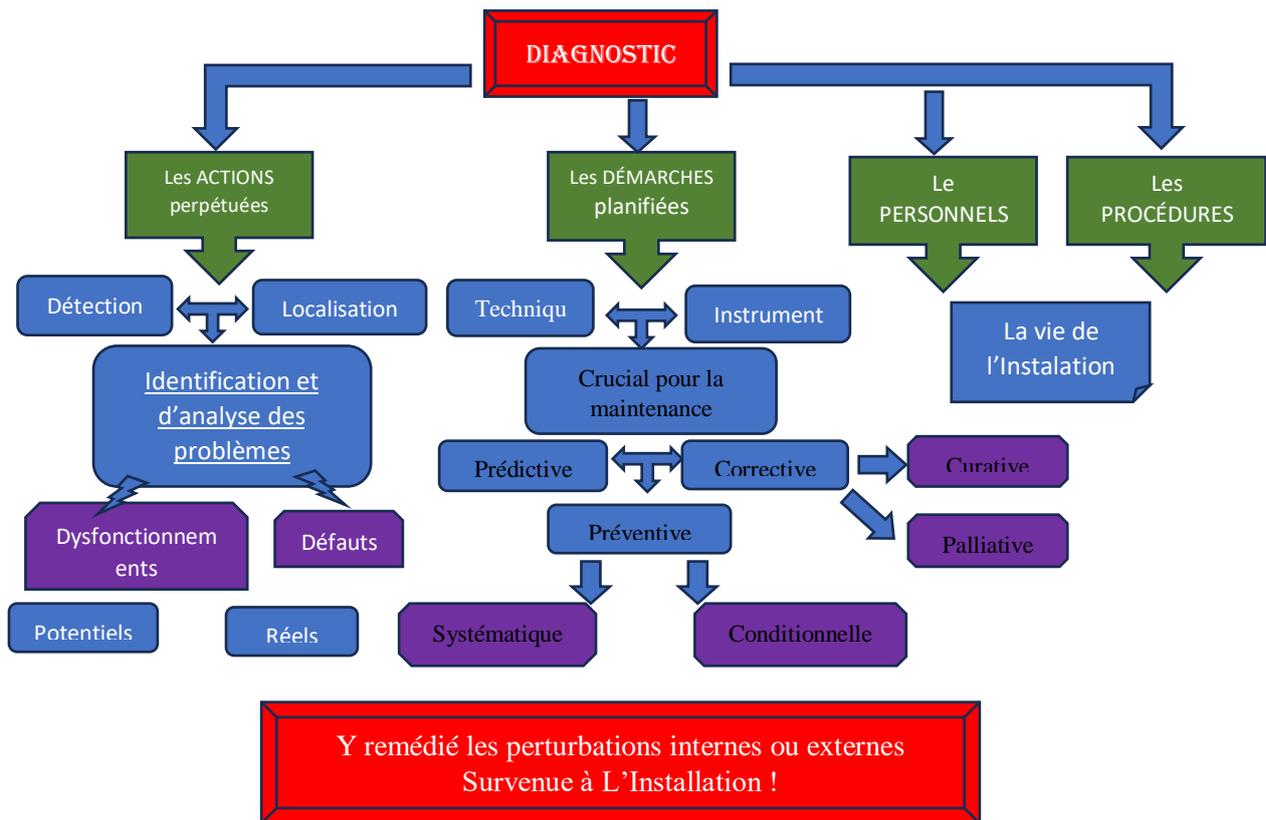


Figure I.4: Architecture du Diagnostic des systèmes automatiques.

I.12. Définition du Diagnostic :

C'est l'ensemble des actions (de détection, de localisation et d'identification et d'analyse des problèmes (de dysfonctionnements ou des défauts) qui sont perpétuées et des démarches planifiées (différentes techniques, instruments et méthodes pour détecter, localiser et comprendre les problèmes potentiels ou réels dans un équipement électrique.) ; réalisées par les personnes habilitées ; et qui sont prévues et encadrées par des procédures normalisées durant la vie de l'installation !

Le diagnostic en électrotechnique est crucial pour la maintenance préventive, la réparation et l'optimisation des systèmes électriques, qu'ils soient utilisés dans des applications industrielles, résidentielles ou commerciales, afin d'y remédié les perturbations internes ou externes Survenue à l'installation !

I.13. Étapes de Diagnostic et Analyses :

I.13.1. Détection de défauts :

Premier niveau du diagnostic consiste à prendre une décision cartésienne de résonnement binaire : soit le système fonctionne correctement, soit un défaut s'est produit.

Le résultat de la procédure de détection est une alarme signifiant que le fonctionnement réel du système ne concorde plus avec le modèle de fonctionnement sain. L'objectif est de détecter les défauts le plus précocement possible et sans erreur (fausse alarme ou non détection). [8]

I.13.2. Localisation de défauts :

La localisation est la deuxième étape du diagnostic, déclenché par une procédure de détection. Elle consiste à déterminer de manière plus approfondie les composants défailants : capteur, actionneur, processus ou unité de commande.

I.13.3. Identification des défauts :

L'identification d'un défaut est le fait d'estimer l'amplitude et l'évolution temporelle du défaut afin d'expliquer au mieux le comportement du système. L'identification du défaut est la dernière phase de la procédure de diagnostic. [9]

I.14. Techniques de Diagnostic :

I.14.1. FDI (Fault Detection and Isolation) :

La détection et l'isolation des défauts (FDI) : sont des sous-domaines du génie de contrôle qui se concentrent sur la surveillance d'un système, l'identification des moments où un défaut s'est produit, et la localisation du type de défaut et de son emplacement.

I.14.2. Supervision :

La supervision qui intègre plusieurs activités (surveiller, analyser, piloter, ...) permettent de rapporter les fonctionnements normaux et anormaux des systèmes, afin de fournir à l'opérateur des critères suffisants pour la prise de décisions. [3]

La supervision correspond à l'action de surveiller le fonctionnement du système afin de prendre des décisions adéquates lorsque le système est hors de l'objectif désiré. Le système de surveillance observe en continu l'évolution de l'équipement à travers des données quantifiables.

I.14.3. Surveillance :

C'est une tâche continue en temps réel déterminant les conditions possibles d'un système physique, tout en reconnaissant et en indiquant des anomalies du comportement.

I.14.4. Gestion des alarmes industrielles avec OPC (Open Platform Communication) :

Au départ parlé du protocole OPC, il s'agissait du simple protocole de communication, technique basée sur les développements Microsoft des OLE.com et des DCOM. Depuis 2011,

les choses ont beaucoup évolué, et en raison de son expansion la dénomination même, a-t-elle aussi changé ? et c'est devenu OPEN PLATFORM COMMUNICATION (OPC).

Son but essentiel est de relier les applications Windows entre les matériels et les logiciels, pour pouvoir contrôler les processus, peu important les sources de données, la cohérence de la norme permettra d'accéder à toutes les données du terrain, dans une agence industrielle ou bien une usine. [10]

I.15. Conclusion :

La classification des différents types de défauts et leur caractérisation sont des étapes fondamentales pour comprendre et anticiper les défaillances potentielles. Ensuite, l'identification des objectifs du diagnostic et la mise en place d'une architecture appropriée sont essentielles pour garantir l'efficacité du processus de diagnostic. Enfin, l'adoption de techniques avancées telles que le FDI, la supervision et la surveillance, ainsi que l'utilisation de protocoles de communication ouverts comme OPC, permettent une gestion proactive des défauts et des alarmes industrielles, contribuant ainsi à la fiabilité et à la sécurité des systèmes de commande.

Chapitre II

Méthodes d'analyse des systèmes de commande

II.1. Introduction :

Dans le domaine de l'ingénierie des systèmes de commande et de surveillance industriels, une compréhension approfondie des méthodes d'analyse est cruciale pour garantir le bon fonctionnement et la performance optimale des systèmes. Les avancées technologiques ont donné naissance à une variété d'outils logiciels sophistiqués qui permettent la surveillance en temps réel et l'analyse approfondie des processus industriels. Parmi ces outils, les observateurs jouent un rôle essentiel en permettant la reconstruction des états non mesurés du système, offrant ainsi une vision complète de son comportement. Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes méthodes d'analyse des systèmes de commande, les principaux logiciels de surveillance industrielle, ainsi que les différents observateurs dans le contexte industriel.

II.2. Objectifs de l'Analyse des systèmes de commande :

L'Analyse des systèmes automatiques est un outil puissant pour minimiser les risques, améliorer la fiabilité et garantir la sécurité dans les applications électrotechniques. Qui a pour objectifs :

Détection précoce des anomalies :

Le diagnostic permet d'identifier rapidement les défaillances, les erreurs de fonctionnement ou les comportements anormaux dans les systèmes automatiques.

En détectant ces anomalies dès qu'elles se produisent, on peut prendre des mesures correctives avant qu'elles n'entraînent des conséquences plus graves. [11]

Prévention des pannes :

Le diagnostic permet d'anticiper les pannes potentielles en surveillant en continu les paramètres et les performances des systèmes.

En détectant les signes avant-coureurs, on peut effectuer la maintenance préventive nécessaire pour éviter les arrêts de production coûteux.

Optimisation de la maintenance :

Plutôt que de suivre un calendrier de maintenance fixe, le diagnostic permet d'effectuer la maintenance uniquement lorsque c'est nécessaire.

Cela réduit les coûts de maintenance et minimise les temps d'arrêt. [11]

Amélioration de la sécurité :

En surveillant les systèmes automatiques, on peut détecter les conditions dangereuses (par exemple, surchauffe, court-circuit, etc.) et prendre des mesures pour éviter les accidents.

Analyse des performances :

Le diagnostic permet d'évaluer les performances des systèmes en temps réel.

On peut ainsi ajuster les paramètres pour optimiser l'efficacité et la fiabilité. [12]

II.3. Méthodes d'analyse dédiées aux systèmes continus :

Ces méthodes sont essentielles pour comprendre et maîtriser le comportement des

systemes continus.

Elles sont utilisées dans des domaines tels que l'automatique, la régulation et la commande des processus industriels.

II.3.1. Analyse temporelle :

L'analyse temporelle consiste à étudier la réponse d'un système en fonction du temps.

On peut utiliser des méthodes telles que la réponse impulsionnelle, la réponse indicielle ou la réponse harmonique.

II.3.2. Analyse de la réponse fréquentielle :

Cette méthode permet d'analyser la réponse d'un système en fonction de la fréquence des signaux d'entrée.

Elle est utile pour comprendre les caractéristiques de stabilité, de bande passante et d'amortissement.

On peut utiliser des outils comme les diagrammes de Bode, les diagrammes de Nyquist ou les diagrammes de Black.

II.3.3. Modélisation :

Pour étudier un système continu, il est essentiel de se doter d'un modèle théorique.

Ce modèle permet de prévoir le comportement du système et d'élaborer les lois de commande.

Les méthodes de modélisation peuvent être théoriques (équations différentielles) ou expérimentales.

II.3.4. Représentation d'état :

La représentation d'état est une méthode qui décrit l'évolution d'un système à l'aide d'équations différentielles d'état.

Elle permet d'analyser la stabilité, la commandabilité et l'observabilité du système. [13]

II.4. Méthodes d'analyse spécifiques aux systèmes à événements discrets :

Elles sont appliquées dans des domaines tels que l'informatique, l'automatique, la robotique et les télécommunications.

II.4.1. Algorithmes (ou algorigrammes) :

Les algorithmes sont utilisés pour décrire de manière séquentielle les actions et les décisions dans un SED.

Ils sont souvent utilisés pour concevoir des stratégies de contrôle et d'ordonnancement.

Ces méthodes sont essentielles pour concevoir, analyser et contrôler les performances des systèmes à événements discrets.

II.4.2. Modélisation des automates à états :

Les automates à états sont des outils formels de modélisation pour les SED.

Ils permettent de représenter les transitions entre différents états du système en fonction des événements.

Ces modèles sont utilisés pour analyser la dynamique du système et prédire son comportement. [14]

II.4.3. Réseaux de Petri :

Les réseaux de Petri sont un autre formalisme graphique pour modéliser les SED.

Ils permettent de représenter les interactions entre différentes entités du système, les événements et les états.

Les réseaux de Petri sont utilisés pour analyser la concurrence, la synchronisation et la cohérence des SED.

II.4.4. Chaînes de Markov :

Elles sont utilisées pour modéliser des systèmes stochastiques où les transitions entre les états sont probabilistes. Les chaînes de Markov sont largement utilisées dans les domaines tels que la théorie des files d'attente et la planification de la production. [15]

II.5. Méthodes d'analyse AMDEC :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode prédictive utilisée pour identifier les anomalies et dysfonctionnements pouvant mener à un échec dans un système supervisé. C'est un outil essentiel pour améliorer la fiabilité, la sécurité et la qualité des produits et des processus au sein des entreprises.

II.5.1. Définition de l'AMDEC :

L'AMDEC est une approche inductive qui permet d'analyser qualitativement et quantitativement la fiabilité ou la sécurité d'un système.

Elle consiste à dresser la liste des composants d'un produit, à identifier les modes de défaillance possibles, à évaluer leurs conséquences et leur criticité.

L'AMDEC permet d'anticiper les défaillances potentielles et de mettre en place des actions préventives pour réduire les risques.

Elle contribue à assurer la fourniture de produits ou services exempts de défauts et de qualité optimale.

Origine de l'AMDEC :

Créée aux États-Unis en 1966 par la société Mc DONNELL DOUGLASS, l'AMDEC a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement pour évaluer l'efficacité de leurs systèmes.

Elle s'est avérée efficace dans le secteur industriel, notamment dans l'aérospatiale, l'armement et la mécanique.

Répond aux exigences de la norme ISO :

L'AMDEC devrait être adoptée par toutes les entreprises cherchant l'efficacité.

La norme ISO 9001 : 2015 exige une approche systématique pour l'identification, la prise en compte et la maîtrise des risques tout au long de la mise en œuvre du système de management de la qualité (SMQ) et des processus de conception et de réalisation. [16]

II.5.2. Principe de l'AMDEC :

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité est un outil de Sécurité de Fonctionnement et de gestion de la qualité.

L'AMDEC est une démarche inductive (observation) qui consiste à identifier au niveau d'un

système, les modes potentiels de défaillance de ses éléments, leurs causes et leurs effets, à laquelle s'ajoute une évaluation de la criticité des modes de défaillance permettant leur hiérarchisation.

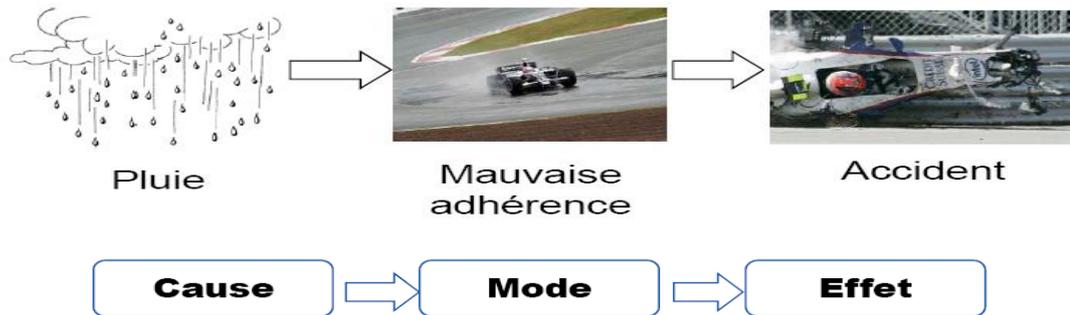


Figure II.1: Principe de l'AMDEC

II.5.3. Objectifs de l'AMDEC :

- Déterminer les points faibles d'un système.
- Classer les défaillances selon certains critères.
- Prioriser et planifier des actions d'amélioration.
- Réduire les risques les plus élevés.

II.5.4. Étapes D'analyse de l'AMDEC :

La hiérarchisation de cette méthode est cruciale pour déterminer les actions d'amélioration à conduire sur un processus, un produit, un système en travaillant par ordre de criticité décroissante.

Ces étapes sont énumérées comme suit :

1. Initialisation :

Il existe plusieurs types de l'AMDEC, [17] la conception de la méthode se réalise selon l'application :

Types d'AMDEC	Rôle	Document de travail associé
AMDEC Fonctionnelle	Analyse des défaillances et de ses causes à l'étape de la conception.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de construction • Brevet
AMDEC Produit	Analyse les demandes des clients en termes de fiabilité.	Plan de fiabilisation
AMDEC Process	Analyse des risques liés aux défaillances d'un produit.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de surveillance • Contrôle qualité
AMDEC Moyen de Production	Analyse les risques liés aux défaillances de la chaîne de production.	Guide de maintenance
AMDEC Flux	Analyse les risques liés à l'approvisionnement, le temps de réaction et de correction et leurs coûts.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de gestion des stocks • Procédure de sécurité

Tableau II.1 : les types de l'AMDEC

2. Analyse fonctionnelle :

Identifiez les composants, sous-systèmes ou processus à analyser. Cela peut inclure des pièces, des équipements, des logiciels, etc.

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillances qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction. Puis on effectue une décomposition organique (structurelle) des fonctions pour distinguer les éléments impliqués dans les défaillances fonctionnelles.

3. Identification des causes et modes de défaillance :

Déterminez les causes possibles. Quelles sont les raisons pour lesquelles le composant pourrait échouer ?

Énumérez les modes de défaillance possibles. Un mode de défaillance est une situation où le composant ne fonctionne pas comme prévu.

Le mode de défaillance est la forme observable du dysfonctionnement d'un produit ou d'une opération du système étudié

Un mode de défaillance doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- Il est relatif à la fonction étudiée.
- Il décrit la manière dont le système ne remplit plus sa fonction.
- Il s'exprime en termes physiques précis (court-circuit...).

4. Évaluation des effets :

Évaluez les effets potentiels sur le système, la sécurité, la qualité, la production, etc. Cela peut inclure des conséquences directes ou indirectes.

La Classification des défaillances se fait en fonction :

- Des causes (mauvais emploi, faiblesse inhérente [liée à l'intérieur], usure),
- De leur degré (partielle, complète, intermittente),
- De leur vitesse d'apparition (défaillance soudaine, "défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieur"),
- De leur vitesse d'apparition et de leur degré (soudaine et complète, par dégradation).

5. Estimation de la gravité :

Attribuez une cote de gravité à chaque effet. Par exemple, utilisez une échelle de 1 à 5, où 1 signifie un impact mineur et 5 signifie un impact catastrophique.

Niveau de gravité		Définition
Mineure	1	Défaillance mineure : arrêt de production < 2min Aucune dégradation notable
Significative	2	Défaillance significative : arrêt de production de 2min à 20min. remis en état de courte durée ou petite réparation ; déclenchement du produit
Moyenne	3	Défaillance moyenne : arrêt de production de 20min à 60min changement matériel défectueux négligeable
Majeure	4	Défaillance majeure : arrêt de production de 1h à 2h intervention importante sur le sous-ensemble production des pièces non conformes non détectées
Catastrophique	5	Défaillance catastrophique : arrêt de production > à 2h, intervention lourde nécessite des moyens coûteux problèmes de sécurité du personnel

Tableau II.2 : Estimation de la gravité

6. Estimation de la fréquence d'occurrence :

Évaluez la fréquence à laquelle chaque mode de défaillance peut se produire. Utilisez des données historiques, des expertises ou des estimations.

Fréquence d'occurrence		Définition
Très faible	1	Défaillance rare : moins d'une défaillance par an
Faible	2	Défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre
Moyenne	3	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par mois
Forte	4	Défaillance très fréquente : moins d'une défaillance par semaine

Tableau II.3 : Estimation de la fréquence d'occurrence

7. Détection précoce :

Évaluez la capacité du système à détecter le mode de défaillance avant qu'il ne provoque des effets indésirables. Attribuez une cote de détection.

Niveau de non détection		Définition
Détection évidente	1	Défaillance détectable à 100% Détection certaine de la défaillance Signe évident d'une dégradation Dispositif de détection automatique (alarme)
Détection possible	2	Défaillance détectable Signe de la défaillance facilement détectable mais nécessite une action particulière (visite...).
Détection improbable	3	Défaillance facilement détectable Signe de la défaillance Difficilement détectable peu exploitable ou nécessitant Une action ou des moyens complexes (démontage...)
Détection impossible	4	Défaillance indétectable Aucun signe de la défaillance

Tableau II.4 : Détection précoce

8. Calcul de la criticité :

- La criticité peut être restreinte à un seul indice établi sur la gravité de l'effet selon une échelle de cotation définie pour le projet.

- La multiplication de l'indice de gravité par l'indice de fréquence d'occurrence de la cause et par l'indice de détection précoce des contrôles pour obtenir une cote de criticité.

Cela permet de prioriser les actions correctives.

$$\text{Criticité} = O \times G \times D$$

On se doit de fixer un seuil d'acceptabilité, au-dessus duquel toute criticité doit être réduite, par un moyen à définir (reprise de conception, plan de maintenance, action de surveillance...).

[17]

9. Plan d'action :

Développez un plan d'action pour réduire les risques. Cela peut inclure des améliorations de conception, des tests supplémentaires, des contrôles de qualité, etc.

Proposez le type d'action adéquate préventive soit-elle ou bien corrective.

10. Suivi et mise à jour :

Surveillez les actions correctives et mettez à jour régulièrement l'AMDEC en fonction des nouvelles informations ou des changements.

Remarque :

De telles analyses peuvent être adaptées à toute interrogation dans tout domaine et peuvent servir de base aux analyses de fiabilité, de disponibilité, de qualité, de maintenance et de testabilité.

II.6. Approches de FDI à base d'observateurs d'états :

La première étape d'une procédure de détection et d'isolation de défauts (FDI) est la génération des résidus. Cette étape est réalisée à l'aide d'une estimation d'état qui consiste à reconstruire l'état ou, plus généralement, la sortie du système en se basant sur des

observateurs et en utilisant l'erreur d'estimation comme résidu. Cette approche s'est beaucoup développée car elle donne lieu à la conception des générateurs de résidus qui représentent des indicateurs de défauts flexibles et bien choisis.

II.6.1. Structure des observateurs :

De très nombreux travaux concernant le développement d'observateurs pour tout type de systèmes ont été réalisés depuis les travaux fondateurs de Luenberger (1966) et la FDI à base de modèles en a tiré profit. Le premier cas correspond aux observateurs de Luenberger [18],

Dans le cadre déterministe, pour les systèmes Linéaires à Temps Invariant LTI. Tandis que le second concerne les observateurs de Kalman [19], dans le cadre stochastique, pour les systèmes Linéaires à Temps Variant LTV.

C'est quoi un observateur ?

La représentation d'état d'un système dynamique est de forme :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y = Cx(t) \end{cases} \text{ avec } x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}^m, u \in \mathbb{R}^p$$

L'estimation des variables d'état est présentée comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = (A - KC)\hat{x}(t) + [B \ K] \begin{pmatrix} u(t) \\ y(t) \end{pmatrix} \\ \hat{y} = C\hat{x}(t) \end{cases}$$

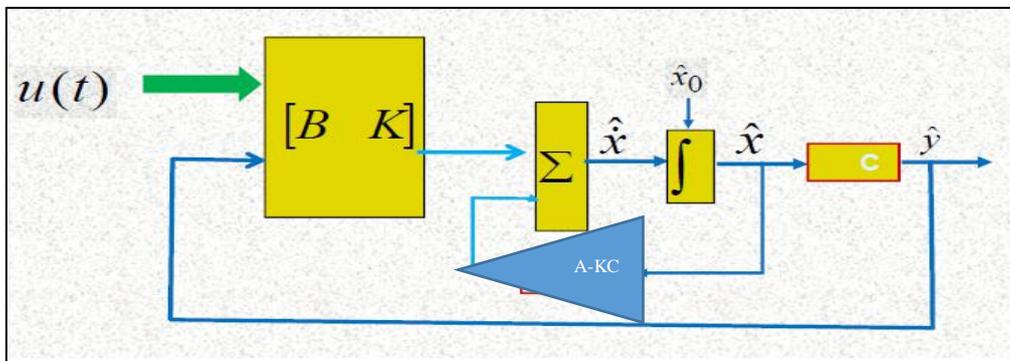


Figure II.2: Représentation de l'observateur d'état.

La conception d'un observateur nécessite la connaissance de certaines informations internes et/ou externes du système (directement disponibles). Ces informations internes sont, dans certains cas, nécessaires pour des raisons : de modélisation (identification), de surveillance (détection de défauts) ou pour la conduite du système (commande). Afin d'avoir un système de conduite performant, il est nécessaire de disposer de toutes ces informations comme le montre la figure II.3.

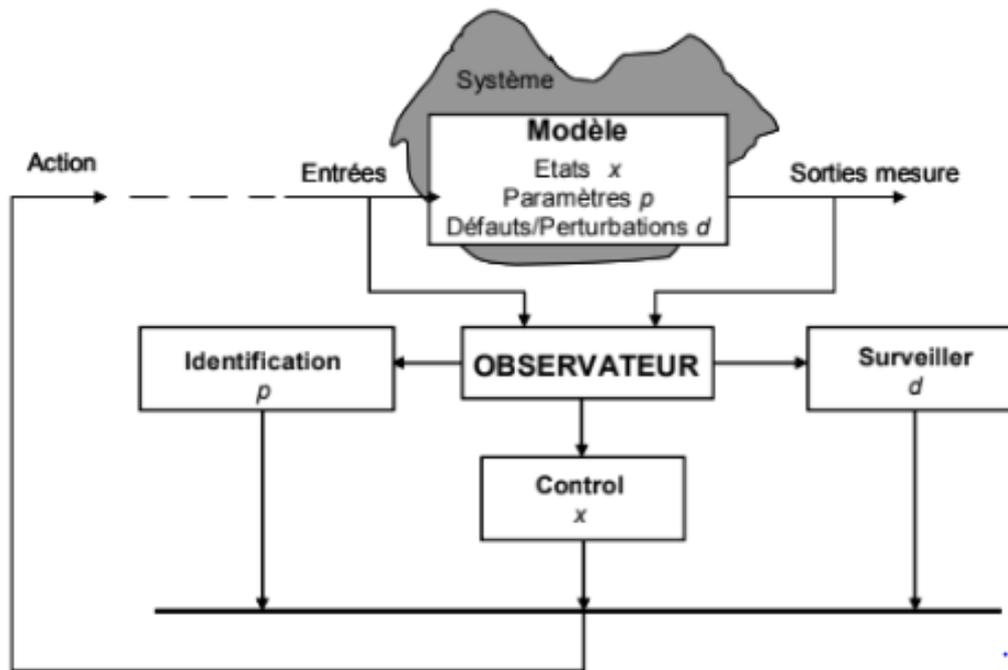


Figure II.3 : observateur au cœur d'un système de conduite.

II.6.2. Types d'observateurs :

Un observateur est basé sur le modèle du système avec un terme d'adaptation en ligne qui dépend des mesures disponibles, son but est la reconstruction de l'information. Le modèle est basé sur une représentation d'état du système et nous supposons que toute l'information, qui va être reconstruite, peut être bornée par les variables d'état.

Généralement, le modèle considéré peut être en temps continu ou en temps discret, stochastique ou déterministe, de dimension finie ou infinie, régulier ou singulier.

La figure II.4 représente les trois principales catégories d'observateurs qui sont : les observateurs stochastiques (filtre DMZ] et filtre à particule, les observateurs déterministes (observateur à grand gain, observateur algébrique, observateur à horizon glissant et observateur intelligent et finalement les observateurs adaptatifs observateur par intervalles, observateur parallèle et observateur multi modèles.

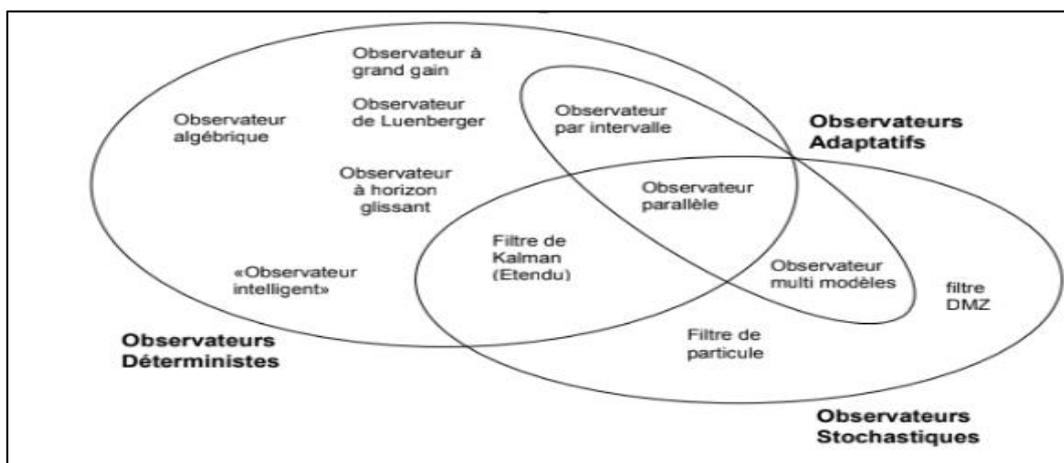


Figure II.4: Différent types d'observateur.

II.6.3. Observateurs dédiés aux systèmes non linéaires :

Quelques observateurs vont être présentés pour des classes spécifiques de systèmes non linéaires en faisant une extension des observateurs de Luenberger et de Kalman présentés dans le cas des systèmes linéaires.

Observateurs adaptatifs basée sur l'approche de Luenberger :

Nous considérons la classe des systèmes dont l'observabilité ne dépend pas de l'entrée, c'est à dire des systèmes uniformément observables.

Non linéarités additives sur la sortie Considérons dans ce cas un système de la forme :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + \rho(Cx, u) \\ y = Cx \end{cases}$$

Quand les paramètres du système changent au cours du temps ou s'ils sont inconnus, les Observateurs simples ne peuvent pas être utilisés pour l'estimation d'état. Les observateurs Appropriés dans ce cas sont les observateurs adaptatifs [Sastry et Bodson (1989) ; Zang (1999) ; et Marino et Tomei (1992)]. Un observateur adaptatif est un observateur qui estime Simultanément l'état et les paramètres d'un système.

$$\begin{cases} \hat{x} = \hat{f}(\hat{\theta}, \hat{x}, u, y, H) \\ \hat{\theta} = \hat{l}(\hat{\theta}, \hat{x}, u, y, P) \end{cases}$$

Où $\hat{\theta}$ est l'estimée de θ , \hat{f} et \hat{l} sont deux fonctions non linéaires à concevoir et H et P sont les matrices des gains d'ajustement.

Pour les besoins de l'approche de détection et d'isolation, chaque observateur adaptatif utilisé estime un seul paramètre du système à surveiller, en plus des variables d'état. la figure II.5, communément appelé « ensemble d'observateurs », [20] illustre le principe de cette méthode :

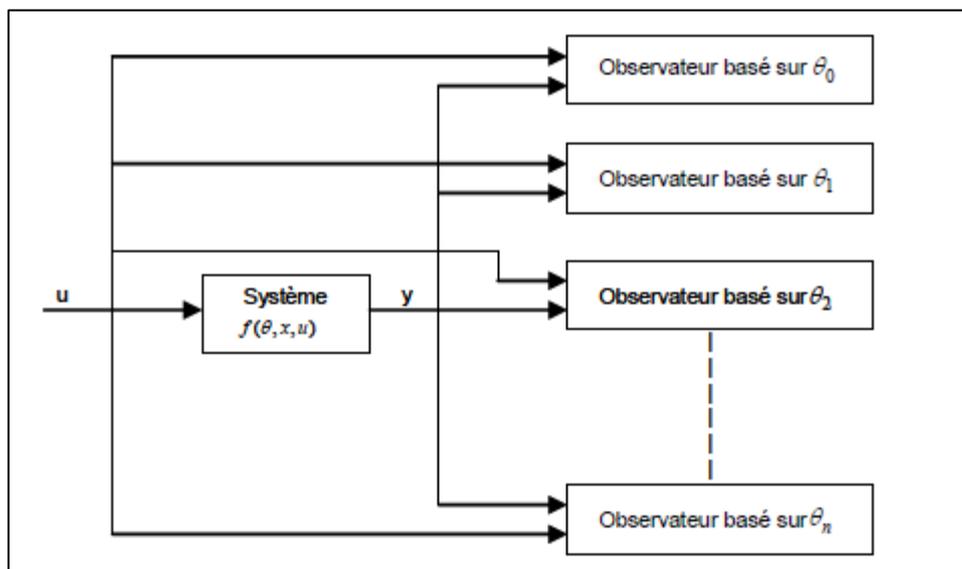


Figure II.5 : Ensemble des observateurs pour la surveillance de paramètre.

Observateur base sur l'approche de kalman :

L'observateur d'état de Kalman, également connu sous le nom de filtre de Kalman, est un outil puissant utilisé pour une estimation optimale de l'état d'un système dynamique à partir de données mesurées par les capteurs comparant avec le modèle d'espace d'état.

Le filtre de Kalman utilise une distribution gaussienne pour modéliser le bruit dans le

processus.

L'estimation de l'état du système correspond à la moyenne de cette distribution, tandis que la variance mesure l'incertitude associée à cette estimation.

La covariance, qui mesure la corrélation entre deux variables aléatoires, joue un rôle central dans le filtre de Kalman.

Les matrices de covariance sont utilisées pour représenter ces corrélations entre les différentes variables d'état.

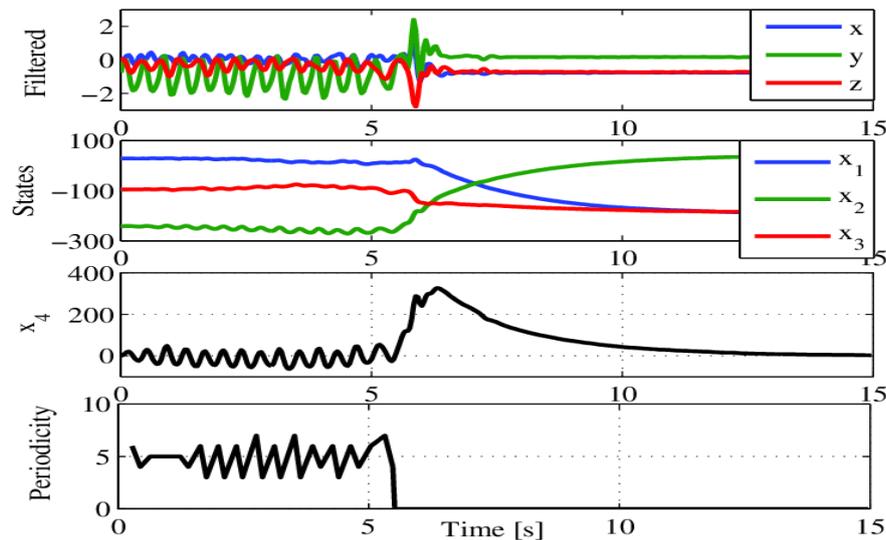


Figure II.6: Exemple de filtrage par filtre de Kalman.

II.7. Méthodologie d'intervention :

Le bon fonctionnement normal des processus industriels dans un environnement sécurisé et la fiabilité de la production repose essentiellement sur la surveillance de ces processus et l'analyse des éventuelles défaillances basées sur les actions d'interventions suivantes :

II.7.1. Action préventive : coactive

La maintenance préventive consiste à effectuer des vérifications et des entretiens réguliers sur les équipements industriels pour éviter les pannes et prolonger leur durée de vie. Cela permet d'anticiper les problèmes potentiels et de réduire les coûts de réparation et d'assurer un fonctionnement fiable. [21]

Surveillance permanente Systématique :

La surveillance permanente systématique consiste à collecter, analyser et interpréter de manière continue des données sur l'état des équipements électriques.

Elle est établie selon un calendrier ou une périodicité d'usage (tous les mois, tous les 500 produits fabriqués, tous les 10 000 kilomètres, etc.).

Surveillance permanente Conditionnelle :

Cette démarche est un contrôle continu régie par la collecte des données a temps réels via des capteurs, qui observe l'état réel de l'équipement.

II.7.2. Action corrective : réactive

Elle vise la rectification, la réparation et la restauration à l'état antérieur, le remplacement d'une pièce ou d'un équipement défectueux, ou la correction d'un bug ou d'une mauvaise programmation informatique pour rétablir le fonctionnement normal d'un système en panne. [21]

Curative :

La maintenance curative vise à réparer de façon définitive et immédiate les sources des pannes ou effectuer un remplacement de l'élément défectueux.

Palliative :

La maintenance palliative est une action de réparation provisoire ou temporaire d'une panne, c'est à dire une action de dépannage temporaire en attendant une réparation complète afin que le matériel puisse continuer à fonctionner relativement normalement ainsi de minimiser les temps d'arrêt de la production.

II.7.3. Action prédictive :

Maitrise de la courbe de dégradation et situation des seuils d'exploitation :

La maîtrise de la courbe de dégradation et la gestion des seuils d'exploitation sont des concepts importants dans le domaine de la maintenance prédictive et de la gestion des actifs industriels. En surveillant attentivement les performances et en agissant rapidement lorsque les seuils critiques sont approchés, les entreprises peuvent minimiser les temps d'arrêt non planifiés, réduire les coûts de maintenance et prolonger la durée de vie utile de leurs actifs. Voici ce que cela implique :

1. Courbe de dégradation : La courbe de dégradation représente la tendance de la performance ou de l'état d'un actif industriel au fil du temps. Cette courbe peut être basée sur différents paramètres, tels que la productivité, la puissance, la résistance mécanique, etc. Au fur et à mesure que l'actif vieillit ou est soumis à des conditions de fonctionnement spécifiques, sa performance a tendance à se détériorer progressivement, ce qui peut conduire à des pannes ou à une réduction de l'efficacité opérationnelle.

2. Maîtrise de la courbe de dégradation : La maîtrise de la courbe de dégradation consiste à surveiller attentivement la performance ou l'état de l'actif au fil du temps afin de détecter les signes de dégradation avant que cela n'entraîne des problèmes graves. Cela implique généralement l'utilisation de techniques de surveillance et de diagnostic, telles que l'analyse de données, l'inspection régulière, les tests non destructifs, etc. L'objectif est d'intervenir de manière proactive pour effectuer la maintenance préventive ou corrective nécessaire afin d'atténuer les effets de la dégradation et de prolonger la durée de vie utile de l'actif.

3. Seuils d'exploitation : Les seuils d'exploitation sont des valeurs limites ou des critères prédéfinis qui définissent les niveaux acceptables de performance ou d'état pour un actif donné. Ces seuils sont basés sur les spécifications du fabricant, les normes de l'industrie, les

exigences opérationnelles de l'entreprise, etc. Lorsque les performances ou l'état de l'actif se rapprochent ou dépassent ces seuils, cela peut indiquer la nécessité d'une intervention ou d'une action corrective.

4. Gestion des seuils d'exploitation : La gestion des seuils d'exploitation implique de définir et de surveiller attentivement ces seuils pour chaque actif critique dans l'installation industrielle. Cela peut impliquer la mise en place de systèmes de surveillance automatisés qui alertent le personnel lorsque les performances ou l'état de l'actif approchent des seuils critiques. De plus, des plans d'action préventive ou corrective doivent être établis pour répondre efficacement à ces alertes et maintenir les performances des actifs dans des plages acceptables.

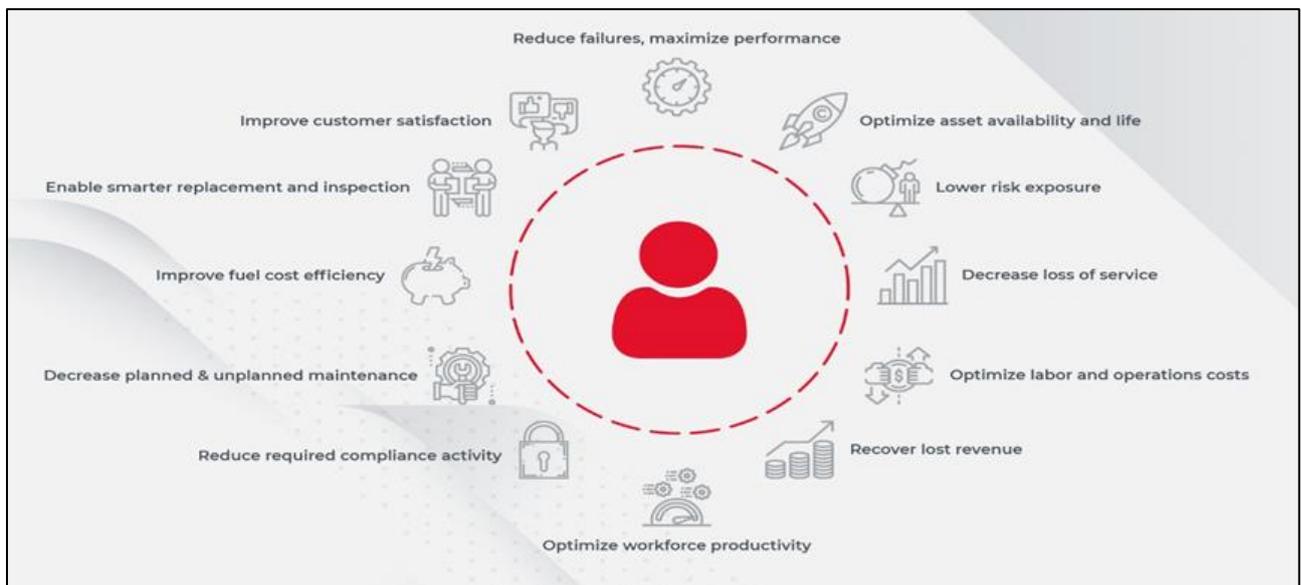


Figure II.7 : Process de la maintenance prédictive.

II.8. Conclusion :

En conclusion, les méthodes d'analyse des défauts et la mise en place de systèmes de détection rapide sont des piliers essentiels dans le domaine industriel. Associées à une surveillance rigoureuse et à l'expertise des observateurs, ces approches garantissent une gestion proactive des risques et une amélioration continue des processus. Grâce à leur capacité à identifier les anomalies précocement et à proposer des solutions appropriées, les observateurs jouent un rôle crucial dans la préservation de la qualité, de la sécurité et de l'efficacité des opérations industrielles. En combinant technologies et savoir-faire humain.

Chapitre III :

Analyse fréquentielle de la
MAS en présence de défaut

III.1. Introduction :

Ce chapitre présentera la thématique de la sûreté de fonctionnement des entraînements électriques. Pour cela, il faut d'abord préciser dans une première partie le contexte de l'étude et pourquoi la détection et la localisation de défauts dans un système électrique constitue un domaine d'étude émergent et prioritaire.

La présentation d'un outil de validation qui consiste à l'utilisation de simulation afin d'apporter la connaissance requise sur le fonctionnement du système sain et défaillant. Nous détaillerons donc tous d'abord la machine asynchrone en mettant l'accent sur les hypothèses faites et leur validité en fonctionnement défaillant.

Enfin, nous présentons le principe de la méthode d'analyse de signal qui repose sur l'existence de caractéristiques fréquentielles propres au fonctionnement sain ou défaillant à surveiller. La définition des caractéristiques principales des défaillances est analysée en termes de modification spectrale (apparition, déplacement de raies) afin de proposer les méthodes de détection les plus adaptées à la mise en évidence des phénomènes c'est-à-dire la détection d'une ou plusieurs fréquences caractéristiques du dysfonctionnement.

III.2. Contexte de l'étude :

Dans de nombreux secteurs industriels, la sûreté de fonctionnement est un enjeu pour assurer une compétitivité optimale de l'outil de production. Les machines électriques sont très présentes dans de nombreux processus et leur surveillance est devenue un souci permanent, particulièrement dans la machine asynchrone. Aujourd'hui, les chaînes de production sont dotées des systèmes de protection fiable, car une quelconque défaillance, même la plus anodine, peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche, sur le plan mondial, s'emploie depuis plusieurs années à élaborer des méthodes de diagnostic. Celle-ci a pour premier objectif de prévenir les utilisateurs d'un risque possible pouvant apparaître en un point particulier du système.

Les systèmes électriques tiennent une place de plus en plus importante dans les dispositifs industriels : équipement de production d'énergie, traction électrique (ferroviaire, urbaine et maritime), réseaux électrique industriels, Ils sont complexes et critiques en termes de sécurité et de continuité de services. La croissance de ce type de machine électrique, essentiellement due à sa simplicité de construction, sont faible cout d'achat et de fabrication, sa robustesse mécanique ou encore sa quasi-absence d'entretien.

III.2.1. Détection et Localisation de défauts :

Nous allons dresser une liste des principaux défauts pouvant se produire dans une machine asynchrone. Nous distinguons trois parties : [22.23]

La machine

Le convertisseur

La mécanique

L'étude des défauts peut être menée suivant différentes approches selon l'angle sous lequel on se place. Lorsque le système est déjà mis en place, il est plus adéquat de prévoir des outils de détection ou de localisation permettant de déceler un début de défaillance dans un temps raisonnable pour pouvoir y remédier.

Une autre approche consisterait à prévoir et à dimensionner le système pour réduire le taux de

pannes à un niveau le plus bas possible soit par la conception d'architectures tolérantes aux défauts. L'autre approche consisterait en une modélisation des systèmes en particulier les machines électriques, en présence d'un défaut afin de prédire le plus fidèlement possible son comportement dès l'apparition d'un défaut.

Une autre approche consiste à rechercher dans les signaux mesurés les symptômes du défaut : ce sont les méthodes reposant sur une approche signal. Elles peuvent reprendre en grande partie des informations issues de l'expérience. Durant ces dernières années, l'avancement des outils de calcul et le développement des modèles (pour la simulation numérique) sont apparus. C'est pour cette raison une méthode d'analyse fréquentielle a été proposée, l'idée clé dans cette méthode est de transformer le courant du moteur en une représentation fréquentielle pour capturer les variations des composantes du signal. Certains types de défaut peuvent même avoir une signature caractéristique dans le spectre qui peut être utilisée dans l'analyse des signaux. Les modèles analytiques ne représentent pas la totalité des phénomènes physiques mis en jeu.

III.2.2. Hypothèses de la modélisation :

La machine asynchrone est un système bien connu [26] ; des modèles existent et permettent, dans la majeure partie des cas et sous certaines hypothèses simplificatrices, une représentation de la machine sans défaut. Ces hypothèses sont les suivantes [22.27] :

L'entrefer est de largeur constante sans effet d'encoche (pas d'excentricité, de balourd, réduction du nombre d'harmoniques dans le développement des inductances)

Assimilation de la cage à un court-circuit ayant le même nombre de phases que le bobinage statorique (simplification des équations de la machine par la prise en compte de l'effet moyen de la cage)

Répartition sinusoïdale, le long de l'entrefer, des champs magnétiques de chaque bobinage (simplification des équations de la machine par la prise en compte des expressions en complexe des courants, génération d'un modèle vectoriel)

Absence de saturation dans le circuit magnétique (comportement identique de chaque phase, utilisation d'un modèle vectoriel)

Les influences de l'effet de peau et des échauffements des conducteurs sont négligées (pas de variation des paramètres intervenant dans la machine)

Couplage en étoile des bobinages (les courants forment un système équilibré)

III.2.3. Equations de base de la machine asynchrone :

Sous les conditions rappelées au paragraphe précédent, les équations des circuits électriques font intervenir des inductances propres et mutuelles permettant de définir les flux en fonction des courants [22.28].

Au niveau du stator, les tensions vérifient :

Tapez une équation ici.

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = [R_s] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix}$$

Où la matrice de résistance s'écrit d'après l'hypothèse de symétrie

$$[R_s] = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} :$$

Au niveau du rotor, sous l'hypothèse que le rotor est assimilable à un rotor avec enroulement,

triphasé les tensions s'écrivent :

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = [R_R] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix}$$

Tapez une équation ici. La matrice R_r possède la même forme que R_s .

Le flux s'exprime alors grâce aux matrices inductances et aux courants.

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + [M_{SR}] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} = [M_{RS}] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + [L_R] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}$$

Afin de pouvoir rendre compte des interactions entre les phases, nous avons exprimé chaque matrice résistance et inductance en fonction du nombre de spires des enroulements de la machine. Ce modèle permet en particulier de créer des défauts asymétriques que ce soit au stator ou au rotor par la variation du nombre de spires de l'enroulement de la phase en défaut. Le défaut peut être localisé sur une ou plusieurs phases.

$$[R_S] = \begin{bmatrix} R_{sa} & 0 & 0 \\ 0 & R_{sb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{sc} \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} n_{sa} & 0 & 0 \\ 0 & n_{sb} & 0 \\ 0 & 0 & n_{sc} \end{bmatrix}$$

$$[R_R] = \begin{bmatrix} R_{ra} & 0 & 0 \\ 0 & R_{rb} & 0 \\ 0 & 0 & R_{rc} \end{bmatrix} = R_r \begin{bmatrix} n_{ra} & 0 & 0 \\ 0 & n_{rb} & 0 \\ 0 & 0 & n_{rc} \end{bmatrix}$$

n_{sa} correspond au nombre de spire de la phase du stator.

$$[L_S] = \begin{bmatrix} L_{sa} & M_{sab} & M_{sca} \\ M_{sab} & L_{sb} & M_{sbc} \\ M_{sca} & M_{sbc} & L_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{sa}^2 l_s & n_{sa} n_{sb} m_s & n_{sa} n_{sc} m_c \\ n_{sa} n_{sb} m_s & n_{sb}^2 l_s & n_{sb} n_{sc} m_s \\ n_{sa} n_{sc} m_s & n_{sb} n_{sc} m_s & n_{sc}^2 l_s \end{bmatrix}$$

$$[L_R] = \begin{bmatrix} L_{ra} & M_{rab} & M_{rca} \\ M_{rab} & L_{rb} & M_{rbc} \\ M_{rac} & M_{rbc} & L_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{ra}^2 l_r & n_{ra} n_{rb} m_r & n_{ra} n_{rc} m_r \\ n_{ra} n_{rb} m_r & n_{rb}^2 l_r & n_{rb} n_{rc} m_r \\ n_{ra} n_{rc} m_r & n_{rb} n_{rc} m_r & n_{rc}^2 l_r \end{bmatrix}$$

$$[M_{SR}(\theta)] = \begin{bmatrix} n_{sa} n_{ra} m_{sr} \cos(\theta) & n_{sa} n_{rb} m_{sr} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & n_{sa} n_{rc} m_{sr} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ n_{sb} n_{ra} m_{sr} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & n_{sb} n_{rb} m_{sr} \cos(\theta) & n_{sb} n_{rc} m_{sr} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ n_{sc} n_{ra} m_{sr} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & n_{sc} n_{rb} m_{sr} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & n_{sc} n_{rc} m_{sr} \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$$[M_{RS}(\theta)] = [M_{SR}(\theta)]^T$$

III.2.3.1. Modèles des défauts dans la machine :

Les défauts de type court-circuit sont représentés dans le modèle comme des suppressions de spires c'est-à-dire des ouvertures partielles de phase ; cela ne correspond pas tout à fait à la réalité puisqu'il faudrait aussi tenir compte des spires en court-circuit. Ce modèle constitue un progrès par rapport aux modèles équilibrés ou/et ne considérant qu'une variation de résistance couramment utilisés pour valider les algorithmes [23].

III. 3. Approche signal :

La connaissance des défaillances potentielles de l'entraînement et les études bibliographiques réalisées ont montré l'intérêt de l'analyse des signaux pour la caractérisation des défauts dans les machines tournantes. Le principe des méthodes d'analyse de signal repose sur l'existence de caractéristiques fréquentielles propres au fonctionnement sain ou défaillant du procédé à surveiller.

III.3.1. Choix de la variable à étudier :

L'objectif de cette approche consiste à déterminer les signaux accessibles les plus significatifs pour la détection et la localisation de défauts. Pour cela, il est nécessaire de tenir compte d'une part de la bande passante du système bouclé et d'autre part du contenu spectral du défaut à surveiller [23.29].

III.3.2. Influence des boucles de contrôle :

Il ne faut pas perdre de vue que le système comporte des boucles de contrôle des courants (pour assurer le contrôle vectoriel) et de la vitesse [29]. Ces correcteurs ont pour fonction d'assurer la conformité entre la consigne (réf) et la mesure (y) en agissant sur la grandeur de commande (u). Intuitivement, il est évident que la commande cherchera à compenser toute variation de la grandeur mesurée disponibles pour la détection et la localisation des défauts (les deux courants mesurés et la vitesse mesurée, le vecteur tension de commande en sortie du dispositif de contrôle vectoriel et la référence de couple en sortie de l'asservissement de vitesse).

Considérons le schéma bloc suivant représentant de manière simplifiée la partie contrôle du couple d'un entraînement électrique similaire à notre application.

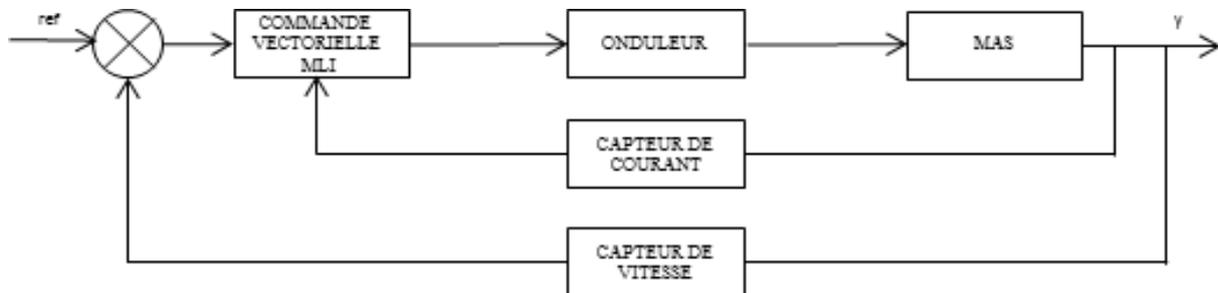


Figure III.1 : Schéma Bloc du Système Simplifié. [30]

III.3.3. Caractérisation fréquentielle des défauts :

Le but de la caractérisation fréquentielle des défauts consiste, en fonction du défaut considéré, à déterminer la (ou les) fréquence(s) liée(s) au défaut et à discriminer la variable (mesurée ou calculée) la plus pertinente dans laquelle cette fréquence peut être isolée.

III.3.3.1. Fonctionnement du moteur sain :

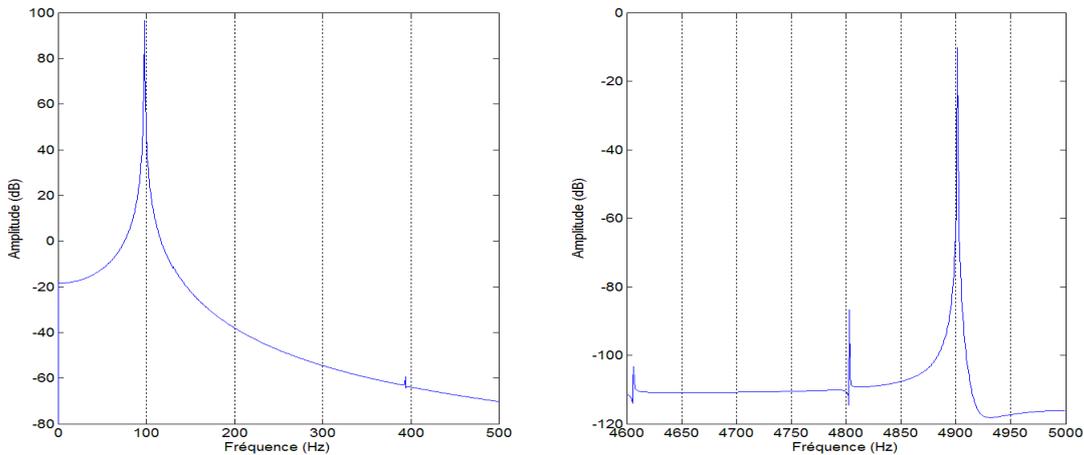


Figure III.2 : Spectre du courant statorique de la phase a en BF et HF [30]

La figure III.2 montre le spectre du courant statorique (I_{sa}) de la phase a de la machine asynchrone sans court-circuit. En basse fréquence, on note la présence de la fréquence fondamentale (f_e). En haute fréquence, on note la présence de la fréquence $f_{MLI}-f_e$ et $f_{MLI}-2f_e$.

III.3.3.2. Fonctionnement du moteur avec défaut au stator sur une phase :

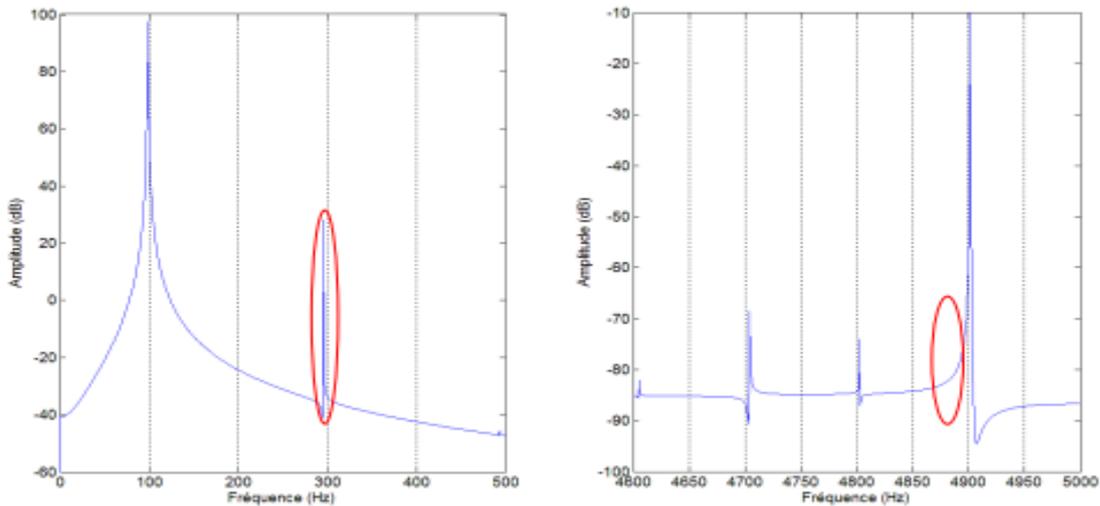


Figure III.3 : Spectre du courant statorique de la machine avec défaut sur une phase au stator en BF et HF. [30]

La figure III.3 montre le spectre du courant statorique (I_{sa}) de la machine asynchrone avec court-circuit sur une phase. En basse fréquence, on note l'apparition de la fréquence du défaut ($3f_e$). En haute fréquence, on note la présence de la fréquence $f_{MLI}-f_e$ et $f_{MLI}-3f_e$.

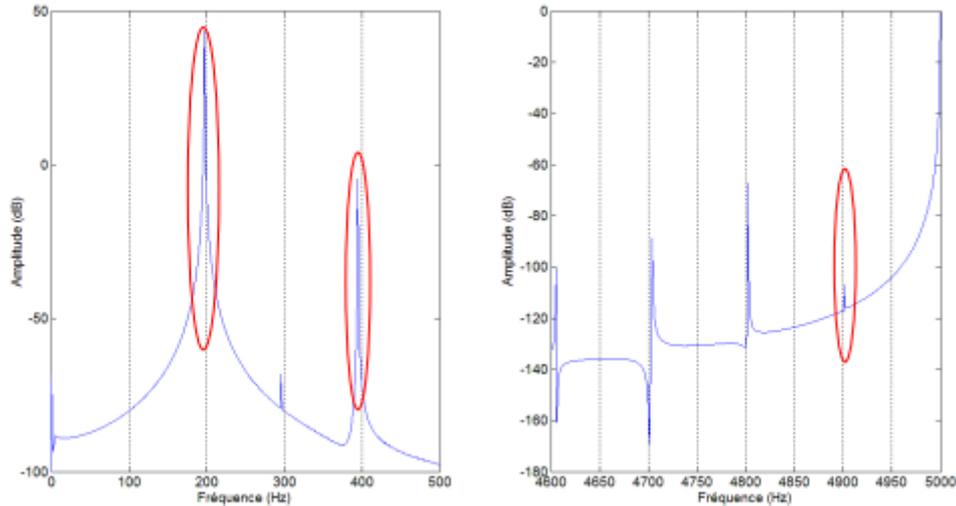


Figure III.4 : Spectre du courant statorique de la machine en défaut sur une phase au stator dans le référentiel (d, q) . [30]

La figure III.4 illustre en basse fréquence la fréquence du défaut ($2f_e$) et en haute fréquence on note la présence de la fréquence $f_{MLI}-2f_e$. Le tableau ci-dessous résume les résultats de simulation de la machine avec défaut sur une phase au stator.

III.3.3.3. Fonctionnement du moteur avec défaut au rotor sur une phase :

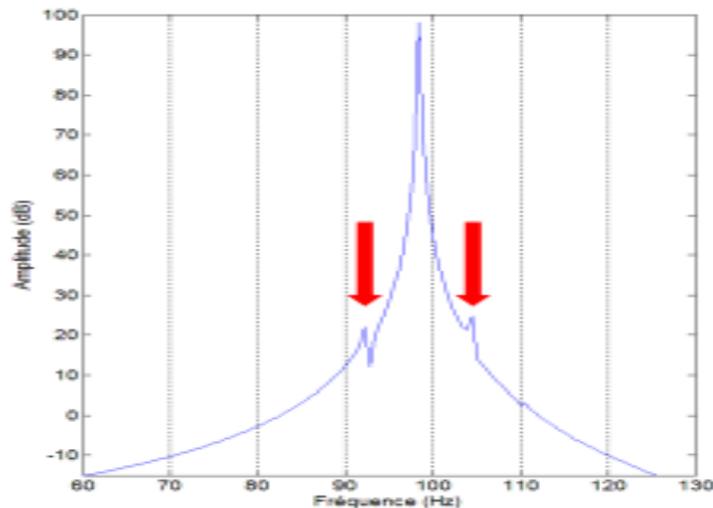


Figure III.5 : Défaut sur une phase au rotor. [30]

La figure III.5 présente les fréquences qui caractérisent le défaut par l'apparition de deux fréquences autour de la fréquence électrique f électrique ($1 \pm 2g$) où g représente le glissement. Remarquons que ce défaut sera très difficile à détecter dans le spectre du courant car l'amplitude de la raie à la fréquence fondamentale est très importante par rapport à celle de la raie recherchée. L'amplitude de défaut considéré consiste en une suppression de 30% du bobinage d'une phase au rotor ou stator.

III.3.4. Défaut ondulateur :

La figure III.6 illustre le spectre du courant (I_{sa}) de la machine saine avec défaut d'onduleur

(composant ouvert) et la machine saine, on notant l'apparition des raies autour de la fréquence électrique f_{fe} et la fréquence f_{MLI-fe} .

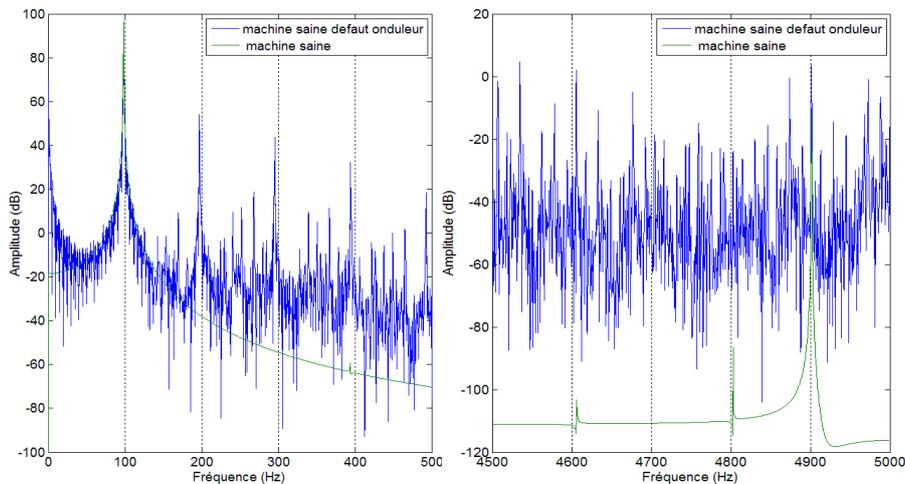


Figure III.6 : Spectre du courant de la machine saine avec défaut ondulateur et la machine saine en BF et HF. [30]

III.3.5. Défauts capteurs :

Le défaut capteur considéré consiste en un offset sur la grandeur mesurée (50A soit environ 15% du calibre).

Défaut capteur de courant :

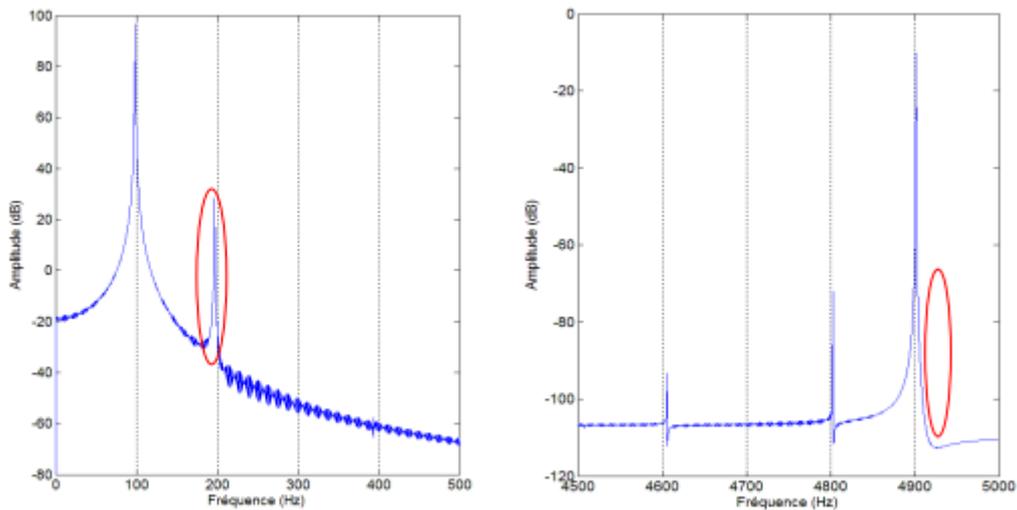


Figure III.7 : Spectre du courant de la phase a de la machine avec défaut sur le capteur de courant en BF et HF. [30]

La figure III.7 présente le spectre du courant (I_{sa}) de la phase a de la machine lorsque le capteur est défaillant, on retrouve la fréquence de défaut $2f_{fe}$ en basse fréquence et f_{MLI-fe} , $f_{MLI-2f_{fe}}$ en haute fréquence.

Défaut capteur de vitesse :

Nous présentons ce type de défaut pour insister sur l'importance de le détecter, la figure III.8

présente le spectre de la vitesse pour une erreur de 5 Rad /s (soit 2,5% de la valeur de référence).

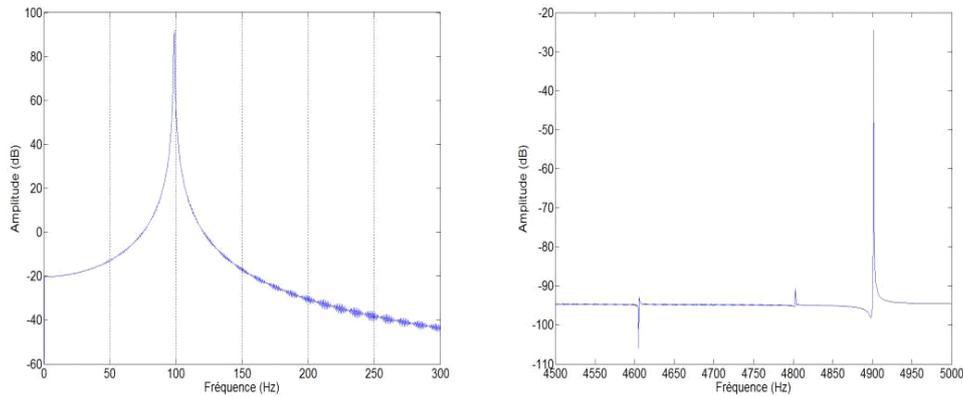


Figure III.8 : Spectre du courant de la phase a de la machine avec défaut sur le capteur de vitesse en BF et HF. [30]

Nous présentons ce type de défaut pour insister sur l'importance de le détecter mais comme les variables concernées sont continués, il n'existe pas, à notre connaissance, de fréquence caractéristique pour ce défaut. Il faut donc suivre une autre grandeur ou reconstruire la vitesse pour le comparer avec la vitesse mesurée.

III.3.6. Détection des défauts par la Méthode de Transformation Rapide (FFT) :

Il est aussi possible d'utiliser la méthode FFT pour détecter les défauts dans les grandeurs de commande sur le stator (défaut produit sur une phase), rotor (défaut produit sur une phase), onduleur et sur le capteur de courant.

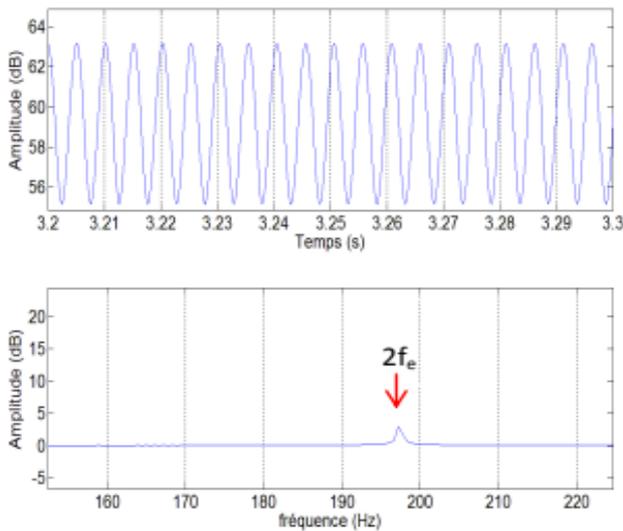


Figure III.9 : Défaut produit sur une phase au stator [30]

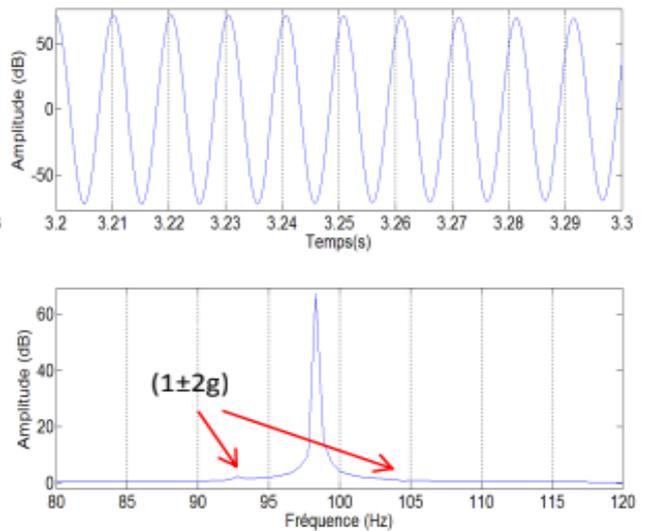


Figure III.10: Défaut produit sur une phase au rotor [30]

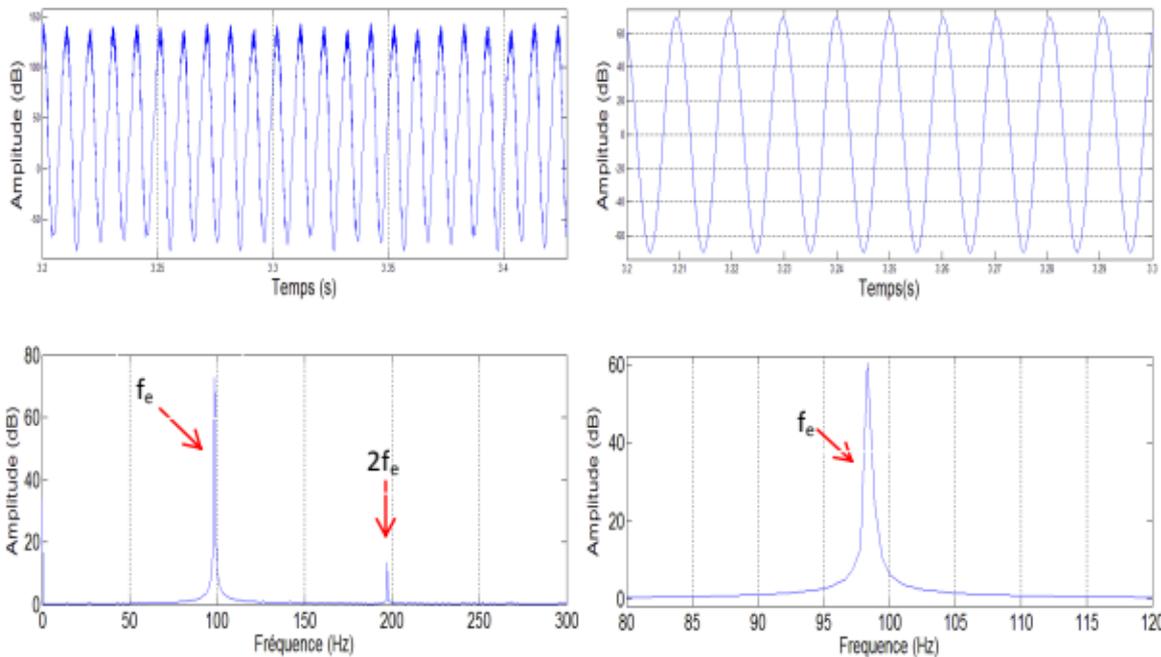


Figure III.11: Défaut d'onduleur de la machine saine. [30]

Figure III.12 : Défaut sur le capteur de courant. [30]

Remarque :

Type de moteur asynchrone :

Le moteur analysé est un moteur asynchrone triphasé avec un enroulement statorique et rotorique sous forme de cage d'écureuil.

Le défaut est modélisé par la suppression de spires (ouverture partielle de phase), ce qui affecte le comportement de la machine .

La puissance du moteur étudié est de 5.5 kW.

Puissance nominale : 5.5 kW.

Fréquence de défaut en basse fréquence (BF) : $3f_e$.

Fréquence de défaut en haute fréquence (HF) : f_{MLI-f_e} et f_{MLI-3f_e} .

III.4. Conclusion :

La majorité des recherches récentes était orientée vers la surveillance de l'état d'une machine asynchrone en utilisant le courant statorique (son spectre) comme variable permettant la détection et le diagnostic de certains défauts. Cette présentation a été portée sur la simulation d'un entraînement électrique à base de machine asynchrone.

Dans le contexte de nombreux études, l'inadaptation des méthodes classiques de maintenance et de diagnostic a été montrée, nous nous sommes attachés à exploiter au mieux les informations disponibles sur l'application. Ces informations tout d'abord sous forme de connaissance, ont permis d'établir des modèles de simulation. Nous avons souligné l'influence du contrôle sur le choix de la variable à considérer pour détecter la signature fréquentielle caractéristique du défaut, nous avons présenté les caractéristiques fréquentielles des défauts concernant notre application.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Ce mémoire propose une étude approfondie sur l'analyse des défauts dans une chaîne de production, en mettant l'accent sur les systèmes de commande et les méthodes d'analyse.

La compréhension approfondie de l'état de l'art dans le domaine du diagnostic des systèmes de commande est essentielle pour assurer leur bon fonctionnement et leur fiabilité.

En explorant les différentes architectures, types de défauts, techniques de diagnostic et objectifs, le 1er chapitre pose les bases nécessaires pour développer des systèmes de diagnostic efficaces et précis, contribuant ainsi à la sécurité et à la performance des systèmes industriels. Dans notre travail, nous avons abordé des techniques de surveillance. L'AMDEC, ou Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, est une méthode utilisée pour évaluer et améliorer la fiabilité et la performance d'une chaîne de production. Nous avons également touché les observateurs non linéaires qui sont des outils puissants pour améliorer la surveillance, la sécurité et l'efficacité des systèmes industriels.

Ils contribuent à optimiser les performances tout en réduisant les coûts. Ils sont utilisés pour surveiller l'état des équipements industriels. Ils détectent les défaillances et les variations inattendues. En cas de problème, ils peuvent déclencher des alertes ou des actions correctives. Cela contribue à la sécurité et à la fiabilité des processus industriels.

Enfin, le Chapitre III présente une étude de cas spécifique, mettant en œuvre les concepts discutés dans les chapitres précédents. Il aborde la détection et la localisation des défauts dans une machine asynchrone, en détaillant les modèles de défauts et leur caractérisation fréquentielle. L'utilisation de la Méthode de Transformation Rapide (FFT) pour la détection des défauts est également examinée.

En conclusion, ce mémoire offre une vue d'ensemble exhaustive des méthodes et des outils disponibles pour l'analyse des défauts dans une chaîne de production, ainsi que leur application pratique dans un contexte spécifique.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] F. Nouioua et P. Dague, « Diagnosticabilité des systèmes à évènements discrets : État de l'art »
- [2] Site web , [https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Modélisation %20et%20 Diagnostic%20des%20Systèmes.pdf](https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Modélisation%20et%20Diagnostic%20des%20Systèmes.pdf)
- [3] Chakour Chouaib, “ Diagnostic et surveillance des procédés industriels et de leur environnement sur la base de l’analyse de données.” Thèse de doctorat. 2015. Université Badji Mokhtar Annaba
- [4] ROUIDJALI Mohammed Amine et CHAIMI Abdelkrim“ Détection des défauts basés sur l’Analyse en Composantes Principales Application à un Four électrique, à un Groupe électrogène et à une Chaudière”. Mémoire master Juin 2017. UNIVERSITE M’HAMED BOUGARA-BOUMERDES
- [5] Bergoug Aicha“ Détection et Localisation de Défauts par Analyse en Composantes Principale (ACP) ”Mémoire master, 2017. Université Kasdi Merbah-Ouargla.
- [6] KHENFER RIAD “ Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques” Thèse de doctorat 05 Mars 2015. UNIVERSITE FERHAT ABBES – SETIF
- [7] RICHET, Daniel, GABRIEL, Marc, et MALON, Denis. *Maintenance basée sur la fiabilité*. FeniXX, 1986.
- [8] D. Berdjag, “ Méthodes algébriques pour la décomposition de modèles comportementaux : Application à la détection et à la localisation de défaillances ”. Thèse de doctorat, 2007. Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I.
- [9] BEKIRI Walid et SID Bouchra “Diagnostic de Fonctionnement par Analyse en Composantes Principales Multi-Echelles ”. Mémoire master, 2019. Université Kasdi Merbah –Oaurgla.
- [10] <https://supervision-clever.fr/gestion-alarmes-opc-open-platform-communication/>
- [11]<https://www.amiraltechnologies.com/actualites/blog/detection-anomalie-equipements-industriels/>
- [12] <https://www.questionpro.com/blog/fr/evaluation-des-performances/>
- [13] https://speats2i-epinal.fr/Documents/Cours_TD_SII/Elec/2_modelisation%20SLCI_eleve.pdf
- [14] https://ibisc.univ-evry.fr/~delosme/M1_SED/cours/Chapitre1.pdf
- [15] <https://www.imo.universite-paris-saclay.fr/~pierre-loic.meliot/agreg/markov.pdf>
- [16]https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/?fbclid=IwAR3uWyaQdxVBCC_KSqqZqJf--Ign5gIssm2Mk9d3WuNIbtVtDzwJ-IFqyXE
- [17] <https://qualite.pagesjaunes.fr/comprendre/amdec>

- [18] Luenberger, D.G., Observers for multivariable systems, IEEE Transactions on Automatic Control, 11 (2), pp. 190-197, 1966.
- [19] Kalman, R.E. and Bucy R.S, 1961. New results in linear filtering and prediction theory. J. Basic. Eng, page 95–108.
- [20] Rios Bolivar A. (2001). Sur la synthèse de filtres de detection de defaillances, *PhD thesis*, Université Paul Sabatier, Toulouse, France
- [21] https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-maintenance/les-types-de-maintenance?fbclid=IwAR2Qxw0HFVX5WEGemJCXqPQoMAeJ9oM_YKtPChSEpYFHZL5r04ypILkPxY
- [22] Trajin, Regnier.J, Faucher.J Bearing “Fault indicator in induction machine using stator current spectral analysis” Power Electronics, machine and drives, 2008. PEMD. 4th IET Conférence On.
- [23] AndrianCeban “ Méthode globale de diagnostic des machines électriques” Thèse de doctorat, université Lille de nord de France, 2012.
- [24] Mohamed el kamel.O “ Surveillance et diagnostic des défauts rotoriques et mécaniques de la machine asynchrone avec alimentation équilibrée ou déséquilibrée” Thèse de doctorat, université de lorraine, 2012.
- [25] S.Diao, Z.Makni,J-F.Bisson “Sensor Fault Diagnosis for Improving the Availability of Electrical Drives” Industrial Electronics Society, IECON2013-39th Annual Conference of the IEEE.
- [26] I.BenAmeurBazine“ Identification en boucle fermé de la machine asynchrone : Application à la détection de défaut ” Thèse de doctorat, Université de Poitiers et de L’université de Tunis EL MANAR, 2008
- [27] SannaJelassi “ Impact d’un court-circuit interne au stator d’une machine asynchrone sur les phénomènes générés par la denture” Thèse de doctorat, Université d’Artois et de L’université de Monastir, 2011.
- [28] Xu Boqiang, Zhou Huihuan, SunLiling “weak-signal detection and the application in detection of electricalmotors faults” Electrical Machines and Systems. ICEMS, International Conference On, 2007.
- [29] Vincent Devanneaux “Modélisation des machines asynchrone triphasées à cage d’écureuil en vue de la surveillance et du diagnostic” Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2002.
- [30] Abdelghani Chahmi. ANALYSE FREQUENTIELLE DES DEFAILLANCES D’UNE MACHINE ASYNCHRONE. JCGE’2014, Jun 2014, st-louis, France.> hal-01378032<