



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Electrotechnique

Machine Electrique

L'utilisation de la méthode de PRONY pour la détection des défauts de court-circuit enter spires dans la MAS

Présenté et soutenu par:

LOUNISSI Bachir

&

BENZZAOUI Haythem

Jury :

Dr. Aadel GHOGGAL

Pr Université de biskra

Président

Dr. Khaled YAHYA

Pr Université de biskra

Examineur

Dr. Mohamed SAHRAOUI

Pr Université de biskra

Rapporteur



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Electrotechnique

Machine Electrique

Présenté et soutenu par:

LOUNISSI Bachir

&

BENZZAOUI Haythem

**L'utilisation de la méthode de PRONY pour la
détection des défauts de court-circuit enter spires
dans la MAS**

Présenté par :

Bachir LOUNISSI

Haythem BENZZAOUI

Avis favorable de l'encadreur

Mohamed SAHRAOUI *signature*

Avis favorable du Président du Jury

Dr. Adel GHOGGAL

signature

Cachet et signature

Résumé :

Dans ce sujet nous avons proposé une approche pour la détection online d'un défaut de court-circuit entre spires statoriques. Cette approche est basée sur l'analyse d'un ensemble des indicateurs définis à partir des impédances statoriques et des composantes symétrique calculées via les amplitudes des harmoniques fondamentaux issus des courants et tensions statoriques. L'estimation et la suivi de l'évolution des différents indicateurs ont été réalisés à l'aide de la méthode de PRONY qui offre la possibilité de l'implantation en temps réel. Les testes expérimentaux effectués et les résultats obtenus prouvent l'efficacité de l'approche proposée quant à la détection de défaut CCSP et la séparation entre la présence de ce défaut et un déséquilibre de tension.

ملخص:

في هذا الموضوع اقترحنا منهجية تسمح لنا بالكشف المباشر للدائرة قصيرة بين لفات اللولبية للعضو الثابت للمحرك اللاتزامني. يعتمد هذا النهج على تحليل مجموعة من المؤشرات المحسوبة من ممانعات للجزء الثابت المحسوبة هي أيضا عن طريق ساعات التوافقيات الأساسية الناتجة عن جهود والتيارات الجزء الثابت. تم إجراء تقدير ومتابعات مختلفة والتي سمحت لنا بالتطبيق المباشر والفعلي للاختبار المؤشرات باستخدام تقنية PRONY التجريبية والنتائج التي تم الحصول عليها تثبت فعالية النهج المقترح فيما يتعلق بالكشف عن دائرة قصيرة بين اللفات اللولبية للعضو الثابت والفصل بين هذا العطب وبين عدم التوازن في جهد التغذية

Dédicace



Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très cher parents, ma mère qui m'a encouragé et
priée durant toute sa vie pour que je puisse réussir, et à mon
père qui est toujours prêt à tout donné afin de me voir devenir
ce que je suis, merci mes parents. A la grande famille, oncles et
oncles maternels , Mon grand-père et ma grand-mère*

À ma chère tante(yaya)

*A tous mes ami(e)s plus particulièrement l'équipe (Rahim,
Mouhi , Mouaadh , nassim , saaid , gaga , nono, ...) et à mon
binôme **HAYTHEM** et toute la promotion 2019/2020,*

Électrotechnique

L.BACHIR

Dédicace



Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers idéals parents ma mère et mon père qui sont à l'origine de toutes mes promesses pour leur soutien dont j'ai bénéficié et qui ont tout attendu ce jour. Qui ont toujours aidé dans toutes les circonstances aussi bien difficiles que faciles par leurs conseils pertinents et encouragent, leurs prières jour et nuit

• À mes frères

• À mes sœurs

À tous mes proches et amis qui m'ont encouragé à continuer mon travail malgré toutes les difficultés

B.HAYTHEM

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons a remercié en Premier lieu الله Miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage afin d'accomplir ce modeste travail et de nous avoir permis d'atteindre la fin de notre formation.

*Nos remerciements et notre reconnaissance vont à notre promoteur **Dr. M.SAHRAOUI** qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidés pendant l'élaboration de ce mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils précieux,*

Nous adressons nos sincères salutations et nos vifs remerciements à tous ceux qui nous encouragés et donnés les mains d'aides, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail afin qu'il soit présentable.

*Nous tenons également à remercier chaleureusement les membres du jury: **A.GHOGGAL** Professeur à l'Université de Biskra, Professeur **Khaled Yahya***

Enfin nous exprimons notre reconnaissance à tous les Enseignants du département de génie électrique qui ont

contribués à notre format

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Défauts des machines électriques selon leurs origines.....	6
TAB II.1 les différents familles d'harmonique du courant statorique.....	13
Tableau III.1 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence de défaut de CCSP...35	
Tableau III.2 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence de défaut de déséquilibre.....	42
Tableau III.3 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence d'un variation dans la charge.....	49
Tableau III.4 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence d'un défaut de CCSP, défaut de déséquilibre et variation dans la charge.....	51

Liste des figures

Figure 1.1 : Eléments de constitution d’une MAS à cage d’écureuil.....1

Figure 1.2: Stator.....2

Figure 1.3 : Rotor à simple cage.....3

Figure 1.4 : différents défauts du stator.....7

Figure 1.5: (a) Court-circuit entre spires de la même phase, (b) Enroulement court circuit.....7

Figure 1.6 (a) Rupture d’une barre de court-circuit, (b)Rupture d’un anneau de court-circuit.....8

Fig. II. 1: Représentation fréquentielle d’un signal temporel.....12

Fig. II.2 Les harmoniques TH..... 14

Fig.II.3 Les harmoniques EFH..... 14

Fig. II.4 Les harmoniques de RSH..... 15

Fig. II.5 Les harmoniques RBFH..... 16

Fig.II.6 représentation d’un court-circuit entre spires d’une bobine statorique.....17

Fig. II. 7 :Spectre du courant à l’état sain et court-circuit et déséquilibrée.....19

Fig. III.1 : Schémas simplifié montrant les prises réalisées pour faire des courts-circuits entre différents nombres de spires de phase.....25

Fig. III.2 séquence direct.....26

Fig.III.3 : séquence inverse.....27

Fig.III.4 : séquence homopolaire27

Fig. III.5 : Schéma représentatif de la méthode proposée pour la détection de défaut de court-circuit entre spires statoriques.....	29
Fig. III.6 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit	30
Fig. III.7 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.....	31
Fig. III.8 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tensions statoriques à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.....	32
Fig. III.9 : (DELTA_imp_i) et (DELTA_imp_o) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court circuit.....	33
Fig. III.10 : (DELTA_cur_i) et (DELTA_cur_o) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.....	34
Fig. III.11 : (DELTA_vol_i) et (DELTA_vol_o) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.....	35
Fig. III.12 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre.....	37
Fig. III.13 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre.....	38
Fig. III.14 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tensions statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre.....	39
Fig. III.15 : (DELTA_imp_i) et (DELTA_imp_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre	40
Fig. III.16 : (DELTA_cur_i) et (DELTA_cur_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre.....	41
Fig. III.17 : (DELTA_vol_i) et (DELTA_vol_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre.....	42

Fig. III.18 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	43
Fig. III.19 les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	44
Fig. III.20 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tension statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	45
Fig. III.21 : (DELTA_imp_i)et (DELTA_imp_o) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	46
Fig. III.22 : (DELTA_cur_i)et (DELTA_cur_o) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	47
Fig. III.23 : (DELTA_vol_i)et (DELTA_vol_o) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge.....	48
Fig. III.24: Evolution des indicateurs(Δ_{vol_o}), (Δ_{vol_i}) pour une séquence des évènements.....	52

Liste des abréviations

$s = g$: le glissement dû au fondamental.

N_b : Nombre de barres rotoriques de moteur asynchrone à cage.

f_e : La fréquence d'échantillonnage.

T_a : Le temps d'acquisition.

N_e : Le nombre des échantillons.

Δf : La résolution fréquentielle.

f_{TH} : Les harmoniques du temps.

f_{RSH} : Les harmoniques d'encoches rotoriques (RSH).

f_{EFH} : Excentricité Fault Harmonics (EFH)

f_{RBFH} : Rotor Bar Fault Harmonics (RBFH).

f_{PSH} : L'harmonique principal d'encoches rotoriques (PSH).

P : Nombre de paires de pôles.

f_r : La vitesse mécanique du rotor exprimée en Hertz.

f_s : La fréquence fondamentale.

v : L'ordre du temps harmonique.



SOMMAIR

Introduction générale

Chapitre I: Généralité sur la Machine Asynchrone

I.1. introduction	1
I .2. Eléments de constitution de la machine asynchrone	1
I .2.1. Stator	2
I .2.2. Rotor.....	2
I .2.3. Paliers.....	3
I .2.4. Les organes mécaniques.....	3
I .3. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone.....	4
I.4. La maintenance.....	4
I.4.2 Types de la maintenance.....	5
I.4.2.1. Maintenance préventive.....	5
I.4.2.1.1. Maintenance systématique.....	5
I.4.2.1.2. Maintenance conditionnelle.....	5
I.4.2.2. Maintenance corrective.....	5
I.5. Défaillances de la machine asynchrone.....	6
I.5.1. Défauts statoriques.....	6
I.5.2 Défauts rotoriques.....	7
I .6. Méthode de diagnostic.....	7
I.6.1. Méthode de diagnostic sans modèle	7

SOMMAIR

I.6.2. Méthodes avec modèle.	9
I.7. Conclusion.....	10
<i>Chapitre II : Contenu spectral de courant statorique</i>	
II.1 Introduction	11
II.2. Analyse spectrale du courant statorique	11
II.3. La Transformée de Fourier.....	11
II.4. Théorème de Shannon.....	12
II.5. Différentes familles d'harmoniques existant dans le spectre du courant statorique	12
II.6 Les différents harmoniques existant dans le courant statorique.....	13
II.6.2 Harmoniques de défaut d'excentricité (EFH)	14
II.6.3 Harmoniques d'encoches rotoriques RSH.....	15
II.6.3.1. Définition PSH.....	15
II.6.4 Les harmoniques des défauts des cassures de barres RBFH.....	15
II.7. Etude de spectre du courant statorique avec défaut de court circuit entre spires..	16
II.8. l'effet de court-circuit et déséquilibre de tension d'alimentation sur Spectre du courant.....	18
II.9. Conclusion.....	20
<i>Chapitre III : Détection défaut de court-circuit par l'analyse des indicateurs définis</i>	
III .1. Introduction.....	21
III.2 La Méthode de prony.....	21
III.2.1 La Méthode de prony Modifier.....	22

SOMMAIR

III.3 défaut de court circuit.....	25
III. 4. Déséquilibre de tension d'alimentation.....	26
III.5. Impact du défaut de court-circuit sur les indicateurs définis.....	29
III.6. Test de fiabilité des indicateurs proposés.....	36
III.6.1. L'effet de déséquilibre sur les indicateurs.....	36
III.6.2 L'effet de variation de la charge sur les indicateurs.....	43
III.7. Validité de les indicateures (Δ_{vol_o}) (Δ_{vol_i}) pour une séquence des	
Evénements.....	52
III.8.Conclusion.....	53



***Introduction
générale***

Introduction générale

La machine asynchrone, de part sa construction, est la plus robuste et la moins chère du marché. Cette machine est largement utilisée dans la plupart des entraînements électriques dans plusieurs domaines industriels, notamment pour des applications à vitesse constante ou à vitesse variable. Comme toute autre machine, la machine asynchrone n'est pas à l'abri d'un dysfonctionnement. Elle peut être affectée par des défauts électriques ou mécaniques au niveau du stator, ou du rotor, ou les deux en même temps. Les causes des défauts peuvent être dues à un simple problème de fabrication ou à une utilisation non conforme de la machine. Ceci a poussé la majorité des industriels à doter leurs chaînes de production par des systèmes sophistiqués de détection et de diagnostic de défauts. Ces deux dernières fonctions ont pour objectif d'une part l'amélioration de la sécurité des êtres humains et des biens et d'autre part l'augmentation des gains de productivité résultant de l'accroissement de la disponibilité des équipements et d'une gestion efficace des opérations de maintenance. Un système de surveillance n'a pas pour vocation de remplacer l'homme mais pour l'aider dans sa prise de décision finale.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire présente la détection Online de défaut de court-circuit entre spires statoriques dans la machine asynchrone à partir l'évolution des indices calculés. Cet outil d'analyse et diagnostic de défaut est basé sur l'utilisation du spectre par la méthode de PRONY. Pour mener cette étude, le mémoire est structuré en trois chapitres:

Le premier chapitre, est consacré sur l'état de l'art du diagnostic de défaut de la machine asynchrone. Une citation des divers défauts pouvant affecter le bon fonctionnement de la machine asynchrone ainsi que les différentes méthodes de détection et diagnostique de ces défauts sont représentés.

Le deuxième chapitre on a étudié le Contenu spectral de courants statoriques comme un méthode de diagnostique cet dernier qui a basée sur FFT. et en vu les quatre famille d'harmonique qui toujours existe dans le spectre et on a démontrons la limite cette méthode pour la détection le défaut de court-circuit.

Introduction générale

Le troisième chapitre , dans cet chapitre on a utilisée la méthode de PRONY pour l'estimation des impédances statoriques, les composantes symétriques et les amplitudes et des fréquences de fondamental des trios courants et les trios tensions statoriques, en suite l'évolution des indices calculés, pour déduire un indicateur bien défini pour la détection de défaut de court-circuit entre spires statoriques et distinguer entre eux le déséquilibre de tension et variation de charge,

CHAPITRE 01

Généralité sur la Machin Asynchrone

I.1. introduction

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués d'empilement de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans les quelles sont placées les enroulements. Le stator qui est fixe comporte un bobinage triphasé dont les bornes sont reliées à la source. L'objectif de ce type de bobinage est d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer. Le rotor est monté sur un axe de rotation. [ISRC]

I.2. Eléments de constitution de la machine asynchrone:

Il comporte un inducteur fixe nommé stator et un induit nommé rotor. C'est un transformateur à champs tournant dont le primaire est le stator et dont le secondaire mis en court-circuit et libre de tourner est le rotor.

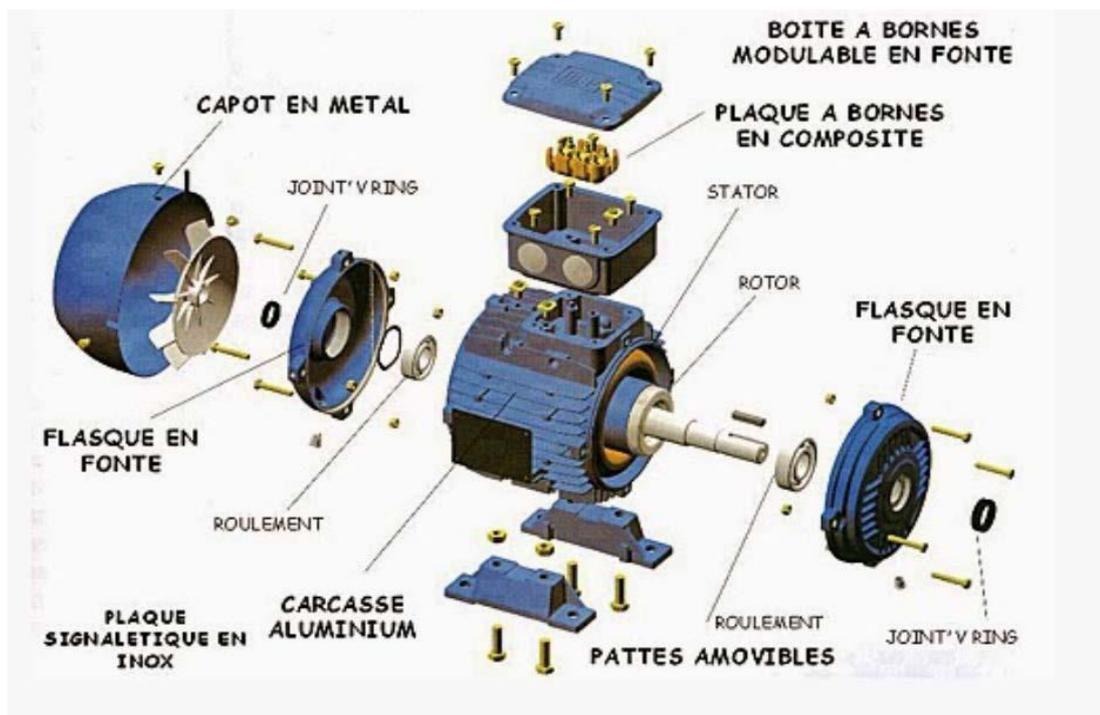


Figure 1.1 : Eléments de constitution d'une MAS à cage d'écureuil

I.2.1. Stator

Il est constitué par une couronne des tôles empilées. Ce sont des tôles minces (0.5mm), de la qualité 1.6 W/kg. Cette couronne est serrée dans une carcasse. Débouchant à l'intérieur de l'anneau ainsi formé, des encoches contiennent un enroulement Triphasé. Cet enroulement peut être bipolaire, tétrapolaire, à six pôles,...etc. Les entrées et les sorties des trois phases aboutissent à une plaque à borne. [2MBP]

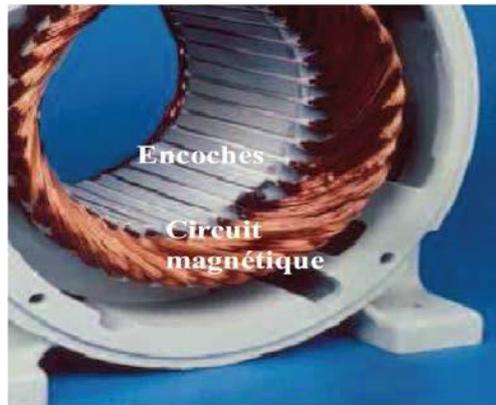


Figure 1.2: Stator

I.2.2. Rotor

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques qui court-circuitent les extrémités des barres, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné, est d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue, et de loin, la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones en service.

Son inconvénient majeur est qu'il ne permet pas d'insérer un rhéostat et qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et couple faible). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de moteur (rotor à double cage et rotor à encoches profondes). [4PJG]

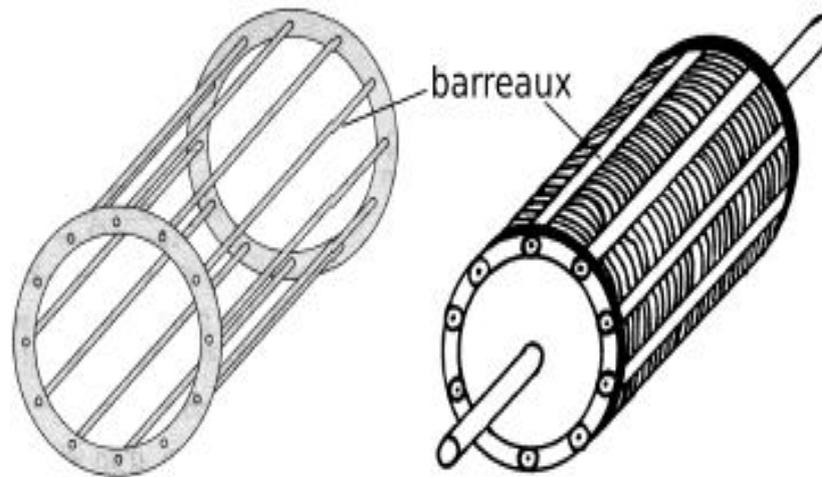


Figure 1.3 : Rotor à simple cage

I.2.3. Paliers

Les paliers ont pour rôle de soutenir le rotor et assurent sa libre rotation. Les déplacements axiaux sont bloqués par un calage longitudinal sur l'un des paliers; l'autre palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Lorsque les forces axiales exercées sur le rotor sont importantes, le calage longitudinal est assuré par une butée. Les dissymétries des reluctances du circuit magnétique engendrent des courants dans l'arbre qui sont éliminés par isolation électrique de l'un des paliers par une feuille isolante. On distingue deux types de paliers : **lisses et à roulements**. [5TRH]

I. 2.4. Les organes mécaniques

La carcasse joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission comprenant une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et assurent sa libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance. [MR09]

I.3. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone

Le branchement est très simple, trois fils amènent le courant de ligne à l'enroulement du Stator. Le rotor est en court-circuit.

Dès que le stator est alimenté par des courants triphasés de pulsation ω il se produit un champ tournant, si le bobinage comprend 2 pôles ce champs tourne à la vitesse angulaire $\Omega_s = \omega/p$, dite vitesse de synchronisme. Ce champ balais les conducteurs de rotor induit des forces électromotrices, .Le rotor étant en court-circuit, ces forces électromotrices y produisent des courants induits. Ces courants, placés dans le champ tournant forme un couple. Le rotor étant libre, ce couple le fait tourner, .Le sens de rotation est tel que, d'après la loi de Lenz, la rotation s'oppose à la cause qui lui donne naissance, .Cette cause est le Déplacement du champ par rapport aux conducteurs du rotor.

Le rotor tourne donc pour rattrape le champ, soit dans le même sens que le champ. Mais il ne peut tourner aussi vite, car il n'y aurait plus déplacement du champ par rapport Au rotor, donc plus de courants induits et plus de couple, .C'est parce que le mouvement du rotor n'est pas synchrone de celui du champ que ce Moteur est dit asynchrone. [ISRC]

I.4. La maintenance

Le terme de maintenance désigne l'ensemble des techniques d'entretien et de la vérification qui sont en œuvre pour permettre une utilisation optimale des machines dans une installation industrielle

I.4.1 Objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

✓ **Objectifs financiers :**

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

✓ **Objectifs opérationnels :**

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.

- Entretien des installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.

I.4.2 Types de la maintenance :

Nous distinguons plusieurs types de maintenance

I.4.2.1. Maintenance préventive :

Qui vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système. Pour cela elle s'appuie sur :

I.4.2.1.1. Maintenance systématique :

Qui consiste à changer suivant un échéancier établi à l'avance des organes jugés Proches de l'usure. Elle est définie par les lois de la conception par le constructeur et remplie par l'expérience des agents de la maintenance. C'est la plus simple et la plus utilisée jusqu'à présent.

I.4.2.1.2. Maintenance conditionnelle :

Qui demande au préalable d'effectuer un diagnostic avant de remplacer l'organe en question. Elle s'applique particulièrement aux machines tournantes. Elle est basée sur l'analyse :

- Externe des machines (corrosion, ancrages, etc.....)
- Des paramètres de procès (température, pression débit
- Des huiles de lubrification et étanchéité.
- Des températures d'organes des machines
- Des vibrations et des bruits au niveau des organes.

I.4.2.2. Maintenance corrective :

Qui vise à intervenir à la suite de pannes. Cela ne veut pas dire que toutes ces pannes n'ont pas été prévisibles. Ce type de maintenance sera facilité par une bonne maintenabilité (aptitudes à maintenir ou à rétablir un dispositif, dans un état, lui permettant d'accomplir sa fonction). Il pourra permettre d'améliorer la fiabilité globale en analysant les problèmes rencontrés en contrôle techniques ou cercles de qualité ou avec les constructeurs. [SAH10]

I.5. Défaillances de la machine asynchrone

Les défaillances peuvent être d’origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques, .Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes:

- ✓ *Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts* : surchauffe du moteur, défaut électrique(court-circuit), survoltage d’alimentation, problème d’isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- ✓ *Les amplificateurs de défauts* : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.
- ✓ *Les vices de fabrication et les erreurs humaines* : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, [4PJG]

Défaillances des machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
		Électrique	Mouvement des enroulements et des tôles
			Défaillance au niveau de l’isolation
			Rupture de barre
	Externe	Mécanique	Défaillance au niveau du circuit magnétique
			Charge oscillante
			Surcharge de la machine
		Environnementale	Défaut de montage
			Humidité
			Température
		Électrique	Propreté
Fluctuation de la tension			
Sources de tensions déséquilibrées			
			Réseau bruité

Tableau 1.1 : Défauts des machines électriques selon leurs origines

I.5.1. Défauts statoriques

Les défauts statoriques sont principalement dus à un problème thermique ou électrique, parmi lesquels :

- ✓ Un grand noyau du stator ou la température d'enroulements est élevé.
- ✓ Attachement lâché à la fin de l'enroulement.
- ✓ Contamination due à l'huile.
- ✓ Surtension, décharges électriques.

- ✓ Les fuites dans les systèmes de refroidissement.
- ✓ Dégradation des isolants.

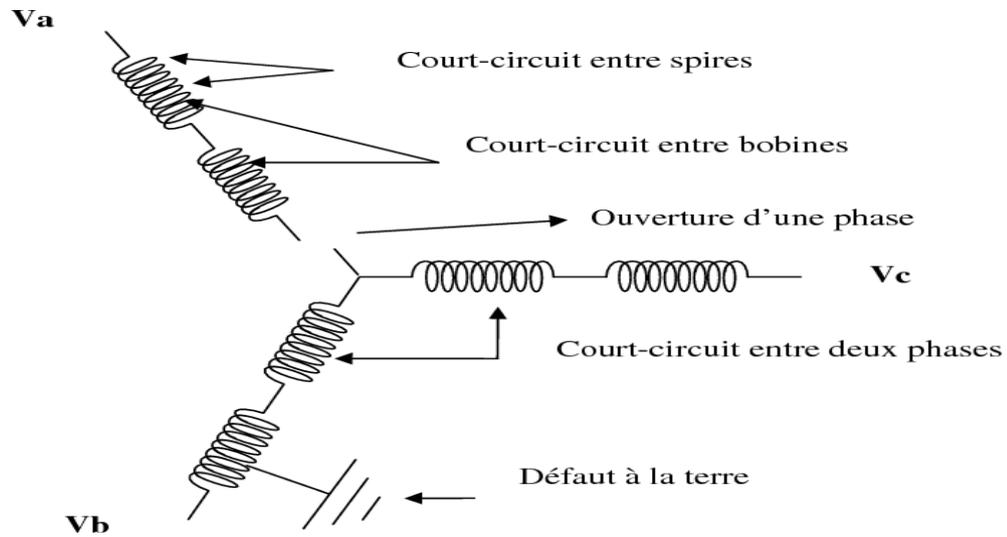


Figure 1.4 : différents défauts du stator

a. Court-circuit entre spires :

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné.

Un court-circuit entre spires de même phase ne conduit pas à un arrêt.

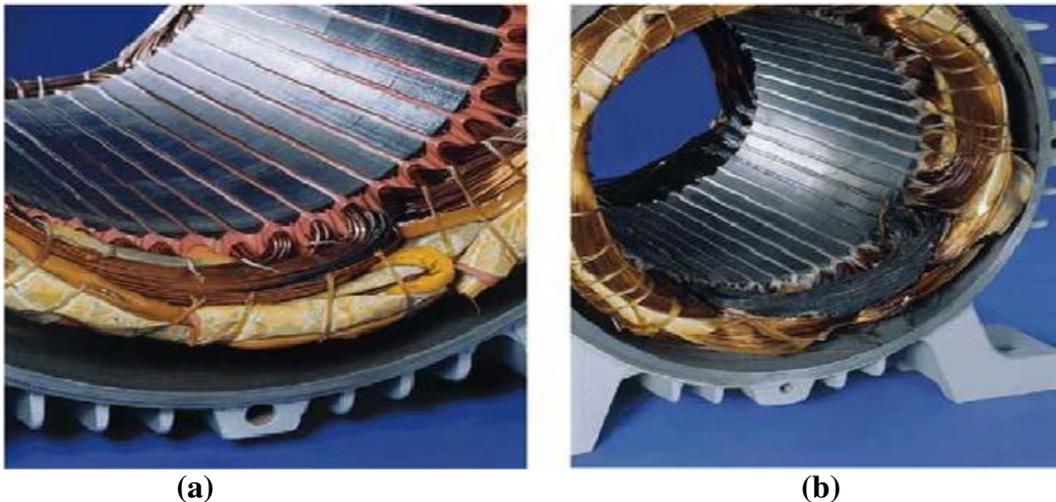


Figure 1.5: (a) Court-circuit entre spires de la même phase, (b) Enroulement court circuit

b. Court-circuit entre phases : Un court-circuit entre phases est un défaut front UI provoquerait un arrêt brusque de la machine.

c. Circuit ouvert sur une phase : Les conséquences d'ouverture de phase sont moins graves

qu'un court circuit entre spires ou entre phases. Le courant ne peut pas circuler, et ça ne pose donc pas de problème d'échauffement pouvant détériorer le reste de bobinage.

I.5.2 Défauts rotoriques : Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème

- *Défauts de roulements*
- *Défauts Excentricité (statique, dynamique et mixte)*
- *Cassures de barres rotoriques ou les anneaux de court-circuit rotorique*

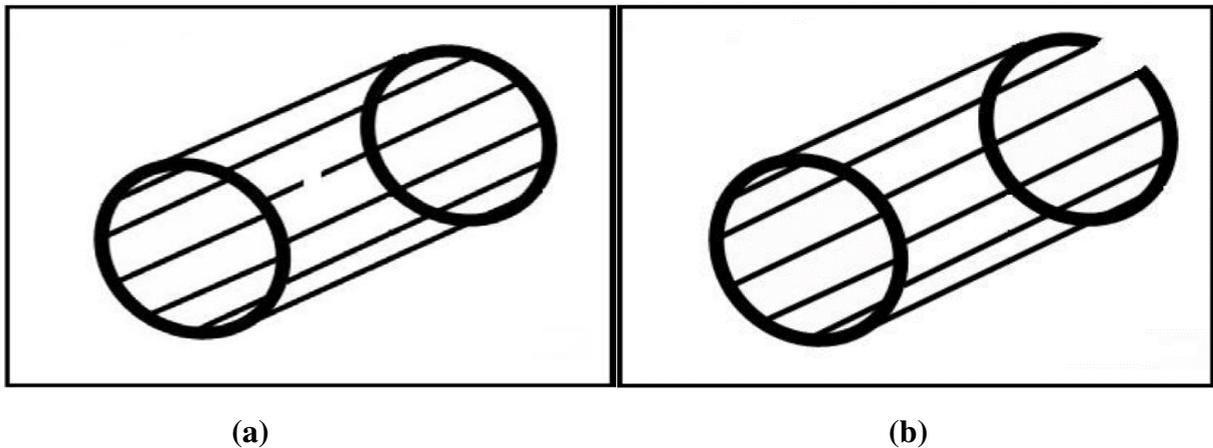


Figure 1.6 (a) Rupture d'une barre de court-circuit, (b) Rupture d'un anneau de court-circuit

I.6. Méthode de diagnostic

Pour effectuer un diagnostic, il est nécessaire de procéder à une ou des analyses afin d'interpréter les signaux issus des capteurs tant sur le plan fréquentiel que temporel. Parmi tous les signaux permettant d'établir un diagnostic, ceux-ci peuvent provenir de la mesure du courant absorbé par le moteur électrique, le carré de ce courant, la puissance instantanée....

Il est important de savoir que les différentes méthodes de diagnostic sont classées selon les approches auxquelles elles appartiennent. En effet, il existe deux approches.

- Approche sans modèle.
- Approche avec modèle

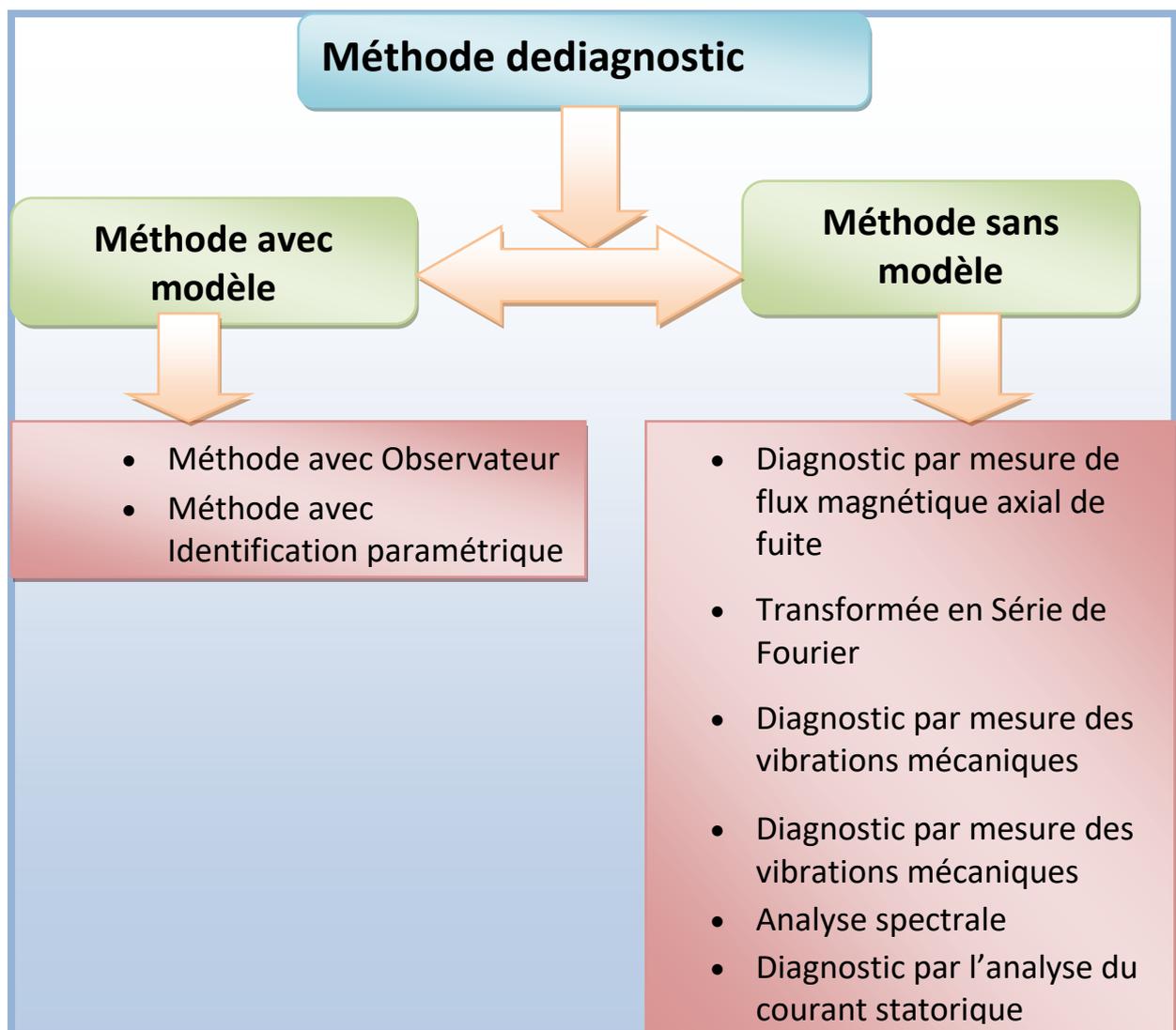
I.6.1. Méthode de diagnostic sans modèle

Ces méthodes ne nécessitent pas forcément de modèle analytique précis du système mais

reposent plutôt sur une reconnaissance de signatures, les signatures de défauts, obtenues par une modélisation ou par mesure sur maquette, sont généralement dans une base de données. L'analyse est réalisée par une interprétation du type signal ou par système expert. Parmi ces méthodes on trouve. (Diagnostic par mesure de flux magnétique axial de fuite, Transformée en Série de Fourier, Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques, Analyse spectrale ...).

I.6.2. Méthodes avec modèle

Les méthodes de diagnostic à base de modèle sont issues principalement de l'automatique et supposent une connaissance a priori du système. Elles prennent en compte les équations régissant les phénomènes internes du système et qui expriment les connaissances profondes sous la forme d'un modèle mathématique, (Méthode avec Observateur, Méthode avec Identification paramétrique). [MYB]



I.7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la MAS de manière générale et les différents défauts avec un certain nombre des méthodes de diagnostic.

Parmi ces méthodes l'analyse spectrale du courant statorique qui fait l'objet de ce travail, cette méthode et très utilisé pour la détection des défauts mécaniques et électriques, son principe est basé sur l'emploi des grandeurs électriques qui sont faciles à mesurés.

CHAPITRE 02

Contenue spectral de courant statorique

II.1 Introduction

Le but dans ce travail est la détection d'un défaut de court-circuit entre spires statoriques ,et afin que éviter ce défaut nous allons utiliser de nombreux méthodes et pour cela dans ce chapitre nous allons proposer la méthode de l'approche signal , nous allons utiliser l'analyse spectrale (via FFT) de signal de courant statorique et nous allons explorer le contenu spectral du courant statorique pendant l'état sain avec défaut et nous allons essayer de découvrir l'exactitude de cette méthode et d'arriver à un diagnostic fiable de ce type défaut .

II.2. Analyse spectrale du courant statorique

La machine asynchrones soit réputée par ses qualités de robustesse et de fiable cout de construction il arriver néanmoins que celle-ci présente de pannes électriques ou mécaniques alors dans cette chapitre nous allons vers l'analyse spectrale des signaux (les courants statorique ,les flux de fuites ,le couple ,la vitesse, les vibration ,la puissance parce que cette méthode est l'approche la plus utilisée pour détecter les défauts électriques ou mécaniques dans les machines asynchrones plusieurs techniques traitement de signal ont été utilisées depuis longtemps pour analyses le contenu spectrale des différents signaux issus des machines électriques parmi de la méthode la plus utilisé, on trouve la « transformée de fourrier rapide »(TFR) cette technique permet de décrire les signaux temporels par leurs spectres fréquentiels

I.3 La Transformée de Fourier :

On rappelle que la transformée de Fourier Rapide (f) d'un signal continu dans le temps est donnée par :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).e^{-j\omega t}.dt$$

Son inverse est donnée par :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(f).e^{j\omega t}.dt$$

Avec un ordinateur, il est impossible de calculer la FFT $x(f)$ pour une valeur quelconque de la fréquence f . Donc, on ne calcule la FFT que pour des multiples df . C'est la notion de la Transformée de Fourier Discrète (DFT). En conséquence, la DFT $x(n)$ d'un signal échantillonné est. Donne par :

$$x(n) = \sum_{k=1}^{Ne} x(k)e^{-j2\pi k \frac{n}{Ne}} \text{ avec } n= 1, 2, 3, 4, 5 \dots Ne$$

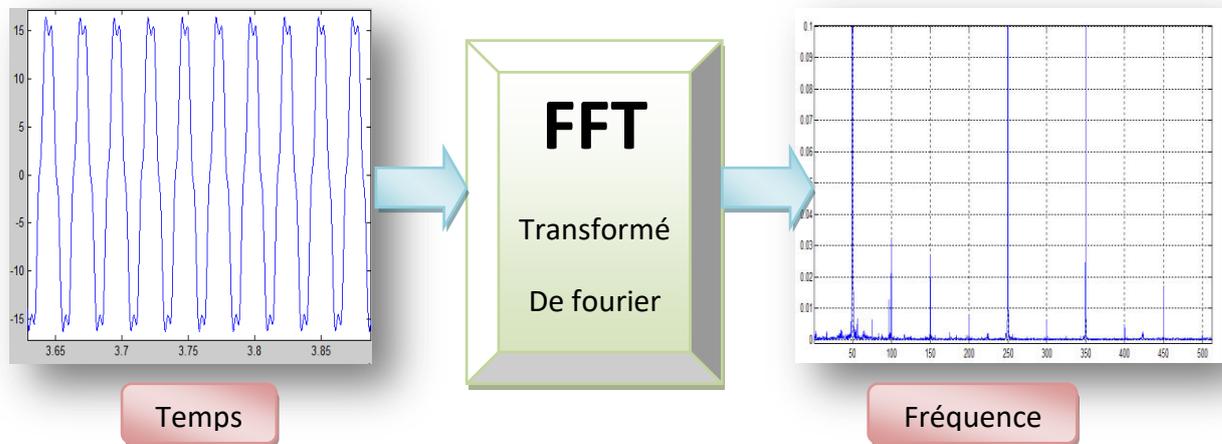


Fig. II. 1: Représentation fréquentielle d'un signal temporel

II.4. Théorème de Shannon :

Un signal $x(t)$ peut être représenté de manière univoque par une suite de valeurs échantillonnées si la fréquence d'échantillonnage f_e est au moins deux fois plus élevée que la plus grande des fréquences contenues dans le signal (échantillonner un signal sans pertes d'informations) .[MAB17]

II.5. Différentes familles d'harmoniques existant dans le spectre du courant statorique :

Généralement, pour analyser un signal par la technique TFR, on doit prendre en compte les paramètres d'acquisition. Par exemple, les paramètres d'acquisition utilisés lors de nos essais expérimentaux sont les suivants :

- La fréquence d'échantillonnage : $f_e = 12800 \text{ HZ}$
- Le nombre des échantillons : $N_e = 100000 \text{ échantillons}$
- Le temps d'acquisition : $T_a = N_e * T_e = \frac{N_e}{f_e} = \frac{100000}{12800} = 7.81\text{s}$
- La résolution fréquentielle : $\Delta f = \frac{1}{T_a} = 0.1\text{HZ}$

Il est important de noter que la résolution fréquentielle Δf joue un rôle primordial quant à la clarté du spectre, elle doit être de faible valeur pour qu'on puisse séparer les harmoniques proches. [KHB15]

II.6. Les différents harmoniques existant dans le courant statorique

Une étude analytique détaillée qui a été effectuée dans [SAH 10] a identifié quatre types d'harmoniques qui sont toujours présents dans le spectre du courant statorique même à l'état sain. Le tableau II.1 présente les expressions générales des fréquences gouvernant chaque famille d'harmonique ainsi que leurs causes d'apparition.

Les différents harmoniques	Les formules globales	Les causes principales
Les harmoniques du temps (TH)	$TH = v.fs$	Ce type d'harmonique est imposé par le réseau électrique.
Harmonique de défauts d'excentricité (EFH)	$EFH = (v.fs \pm k.fr)$	Sont dus à un certain degré d'excentricité mixte résiduelle
Les harmoniques d'encoche Rotorique (RSH)	$RSH = (v.fs \pm k.Nb.fr)$	Sont dus à la structure naturelle de la Machine asynchrone à cage (la distribution discrète des barres rotorique dans les encoches rotorique.)
Harmonique de défauts de cassure de barre (RBFH)	$RBFH = (v \pm 2 kg) fs$	Sont dus à l'asymétrie résiduelle du moteur au niveau du rotor.

TAB II.1 les différents familles d'harmonique du courant statorique

Avec : $k = 1, 2, 3, \dots$; $fs = 50 \text{ Hz}$, $Nb = \text{nombre de barres}$. $v = 1, 3, 5, \dots$

II.6.1 Harmoniques du temps TH

Ce type d'harmonique est imposé par la source et toujours excité. Il est gouverné par l'expression de fréquence suivante :

$$TH = v.fs$$

Spectre des courants de la (moteur 3kw) a l'état sain à 100% de la charge nominale.

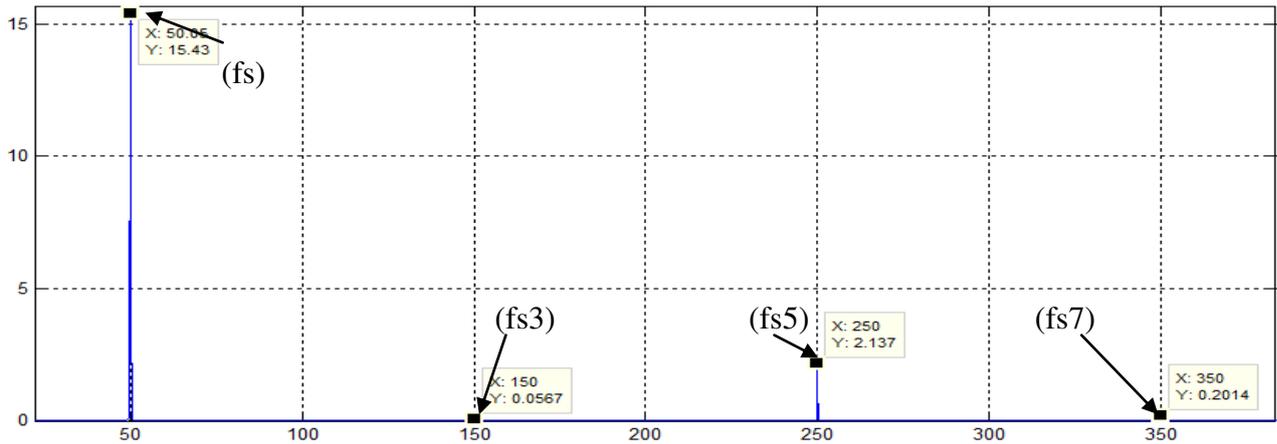


Fig. II.2 Les harmoniques TH

II.6.2 Harmoniques de défaut d'excentricité (EFH) :

L'excentricité du rotor, encore appelée excentricité de l'entrefer, non uniformité de l'entrefer ou bien désalignement

Cette harmonique apparaît dans le cas où il existe un défaut d'excentricité dans le moteur asynchrone

$$EFH = (v.fs \pm k.fr)$$

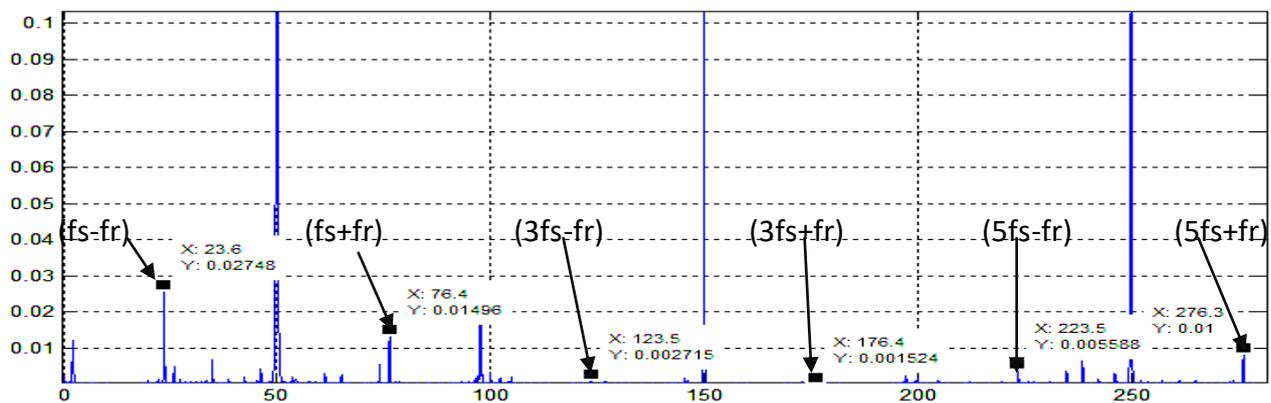


Fig. II.3 Les harmoniques EFH

II.6.3 Harmoniques d’encoches rotoriques RSH

L’induction magnétique dans l’entrefer n’est pas sinusoïdale, elle est fonction de différents paramètres, tel que la disposition du bobinage statorique et de la structure de la cage rotorique dans le cas des moteurs à cage. A cause de cette structure (répartition discrète des barres rotoriques), Il a été démontré qu’en plus de l’harmonique fondamental, il apparaît dans le spectre du courant statorique des harmoniques dite d’encoches rotoriques ayant pour fréquences :
 [TH001]

$$RSH = |(v.fs \pm k.Nb.fr)|$$

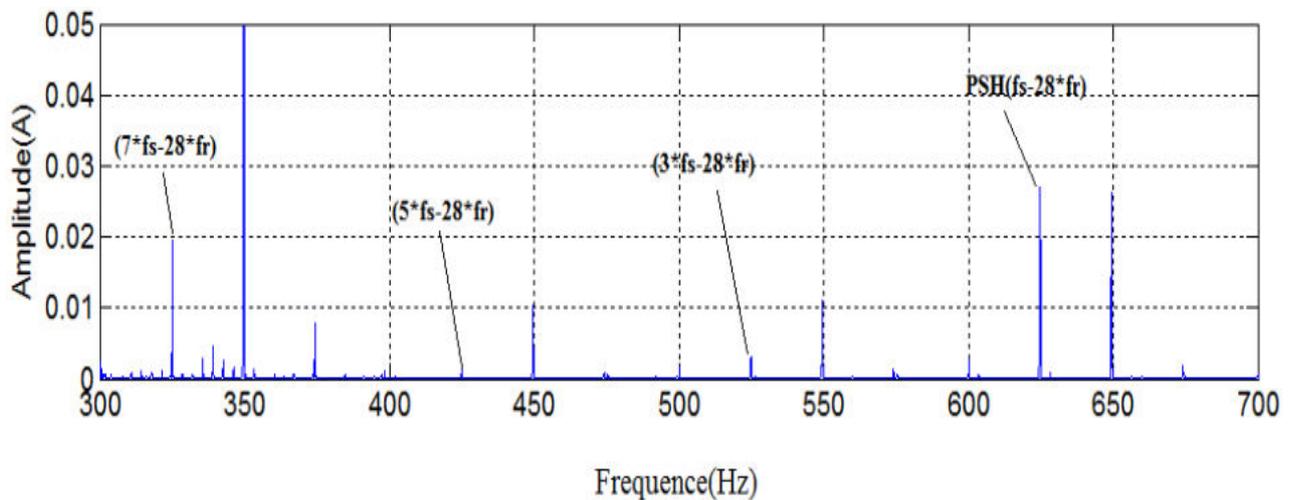


Fig. II.4 Les harmoniques de RSH

II.6.3.1. Définition PSH :

Pour k=1 et v=1 on définit ce qui sont appelés ‘harmoniques d’encoches principales (PSH).

II.6.4 Les harmoniques des défauts des cassures de barres RBFH:

Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d’asymétrie qui, dans le cas d’une Alimentation par un système de tensions triphasé symétrique, va être à l’origine d’un champ magnétique tournant inverse de fréquence (−gf) dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence : $f_{1bc} = (1-2 g) fs$.

Cette fréquence provoque une modulation du courant, ce qui provoque des oscillations du couple donnant des fluctuations de la vitesse. Alors une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence : $f_{2bc} = (1+2 g) fs$.

donc : $f_{bc} = (1 \pm 2g) f_s$

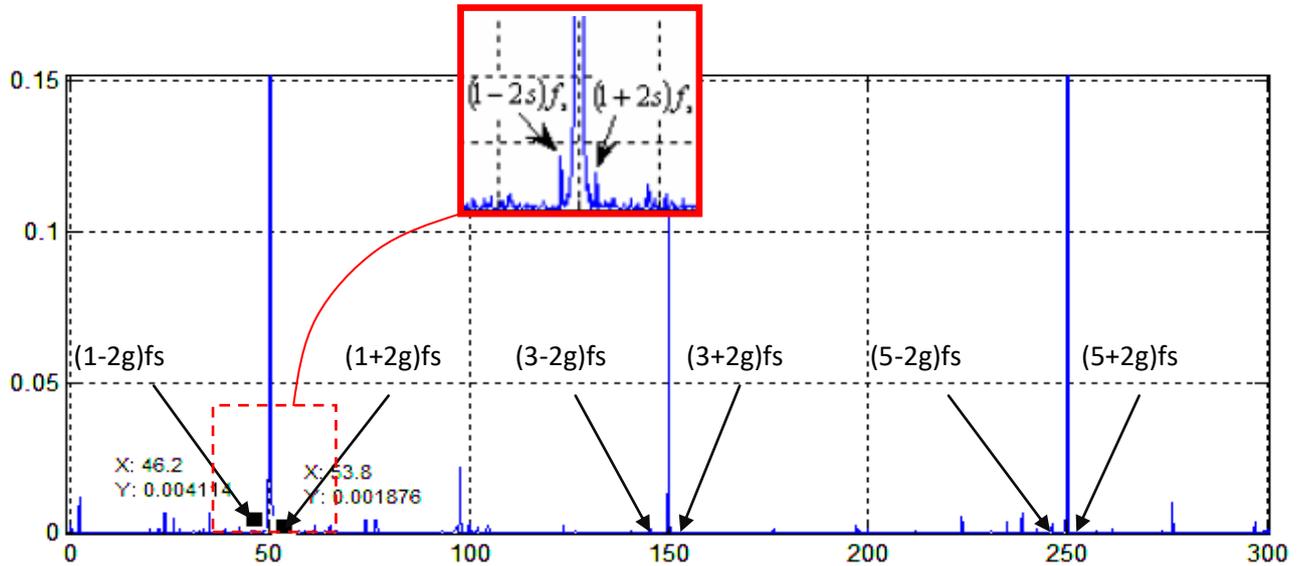


Fig. II.5 Les harmoniques RBFH

- f_s = Est la fréquence d’harmonique fondamentale.
- f_r = La fréquence de rotation rotorique.
- N_b : Nombre des barres rotorique.
- K : Un entier positif.
- g : C’est le glissement de la machine asynchrone.
- ν : Est à l’ordre du temps harmonique.

II.7. Etude de spectre du courant statorique avec défaut de court circuit entre spires :

Le court-circuit entre spires des enroulements statoriques est un défaut largement rencontré dans l’industrie. Il apparaît généralement à cause des mauvaises conditions de fonctionnement ou vieillissement des isolants qui enrobent les conducteurs [BON 88, BON 92, SID 05].

Suite à un court-circuit entre quelques spires d’une bobine statorique, il apparaît une maille supplémentaire constituée de spires court-circuitées, indépendante de la bobine d’origine (Figure III.13). Cette maille supplémentaire sera le siège d’une FEM (par conséquent un courant) créée par le champ dû à l’ensemble des enroulements statoriques et rotoriques qui l’entourent [JOK 00.a].

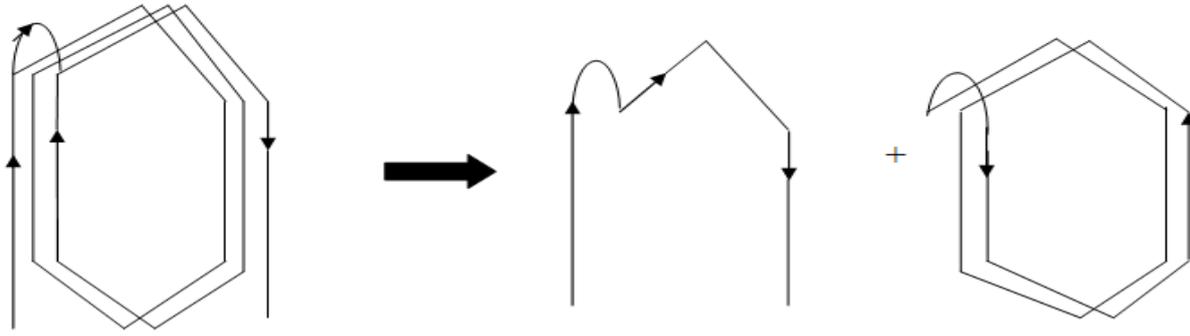


Figure II.6 : représentation d'un court-circuit entre spires d'une bobine statorique

Si on considère un court-circuit entre spires d'une bobine de la phase A, le nombre de spires de la maille supplémentaire sera très petit par rapport à celui de l'enroulement A. Par conséquent, le courant induit $I_{cc}(t)$ de court-circuit aura une amplitude de grande valeur.

$$\mathbf{I}_{cc}(t) = |\hat{I}_{cc} \sin(wst)| \quad (II.1)$$

Ce courant est en opposition de phase par rapport à $i_A(t)$. En d'autre terme, ce défaut fait diminuer le nombre de tours de la phase concernée et par conséquent sa FMM. De ce raisonnement, on peut accepter que la FMM statorique résultante, dans le cas d'un défaut de court-circuit entre spires, soit égale à la différence entre la FMM statorique à l'état sain $F_S^H(t, \theta)$ et celle $F_S^H \text{ maille. cc}(t, \theta)$ de la maille supplémentaire court-circuitée $F_{S_{cc}}^H(t, \theta) = F_S^H(t, \theta)$

$$F_S^H \text{ maille. cc}(t, \theta) \quad (II.2)$$

$$\text{Avec : } F_S^H \text{ maille. cc}(t, \theta) = N_e \text{ maille. cc}(\theta) \cdot I_{cc}(t) \quad (II.3)$$

Où $N_e \text{ maille. cc}(\theta)$ est la fonction d'enroulement de la maille supplémentaire court-circuitée. Pour un moteur à p paires de pôles, cette fonction calculée facilement.

$$N_e \text{ maille. cc}(\theta) = \sum_{n=1}^{\frac{2ws_{cc}}{n\pi}} \frac{2ws_{cc}}{n\pi} \sin\left(n \frac{\pi}{2}\right) \cos(np \theta) \quad (II.4)$$

Avec $n = k+1$ le rang des harmoniques dû à la distribution spatiale des spires court-circuitées dans les encoches statoriques.

Par conséquent, et selon les équations (II.4), (II.2) et (II.3), on obtient l'expression du terme général de la FMM générée par les spires court-circuitées :

$$F_S^H \text{ maille. cc}(t, \theta) = \frac{2ws_{cc} \hat{I}_{cc}}{n\pi} \sin\left(n \frac{\pi}{2}\right) \cos(np \theta) \sin(wst) \quad (II.5)$$

L'équation (II.4) représente l'expression d'un champ pulsant qui peut être décomposé en deux champs possédant la même fréquence temporelle mais l'un tourne dans le sens direct et

L'autre dans le sens inverse :

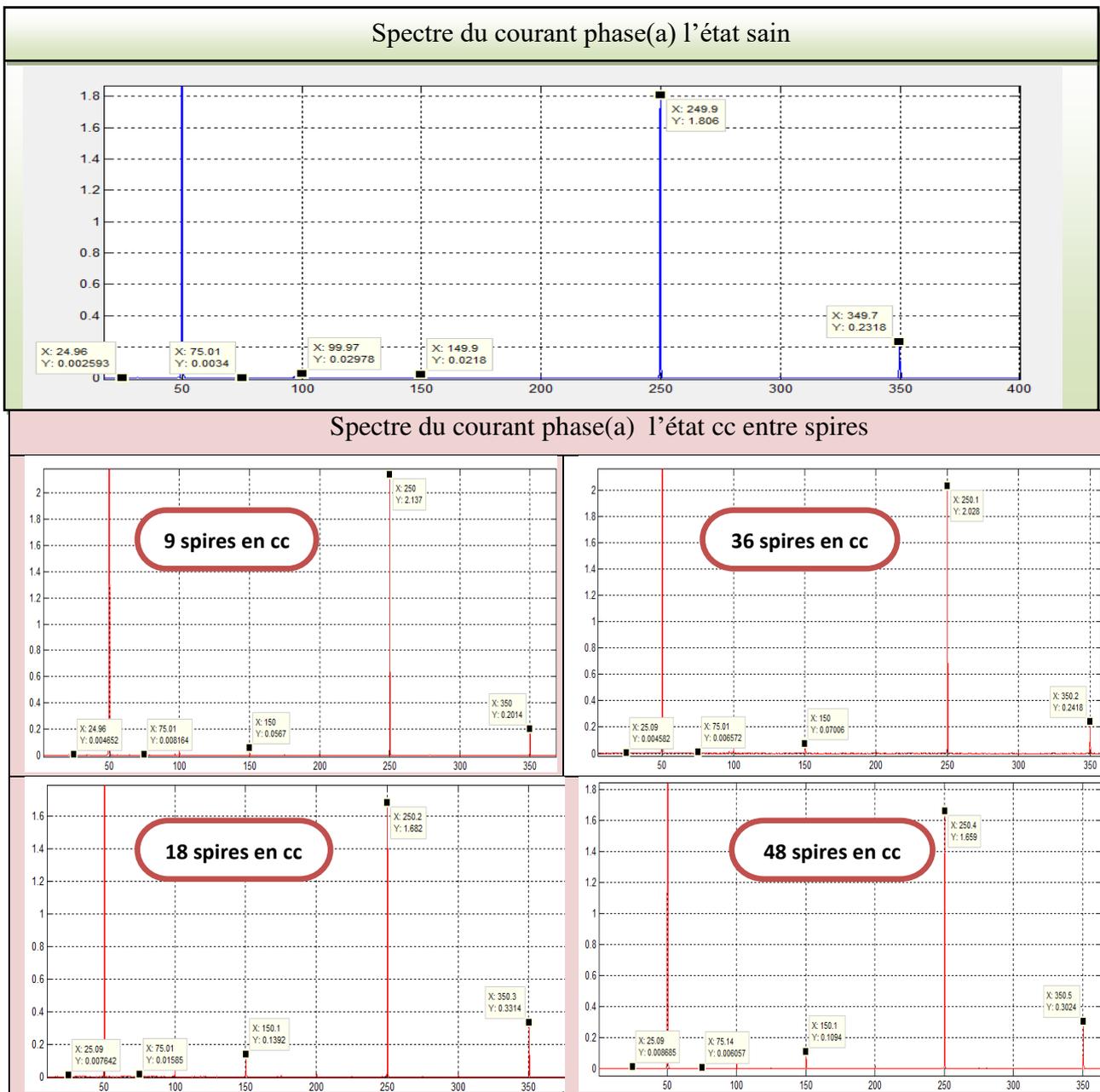
$$F_S^H \cdot \text{maille.cc}(t, \theta) = F_S^H \cdot \text{maille.cc} = [\cos(wst - np\theta) + \cos(wst + np\theta)] \quad (II.6)$$

Directe Inverse

Finalement, et selon les équations (II.1) et (II.5), on arrive à l'expression du terme générale de la nouvelle FMM créée par un bobinage statorique ayant un défaut de court-circuit entre spires [SAH10]

$$F_{S,cc}^{h,n}(t, \theta) = Fsh \sin(wst \pm hp \theta - F_S^H \cdot \text{maille.cc} \cos(wst \pm np\theta)) \quad (II.7)$$

II.8. l'effet de court-circuit et déséquilibre de tension d'alimentation sur Spectre du courant



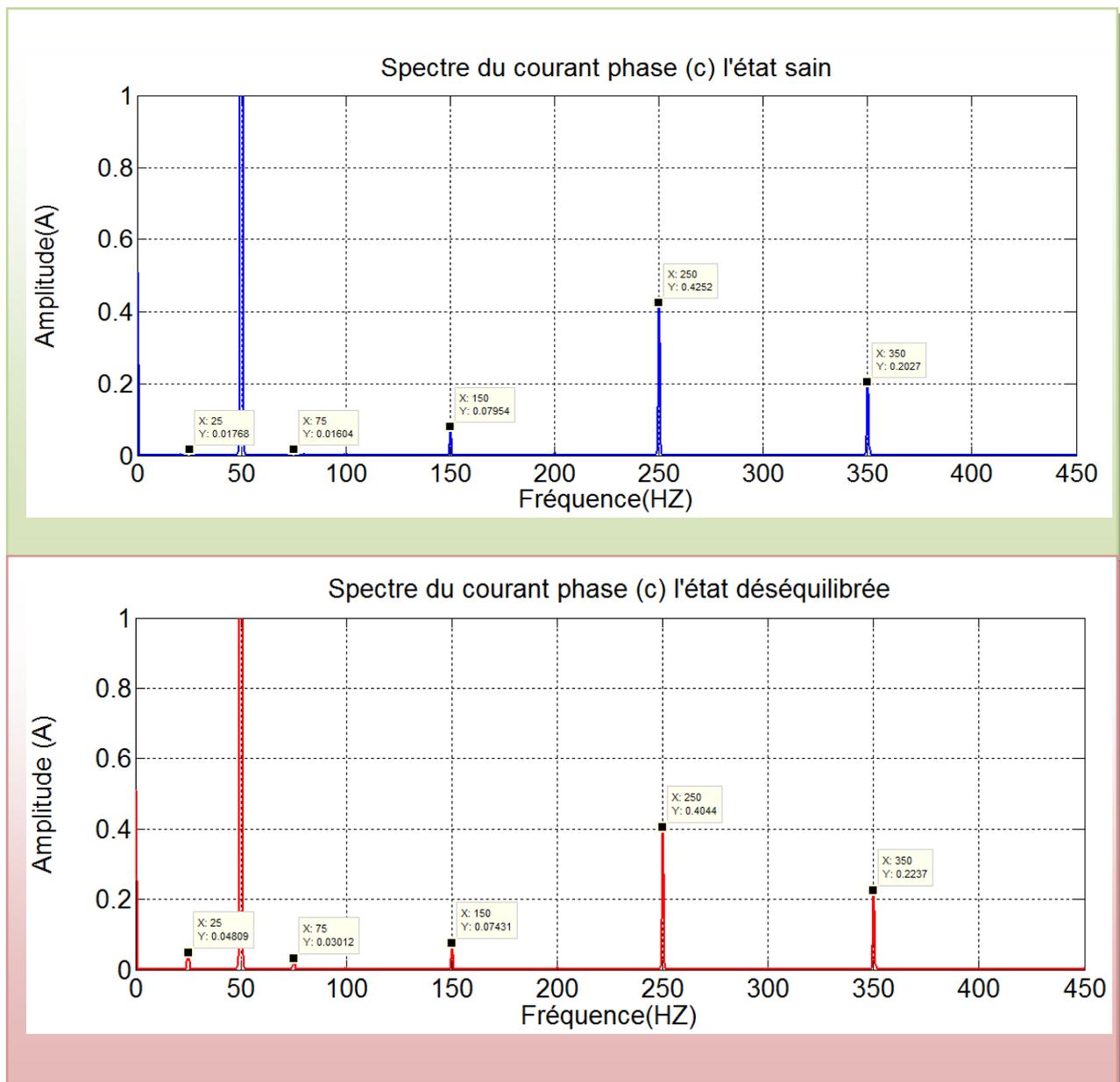


Fig. II. 7 : Spectre du courant à l'état sain et court-circuit et déséquilibrée

Remarque : Comme nous observons dans les figures (II.7), la présence d'un défaut de court-circuit entre spires statoriques, ou déséquilibre de tension d'alimentation donnent presque les mêmes effets sur le spectre de courant statorique.

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre consacré à la présentation la richesse de spectre du courant statorique en harmoniques sur tous les quatre types d'harmoniques (RSH,TH,RBFH,EFH), on a vu que le défauts de court-circuit a pas une signature spectrale spéciale dans le spectre de courant, c'est pour cette raison qu'on va proposer une nouvelle méthode basée sur l'analyse des impédances statoriques calculées à partir des harmoniques fondamentaux des tensions et courants statoriques. Cette méthode proposée sera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 03

*Détection défaut de court-circuit par
l'analyse des indicateurs définis*

III .1. Introduction

Nous avons parlé dans le chapitre précédent sur les harmoniques les plus connus dans le courant statorique et on a utilisé la FFT comme une méthode d'estimation et on a prouvé la limite de la FFT pour la détection de défaut de court-circuit entre spires. Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'utilisation de la méthode de PRONY , qui permet d'estimer et de suivre les amplitudes et les fréquences ainsi que les angles de déphasage de n'importe quelle composante fréquentielle issus des signaux des courants et tensions statoriques. Ces avantages offerts par la méthode de PRONY donne la possibilité d'estimer et de suivre l'évolution des impédances statoriques ainsi que les composantes symétriques relatives aux impédances statoriques et les tensions d'alimentation. *L'objectif principal est de définir un ensemble des indicateurs fiables permettant de détecter la présence d'un défaut de court-circuit entre spires et en particulier de distinguer entre ce défaut grave et celui dû à un défaut de déséquilibre de tension d'alimentation ou de variations dans la charge.*

III.2 La Méthode de prony

La méthode de Prony est une technique paramétrique de traitement de signal qui a été développée par **Gaspard de Prony** en 1795. Cependant, elle a connu un essor important seulement depuis 20 ans à cause de développement énorme des moyens de calcul. Elle fait donc l'objet de nombreuses publications présentant différentes variantes modernes de son algorithme primitif.

La méthode de Prony originale permet d'extraire le comportement sinusoïdal ou exponentiel d'un signal échantillonné en résolvant un ensemble d'équations linéaires issus d'un modèle mathématique du signal étudié. Donc, la méthode de Prony modélise la forme d'onde d'un signal échantillonné par une somme linéaire d'exponentielles complexes conjuguées.



Par exemple, supposons un signal $x[n]$ de N échantillons, la méthode de Prony classique rapproche l'ensemble des échantillons à une combinaison linéaire des fonctions exponentielles complexes. Cette combinaison représente l'expression du signal estimé $\hat{x}[n]$ [SAH 10] :

$$\begin{aligned} \text{Telque} \quad \hat{x}[n] &= \sum_{k=1}^p h_k \cdot z_k^{n-1} & \text{(III.1)} \\ \text{Avec :} \quad h_k &= A_k \cdot e^{j \cdot \varphi_k} \\ z_k &= e^{(\alpha_k + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_k) T_s} \end{aligned}$$

Où P est l'ordre du modèle et T_s est la période d'échantillonnage.

Les paramètres du modèle : A_k , f_k , φ_k et α_k sont les inconnus à estimer. Ils représentent respectivement : l'amplitude, la fréquence, l'angle de phase et le coefficient d'amortissement caractérisant le $K^{\text{ième}}$ harmonique.

L'équation III.1 est un problème non linéaire très difficile à résoudre. En utilisant l'analyse de Prony, ce problème non linéaire se transforme à la solution d'un système d'équations linéaires. Dans cette direction, on doit construire un ensemble des équations de différence linéaires homogènes avec des coefficients α_k constants (où : $\alpha_0 = 1$) :

$$\sum_{k=0}^p \alpha_k x[n - k] = 0 \quad \text{(III.2)}$$

L'équation de différence linéaire (III.4) peut être exprimée sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{aligned} X \cdot A &= -Y & \text{(III.3)} \\ \text{Avec :} \quad X &= \begin{bmatrix} x[p] & \dots & x[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[2p-1] & \dots & x[p] \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_p \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x[p+1] \\ \vdots \\ x[2p] \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Les paramètres ak sont déterminés en résolvant l'équation (III.3). Ensuite, un polynôme caractéristique avec des racines zk peut être formé en utilisant les paramètres ak comme suit :

$$F(z) = \sum_{k=0}^p \alpha_k \cdot z^{p-k} \quad \text{(III.4)}$$

Par conséquent, le coefficient d'amortissement et la fréquence peuvent être déduits directement à partir des racines z_k de polynôme (III.4) :

$$\alpha_k = \frac{\ln|z_k|}{T_s} \text{ And } f_k = \frac{1}{2\pi T_s} \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(z_k)}{\text{Re}(z_k)} \right]$$

Enfin, les racines z_k sont utilisées pour écrire les P équations de (III.1) sous une forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ z_1 & z_2 & \dots & z_p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^{p-1} & z_2^{p-1} & \dots & z_p^{p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(1) \\ \vdots \\ x(p) \end{bmatrix} \quad (\text{III.5})$$

Les paramètres complexes h_k peuvent être déterminés en résolvant l'équation (III.5) et par conséquent, l'amplitude (A_k) et l'angle de phase (φ_k) peuvent être obtenus en utilisant les relations suivantes:

$$A_k = |h_k| \text{ et } \varphi_k = \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(h_k)}{\text{Re}(h_k)} \right]$$

III.2.1 La Méthode de prony Modifier

Il est important de noter que les performances de la méthode de Prony classique deviennent instables en présence de bruit. Cela est dû au fait qu'il n'y a aucune erreur considérée dans le modèle primitif. Cependant le signal réel est toujours noyé dans le bruit et pour prendre en considération cette situation, l'équation (III.1) devrait être modifiée comme suit [SAH 15] :

$$x[n] = \hat{x}[n] + \varepsilon[n] = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} + \varepsilon[n] \quad (\text{III.6})$$

Où $[n]$ représente l'erreur d'approximation entre le signal réel $x[n]$ et son approximation linéaire $\hat{x}[n]$. Le problème d'estimation de paramètre est basé donc sur la minimisation de l'erreur quadratique sur les N échantillons disponibles :

$$E = \sum_{n=1}^N |\varepsilon[n]|^2 = \sum_{n=1}^N \left| x[n] - \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \right|^2 \quad (\text{III.7})$$

Dans la pratique, le nombre des échantillons disponibles est supérieur au nombre des paramètres inconnus ($N > 2P$). Dans ce cas, l'équation aux différences linéaire (III.2) doit être modifiée comme suit :

$$\sum_{k=0}^p a_k x[n - k] = \varepsilon[n] \tag{III.8}$$

Les N échantillons disponibles seront utilisés pour réécrire (III.8) sous une forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} x[p] & \cdots & x[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[N - 1] & \cdots & x[N - p] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x(p + 1) \\ \vdots \\ x(N) \end{bmatrix} \tag{III.9}$$

Le vecteur des paramètres inconnus a_k est choisi pour minimiser l'erreur quadratique totale de prédiction linéaire. La minimisation peut être effectuée en utilisant la méthode des moindres carrés. En outre, l'estimation des paramètres complexes h_k est effectuée aussi par la méthode des moindres carrés. Dans ce cas, l'ensemble des équations linéaires (III.5) devrait être modifié sous la forme compacte suivante [SAH15, SAH 16]

$$\text{Z.H=C} \tag{III.10}$$

Avec :
$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \cdots & \mathbf{1} \\ \mathbf{z}_1 & \cdots & \mathbf{z}_p \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{z}_1^{N-1} & \cdots & \mathbf{z}_p^{N-1} \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_p \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(1) \\ \vdots \\ \mathbf{x}(N) \end{bmatrix}$$

Par conséquent, la méthode de prony modifiée comporte les trois étapes suivantes :

Etape 1:

La détermination des paramètres de prédiction linéaire a_k . Cette étape est réalisée par la résolution de l'équation (III.9).

Etape 2:

Trouver les racines z_k du polynôme caractéristique à partir de l'équation (III.4). Les racines z_k permettent la détermination de paramètres a_k et f_k .

Etape 3:

Résoudre l'équation (III.10) par la méthode des moindres carrés ce qui permet la détermination des A_k et φ_k .

Il est très important de noter que l'efficacité et la précision de la méthode de Prony dépendent de plusieurs facteurs. En fait, le nombre d'harmoniques à estimer, le niveau de

bruit, la fréquence d'échantillonnage, l'ordre du modèle, le nombre d'échantillons utilisés et la nature du signal (stationnaire ou non) tous affectent la qualité et la précision des résultats. Pour réduire l'impact des ces facteurs, une étape de prétraitement du signal acquis est extrêmement nécessaire. Les principales tâches de cette étape sont :

- l'acquisition des échantillons où, on définit la fréquence d'échantillonnage et la taille de la fenêtre glissante. Parfois, on doit modifier la fréquence d'échantillonnage (*Downsampling*) surtout lorsqu'il s'agit des harmoniques de faibles fréquences ;
- le filtrage qui est une tâche très importante et affecte directement la qualité des résultats. Il a deux objectifs principaux : l'atténuation du bruit et la suppression des composantes spectrales indésirables.

III.3 défaut de court circuit :

Le même banc d'essai est utilisé pour étudier expérimentalement le défaut de court-circuit entre spires. Pour émuler un défaut réel de court-circuit entre spires, une machine de 3kW a été spécialement rembobinée afin de rajouter des prises supplémentaires. Deux bornes intermédiaires au niveau des phases (**a –b-c**) ont été sorties dans différents points. Ces bornes ont sont reliées à la plaque à bornes pour pouvoir introduire des courts-circuits d'un nombre donné de spires (**Fig.III.1**)

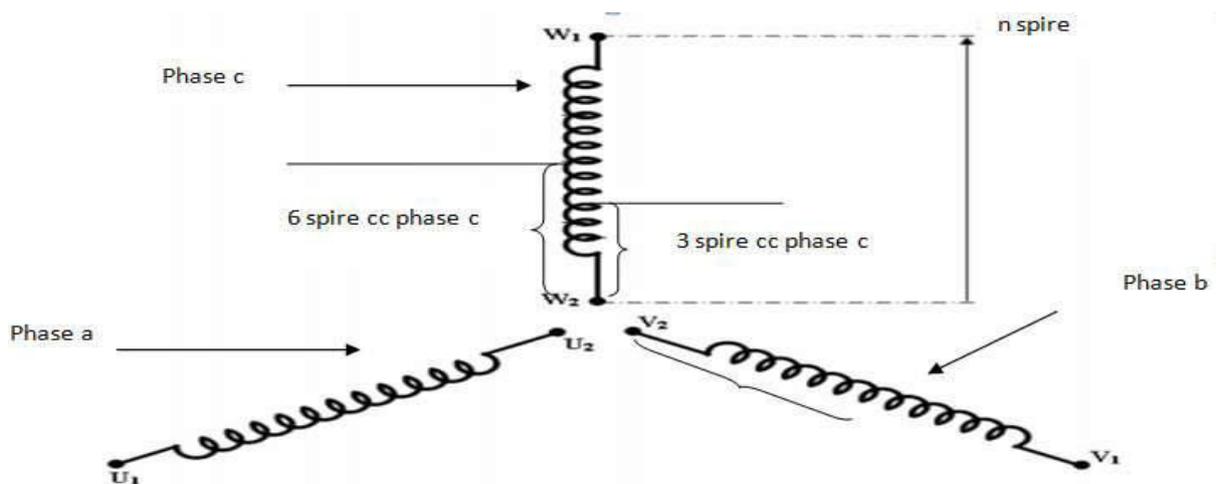


Fig. III.1 : Schémas simplifié montrant les prises réalisées pour faire des courts-circuits entre différents nombres de spires de phase c

III. 4. Déséquilibre de tension d'alimentation :

III .4.1. Composantes symétriques :

Tout système triphasé déséquilibré peut être décomposé en une somme d'un système direct, d'un système inverse et d'un système homopolaire.[GAB]

a. Système direct :

Le système direct est un système triphasé équilibré de séquence directe (abc),comme Fig. III.2

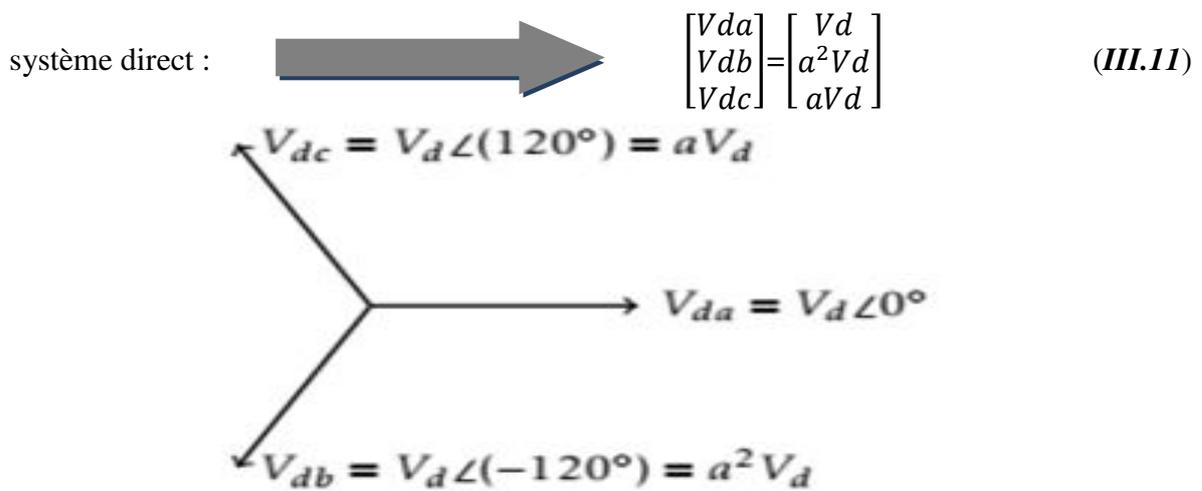


Fig. III.2 séquence direct

b . Système inverse:

Le système inverse est un système triphasé équilibré de séquence inverse (abc),comme Fig.III.3.[GAB]

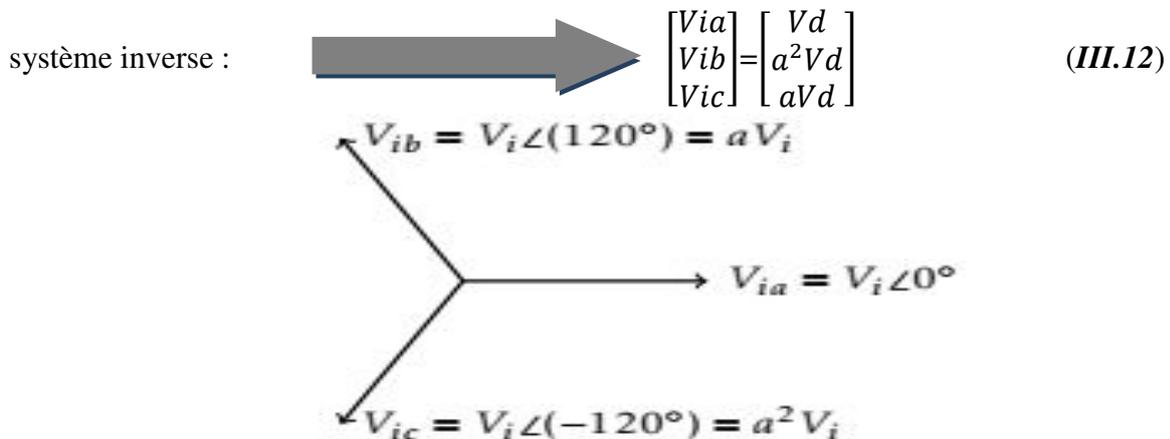


Fig.III.3 : séquence inverse

c . Système homopolaire :

Le système **homopolaire** est un système triphasé équilibré où les tensions sont égales, comme à la **Fig.III.4.[GAB]**

système inverse : 
$$\begin{bmatrix} V_{oa} \\ V_{ob} \\ V_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot V_o \quad (III.13)$$

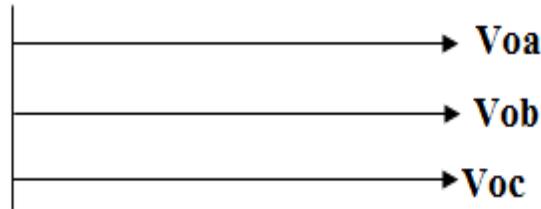


Fig.III.4 : séquence homopolaire .

On combine alors les trois systèmes (direct, inverse, homopolaire) pour obtenir un système complet :

Soit : $\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix}$ un système triphasé déséquilibré $\Rightarrow \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \cdot Vd + \begin{bmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{bmatrix} \cdot Vi + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot Vo \quad (III.14)$

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \overbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix}}^M \cdot Vd \quad (III.5) \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} Vd \\ Vi \\ Vo \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \quad (III.16)$$

$$M^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Soit un système triphasé déséquilibré avec des impédances : $\begin{bmatrix} Za \\ Zb \\ Zc \end{bmatrix}$. [GAB]

On peut écrire : $\begin{bmatrix} Za \\ Zb \\ Zc \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} Zd \\ Zi \\ Zo \end{bmatrix} ; \begin{bmatrix} Zd \\ Zi \\ Zo \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Za \\ Zb \\ Zc \end{bmatrix} \quad (III.17)$

$Zd = 1/3(1 + a + a^2)Z = 0.$

$$Z_i = 1/3(1 + a^2 + a)Z = 0. \tag{III.18}$$

$$Z_o = 1/3(1 + 1 + 1)Z = Z.$$

On vérifie aisément que si le système initial est équilibré, on obtient :

$$V_d = V_a \text{ et } V_i = V_h = 0.$$

En effet, l'amplitude de la composante V_i ne prend une valeur non nulle que si le système est déséquilibré. Cette grandeur, rapportée à l'amplitude de la composante directe (V_d) peut donc servir de mesure de déséquilibre de tension:

$$\Delta = \frac{abs(V_i)}{abs(V_d)} \tag{III.19}$$

Il est important de noter qu'un indicateur fiable est celui qui est sensible seulement à la présence du défaut concerné. Cependant et dans notre cas, il n'existe pas un seul indicateur fiable uniquement à la présence de défaut de court-circuit. En fait, tous les indicateurs définis dans la littérature sont sensibles non seulement au défaut de court-circuit mais aussi aux autres problèmes transitoires qui peuvent affectés le bon fonctionnement de la machine. Pour cela, nous avons défini un ensemble des indicateurs de défaut de court-circuit entre spires. L'objectif est d'arriver à une détection sûr de ce type de défaut sans de fausses alarmes d'arriver à une détection sûr de ce type de défaut sans avoir de fausses alarmes à cause des problèmes transitoires tels que le déséquilibre de tension ou les variation de la charge.

Le calcul des composantes symétriques des tensions et des courants, effectué précédemment, nous a permet de calculer les trois impédances statoriques Z_a, Z_b, Z_c . et les trois composantes symétriques des impédances statoriques Z_d, Z_i, Z_o . et définir de un ensemble des indicateurs de défaut de court-circuit entre spires. Ces indicateurs sont les suivants :

$$\Delta_{vol_i}, \Delta_{vol_o}, \Delta_{cur_i}, \Delta_{cur_o}, \Delta_{imp_i}, \Delta_{imp_o}$$

$$\Delta_{vol_i} = \frac{abs(V_i)}{abs(V_d)} \quad \Delta_{cur_i} = \frac{abs(I_i)}{abs(I_d)} \quad \Delta_{imp_i} = \frac{abs(Z_i)}{abs(Z_d)}$$

$$\Delta_{vol_o} = \frac{abs(V_o)}{abs(V_d)} \quad \Delta_{cur_o} = \frac{abs(I_o)}{abs(I_d)} \quad \Delta_{imp_o} = \frac{abs(Z_o)}{abs(Z_d)}$$

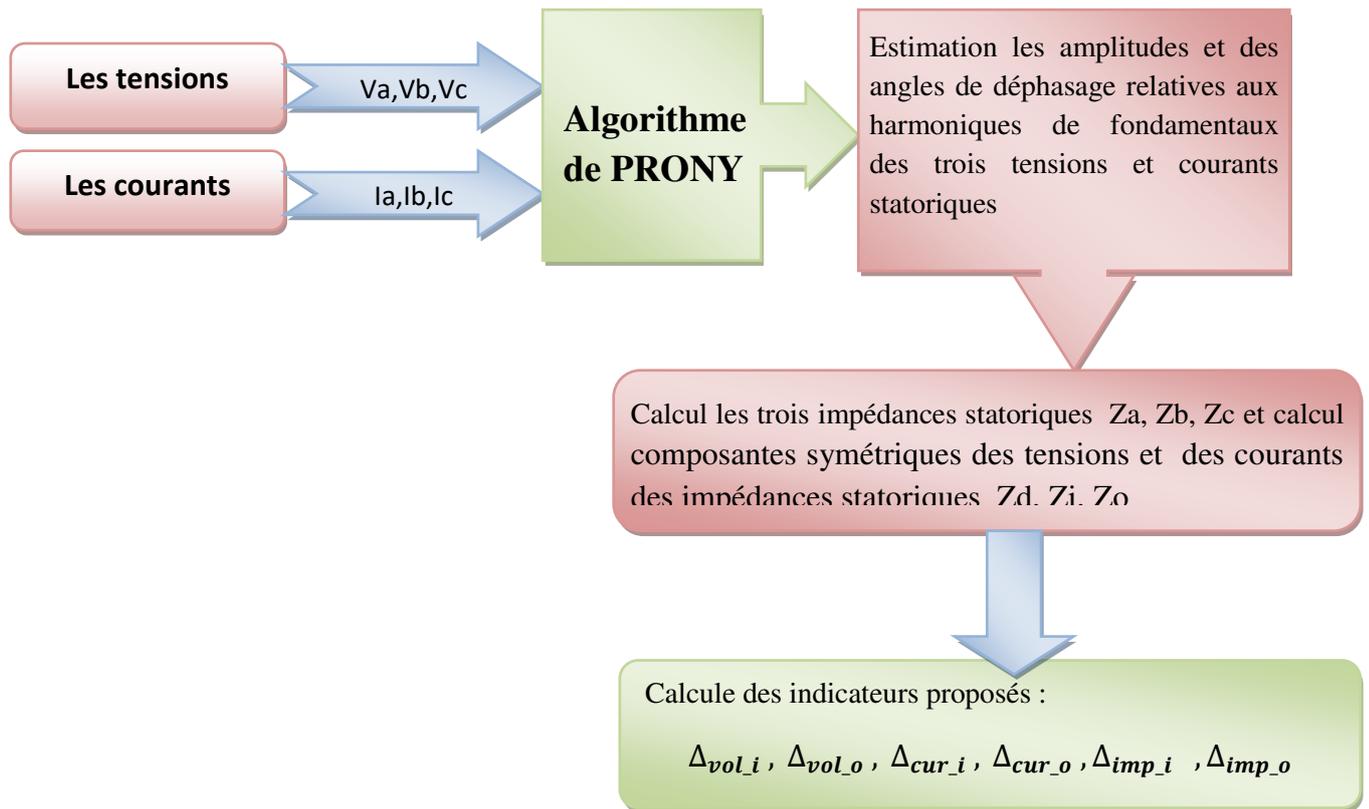


Fig. III.5 : Schéma représentatif de la méthode proposée pour la détection de défaut de court-circuit entre spires statoriques

III.5. Impact du défaut de court-circuit sur les indicateurs définis

Dans le but d'étudier l'influence de défaut de court-circuit entre spires (CCSP) sur les différents indicateurs proposés. Le moteur a été démarré à l'état sain pendant presque 5 s puis, on a introduit brusquement un défaut de 6 spires en court-circuit dans la phase « a ». Durant ce fonctionnement, le système d'acquisition enregistre d'une manière continue les courants et les tensions statoriques qui servent à calculer l'ensemble des indicateurs définis précédemment.

La figure (III.1) montrent que la présence de défaut CCSP provoque une augmentation sur les allures temporelles des courants statoriques et surtout le courant de la phase en défaut. Par contre, les tensions statoriques sont moins influées par ce défaut. On remarque que la variation de ces grandeurs ne peut être considérée comme une indication de la présence de ce type de défaut.

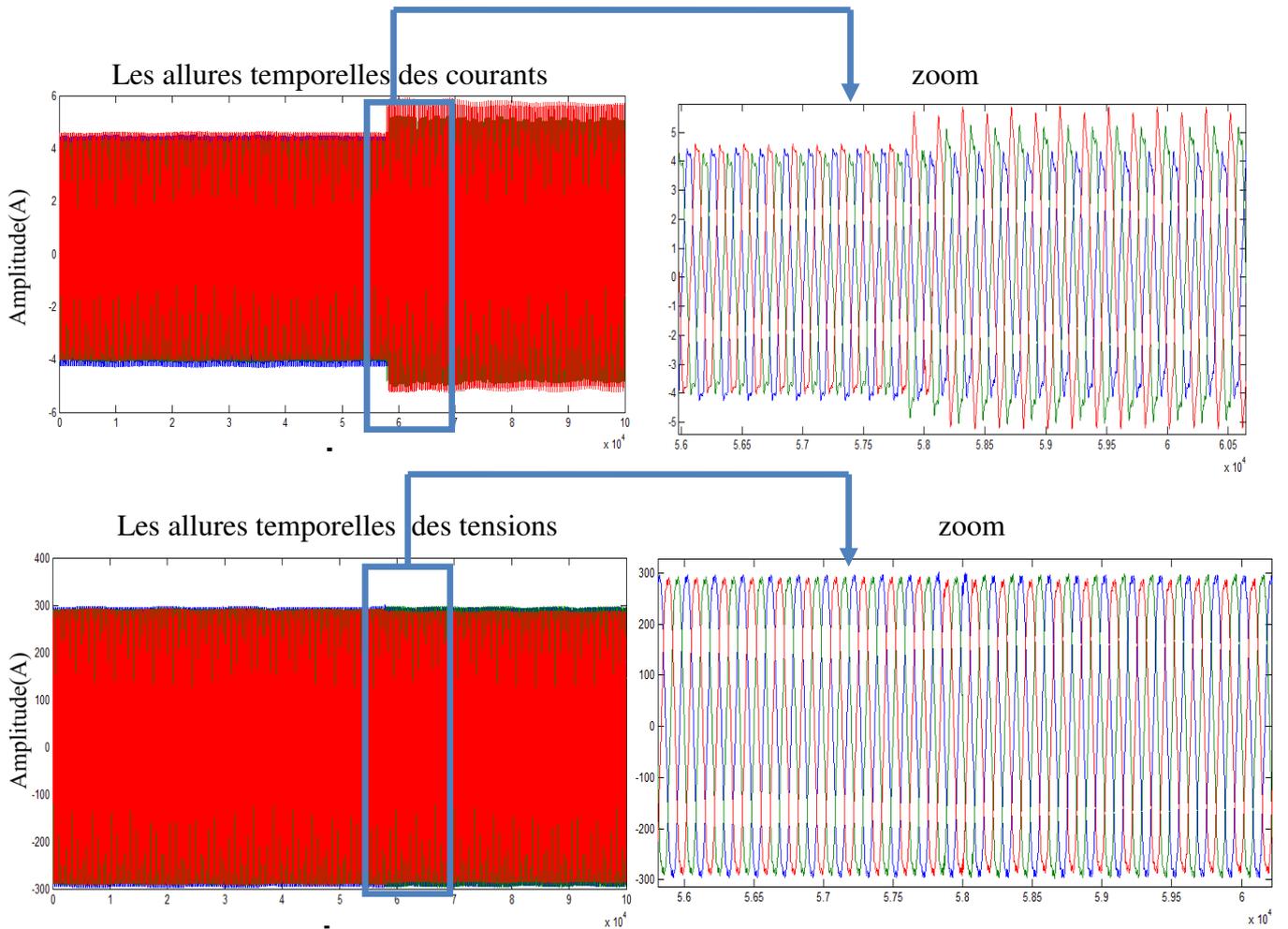
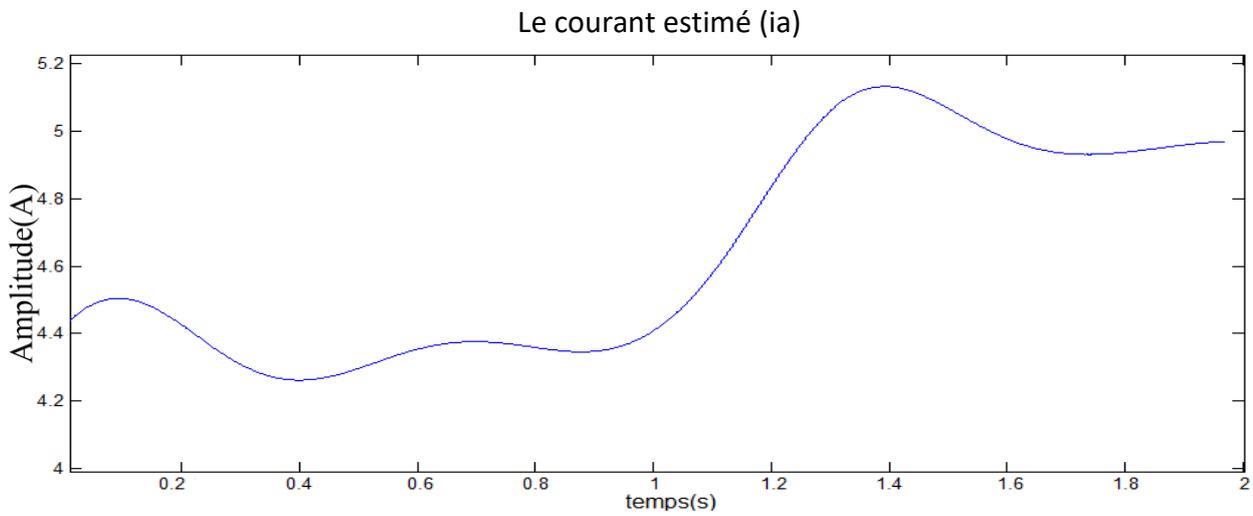
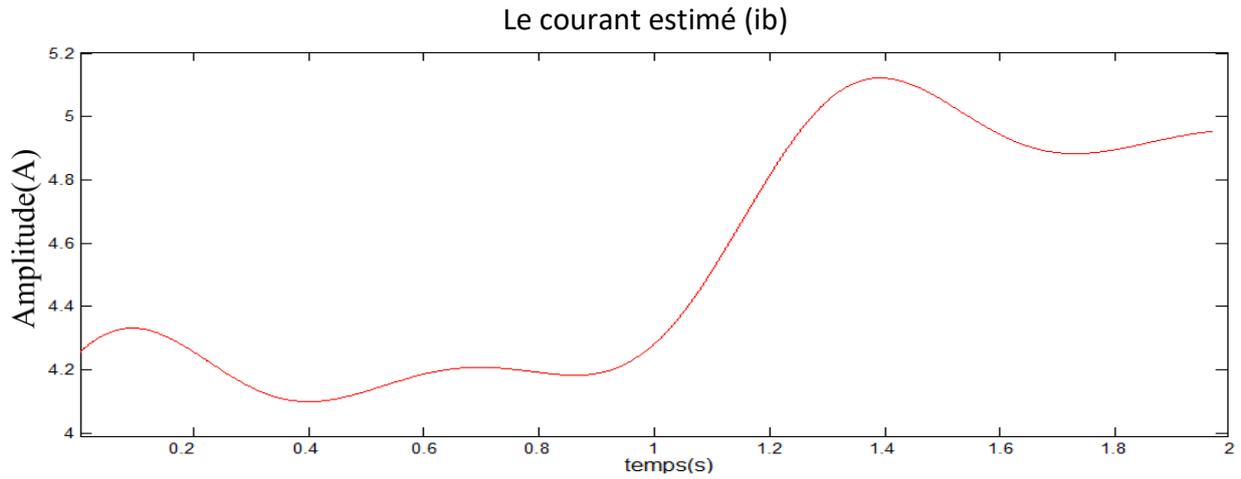


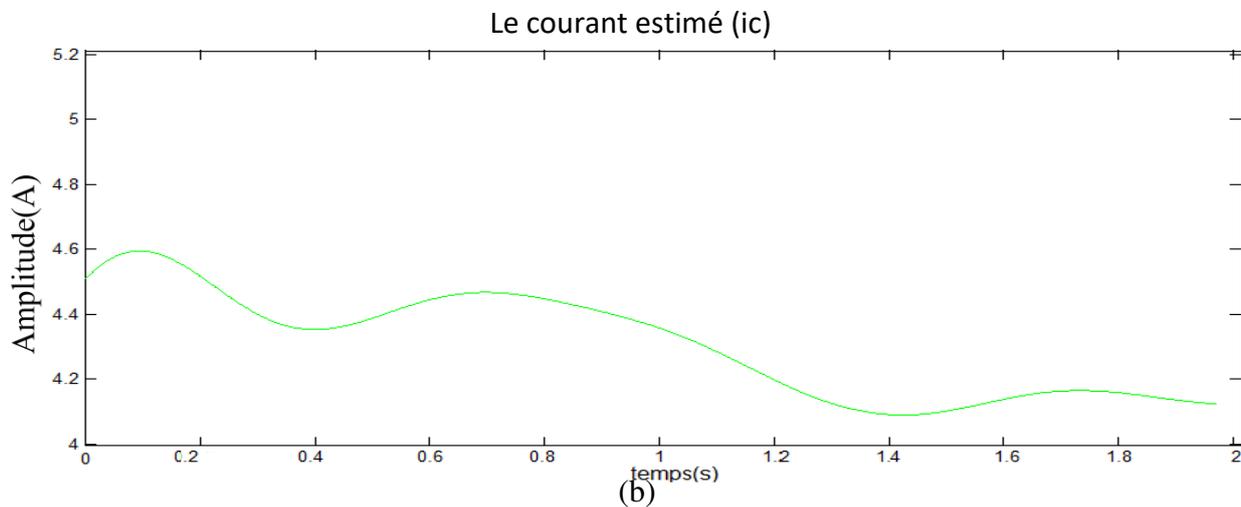
Fig. III.6 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à l'état sain puis avec 6spires en court-circuit.



(a)

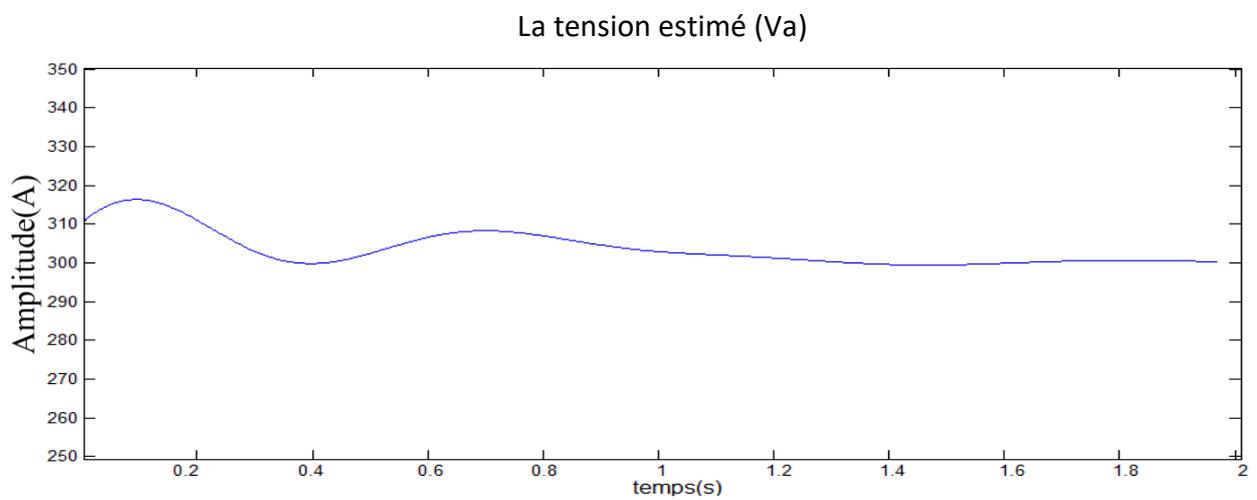


(b)

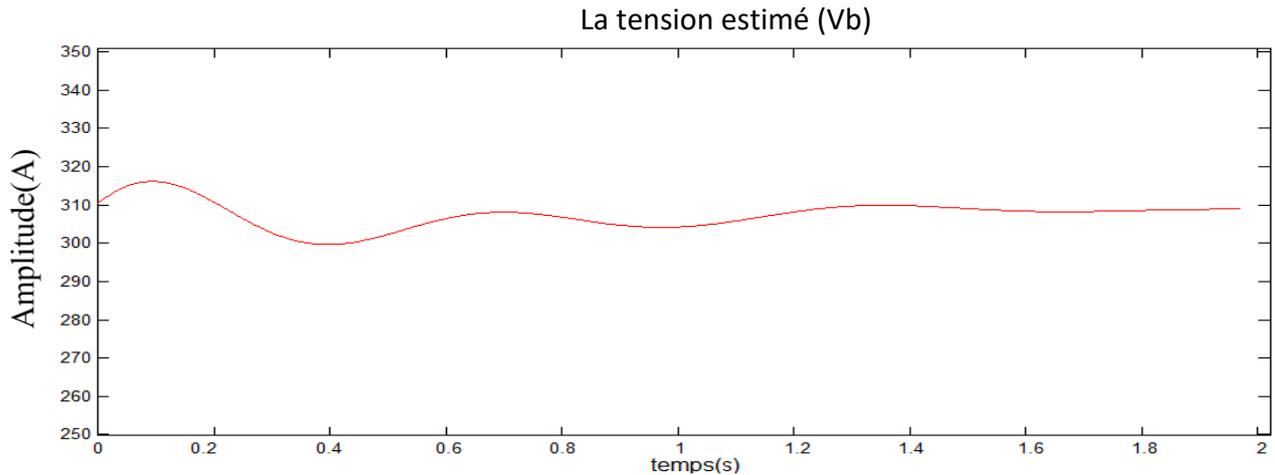


(b)

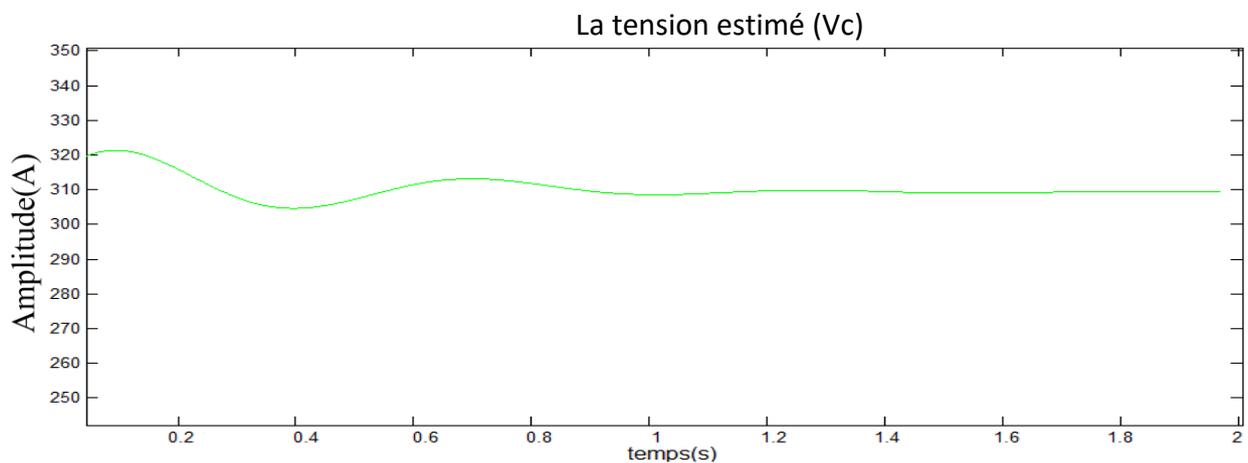
Fig. III.7 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.



(a)



(b)



(c)

Fig. III.8 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tensions statoriques à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit.

Selon les figures (III.7 -8), les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux correspondants aux courants et tensions, restent presque constantes pendant tout l'état sain Jusqu'à l'instant où on a introduit le défaut de CCSP. Nous avons remarquées que les courants dans la phase en défaut « a » et celle qui la suit « b » subissent des augmentations considérables (Fig. III.7.a et III.7.b) ; par contre, le courant dans la phase « c » a sensiblement diminué. Concernant les tensions statoriques, il est clair que les amplitudes des harmoniques fondamentaux restent quasi-constantes même à la présence du défaut (Fig. III.8).

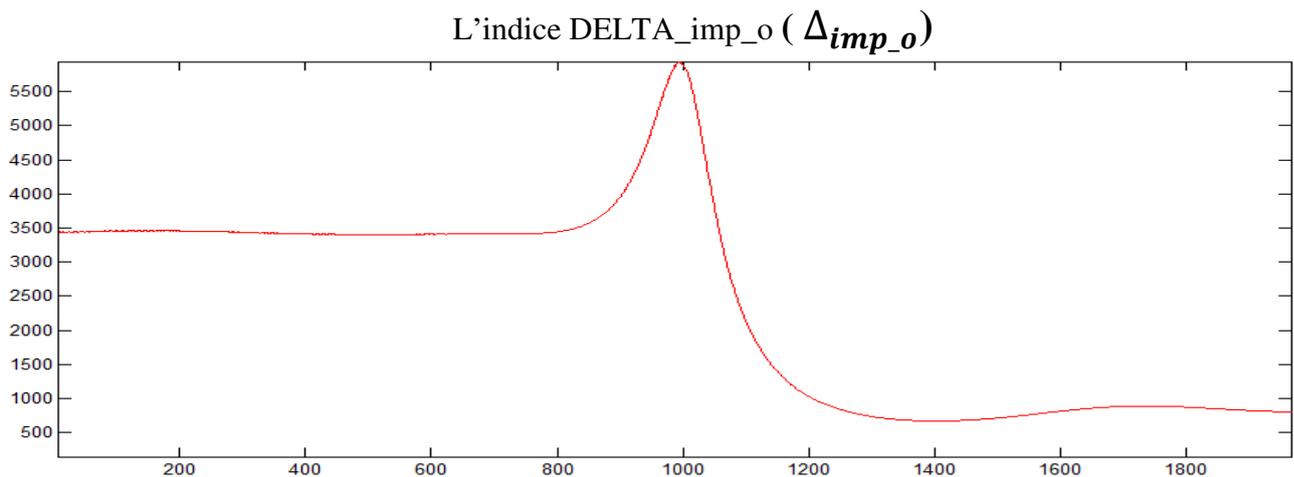
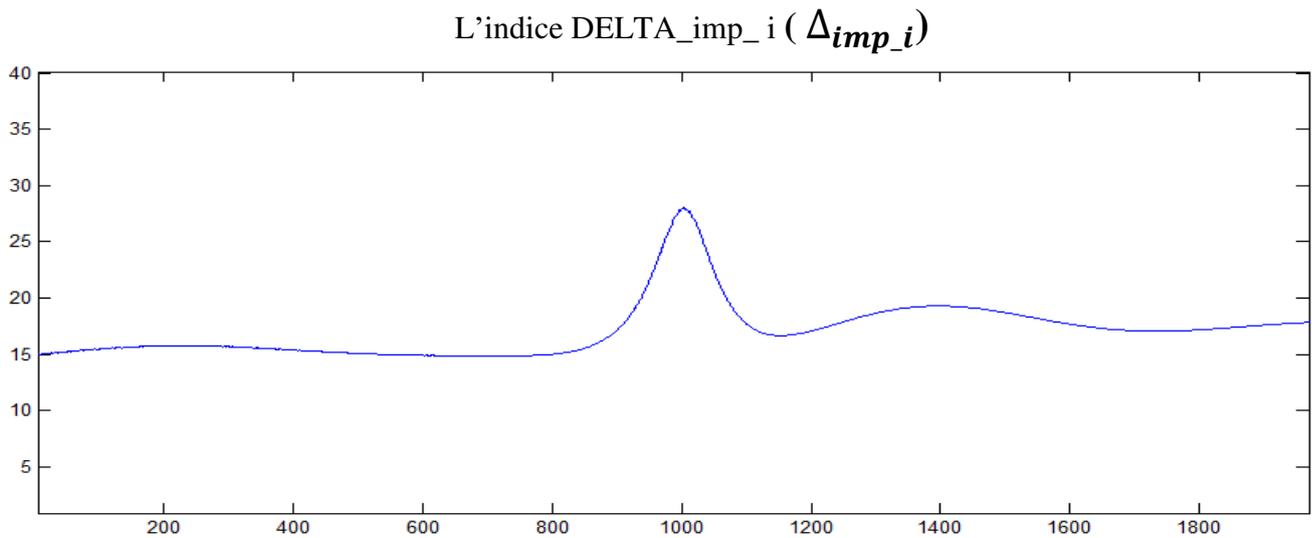


Fig. III.9 : (Δ_{imp_i}) et (Δ_{imp_o}) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit

Concernant l'indice (Δ_{imp_i}) la figure (Fig. III.9 .a) illustre clairement qu'il est presque insensible à la présence de défaut de CCSP. On note un léger changement dans les valeurs, et On remarque a la figure (Fig. III.9 .b) l'indicateur (Δ_{imp_o}) qu'à l'état sain, est fixe dans sa valeur. et lorsque le défaut se produit, Nous notons une vague produit près du double de sa valeur initiale, puis sa valeur tombe à de petites valeurs

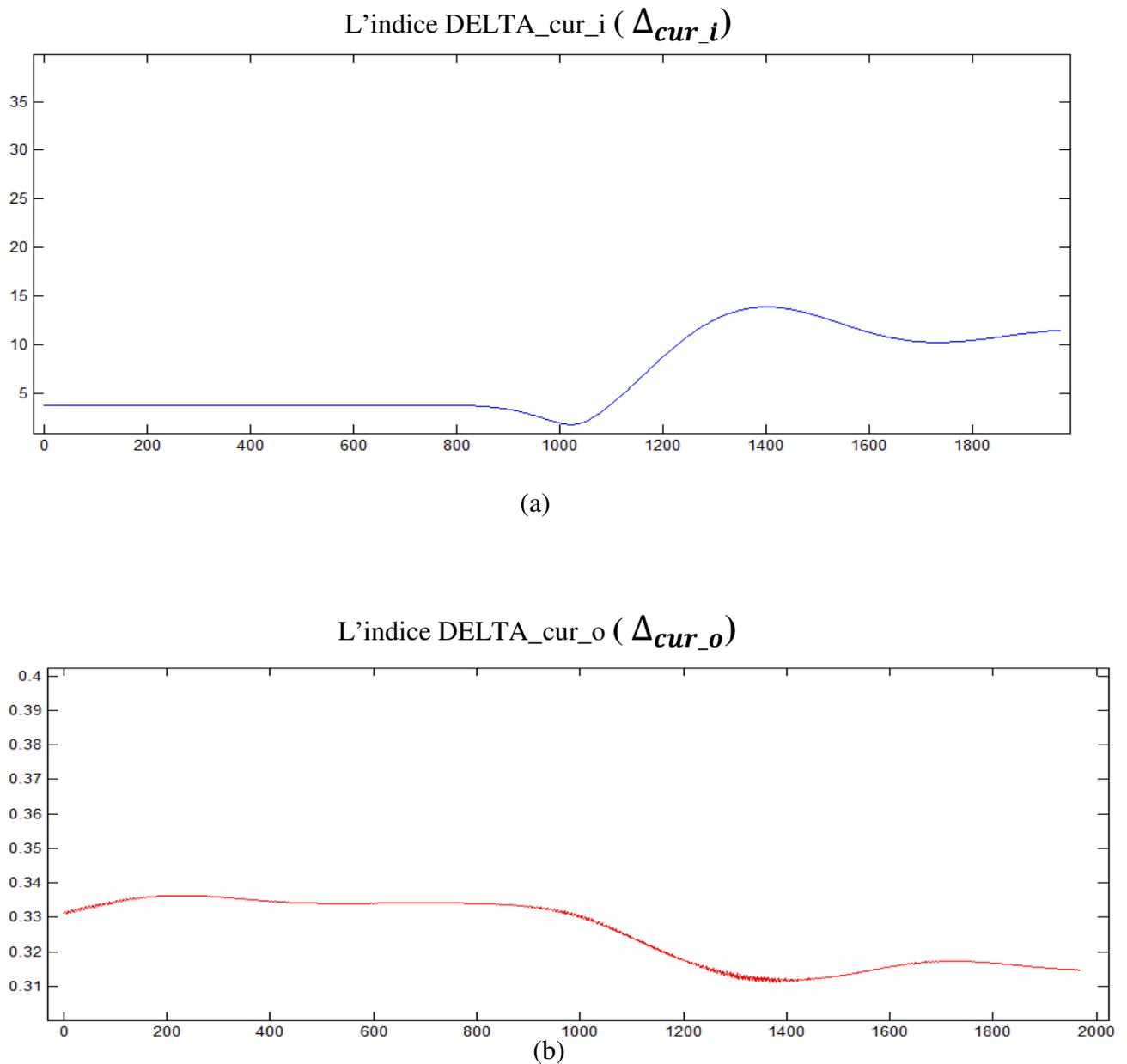


Fig. III.10 : (DELTA_cur_i) et (DELTA_cur_o) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit

Concernant l'indice (Δ_{cur_i}) la figure (Fig. III.10 .a) on remarque une petite augmentation de la valeur de l'indice. Faible sensibilité au défaut de CCSP .dans la figure (Fig. III.10 .b) on remarque que l'indice (Δ_{cur_o}) diminue légèrement suite à l'apparition d'un court-circuit, les deux indice presque insensible à la présence de défaut de CCSP

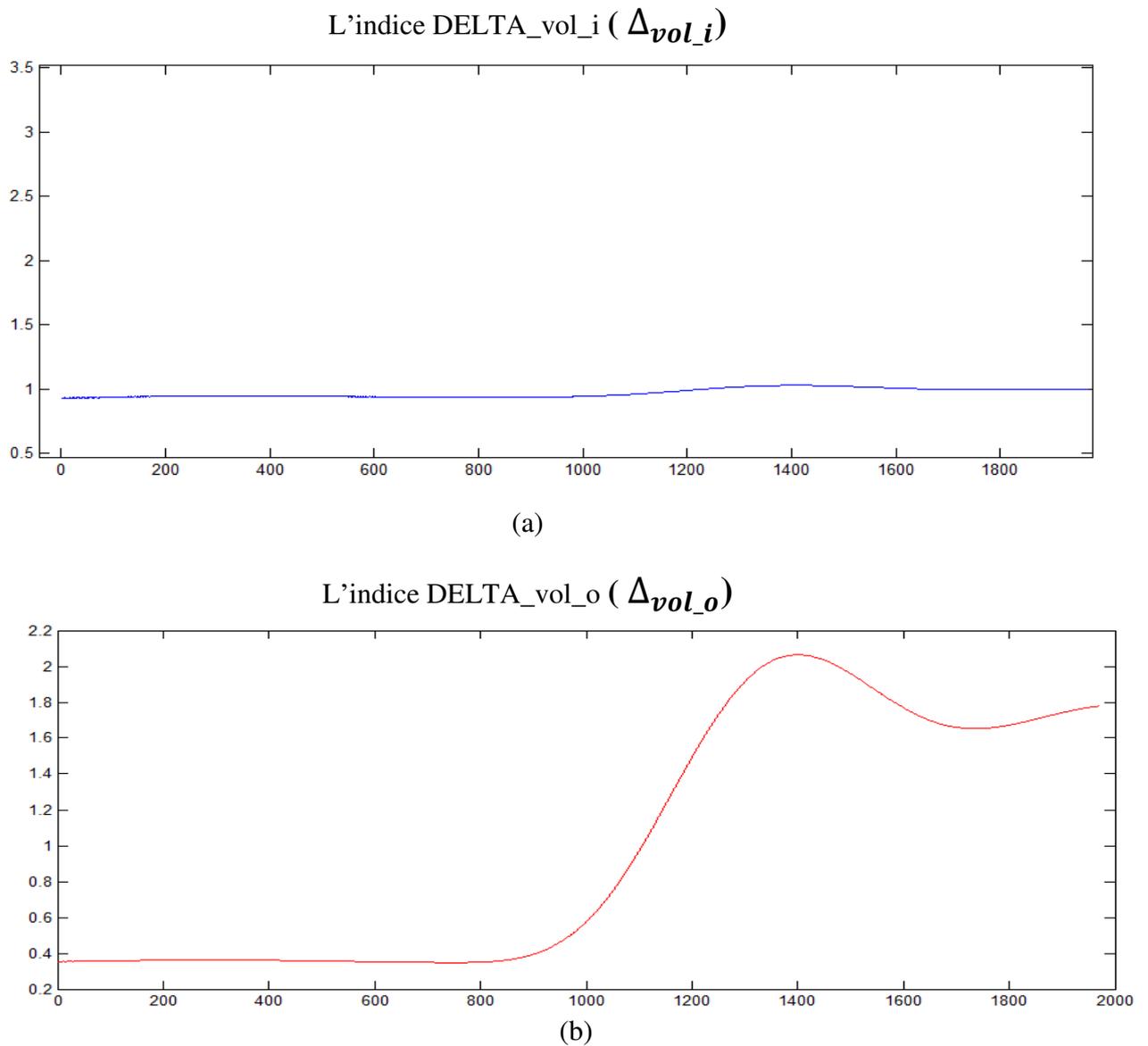


Fig. III.11 : (DELTA_vol_i) et (DELTA_vol_o) estimé à l'état sain puis avec 6 spires en court-circuit

La figures (Fig. III.11.a) montre clairement que l'indice DELTA_vol_i (Δ_{vol_i}) est insensible à la présence de défaut de CCSP restent constantes même à la présence du défaut. La figures (Fig. III.11.b) Clarifiez cela que l'indice Delta_vol_o (Δ_{vol_o}) est sensible à la présence de défaut de CCSP on remarque sa valeur augmente sensiblement suit à l'apparition d'un défaut de CCSP

	(Δ_{imp_i})	(Δ_{imp_o})	(Δ_{cur_i})	(Δ_{cur_o})	(Δ_{vol_i})	(Δ_{vol_o})
l'état sain	15	3500	4	0.33	0.9	0.4
6 spires en court-circuit	18	700	12	0.31	0.9	2
Sensibilité	20%	-80%	200%	-6.06%	0%	400%
	insensible	sensible	Presque insensible	sensible	insensible	sensible

Tableau III.1 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence de défaut de CCSP

III.6. Test de fiabilité des indicateurs proposés

Dans les paragraphes précédentes, on a étudié l'influence de la présence d'un défaut de court-circuit entre spires sur les différents indicateurs ainsi proposés. Les essais expérimentaux effectués au niveau du laboratoire ont prouvés la possibilité de détecter facilement ce type de défaut. Cependant, on sait que certains problèmes tels que le déséquilibre des tensions d'alimentation et les variations brusques de la charge influent aussi sur ces indicateurs proposés. Donc, il est très important d'étudier les impacts de ces problèmes sur ces indicateurs et de trouver une solution pour distinguer entre un défaut réel de CCSP et un problème transitoire.

III.6.1. L'effet de déséquilibre sur les indicateurs :

Dans cette partie, on a démarré le moteur à vide et à l'état sain puis, au alentour de l'instant $t = 5$ s, on a émulé un déséquilibre de tension .

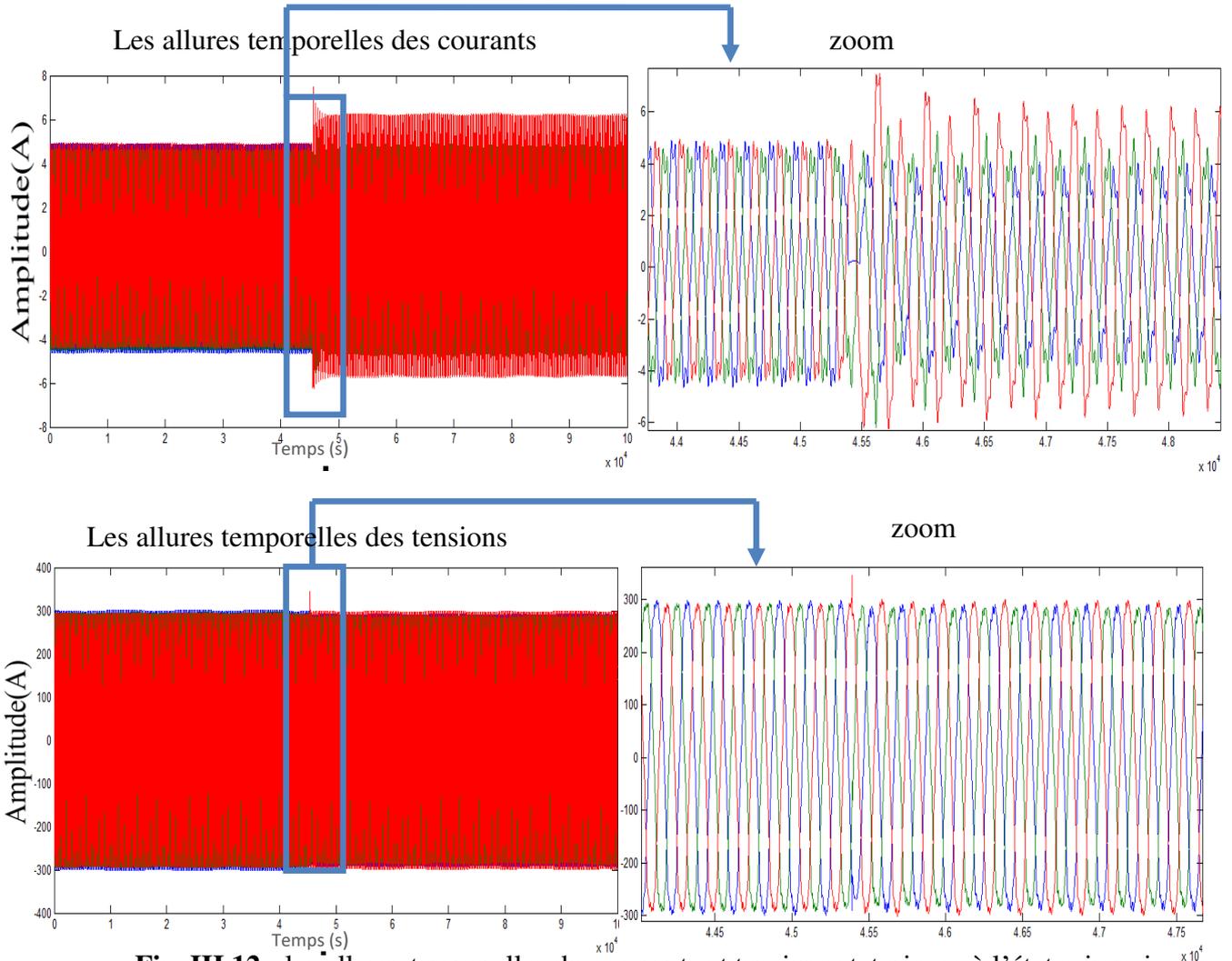
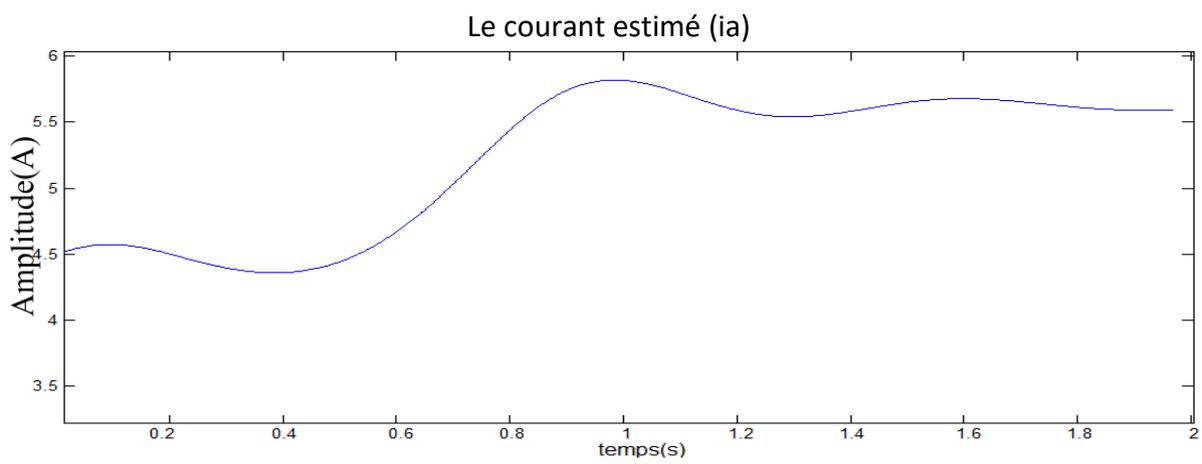


Fig. III.12 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre



(a)

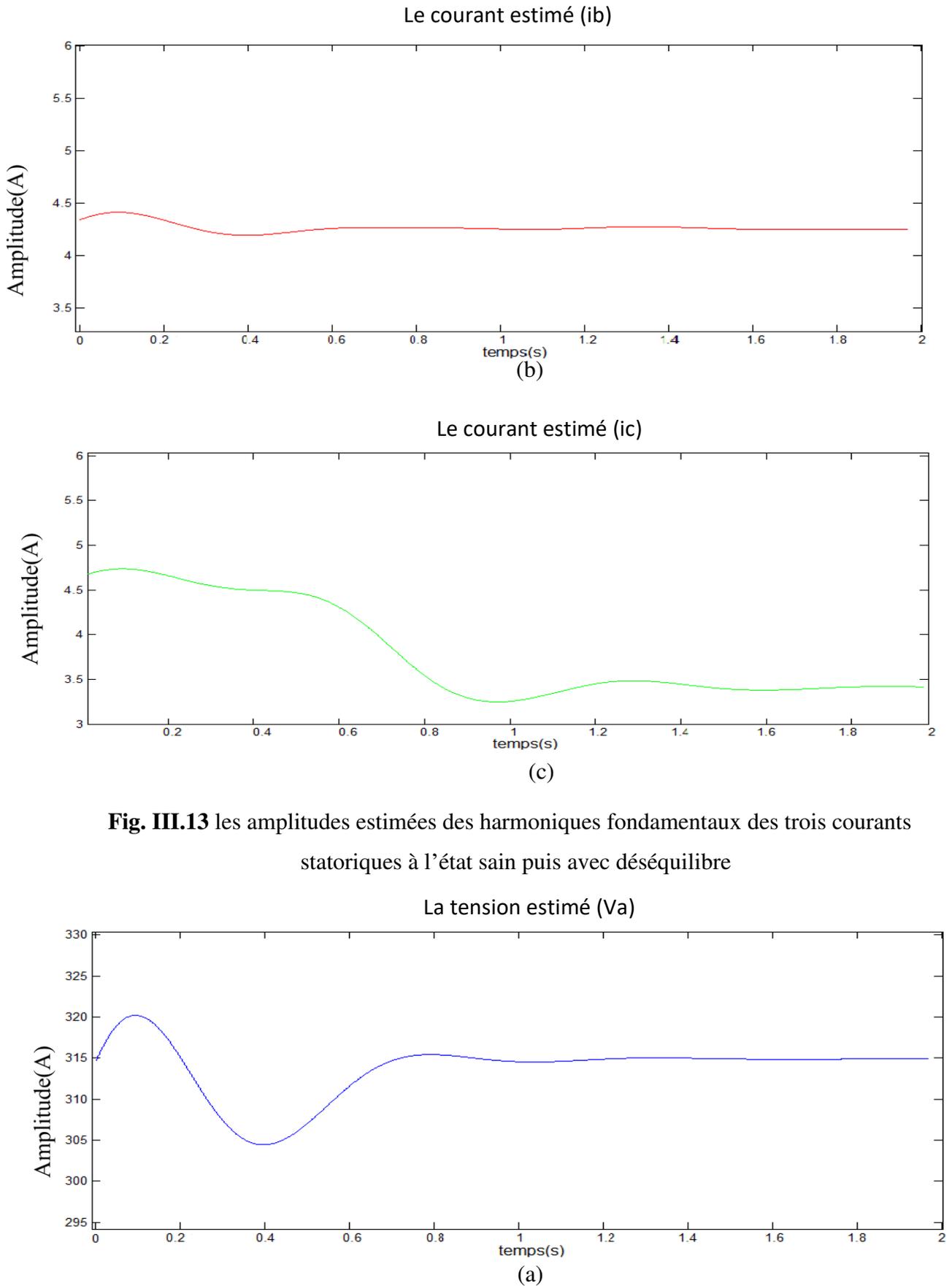


Fig. III.13 les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre

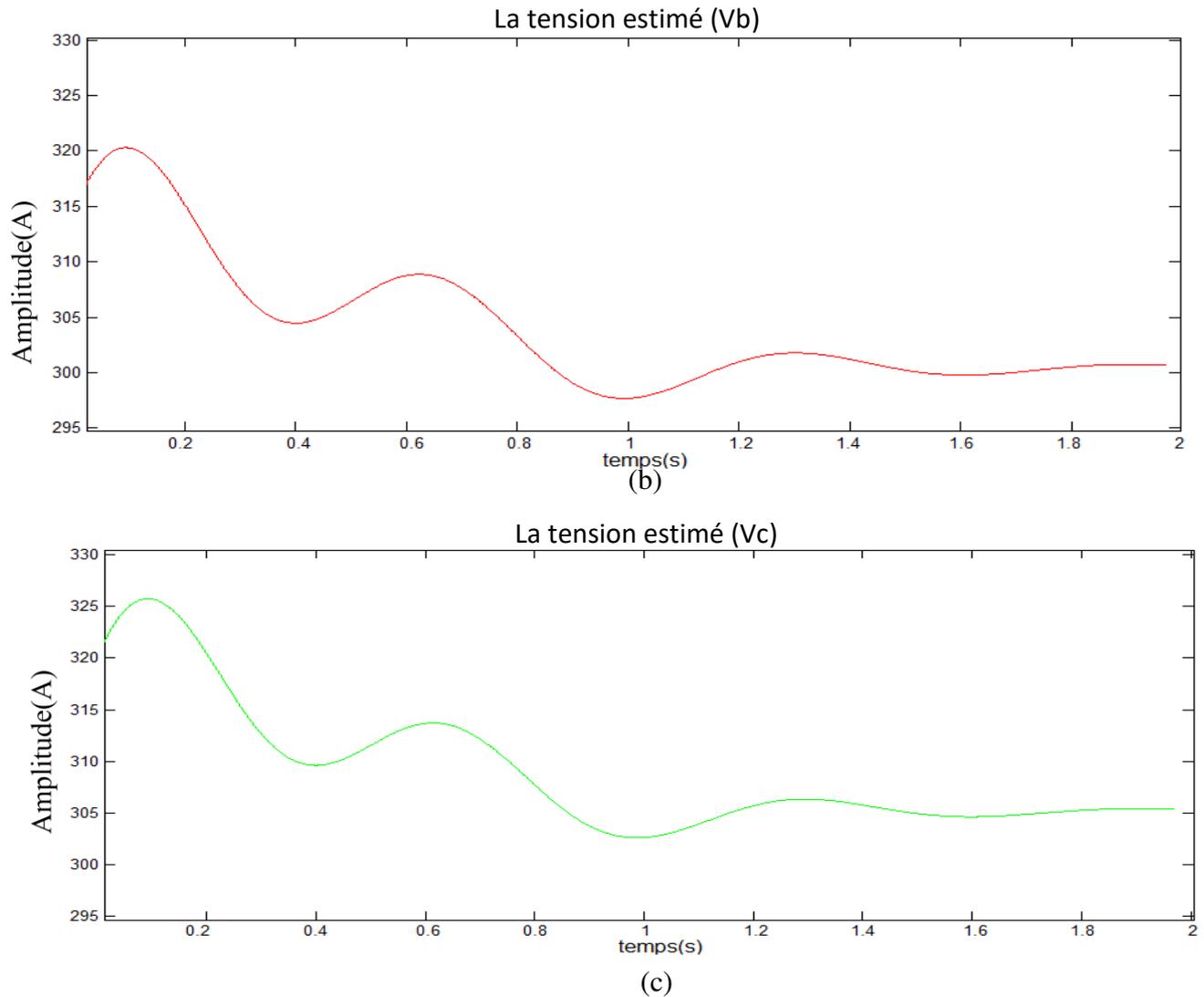


Fig. III.14 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tensions statoriques à l'état sain puis avec déséquilibre

La figure (III.12) montrent que la présence d'un problème de déséquilibre de tension d'alimentation provoque des modifications sur les allures temporelles des courants et des tensions statoriques. Ceci est confirmé par les figures III.13 et III.14. On remarque que ces variations ressemblent fortement aux celles dues à un défaut de CCSP. *Par conséquent, on ne peut pas les utiliser pour différencier entre le défaut de CCSP et le déséquilibre*

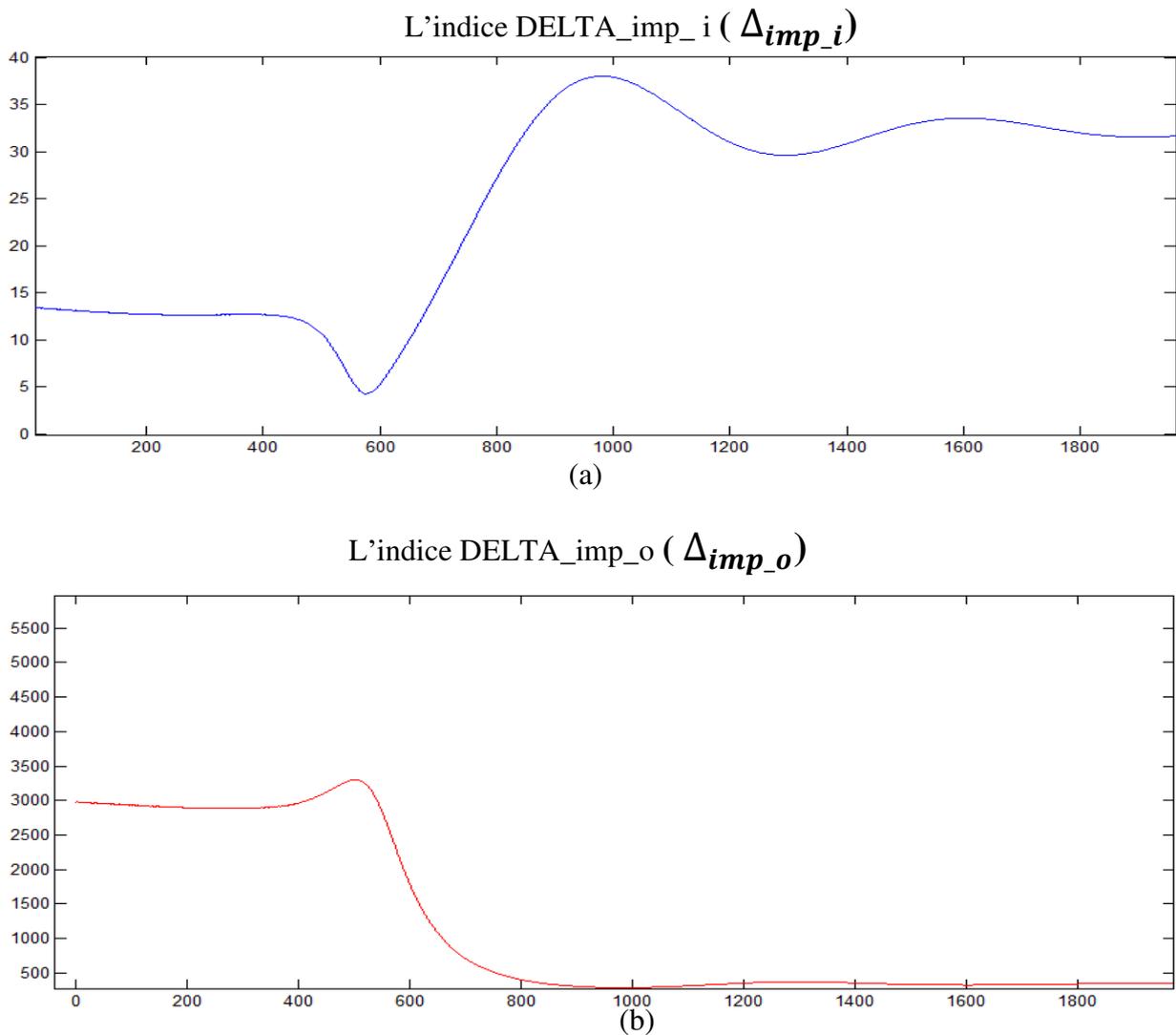


Fig. III.15 : (DELTA_imp_i)et (DELTA_imp_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre

Concernant l'indice (Δ_{imp_i}) la figure (Fig. III.15.a) illustre clairement qu'il sensible à la présence de défaut de déséquilibre. Nous notons que l'indice (Δ_{imp_i}) augmente sensiblement suite à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation. Par contre, cet indice a resté presque constant et insensible au défaut de CCSP. *Ceci peut être considéré comme un facteur de séparation entre un défaut de CCSP et le déséquilibre de tension.* La figure (Fig. III.15.b) Il s'avère qu'à l'état sain, l'indicateur (Δ_{imp_o}) est fixe dans sa valeur et lorsque le défaut se produit, On note une baisse de les valeurs. ces variations ressemblent fortement aux celles dues à un défaut de CCSP. *on ne peut pas les utilisées pour différencier entre le défaut de CCSP et le déséquilibre*

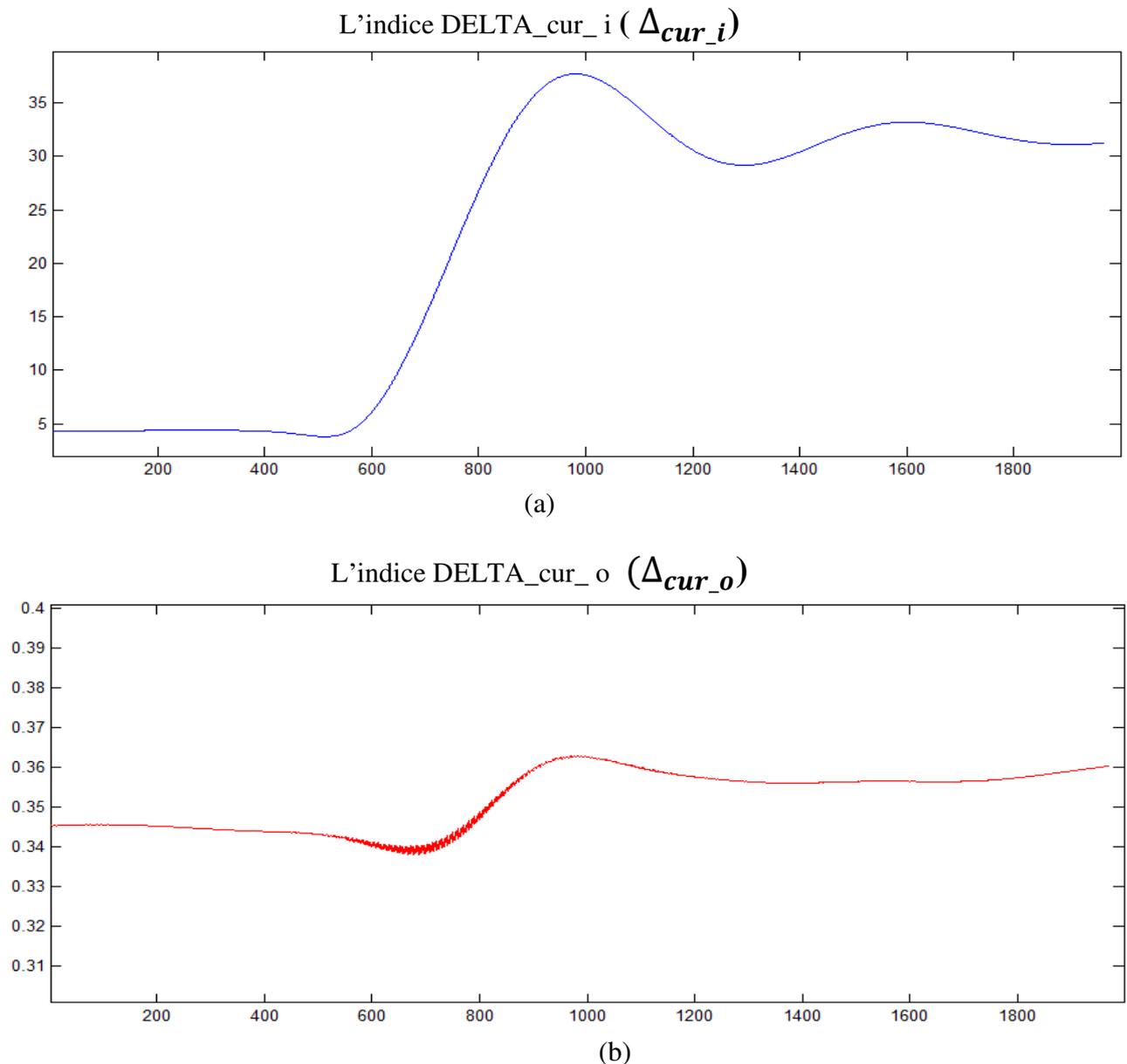


Fig. III.16 : (DELTA_cur_i) et (DELTA_cur_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre

Dans la figure (Fig. III.16.a) Nous notons que l'indice (Δ_{cur_i}) augmente sensiblement suite à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation. Par contre, cet indice a resté presque constant et insensible au défaut de CCSP. Concernant l'indice (Δ_{cur_o}) la figure (Fig. 16 .b) on remarque que l'indice augmente légèrement suite à l'apparition d'un déséquilibre. L'indice augmente suite l'apparition d'un déséquilibre et diminue suite à l'apparition d'un CCSP .Ceci peut être considéré les deux indices comme des facteur de séparation entre un défaut de CCSP et le déséquilibre de tension

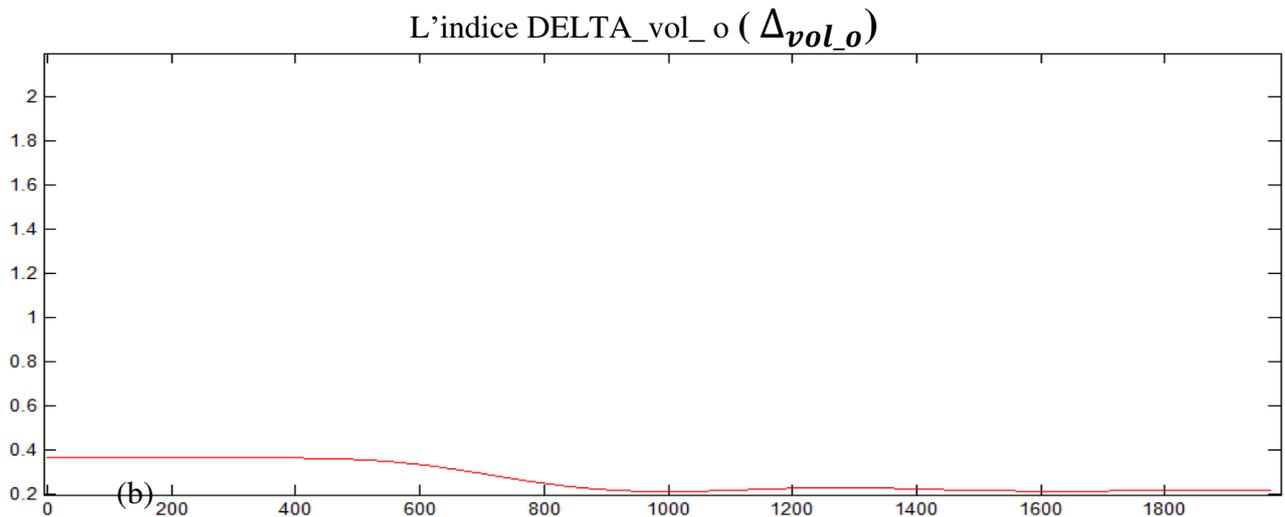
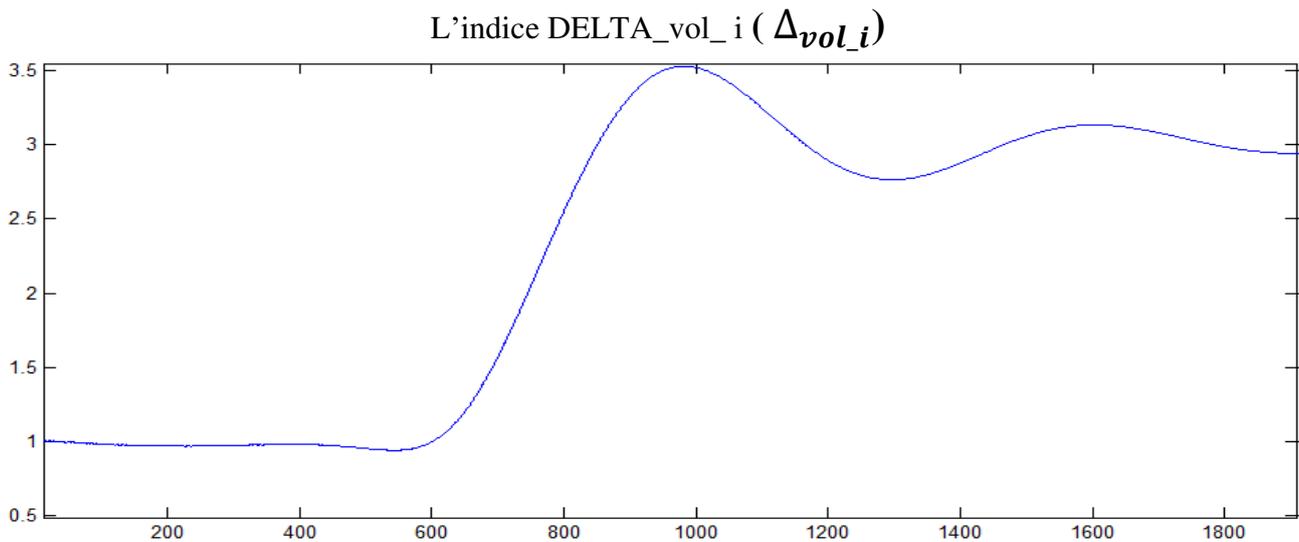


Fig. III.17 : (DELTA_vol_i) et (DELTA_vol_o) estimé à l'état sain puis avec Déséquilibre

Concernant l'indice (Δ_{vol_i}) la figure (Fig. III.17.a) illustre clairement qu'il sensible à la présence de défaut de déséquilibre. On remarque que l'indice (Δ_{vol_i}) augmente sensiblement suite à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation. Par contre, cet indice a resté constant et insensible au défaut de CCSP. Ceci peut être considéré comme un meilleur facteur de séparation entre un défaut de CCSP et le déséquilibre de tension. La figure(Fig. III.17.b) Il s'avère que l'indicateur (Δ_{vol_o}) resté presque constant et insensible au défaut de déséquilibre, Par contre cet indice est sensible à la présence de défaut de CCSP. on peut les utilisées comme indicateur de défaut de CCSP

	(Δ_{imp_i})	(Δ_{imp_o})	(Δ_{cur_i})	(Δ_{cur_o})	(Δ_{vol_i})	(Δ_{vol_o})
l'état sain	14	3000	4	0.34	1	0.4
déséquilibre	32	200	35	0.36	3.5	0.2
Sensibilité	128%	-93%	775%	5.88%	250%	-50%
	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	insensible

Tableau III.2 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence de défaut de déséquilibre

III.6.2 L'effet de variation de la charge sur les indicateurs :

Comme nous l'avons dit précédemment, la variation au niveau de la charge mécanique influe aussi sur l'ensemble des indicateurs proposés (sachant qu'un bon indicateur est celui qui insensible aux variations de la charge). Pour cela, nous avons démarré un moteur fonctionnant à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge obtenu les résultats suivants :

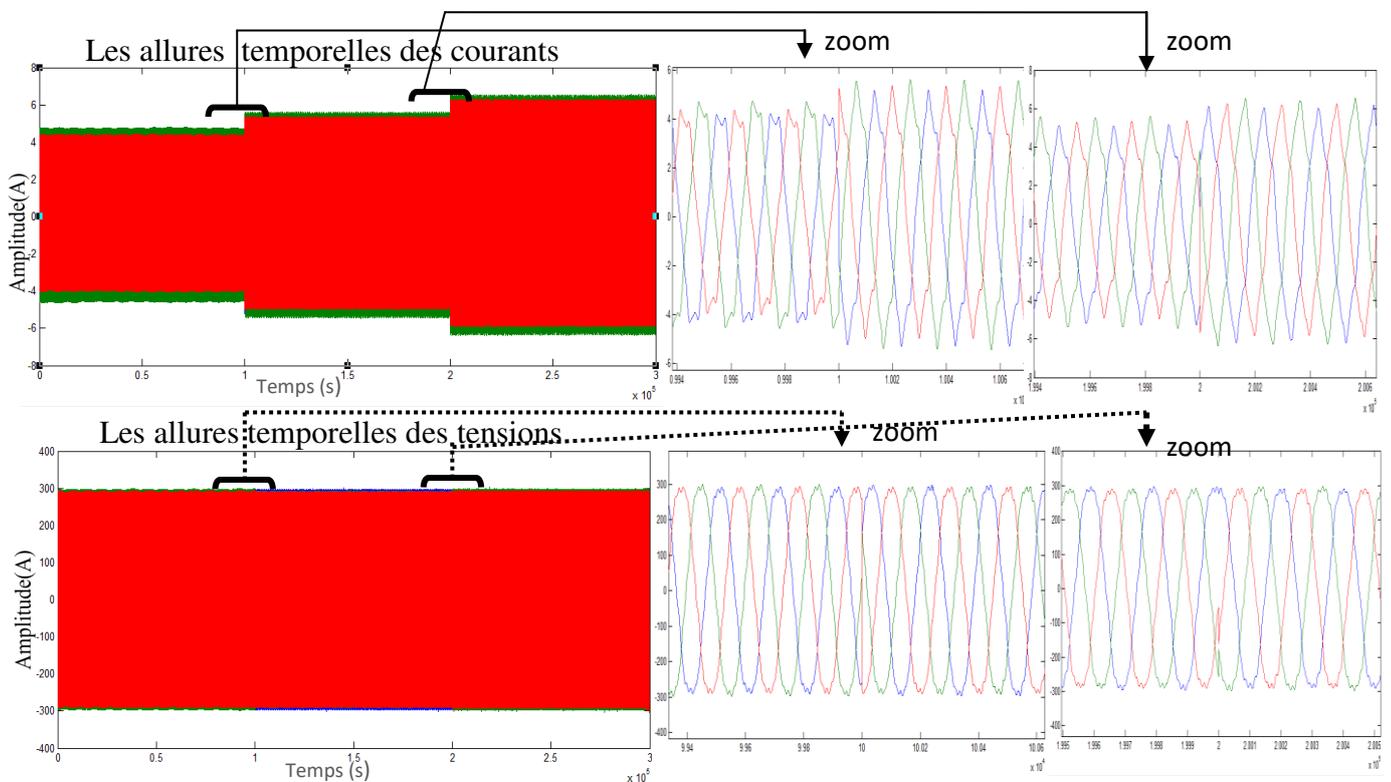


Fig. III.18 : les allures temporelles des courants et tensions statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

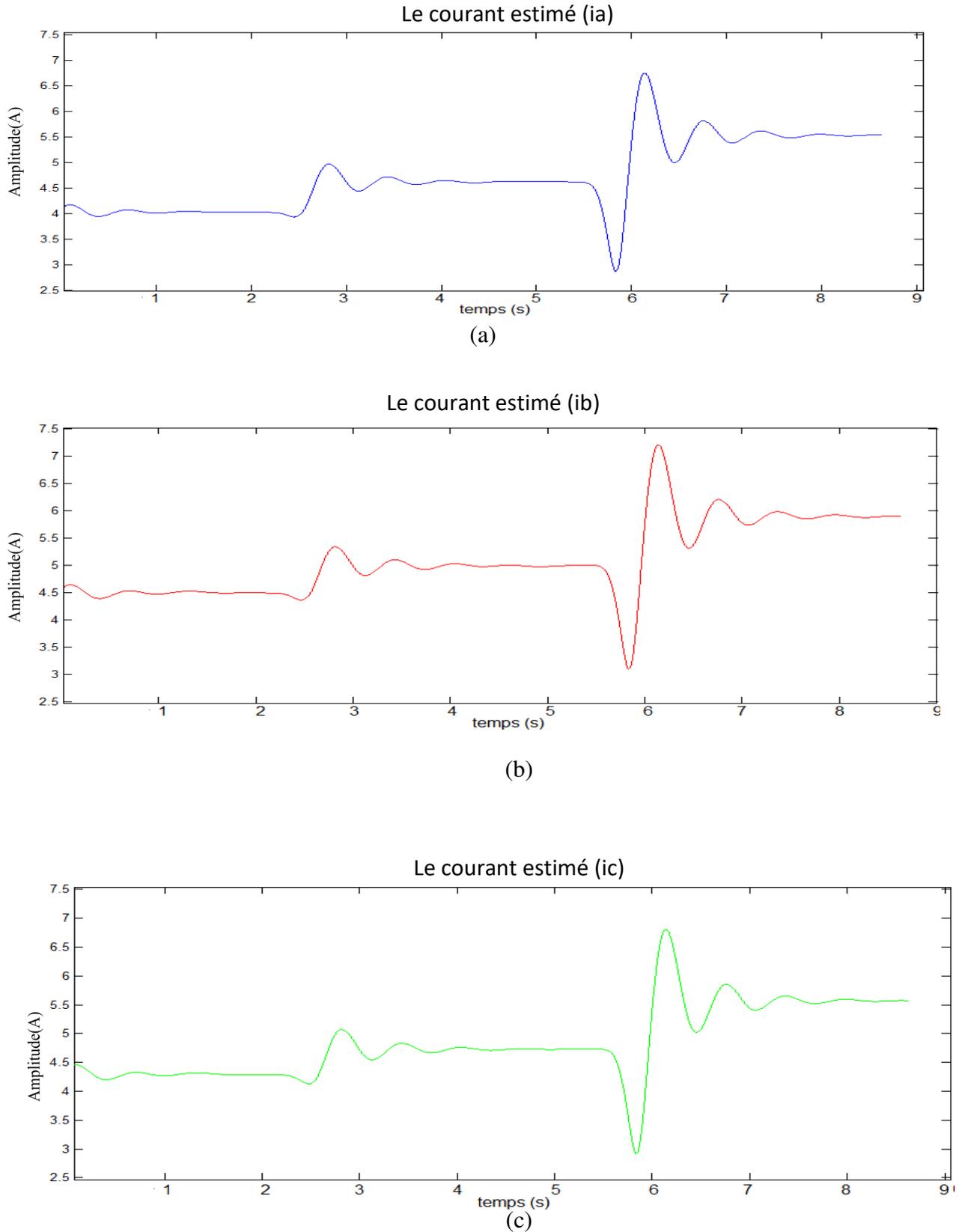


Fig. III.19 les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois courants statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

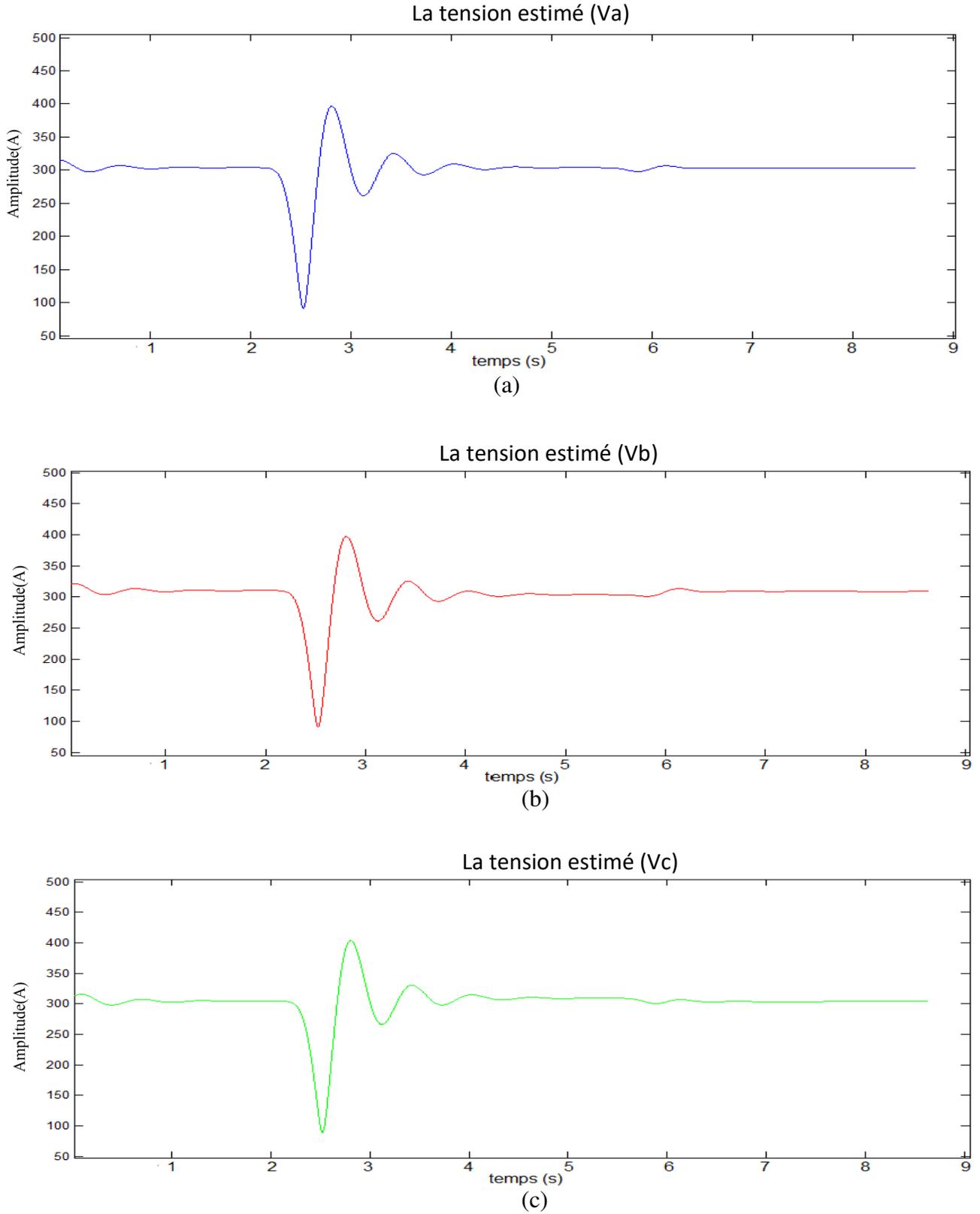


Fig. III.20 : les amplitudes estimées des harmoniques fondamentaux des trois tensions statoriques à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

Les figures (III.18, III.19 et III.20) ont commencé que l'augmentation de la charge entraîne une élévation dans le même sens sur les amplitudes des trois courants statoriques. Cependant, les amplitudes des tensions d'alimentation restent presque constante est insensible à la variation de la charge.

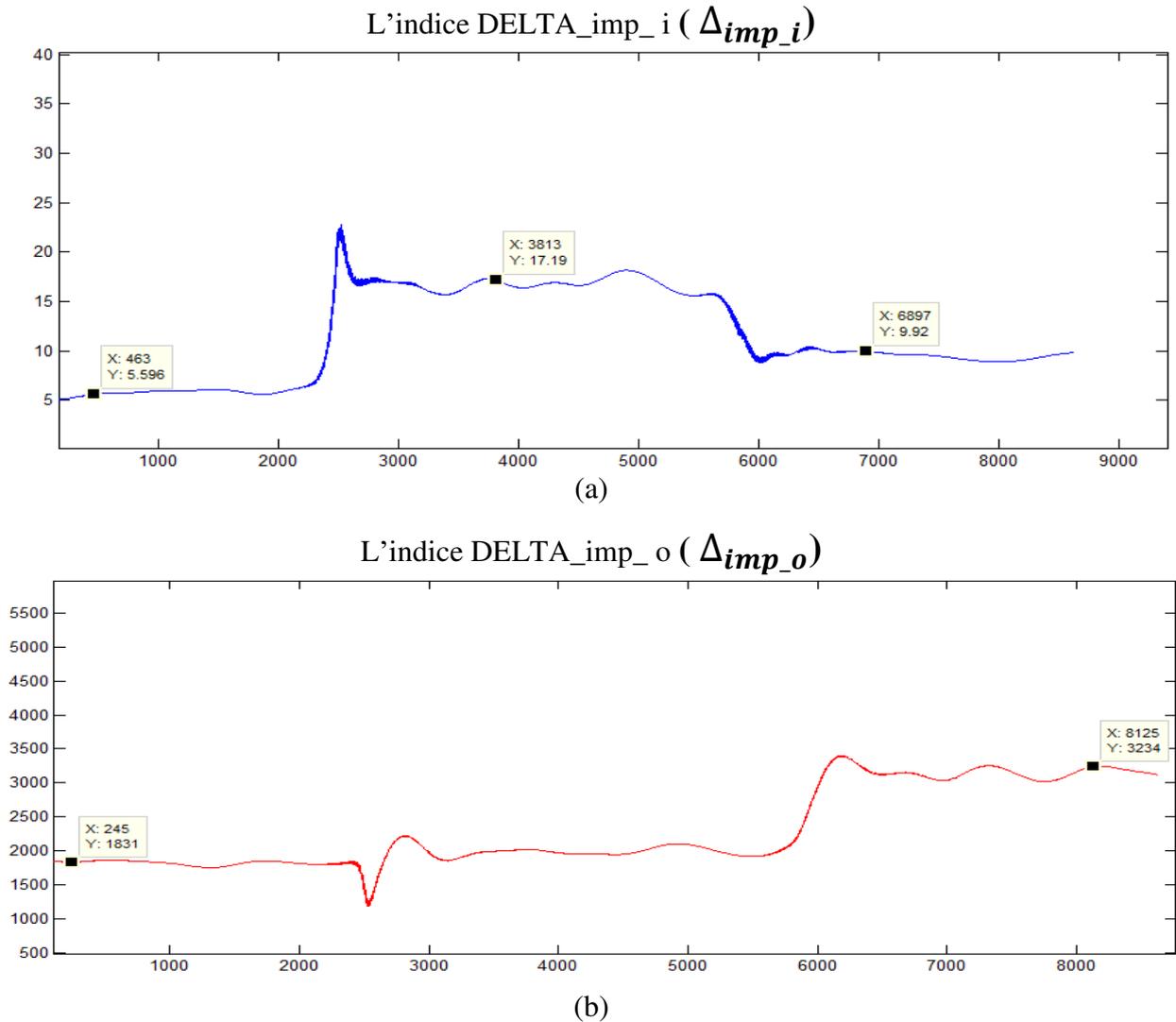


Fig. III.21 : (DELTA_imp_i)et (DELTA_imp_o) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

La Figure (fig. III.21.), montre que les indicateurs (Δ_{imp_o}) et (Δ_{imp_i}), accroissent les deux dans le même sens suit à une élévation de la charge. les indicateurs ce sont sensible à la variation de la charge. Ceci ne peut pas être considéré comme des facteurs de distinction entre un défaut de CCSP ou déséquilibre et une variation dans la charge.

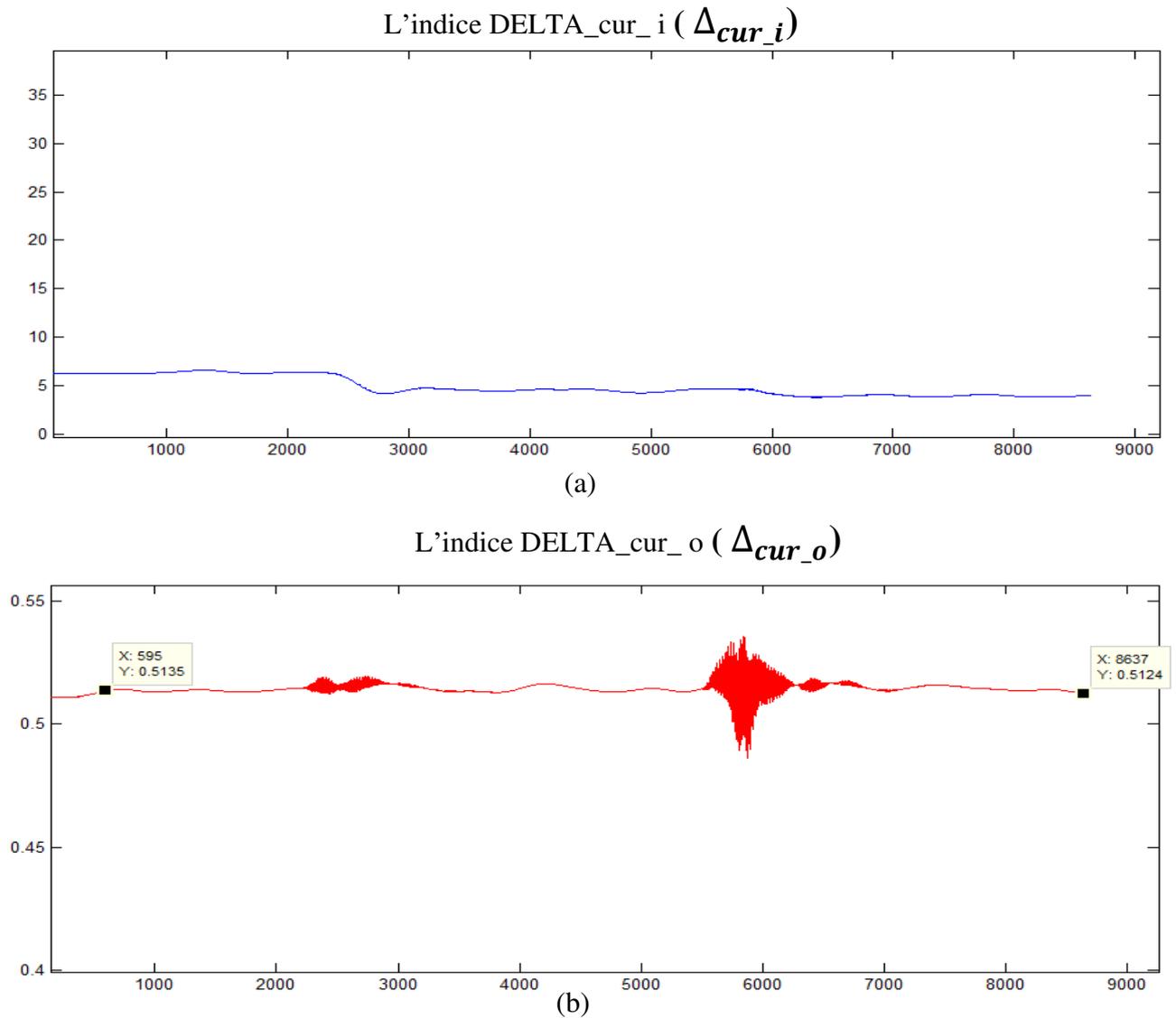


Fig. III.22 : (Δ_{cur_i}) et (Δ_{cur_o}) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

Concernant les indices (Δ_{cur_o}), (Δ_{cur_i}) La figure (fig. III.22.) illustre clairement qu'ils restent presque constante est insensibles à la variation de la charge. *Par conséquent, on peut les utilisées pour différencier entre le défaut de CCSP, le déséquilibre et la variation de la charge.*

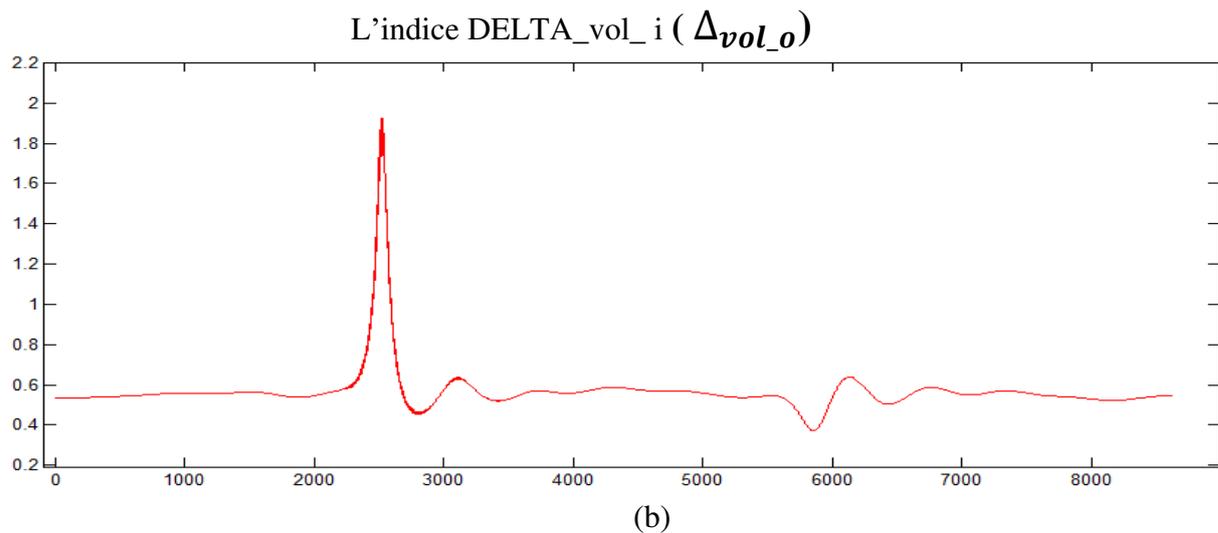
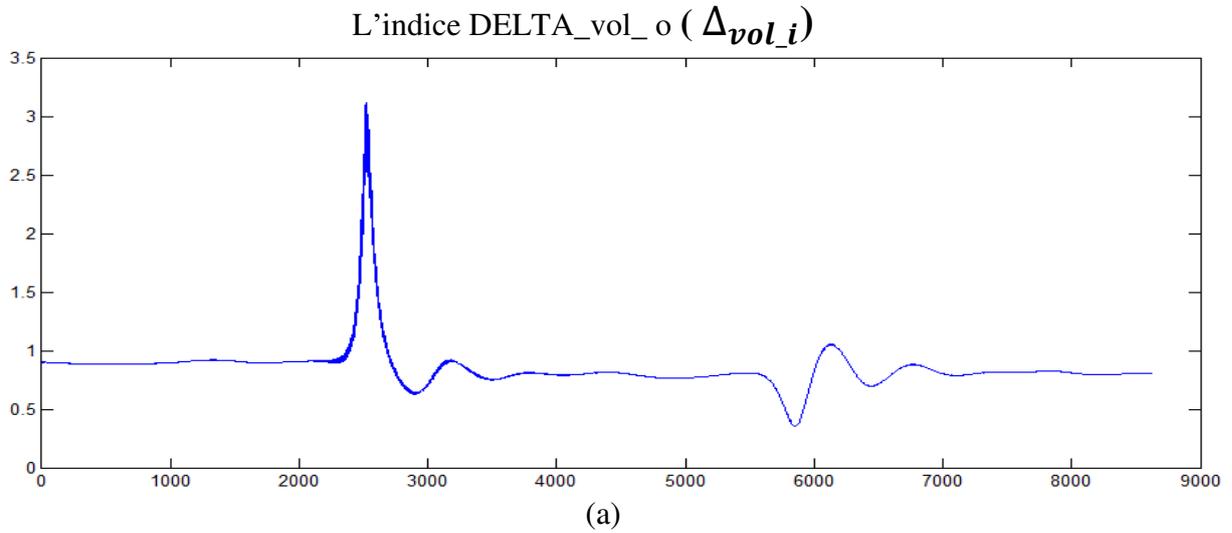


Fig. III.23 : (Δ_{vol_i}) et (Δ_{vol_o}) estimé à vide puis 15% de la charge et finalement à 30% de la charge

Concernant les indices (Δ_{vol_o}), (Δ_{vol_i}) La figure (fig. III.22.) illustre clairement qu'ils restent presque constante est insensibles à la variation de la charge. *Par conséquent, on peut les utilisées pour différencier entre les défaut. considérés des meilleures facteurs de distinction entre un défaut de CCSP ou déséquilibre et une variation dans la charge.*

	(Δ_{imp_i})	(Δ_{imp_o})	(Δ_{cur_i})	(Δ_{cur_o})	(Δ_{vol_i})	(Δ_{vol_o})
l'état sain	5	1800	6	0.5	0.9	0.5
15% de la charge et finalement à 30% de la charge	17	3200	4	0.5	0.8	0.5
Sensibilité	240%	76%	33%	0%	-11%	0%
	sensible	sensible	insensible	insensible	insensible	insensible

Tableau III.3 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence d'un variation dans la charge

Interprétation générale des résultats

A la lumière de cette étude, on peut Choisissez le meilleur indicateur :

- L'indice (Δ_{vol_i}) est sensible seulement à la présence de déséquilibre de tensions d'alimentation. Il est insensible à la présence d'un défaut de CCSP ou les variations dans la charge. A l'état sain, il prend des très petites valeurs et juste après le déséquilibre, il augmente considérablement. Ceci est un indicateur approprié de défaut de déséquilibre
- L'indice (Δ_{vol_o}) est sensible seulement à la présence de défaut de CCSP. Il est insensible à la présence d'un déséquilibre de tensions d'alimentation ou les variations dans la charge. A l'état sain, il prend des très petites valeurs et juste après le CCSP, il augmente considérablement. Ceci est un indicateur approprié de défaut de CCSP
- L'indice (Δ_{cur_i}) est sensible suit à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation et presque insensible Quand cela se produit un défaut de CCSP ou bien la variation de la charge. On peut dire que (Δ_{cur_i}) C'est un indicateur de déséquilibre

- L'indice (Δ_{cur_o}) nous pouvons également choisir (Δ_{cur_o}) comme un indicateur pour le défaut de CCSP et défaut de déséquilibre a cause des sa sensibilité, elle est très faible à la variation de la charge, et la valeur de ce indicateur augmente suit l'apparition d'un déséquilibre et diminue suit à l'apparition d'un court-circuit
- L'indice (Δ_{imp_o}) est sensible suit à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation et sensible aussi quand cela se produit un défaut de CCSP ou bien la variation de la charge, l'indice (Δ_{imp_i}) est sensible suit à l'apparition d'un déséquilibre dans les tensions d'alimentation et sensible aussi quand cela se produit un variation de la charge. ne peut pas utilisé les deux indice pour différencier entre le défaut de CCSP, le déséquilibre et la variation de la charge.

Le meilleur indicateur de défaut de CCSP c'est l indicateur

$$(\Delta_{vol_o})$$

Le meilleur indicateur de défaut de déséquilibre c'est l indicateur

$$(\Delta_{vol_i})$$

	l'état sain	6 spires en court-circuit	l'état sain	déséquilibre	à vide	15% de la charge et finalement à 30% de la charge
DELTA_imp_i	15	18	14	32	5	17
	20%		128%		240%	
	insensible		sensible		sensible	
DELTA_imp_o	3500	700	3000	200	1800	3200
	-80%		-93.3%		76%	
	sensible		sensible		sensible	
DELTA_cur_i	4	12	4	35	6	4
	200%		775%		33%	
	Presque insensible		sensible		insensible	
DELTA_cur_o	0.33	0.31	0.34	0.36	0.5	0.5
	-6.06%		5.88%		0%	
	sensible		sensible		insensible	
DELTA_vol_i	0.9	0.9	1	3.5	0.9	0.8
	0%		250%		-11%	
	insensible		sensible		insensible	
DELTA_vol_o	0.4	2	0.4	0.2	0.5	0.5
	400%		-50%		0%	
	sensible		insensible		insensible	

Tableau III.4 : la Sensibilité de les indicateurs à la présence d'un défaut de CCSP, défaut de déséquilibre et variation dans la charge

III.7. Validité de les indicateures (Δ_{vol_o}) (Δ_{vol_i}) pour une séquence des événements :

Dans cette partie, on va étudier et tester la validité de les indicateurs (Δ_{vol_o}) (Δ_{vol_i}) dans le cas d'une séquence de plusieurs évènements lors du fonctionnement du moteur. Pour cela, notre moteur a été d'abord démarré puis, on a effectué plusieurs évènements selon la séquence suivante :

1. Démarrage à vide à l'état sain
2. Introduction d'un défaut de 6 spires en cc, à vide
3. Application d'une charge de 15% puis 30% à l'état sain
4. Introduction d'un déséquilibre de tension, à vide

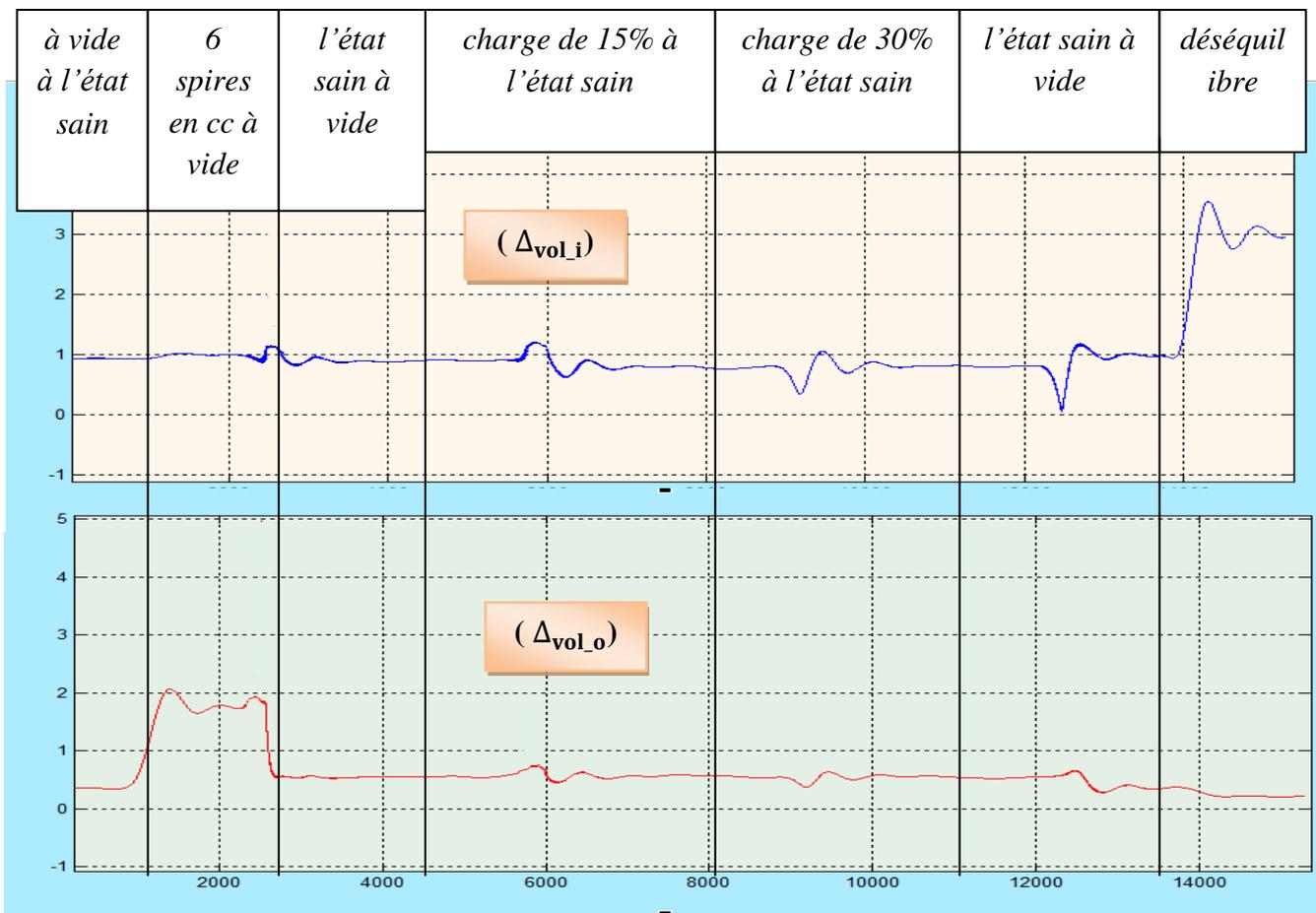


Fig. III.24: Evolution des indicateurs(Δ_{vol_o}), (Δ_{vol_i}) pour une séquence des évènements

L'indice (Δ_{vol_o}) est sensible seulement à la présence de défaut de CCSP.

L'indice (Δ_{vol_i}) est sensible seulement à la présence de déséquilibre de

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué la méthode de PRONY ce dernier s'est avéré efficace. L'algorithme proposée a permis d'estimer online tous les indicateurs définis. Plusieurs tests ont été effectués. Les résultats obtenus prouvent l'efficacité de la méthode proposée quant à la détection de défaut CCSP et le déséquilibre de tension.

Donne de bonnes estimations des amplitudes et des fréquences de fondamental des trios courants et les trios tensions statoriques, pour calculer les indicateurs Δ_{vol_i} , Δ_{vol_o} , Δ_{cur_i} , Δ_{cur_o} , Δ_{imp_i} , Δ_{imp_o} . et aussi PRONY a bien suivi de la non stationnarité de notre signal et cette très importante afin de s'assurer un bon travail de nos indicateurs des défauts de court-circuit entre spires statoriques. et en fin nous allons peut-être prendre les indicateurs (Δ_{vol_i}) , (Δ_{vol_o}) comme indicateurs pour détecter en ligne le défaut de court-circuit entre spires statoriques dans la machine asynchrone, et identifier entre le problème déséquilibre la tension d'alimentation et la variation de la charge.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail qui a été présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans la machine asynchrone à cage d'écurueil, dans ce travail on a représenté la détection online de défaut de court-circuit entre spires statoriques par l'analyse des indicateurs calculées à partir des impédances statoriques et des composants symétriques et des amplitudes des harmoniques fondamentaux issus des tensions et courants statoriques..

Nous avons, dans un premier chapitre, rappelé les éléments de constitution de la machine et de préciser les différents défauts pouvant survenir sur ceux-ci, afin de préciser les différents méthodes de diagnostic des défauts.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié le contenu spectral du courant statoriques du moteur asynchrone triphasé à cage et on a montré la richesse de ce dernier en harmoniques, tel qu'on a identifié seulement quatre types d'harmoniques : les TH, les RSH, les **EFH** et RBFH et on a montrons que le défaut de court-circuit entre spires statoriques n'a pas de signatures fréquentielles propres dans le spectre du courant statoriques.

Dans ce dernier chapitre, nous avons proposé une méthode basée sur la technique de la méthode de PRONY pour la détection de la présence d'un défaut de court-circuit entre spires statoriques , et distinguer entre eux et le problème de déséquilibre de tension d'alimentation et la variation de la charge via l'ensemble des indicateurs proposés Δ_{vol_i} , Δ_{vol_o} , Δ_{cur_i} , Δ_{cur_o} , Δ_{imp_i} , Δ_{imp_o} et aussi PRONY a bien suivre de no stationnarité de notre signal et cette très important afin de s'assurer bon travail de notre indicateurs des défaut de court-circuit entre spires statoriques . et en fin nous allons peut être prennent les indicateurs (Δ_{vol_i}) , (Δ_{vol_o}) comme indicateurs pour détection Online le défaut CCSP dans la machine asynchrone , et identifier entre le problème déséquilibre la tension d'alimentation et variation de la charge.

Bibliographie

[1SRC] **S. REZGUI** « commende de machine électrique en environnement » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électrotechnique.2009

[2MBP] : **BELLIER et A. GALICHON** « Machines électriques » Electricité industrielle LIBRAIRIE DELAGRAVE. 15, rue Soufflot, 75005 Paris.

[5TRH] :**M.Z. TAIBI et O. RAHMANI** « Diagnostic de défauts électriques de la MAS à Rotor à Cage d'écureuil par les réseaux de neurones » Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen BADI, El-Harrach, 2009.

[4PJG] : **C. PRÉVÉ et R. JEANNOT** « Guide de conception des réseaux électriques industriels » Schneider Electric, 1997.

[MR09] : **Mr ROUAIBIA Reda** « DETECTION ET DIAGNOSTIC DESDEFAUTS DES MOTEURS ASYNCHRONES » MEMOIRE Magister Département de Génie Electrique UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA Année **2009**.

[SAH10]: **SAHRAOUI, Mohamed**, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones», Thèse de doctorat, département d'électrotechnique, Université de Biskra, 2010.

[MAB17] : **Mabrouk Abd Elhamid** « Contribution Au Diagnostic De La Machine Asynchrone En Présence De Variation De Charge » Thèse de doctorat, département Electrotechnique, Université de Biskra, 2017.

[KHA15]: **Khabouri, Houssam**, « Estimation de la vitesse d'un moteur asynchrone par la méthode de FFT », Mémoire de Master, département d'électrotechnique, Université de Biskra, 2015.

[THO01]: **W.T. Thomson, M. Fenger**, "Current signature analysis to detect induction motor faults," IEEE Industry Applications Magazine, july/August 2001.

[GAB]: **Gabriel Cormier** « Circuits triphasés déséquilibrées ».chapitre 4, http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/Electrotechnique/Chap4.pdf