

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire BOUSSOUF Abdelhafid -Mila**

**Institut des Sciences et Technologie**

**Département de Génie Mécanique et Électromécanique**



N°Ref :.....

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme**

**de MASTER**

**Spécialité : électromécanique**

# **Etude et diagnostic des défauts de transformateurs de puissance et leurs risques**

**Réalisé par :**

- Boudraa Salah-eddine
- Chelloukh Ilias

**Soutenu devant le jury :**

**Mr. M.Tiar**

**Président**

**Mme. M.Benneia**

**Examineur**

**M R. Bouhnnache**

**Promoteur**

**Année universitaire : 2021/2022**

## Résumé

Le transformateur joue un rôle important dans le transport et la distribution de l'énergie électrique. Il permet à l'énergie électrique d'être transportée sur de longues distances, il permet ensuite sa distribution pour les industries et les habitations.

Ce mémoire consiste à présenter le transformateur dans son intégrité, décrivant le mode de fonctionnement ainsi que les contraintes qu'il peut rencontrer.

Les méthodes de diagnostic ont été présentées brièvement en se focalisant sur la méthode de diagnostic par analyse fréquentielle.

L'étude est appuyée sur un rapport d'analyse d'un transformateur de puissance à la société de gestion du réseau de transport électrique.

### مُلخَّص

يلعب المحول دورًا مهمًا في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، فهو يسمح بنقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة، ثم يسمح بتوزيعها على الصناعات والمنازل.

تتكون هذه المذكرة من تقديم المحول في سلامته، ووصف طريقة التشغيل بالإضافة إلى القيود التي يمكن أن يفرضها. تم عرض طرق التشخيص بإيجاز، مع التركيز على طريقة التشخيص عن طريق تحليل التردد. تستند الدراسة إلى تقرير تحليلي لمحول طاقة لشركة إدارة شبكة نقل الكهرباء.

## Abstract

The transformer plays an important role in the transport and distribution of electrical energy. It allows electrical energy to be transported over long distances, it then allows its distribution for industries and homes.

This memory consists in presenting the transformer in its integrity, describing the constitution and the mode of operation as well as the constraints which it can meet.

The diagnostic methods were briefly presented, focusing on the diagnostic method by frequency analysis.

The study is based on an analysis report of a power transformer to the electricity transmission network management company.

# *Remerciement*

*Qu'il nous soit d'abord permis de remercier et d'exprimer notre gratitude envers le  
Bon Dieu, qui nous a donné la patience et le courage pour que nous puissions  
achever ce travail.*

*Nous adressons tous nos sincères et respectueux remerciements à nos promoteur, Mr*

*BOUHNACHE*

*pour leur dévouement et leur disponibilité durant la préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre  
travail.*

*Nous tenons également, à remercier tout le corps enseignant du département  
électromécanique qui a contribué à notre formation.*

*Enfin, nous tenons à remercier, tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin pour  
l'élaboration de ce présent travail.*

# *Dédicaces*

## *A MA TRES CHERE MERE*

*Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière et ta  
Bénédictioin m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie.  
Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma  
profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes  
sacrifices.*

*Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur.*

## *A MON TRES CHER PERE*

*De tous les pères, tu es le meilleur. Tu as été et tu seras toujours un exemple pour  
moi par tes qualités humaines, ta persévérance et perfectionnisme. En témoignage de  
brut d'années de sacrifices, de sollicitudes, d'encouragement et de prières.*

*Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.*

## *A MON frère*

## *A MES TRES CHERES SŒURS*

## *A MON SŒUR*

*Une sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, Puisse Allah te protéger,  
garder et renforcer notre fraternité. Je te souhaite tout le bonheur du monde*

*B.SALAH  
C. ILIAS*

## Nomenclature

$a$  : Facteur de dilatation « Echelle ».

$c$  : Facteur de translation.

$C_p, C_s, \text{ et } C_{ps}$  Sont des capacités parasites qui apparaissent en hautes fréquences [F].

D : la puissance déformante due aux harmoniques du courant.

$i_p$  : Courant au primaire [A].

$i_s$  : Courant au secondaire [A].

$l$  : La longueur du fil [m].

$L_p$  : L'inductance de fuites des enroulements du primaire [H]

$L_s$  : L'inductance de fuites des enroulements primaire [H]

$M$  : L'inductance mutuelle [H].

$n$  : Le nombre de discrétisation.

$n_{cc}$  : Le taux de spire en court-circuit.

$N_p$  : Nombre de spires du primaire.

$N_s$  : Nombre de pires du secondaire. P : la puissance active.

Q : la puissance réactive associée au courant fondamental.

$r_1$  : Le rayon d'une spire [m].

$rc$  : Le rayon du fil conducteur [m].

$R_p$  : La résistance de fuites des enroulements du primaire [ $\Omega$ ]

$R_s$  : La résistance de fuites des enroulements du secondaire [ $\Omega$ ]

$R_\theta$  : La résistance d'une pièce de platine en fonction de la température

$R_{fe}$  : Résistance du circuit magnétique [ $\Omega$ ]

v : tension

$S$  : La section du fil [ $m^2$ ].

$S$  : la puissance apparente.

TF : La Transformée de Fourier Rapide

$\nu$  : reprenant la fréquence du TF

$v_p$  : Tension du primaire [V]

$v_s$  : Tension du secondaire [V].

$X_\mu$  : La réactance de magnétisation du circuit magnétique correspondant à ce flux [ $\Omega$ ]

$y_1$  : La valeur efficace de la composante fondamentale

$y_n$  : Les valeurs exactes des différentes composantes harmoniques

$\varphi_1$  : représente le déphasage entre le courant fondamental et la tension.

$\theta$  : La température du platine [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\mu$  : Perméabilité magnétique absolue [H/m]

R : La reluctance du circuit magnétique

$\emptyset$  : Le flux du champ magnétique

# Table des matières

---

## Sommaire

Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des symboles utilisés	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I :Les différents constituants des transformateurs de puissance</b>	
I.1 Introduction .....	3
I.2 Transformateurs électriques .....	4
I.2.1 le transformateur électrique et ses composants.....	4
I.2.2 Le principe de fonctionnement du transformateur électrique .....	5
I.3 Classification des transformateurs .....	7
I.3.1 Classification suivant la construction du noyau.....	7
I.3.1.a Forme du noyau .....	7
I.3.1.b Forme de coque .....	7
I.3.2 Classification des transformateurs électriques en termes de niveau de tension .....	8
I.3.3 Classification des transformateurs électriques selon le nombre de phases.....	8
I.4 Méthodes de couplage des transformateurs triphasés.....	9
<b>Chapitre II : Diagnostic des défauts des transformateurs de puissance et leurs diverses pannes</b>	
II.1 introduction.....	12
II.2 Objectif du diagnostic et principes généraux .....	12
II.3 les Défauts de transformateur .....	12
II.3.1 défauts lies à la fabrication.....	12
II.3.2 défauts d'ordre mécanique.....	12
II.3.3 défauts d'ordre atmosphérique.....	12
II.3.4 défauts d'ordre électrique.....	14
II.4 Les types de défauts entre spires .....	15
II.4.1 Amorçage diélectrique entre spires .....	15

## Table des matières

---

II.4.2	Court-circuit entre spires .....	15
II.4.3	Coupure du circuit électrique .....	16
II.4.4	Déformation géométrique des enroulements .....	16
II.5	Les méthodes de détection des défauts.....	17
II.5.1	Détection de défaut par les capteurs thermiques à savoir le thermomètre à résistance de platine .....	18
II.5.2	Détection des défauts à l'aide d'un transformateur de courant.....	19
II.5.2.a	Description .....	19
II.5.2.b	Mode de détection de défaut sur un transformateur de puissance .....	20
II.5.2.c	Système de détection de défaut de court-circuit entre spires.....	20
II.6	Les causes des défauts.....	21
II.7	Présentation du processus de diagnostic.....	22
II.7.1	La technique de diagnostic.....	22
II.8	Modélisation d'un court-circuit entre spires dans un transformateur de puissance.....	24
II.8.1	Modèle d'un transformateur triphasé de puissance.....	24
II.9	L'interaction entre les composants d'un circuit électrique.....	26
II.9.1	Modélisation de court-circuit entre spires.....	28
II.10	Conclusion.....	29

### Chapitre III : Simulation de transformateur en circuit ouvert et court circuit

III.1	Introduction.....	30
III.2	Représentation du système.....	30

# Table des matières

---

<b>III.3</b>	<b>Les équation utilisées pour la simulation .....</b>	<b>31</b>
<b>III.3.1</b>	<b>Cas du transformateur en circuit ouvert .....</b>	<b>31</b>
<b>III.3.2</b>	<b>Cas du transformateur en court-circuit .....</b>	<b>32</b>
<b>III.3.2.a</b>	<b>Application numérique en circuit ouvert.....</b>	<b>34</b>
<b>III.3.2.b</b>	<b>Application numérique en cas court-circuit.....</b>	<b>34</b>
<b>III.4</b>	<b>Résultat de simulation .....</b>	<b>35</b>
<b>III.4.1</b>	<b>Résultat de simulation en circuit ouvert .....</b>	<b>35</b>
<b>III.4.2</b>	<b>Résultat de simulation en court-circuit .....</b>	<b>41</b>
<b>III.5</b>	<b>comparaison entre application numérique et shema Simulink.....</b>	<b>47</b>
<b>III.6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>48</b>
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>49</b>
	<b>Référence bibliographiques</b>	
	<b>Annexe</b>	
	<b>Résumé</b>	

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau I.1</b> : domaines de tension qui sont définis par la norme NF C 18-510 comme pour le tableau .....	3
<b>Tableau I.2</b> : Méthodes de couplage des transformateurs triphasés .....	11
<b>Tableau III.2</b> les valeurs des paramètres utilisées pour la simulation .....	33

## Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b> : Exemples de domaines de tension.....	4
<b>Figure I .2</b> : Les composants électriques d'un transformateur .....	5
<b>Figure I .3</b> : Les différents flux résultant lors du passage d'un courant électrique.....	6
<b>Figure I .4</b> : Classification des transformateurs suivant la construction du noyau .....	8
<b>Figure I .5</b> : transformateur triphasé constitué de trois transformateurs monophasés .....	9
<b>Figure I .6</b> : un seul transformateur triphasé .....	9
<b>Figure I .7</b> : les Forme des couplages .....	10
<b>Figure II .1</b> : Défaut suite au mauvais serrage sur borne BT .....	13
<b>Figure II .2</b> : une foudre et ces impactes pour un transformateur de puissance.....	14
<b>Figure II .3</b> : Court-circuit entre les spires.....	14
<b>Figure II .4</b> : Amorçage diélectrique entre spire.....	15
<b>Figure II .5</b> : Court-circuit entre spires .....	16
<b>Figure II .6</b> : Coupure du circuit électrique .....	16
<b>Figure II .7</b> : Déformation géométrique des enroulements .....	17
<b>Figure II .8</b> : Relation entre la résistance du transformateur et la température selon les modèles PTC d'ordre 2 et d'ordre 4.....	19
<b>Figure II .9</b> : Schéma de principe de transformateur de courant .....	20
<b>Figure II .10</b> : Les actions de diagnostic sur les transformateurs de puissances.....	22
<b>Figure II .11</b> : diagnostic sur les transformateurs de puissances .....	23
<b>Figure II.12</b> : Modèle complet du Transformateur .....	25

## Liste des figures

---

<b>Figure II.13 :</b> Schéma électrique équivalent pour les spires primaires et secondaires .....	27
<b>Figure II.14:</b> Présentation du défaut sur une bobine .....	29
<b>Figure II.15:</b> Présentation du défaut en deux bobines différentes .....	29
<b>Figure III.1 :</b> les composantes les vecteurs courant .....	31
<b>Figure III.2 :</b> modèle électrique de la spire primaire .....	31
<b>Figure III.3 :</b> modèle électrique du transformateur en court-circuit .....	32
<b>Figure III.4</b> le Réglage du transformateur triphasé utilisé par Simulink .....	33
<b>Figure III.5:</b> Modèle du transformateur à vide et les différents blocs pour la simulation .....	35
<b>Figure III.6 :</b> Les tensions et les courants à l'entrée du transformateur à vide .....	36
<b>Figure III.7:</b> Les tensions et les courants à l'entrée du transformateur en circuit ouvert agrandie .....	36
<b>Figure III.8:</b> Représentation séparée de la tension d'une phase .....	37
<b>Figure III.9:</b> Représentation séparée agrandie de la tension d'une phase.....	38
<b>Figure III.10 :</b> Représentation séparée du courant d'une phase du transformateur. ....	39
<b>Figure III.11 :</b> la courbe agrandie représentative du courant primaire à vide en fonction du temps .....	39
<b>Figure III.12:</b> la puissance active de l'entrée du transformateur en circuit ouvert agrandie ...	40
<b>Figure III.13 :</b> la puissance en circuit ouvert à l'entrée du transformateur .....	40
<b>Figure III.14:</b> Modèle du transformateur triphasé en court circuit et les différents blocs utilisés pour la simulation .....	41

## Liste des figures

---

<b>Figure III.15:</b> Représentation temporelle des tensions et des courants à l'entrée du transformateur en court-circuit .....	41
<b>Figure III.16 :</b> la puissance active en court-circuit à l'entrée du transformateur.....	42
<b>Figure III.17 :</b> La représentation temporelle du signal tension en court-circuit et sa réponse d'analyse FFT .....	43
<b>Figure III.18:</b> La représentation temporelle du signal tension en court-circuit et sa réponse d'analyse FFT agrandi.....	43
<b>Figure III.19:</b> La représentation temporelle du signal courant en court-circuit et sa réponse. d'analyse FFT en court-circuit à l'entrée du transformateur.....	44
<b>Figure III.20:</b> La représentation temporelle du signal courant en court-circuit et sa réponse. d'analyse FFT en court-circuit agrandie .....	45
<b>Figure III.21 :</b> la puissance active en court-circuit du transformateur .....	46

## Abréviation

---

FFT : Fast Fourier Transform : Transformée de Fourier Rapide.

THD : taux de distorsion harmonique.

TO : transformée en ondelettes.

HT : haut tension.

Bt : bas tension .

THT : Très haute tension

MT : Moyenne tension

ACP : Analyse en composante principales.

Ns : nombre de spire.

NF : norme française

# Introduction générale

## Introduction générale

---

Les transformateurs de puissance sont des équipements coûteux qui sont essentiels à la bonne marche des réseaux électriques. Ils jouent un rôle important dans le transport et la distribution de l'électricité. Or, même s'ils sont fiables, des pannes peuvent survenir. Au fil des ans, les techniques d'évaluation de l'état des transformateurs ont considérablement évolué. Aujourd'hui, le vieillissement des transformateurs en service et la demande croissante d'électricité constituent les principaux moteurs d'avancement des techniques d'évaluation de l'état des transformateurs.

Afin de maintenir la fiabilité du réseau électrique, les ingénieurs doivent évaluer l'état des transformateurs en service et prendre des décisions concernant leur fonctionnement, leur protection, leurs maintenances et leur remise à neuf ou leur remplacement. Ceci est nommé le diagnostic de transformateur. Le diagnostic consiste en la détection d'un changement anormal dans le comportement ou dans l'état d'un système et dans la localisation de sa cause. Les systèmes de diagnostic peuvent être mis en œuvre en cours d'exploitation ou pendant les phases normales d'arrêt d'exploitation. En cours d'exploitation, le but est de garantir la sécurité et la continuité de service et d'enregistrer les événements utiles pour la maintenance curative ou le retour d'expérience. En arrêt d'exploitation, l'objectif est d'évaluer le degré de vieillissement de certains éléments, de décider d'une opération de maintenance préventive ou curative.

Comme indication historique, il faut savoir que de 1830 à 1885 plusieurs physiciens, scientifiques et ingénieurs ont expérimenté et étudié les divers phénomènes autour des transformateurs, citons Michael Faraday, Joseph Henry (auto-induction), Nicholas Joseph Callan qui avait inventé en 1837, le premier transformateur.

Lorsque un défaut est produit, les propriétés mécaniques, diélectriques et thermiques du transformateur sont souvent touchées, et tendre à diminuer avec le temps à des valeurs inférieures. Les défauts latents sont les plus risqués car ils peuvent s'amplifier avec le temps et provoquent une perforation d'isolement par de différentes causes telles que les courants de défaut (courant de court – circuit, courant d'enclenchement, ...) et les surtensions électriques (transitoire, manœuvre, où de foudre). L'évaluation de l'état du transformateur est souvent réalisée à travers les diagnostics effectués. Le vecteur principal de l'évaluation de la condition du transformateur est généralement apportée par l'analyse de son huile où la majorité des informations recueillies sont données et exploitées pour des actions de maintenance. La décomposition de l'huile selon les différents défauts et leurs intensités conduit à la formation des gaz qui peuvent être exploités pour le diagnostic .

## Introduction générale

---

Ce travail de mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude de transformateur de puissance et ses différents constituants ainsi qu'un diagnostic des défauts de transformateurs de puissance et leurs risques. En effet, afin d'identifier les défauts latents où le mode de défaillance touchant le transformateur par un simple prélèvement.

Pour améliorer et automatiser le processus de diagnostic, nous avons simulé par Matlab Simulink le transformateur à vide et en court-circuit, et nous avons présenté les courbes de tension de courant et de puissance en représentation temporelle, mais aussi en fast fourier transforme.

Ce mémoire est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons Les différents constituants des transformateurs de puissance Pour ce chapitre, on donne une définition des transformateurs de puissance, puis on entame le rôle de ces derniers et leurs différents types et leurs constituants ainsi que leur principe de fonctionnement et l'étude théorique, on termine par une petite conclusion.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons Diagnostic des défauts des transformateurs de puissance et leurs diverses panes, ici on parle en détail des diverses panes et leurs causes en suivant un plan de diagnostic des pannes et comment y remédier.

Le dernier chapitre est destiné à la simulation par Matlab et Simulation de transformateur en circuit ouvert et court-circuit entre spires. Une étude théorique détaillée exclusive pour le défaut court-circuit entre spire, ensuite on simule par Matlab au choix des variables désirées.

# Chapitre I

**Les différents constituants des transformateurs de puissance**

## I.1 Introduction

Pour le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique, le transformateur de puissance est certainement l'outil qui a permis l'essor puis la domination des réseaux alternatifs.

Le rôle primordial d'un transformateur est l'élévation de la tension de transport afin de réduire le courant et donc de diminuer les pertes par effet joule générées dans les lignes.

L'élévation de tension est bien concordé par un abaissement aux points d'utilisation.

En général, un transformateur est un élément indispensable à l'interconnexion des différents réseaux d'énergie.

En Algérie, on trouve plusieurs types de réseaux classés comme suit :

Réseau de transport 400kV et 225kV (domaine THT),

Réseau de répartition 90kV et 63 kV (domaine HT),

Réseau de distribution 20kV (domaine MT)

Réseau basse tension BT (inférieur à 1kV).

**Tableau I.1** :domaines de tension qui sont définis par la norme NF C 18-510 comme pour le tableau

		En courant alternatif	En courant continu lissé
<b>Très basse Tension</b>		<b><math>U_n \leq 50V</math></b>	<b><math>U_n \leq 120V</math></b>
<b>Basse Tension Domaine BT*</b>	<b>BT</b>	<b><math>50V &lt; U_n \leq 1\ 000V</math></b>	<b><math>120V &lt; U_n \leq 1500V</math></b>
<b>Haute Tension Domaine HT</b>	<b>HTA</b>	<b><math>1000V &lt; U_n \leq 50\ 000V</math></b>	<b><math>1\ 500V &lt; U_n \leq 75\ 000V</math></b>
	<b>HTB</b>	<b><math>U_n &gt; 50\ 000V</math></b>	<b><math>U_n &gt; 75\ 000V</math></b>



**Figure I.1** : Exemples de domaines de tension[13]

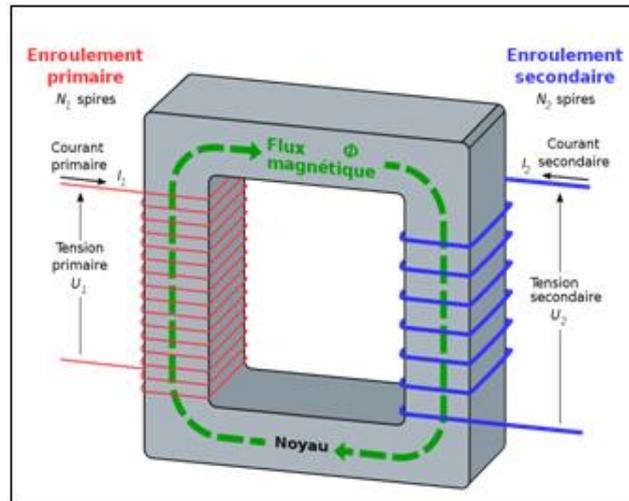
## I.2 Transformateurs électriques

Le transformateur électrique est l'un des éléments les plus importants du réseau électrique pour la transmission et la distribution de l'énergie électrique, à travers lequel la tension électrique est élevée ou abaissée (11,6 kV à 132 kV), et les bénéfices apportés par cette conversion ne se limitent pas à la seule transmission d'énergie électrique, mais l'énergie perdue dans les câbles de transmission d'énergie électrique est réduite du fait de la diminution de la valeur de le courant électrique obtenu par élévation de la tension électrique, tandis qu'à l'extrémité des réseaux électriques la tension est réduite L'électricité avant d'être distribuée aux consommateurs par des transformateurs électriques [1].

### I.2.1 Le transformateur électrique et ses composants

Il s'agit d'un dispositif fixe qui convertit l'énergie électrique alternative d'un niveau de tension à un autre niveau sans modifier la fréquence, et le processus de conversion se fait grâce à l'utilisation du champ magnétique.

Le transformateur électrique se compose d'un noyau de fer et de plusieurs bandes d'acier laminé pour augmenter l'efficacité du transformateur, et de deux fils enroulés des deux côtés du noyau de fer, l'un d'eux connecté à la source d'alimentation électrique et est appelé le primaire enroulement et se compose d'un certain nombre d'enroulements ( $N_P$  Tours), et l'autre Il est relié à la charge à alimenter, et il est appelé enroulement secondaire. Il se compose également d'un certain nombre d'enroulements ( $N_S$  Tours).



**Figure I .2 :** Les composants électriques d'un transformateur[14]

### I.2.2 Le principe de fonctionnement du transformateur électrique

Les machines électriques, y compris les transformateurs électriques, dépendent entièrement du principe de l'induction électromagnétique.

Le savant Michael Faraday a découvert le phénomène d'induction vers 1831, et lui a attribué la loi de Faraday, qui stipule que : "Le changement du flux magnétique produit à chaque instant une force électromotrice inductive qui est responsable de la génération du courant inductif à travers la bobine."

Afin de comprendre le principe de fonctionnement du transformateur électrique, il faut aborder les principes de l'électromagnétisme:

- **principes de l'électromagnétisme et Tension créée par induction magnétique**

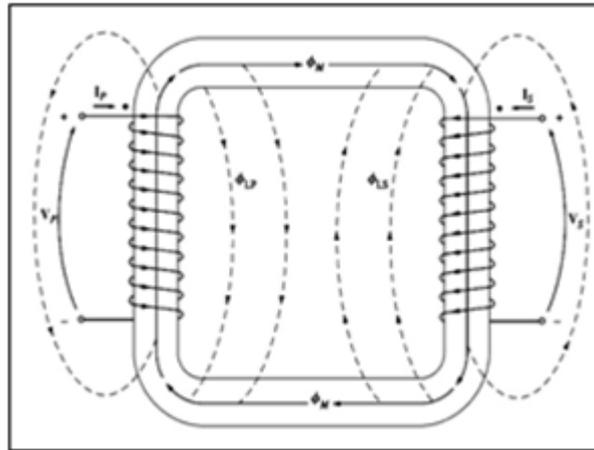
Si un conducteur est placé sous l'influence d'un champ magnétique de sorte que le conducteur coupe en continu les lignes de champ magnétique, une tension inductive sera générée entre les extrémités du conducteur chargée de générer un courant inductif si le conducteur est en circuit fermé [12].

L'enroulement primaire est connecté à la tension primaire, un courant alternatif est généré par le courant primaire, lorsque ce courant alternatif traverse la bobine primaire, un champ magnétique changeant est créé qui est transmis à travers le noyau de fer par la force magnétomotrice (MMF) à pénétrer la bobine secondaire, en pénétrant dans le champ magnétique changeant de la bobine secondaire, produit une tension inductive entre les bornes de la bobine secondaire, puis génère un courant inductif appelé courant secondaire à transmettre à la charge à alimenter.

Le flux magnétique,  $\Phi$  (flux magnétique) est défini comme le nombre de lignes de champ magnétique qui pénètrent dans une bobine, comme nous le notons dans l'image

précédente que toutes les lignes de champ magnétique ne pénètrent pas dans les bobines primaires et secondaires, où le flux magnétique total peut être divisé en trois sections comme suit :

- **Le flux mutuel** –  $\Phi_m$  qui est le champ magnétique qui pénètre dans les bobines primaire et secondaire.
- **Le flux de fuite primaire** -  $\Phi_{LP}$  dans la bobine primaire, qui correspond aux lignes de champ magnétique qui pénètrent dans la bobine primaire sans pénétrer dans la bobine secondaire
- **Flux de fuite secondaire** -  $\Phi_{LS}$ .



**Figure I.3** : Les différents flux résultant lors du passage d'un courant électrique[12]

- **Rapport de tours** : La valeur de la tension entre les bornes de la bobine primaire résultant du flux magnétique mutuel peut être calculée par la loi de Faraday suivante :

$$v_p = N_p \cdot \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (\text{I.1})$$

Où  $v_p$  est la tension aux extrémités de la bobine primaire.

$N_p$  est le nombre de spires de la bobine primaire.

$d\Phi_m/dt$  : le taux de variation dans le temps du flux magnétique réciproque.

Alors que la tension entre les bornes de l'enroulement secondaire est calculée de la même manière :

$$v_s = N_s \cdot \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (\text{I.2})$$

$v_s$  : la tension aux bornes de la bobine secondaire.

$N_s$  : le nombre de spires de la bobine secondaire.

Nous concluons que :

$$\frac{d\Phi_m}{dt} = \frac{v_p}{N_p} = \frac{v_s}{N_s} \quad (\text{I.3})$$

$$\frac{v_p}{v_s} = \frac{N_p}{N_s} = \alpha \quad (\text{I.4})$$

$\alpha$  est le rapport du transformateur, et il est défini comme le rapport entre le nombre de spires de l'enroulement secondaire et le nombre de spires de l'enroulement primaire.

Si le rapport de transformation du transformateur électrique est supérieur à un ( $\alpha > 1$ ), c'est-à-dire que le nombre de spires de la bobine primaire est supérieur au nombre de spires de la bobine secondaire, alors la tension secondaire est inférieure à la tension primaire tension, et dans ce cas on l'appelle un transformateur abaisseur.

Mais si le rapport de transformation est inférieur à un ( $\alpha < 1$ ), c'est-à-dire que le nombre de spires de la bobine secondaire est supérieur au nombre de spires de la bobine primaire, alors la tension secondaire est supérieure à la tension primaire, et les transformateurs dans ce cas sont appelés transformateur élévateur.

### I.3 Classification des transformateurs

Les transformateurs électriques sont classés en plusieurs catégories, comme la constitution du noyau de fer utilisé ainsi qu'en termes de niveau de tension, aussi suivant la phase [4].

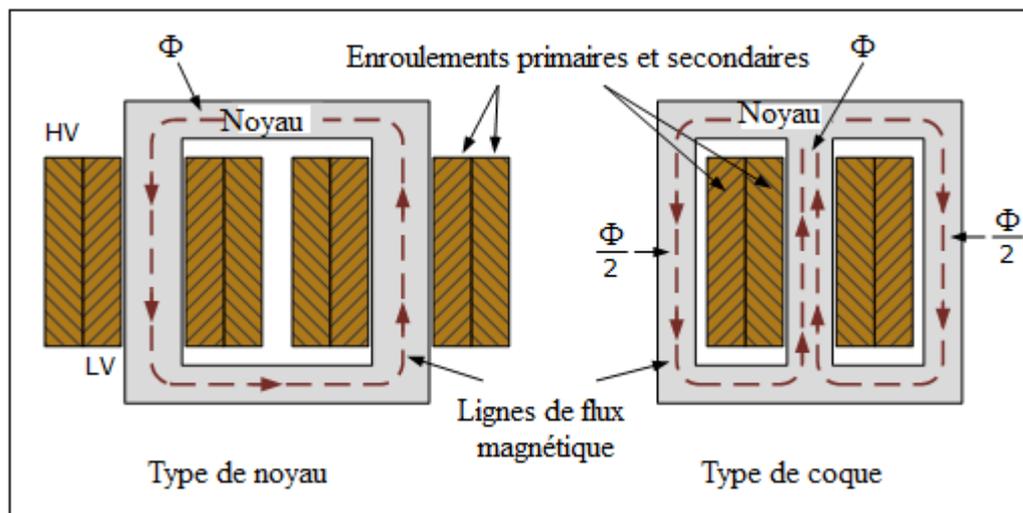
#### I.3.1 Classification suivant la construction du noyau

##### I.3.1.a Forme du noyau

Dans ce type de transformateur, le noyau de fer est constitué de bandes d'acier rectangulaires et les bobines primaire et secondaire sont placées aux deux extrémités du noyau de fer, comme indiqué dans l'image suivante.

##### I.3.1.b Forme de coque

Le noyau de fer de ce type de transformateur est constitué de bandes d'acier en forme de trépied



**Figure I.4 :** Classification des transformateurs suivant la construction du noyau [14]

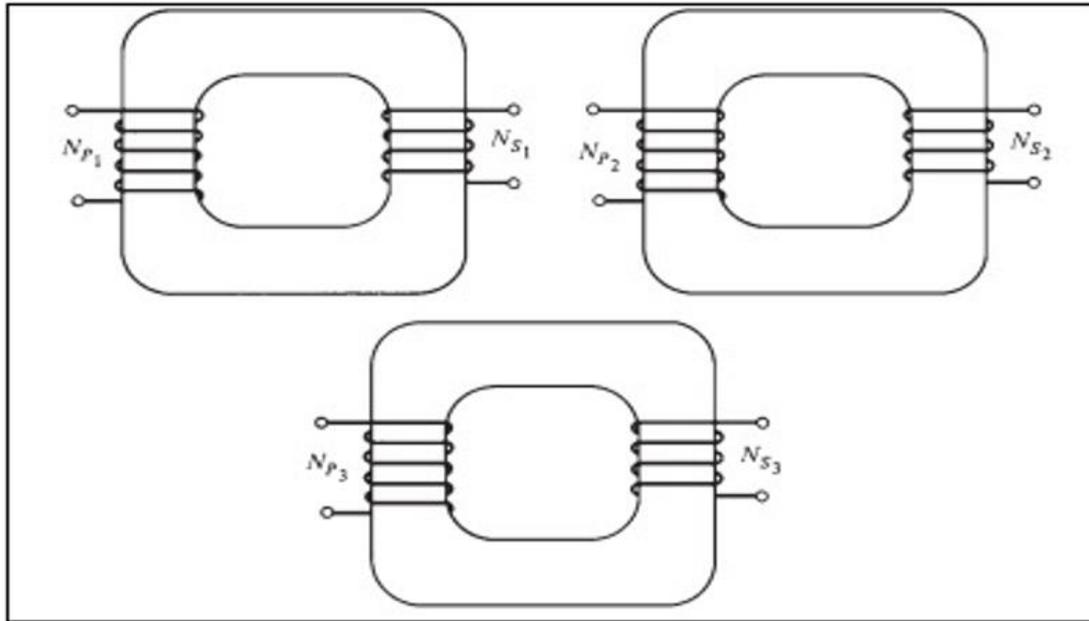
**I.3.2 Classification des transformateurs électriques en termes de niveau de tension**

- Transformateurs de puissance : ce sont les transformateurs utilisés dans les réseaux de transport d'énergie électrique (au-dessus de 33 kv), tels que les transformateurs 400 kv/132 kv et les transformateurs 132 kv/33 kv.
- Transformateur de distribution : Ce sont les transformateurs utilisés dans les réseaux de distribution d'énergie électrique (jusqu'à 33kv) tels que 33kv/11kv et 33kv/0,4kv.

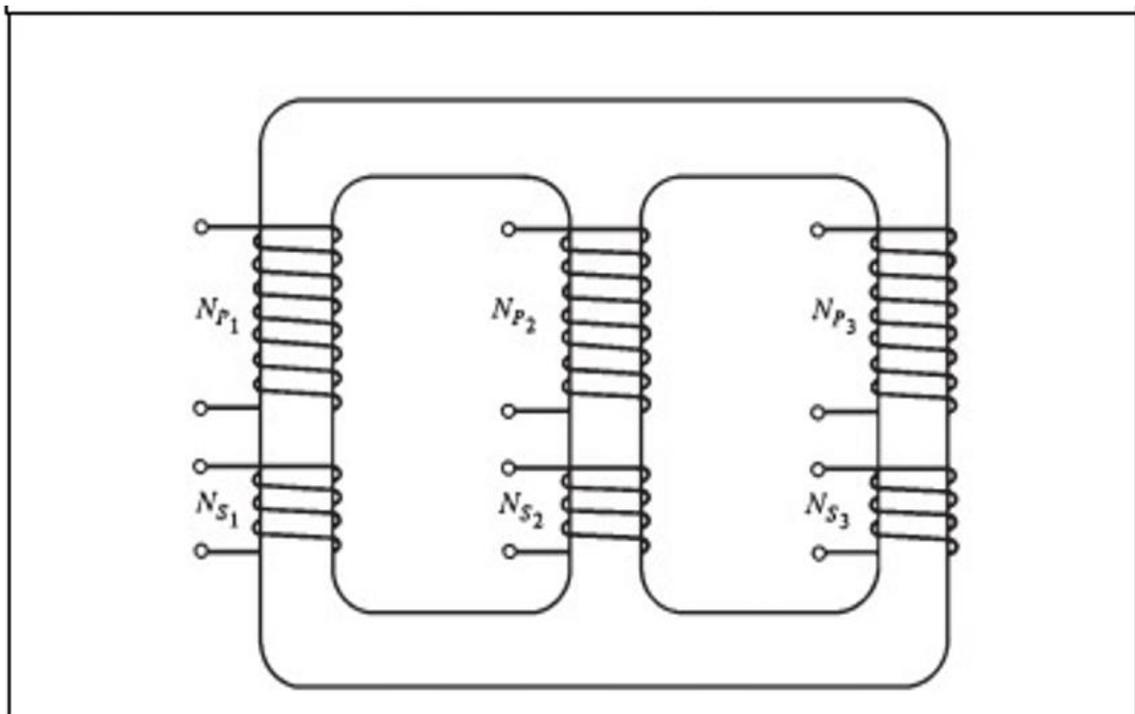
**I.3.3 Classification des transformateurs électriques selon le nombre de phases**

- Transformateur monophasé : Il se compose d'un enroulement primaire et d'un enroulement secondaire.
- Transformateur triphasé : Il se compose de trois enroulements primaires et de trois enroulements secondaires.

Il existe deux types de transformateur triphasé, le premier type est constitué de trois transformateurs monophasés et le second type est constitué d'une seule unité par un seul transformateur triphasé. [4].



**Figure I .5 :** transformateur triphasé constitué de trois transformateurs monophasés[12]



**Figure I .6 :** un seul transformateur triphasé[12]

#### I.4 Méthodes de couplage des transformateurs triphasés

Les couplages effectués au primaires et secondaires sont résumés par un ensemble de deux lettres[13].

- La première lettre désigne le couplage Haute Tension et sera notée en majuscule
- (Y : étoile, D : triangle , Z : zig-zag)

- La deuxième lettre désigne le couplage Basse Tension et sera notée en minuscule
- (y : étoile, d : triangle , z : zig-zag)
- L'éventuelle lettre n : indique la présence du neutre

Le couplage étoile permet la sortie du neutre ce qui très utile en basse tension, et par conséquent mettre à disposition un réseau de tensions simple et un réseau de tensions composées, mais également il est utile pour évacuer le courant de neutre dans le cas d'une charge déséquilibrée

Le couplage triangle ne permettant que la distribution d'une tension verra son emploi limité à la distribution/transport de l'énergie électrique.

Dans le cas du couplage zig-zag, le secondaire du transformateur est découpé en 2 enroulements. Il permet de limiter l'influence des déséquilibres de courants.

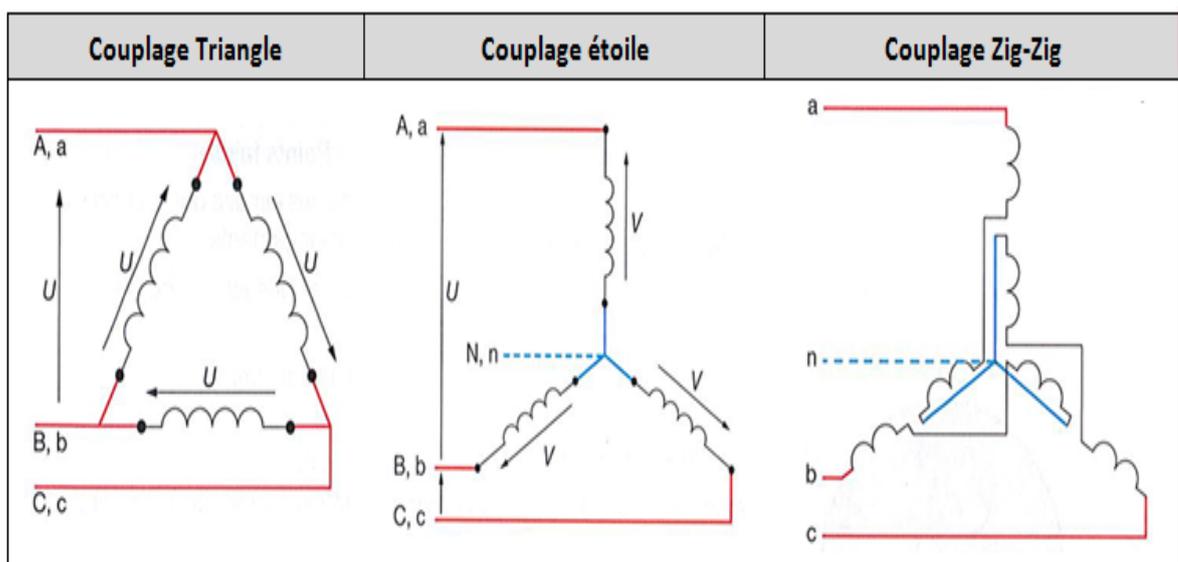


Figure I .7 : les Forme des couplage[13]

Tableau I.2 : Méthodes de couplage des transformateurs triphasés[13].

Symbole	$V_{an}/V_{AN}$	Montage	Diagramme Vectoriel
<u>Yy</u> 0	$\frac{N_2}{N_1}$		
<u>Yd</u> 1	$\frac{N_2}{\sqrt{3}N_1}$		
<u>Yz</u> 11	$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{N_2}{N_1}$		
Dy 11	$\sqrt{3} \frac{N_2}{N_1}$		
Dd 0	$\frac{N_2}{N_1}$		
<u>Zy</u> 1	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1}$		

# Chapitre II

**Diagnostic des défauts des  
transformateurs de puissance et  
leurs diverses panes**

## **II.1 INTRODUCTION**

Les centrales électriques étant souvent éloignées du consommateur, le rôle du transformateur, élément essentiel de ce réseau électrique est d'acheminer l'énergie électrique de son point de production jusqu'à son point de consommation. Les anomalies des transformateurs sont de différentes catégories (internes, externes). Pour obtenir une connaissance de l'état des équipements et d'adopter les solutions les plus adéquates qui garantissent le fonctionnement correct des transformateurs, il est nécessaire d'effectuer périodiquement des inspections et des travaux de réparation. Dans ce qui suit une étude théorique détaillée de transformateur ainsi que les contraintes et les moyens de protection seront présentées

## **II.2 Objectif du diagnostic et principes généraux**

L'objectif du diagnostic est d'apporter les arguments nécessaires au client (exploitant), de manière à consolider son avis sur l'état du transformateur. Ils lui permettront, d'adopter en toute connaissance de cause, la décision techno- économique la plus pertinente quant à la poursuite de l'exploitation de la machine. La démarche permettant l'élaboration du principe général de l'outil de diagnostic repose sur le type d'informations nécessaires aux maintenanciers ainsi que la méthodologie de diagnostic utilisée. Pour arriver à un diagnostic final couplant plusieurs sources d'informations différentes, le technicien de maintenance effectue toujours un « pré diagnostic » sur toutes les informations à sa disposition. Il attribue ainsi un facteur de qualité à chaque source d'information. Cette étape capitale permet de sélectionner dans un premier temps les entrées potentiellement intéressantes[10]..

Ensuite l'expert cherche des relations, explicites ou tacites, entre ces « pré diagnostics » et des hypothèses de défauts, prenant en compte le contexte et l'historique de l'appareil. Enfin, il fait la synthèse de ces hypothèses lors d'un diagnostic final.

## **II.3 Les Défauts de transformateur**

Les principaux défauts intervenants dans le fonctionnement d'un transformateur de puissance sont issus de plusieurs causes à savoir des anomalies du à la fabrication, anomalies d'ordre mécanique et électrique, mais aussi des défauts liés aux environnements atmosphériques [7].

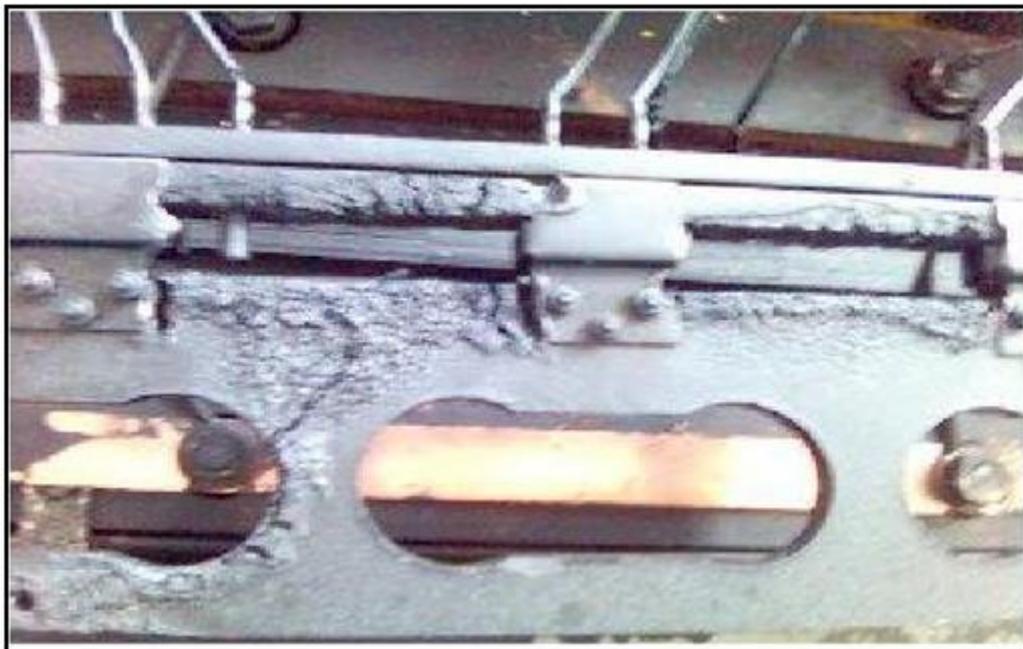
### **II.3.1    défauts liés à la fabrication**

- Le mélange des impuretés dans l'alliage constituant le circuit magnétique.
- Le non isolement des conducteurs des enroulements primaire ou secondaire.
- Mauvaise étanchéité au niveau des bornes HT ou BT

Un tel défaut peut provoquer une fuite d'huile. En effet, la sur-échauffement du bobinage, accroissant ainsi les risques des courts circuits.

### **II.3.2    défauts d'ordre mécanique**

- Déformation du circuit magnétique.
- Défauts liés aux conditions de transport.
- Percement de la cuve qui provoque les fuites d'huile.
- Les fissures ou les cassures des isolateurs des bornes HT /BT.
- Le mauvais serrage des connexions HT/BT provoque leurs l'échauffement.



**Figure II .1 :** Défaut suite au mauvais serrage sur borne BT[7]

### **II.3.3    Défauts d'ordre atmosphérique**

- L'humidité
- La chaleur excessive
- Les foudres



Figure II .2 : une foudre et ces impacts pour un transformateur de puissance[7]

### II.3.4 défauts d'ordre électrique

Ces défauts sont les conséquences d'un court-circuit ou d'un circuit ouvert au niveau du bobinage primaire ou secondaire.

- Un court-circuit provoque une augmentation de la température à l'intérieur de transformateur, ce qui conduit à la détérioration des isolants des conducteurs. Le transformateur est donc déséquilibré.
- Les surtensions suite au mauvais contacts.
- Les manques phases de la source HT.
- Les surcharges des transformateurs de puissances (  $Kch > 100\%$  ).
- Le déséquilibre des charges sur les trois phase BT.x Court circuit entre spires[5].

Détermination ses élément du schéma équivalent :

Essai en court-circuit :

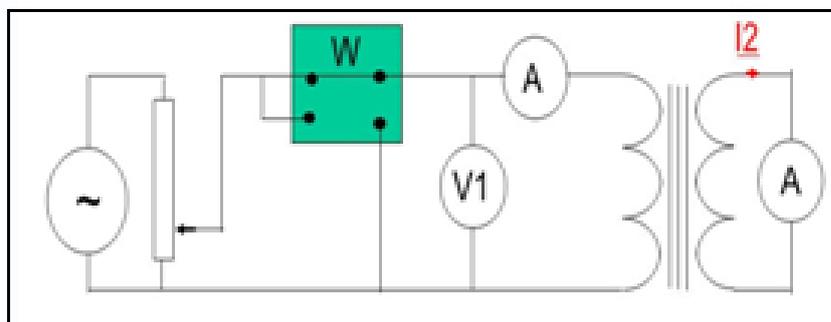


Figure II .3 : Court circuit entre les spires[5]

⇒ V1 très faible, on considère que les pertes fer sont nulle.

⇒ Le secondaire est en court-circuit, donc le primaire est alimenté sous faible tension

## II.4 Les types de défauts entre spires

### II.4.1 Amorçage diélectrique entre spires

C'est un amorçage entre spires (Contraintes diélectriques et surtensions) d'un même enroulement, sans que les conducteurs soient mis en court-circuit entre eux. L'isolant entre ces spires est donc dégradé, voire détruit, localement (**Figure II .4**) [3].



**Figure II .4 :** Amorçage diélectrique entre spire[5]

### II.5.2 Court-circuit entre spires

Le court-circuit entre spires est caractérisé par le contact électrique anormal entre des spires d'un même enroulement (Contraintes diélectriques et surtensions) qui devraient être normalement isolées entre elles (figure II-5). Cela arrive souvent suite à un amorçage diélectrique entre spires entretenu, ou le déchirement du papier isolant suite à une déformation mécanique violente des enroulements. Ce défaut peut aller jusqu'à la fusion du cuivre des conducteurs, et l'ouverture du circuit électrique dans certains cas.



Figure II .5 : Court-circuit entre spires[3]

#### II.4.3 Coupure du circuit électrique

La plupart des cas de coupure d'un circuit électrique (figure II-6) sont le résultat d'un défaut interne, provoqué par :

Un amorçage de puissance entre spires, qui fusionne et coupe le conducteur. Un point chaud qui dégénère, au niveau des brasures des connexions internes, pouvant aller du débrasage jusqu'à la fusion du contact. Un mauvais alignement d'un régleur.



Figure II .6 : Coupure du circuit électrique[3]

#### II.4.4 Déformation géométrique des enroulements

Il est possible mécaniquement de déformer les enroulements d'un transformateur, généralement suite à des courts-circuits extérieurs qui provoquent des courants extrêmement

élevés, qui par voie de conséquence génèrent des forces de Laplace très importantes à noter sans amorçages entre spires, ni courts-circuits internes.

Il est possible de déformer un enroulement, ce qui fragilise inévitablement son isolement papier se trouvant au contact des conducteurs, sans nécessairement avoir d'amorçages entre spires ou à la masse. Un transformateur avec une telle déformation mécanique peut dans certains cas fonctionner à son régime nominal. Il reste néanmoins fragilisé et il n'est absolument pas certain qu'il puisse ainsi tenir des perturbations de courts-circuits ou de surtensions ultérieures sans amorcer.

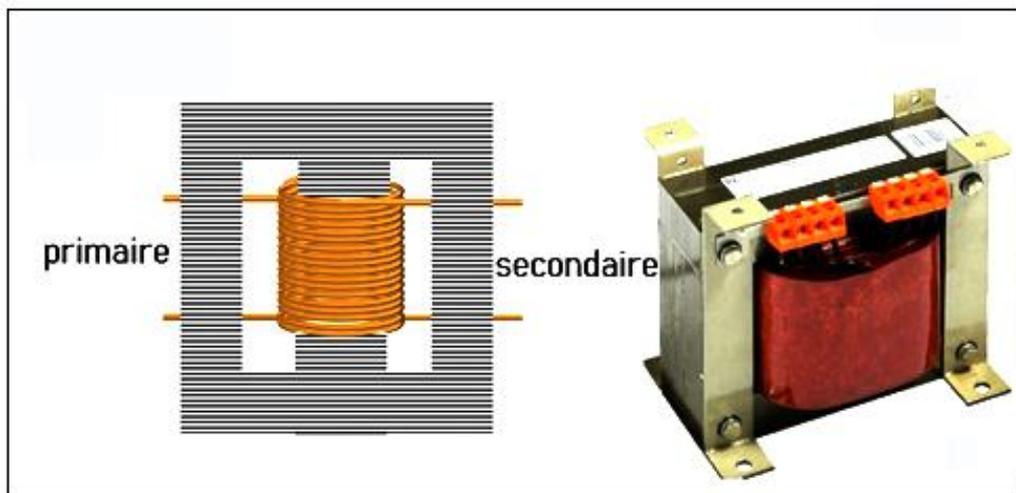


Figure II .7 : Déformation géométrique des enroulements[14]

### II.5 Les méthodes de détection des défauts

Pour détecter les défauts, un transformateur est équipé des transducteurs. Ce dernier, fournit comme signal de sortie une grandeur physique utilisable en réponse à une autre grandeur physique spécifiée comme signal d'entrée. Les capteurs, senseurs où détecteurs qui fournissent comme signal de sortie une quantité électrique utilisable en réponse à une grandeur, une propriété ou une condition physique à mesurer. Les principes de ces transductions sont basés sur l'existence de divers effets physiques ou chimiques. On peut distinguer six grandes classes de signaux [8].

- **Electriques** : tension, courant, charge, résistance, inductance, capacitance, constante diélectrique, polarisation, champ électrique, fréquence, moment dipolaire, potentiel, ...etc.

- **Thermiques** : température, chaleur, frois, entropie, flux de chaleur, état de la matière, ...etc.
- **Chimiques** : composition, concentration, vitesse de réaction, pH, oxydation, réduction,... etc.
- **Magnétiques** : intensité du champ, densité du flux, moment magnétique, perméabilité, ...etc.
- **Optiques** : intensité, longueur d'onde, reflectance transmittance, réfraction, ...etc.
- **Mécaniques** : longueur, surface, volume, vitesse linéaire ou angulaire, accélération, flux de masse, force, couple, pression, longueur d'onde et intensité acoustique, ...etc.

On va voir les détails sur les signaux magnéto-électrique (transformateur de courant), thermique (thermomètre à résistance de platine) et chimique (formation de gaz dissous dans l'huile)

### **II.5.1 Détection de défaut par les capteurs thermiques à savoir le thermomètre à résistance de platine**

Afin de mesurer la température du transformateur, on se muni d'un thermomètre à résistance de platine qui est basé sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température. Il est à noter que le rendement majeur de l'isolation du transformateur diminue avec des températures élevées à l'intérieur du transformateur résultant des pertes en cuivre où en fer. De plus, il est particulièrement bénéfique de connaître la température maximale qu'atteignent les différentes parties du transformateur, à savoir : enroulement, huile, isolation. La durée de vie du transformateur est de l'ordre de 20 ans ou de 30 ans selon les sources, mais la charge durant son exploitation infecte fortement cette valeur. Le type le plus courant du platine est appelé Pt100 qui se manifeste par une résistance de 100 ohms à 0 °C et de 138,5 ohms à 100 °C. Si  $R_0$  est la résistance d'une pièce de platine à 0 °C, alors à la température  $T$  (en degrés Celsius), Sa fonction de transfert en s'appuyant sur un modèle linéaire est le suivant [5].:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (\text{II.5})$$

$$\text{Avec } \alpha = 3.87 \times 10^{-3} \text{C}^{-1} \quad (\text{II.6})$$

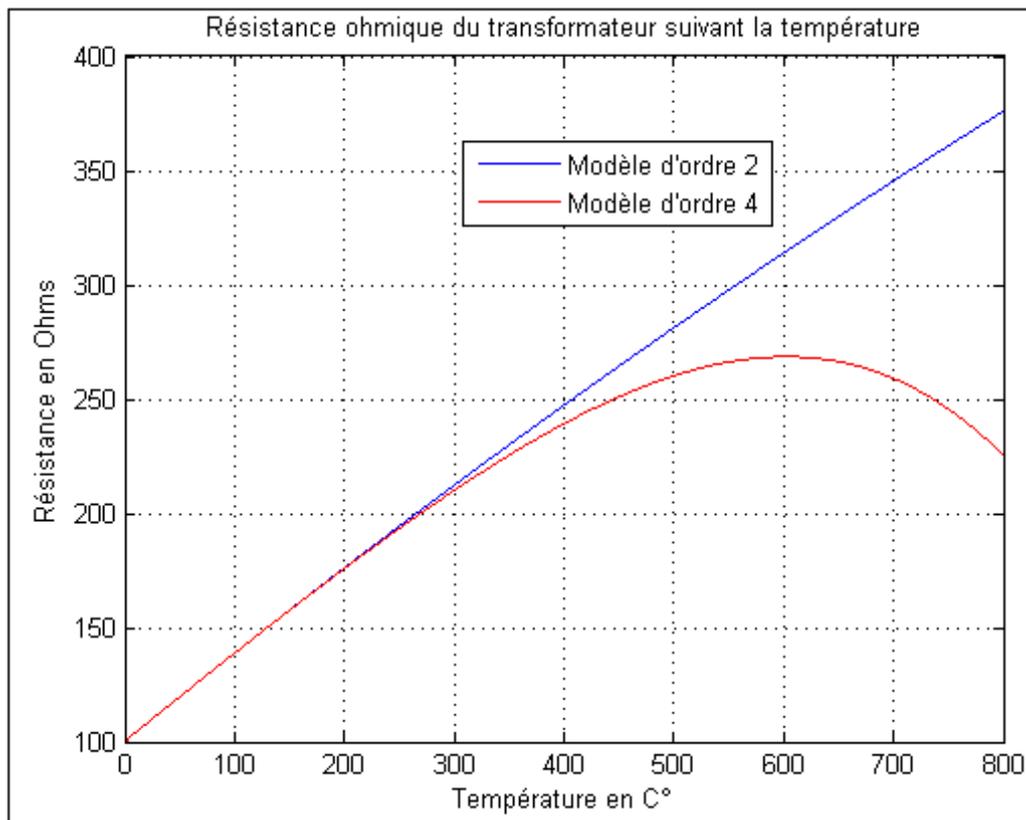
Mais on préfère d'utiliser des modèles d'ordre 2 et d'ordre 4 plus précis répondant aux équations suivantes :

$$R_T = R_0(1 + aT + bT^2) \tag{II.7}$$

$$R_T = R_0(1 + aT + bT^2 + c(T - 100) \times T^3) \tag{II.8}$$

De tel sorte que

$$a = 3.9083 \times 10^{-3} C^{-1}, b = -5.775 \times 10^{-7} C^{-1} \text{ et } c = -4.183 \times 10^{-12} C^{-1}$$



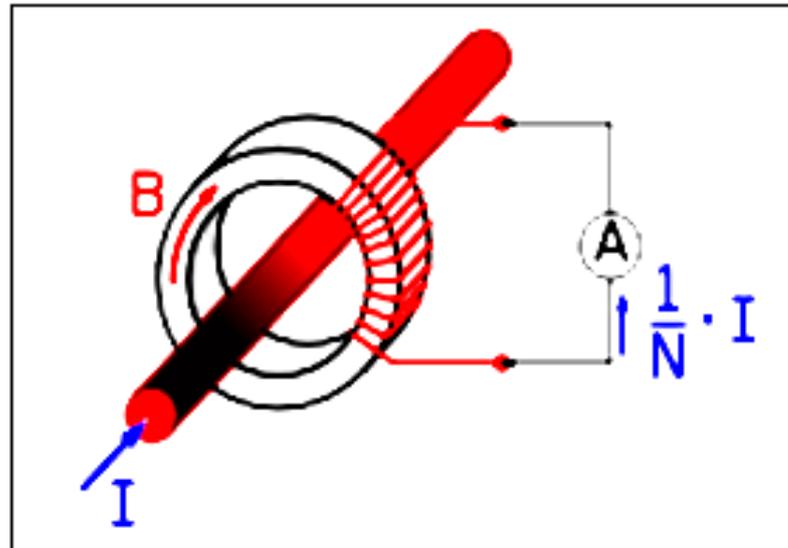
**Figure II .8 :** Relation entre la résistance du transformateur et la température selon les modèles PTC d'ordre 2 et d'ordre 4[11].

## II.5.2 Détection des défauts à l'aide d'un transformateur de courant :

### II.5.2.a Description

Un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle voisin de zéro pour un sens approprié des connexions. Dans les réseaux haute tension où des courants de plusieurs kiloampères transitent, la mesure de ces courants élevés

est difficile. Pour la faciliter, les transformateurs de courant ont pour rôle de diviser la valeur du courant à mesurer par un facteur constant. Cette démarche permet également de standardiser les équipements de mesure du courant et de les isoler diélectriquement du réseau haut tension. Le transformateur de courant prendra la forme d'un tore, traversé par le circuit électrique (figure II-9). Il n'y aura donc pas de bobinage primaire à proprement parler : la spire est constituée par le passage du circuit électrique à l'intérieur du circuit magnétique torique [7].



**Figure II .9 :** Schéma de principe de transformateur de courant[11]

### **II.5.2.b Mode de détection de défaut sur un transformateur de puissance**

Sur les transformateurs de grande puissance, il y a souvent un transformateur de courant de mesure par phase, et plusieurs de protection pour chaque phase et le neutre. Les transformateurs de courant de mesure permettent de mesurer le courant traversant le transformateur. On compare les mesures de courant qui entre dans le transformateur aux courants qui sort du transformateur compte rendu du rapport de transformation et du rendement de transformateur, on peut détecter instantanément s'il y a de court-circuit entre spire ou coupure du circuit électrique ou d'autre défaut qui perturbe la transformation de l'énergie [8].

### **II.5.2.c Système de détection de défaut de court-circuit entre spires**

Les défaillances liées aux enroulements du transformateur, impliquent majoritairement, une modification topologique du circuit magnétique considérée, avec la présence du court-circuit entre spires. Elles peuvent apparaître à différents endroits des enroulements. Quand un défaut de court-circuit apparaît, il y a un courant appelé, courant de circulation, qui circule dans les spires en court-circuit. Ce courant va aussi générer un champ électromagnétique qui viendra perturber le champ transmis au secondaire. Généralement, l'effet d'un court-circuit est de perturber la répartition du flux magnétique. D'une part, cela conduit à des oscillations du couple électromagnétique, et il s'en suit des vibrations mécaniques, et des effets destructeurs des organes mécaniques environnant peuvent apparaître, si ces vibrations sont fortes. D'autre part, le courant circulant dans les spires en court-circuit peut atteindre des valeurs élevées, le flux homopolaire du champ magnétique va se dissiper par effet thermique, Il en résulte rapidement une destruction du matériau isolant recouvrant le noyau et les conducteurs appartenant à ces spires en court-circuit, qui va se propager vers les autres spires de l'enroulement du transformateur. L'analyse du courant électrique nous permet d'avoir rapidement la signature court-circuit entre spire d'un enroulement, donc nous allons procéder à des différentes analyses, les résultats sont présentés dans le chapitre III de ce mémoire

- Analyse en composante principales (ACP)
- Détection de défaut par réseaux de neurones [9].

### II.6 Les causes des défauts

Les causes des défauts sont multiples, principalement sont à la base des effets thermiques, électriques, et environnementaux, où électromagnétiques. Elles peuvent être classées en trois groupes :

- **Les initiateurs de défauts : surchauffe** du transformateur, usures des éléments des contacts, cassures des isolateurs de bornes HT, BT de fixations, problème d'isolation électrique notamment du bobinage, surtension transitoire...
- **Les contributeurs aux défauts** : surcharge fréquente, température ambiante élevée, ventilation défaillante, humidité, mauvaise terre, vieillissement...
- **Les défauts sous jacents et erreurs humaines** : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées (fusibles sur calibre), fausses manœuvres côté HT, absence de maintenance...

## II.7 Présentation du processus de diagnostic

Le processus de diagnostic consiste à déterminer une cause d'avarie à partir de données d'entrée (symptômes, mesures, divers paramètres...), comparées à des critères de tolérance. Ces derniers peuvent être empiriques (alimentation d'une base de donnée, retours d'expérience, historiques...), ou fixés par des référentiels (la norme NF EN 60076 pour les transformateurs) [12].

### II.7.1 La technique de diagnostic

L'utilisation des techniques de diagnostic, a une grande utilité car elle permet d'évaluer l'état des composants du transformateur et de programmer des activités préventives ou rectificatives, de manière à faciliter la programmation des travaux et réduire les temps d'indisponibilité. Les actions de diagnostic sur les transformateurs de puissances sont :

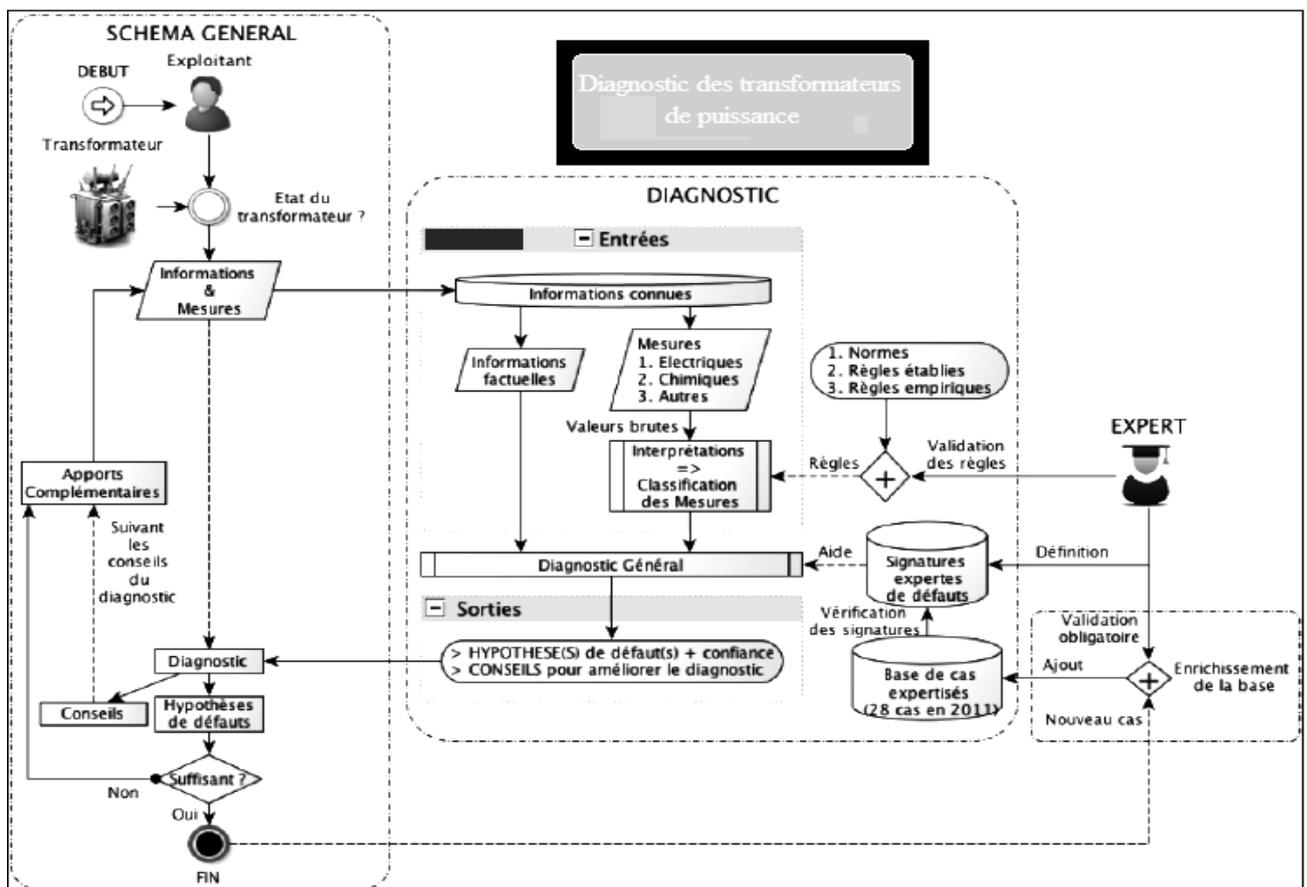


Figure II .10 : Les actions de diagnostic sur les transformateurs de puissances[10].

L'objectif du diagnostic est d'apporter les arguments nécessaires au client (exploitant), de manière à consolider son avis sur l'état du transformateur. Ils lui permettront, d'adopter en toute connaissance de cause, la décision techno-économique la plus pertinente quant à la poursuite de l'exploitation de la machine. Le diagnostic n'intervient pas

uniquement en cas de suspicion d'avarie, mais également dans le cas d'une volonté d'évaluer l'état général de la machine.

Le processus de diagnostic consiste à déterminer une cause d'avarie à partir de données d'entrée (symptômes, mesures, divers paramètres...), comparées à des critères de tolérance. Ces derniers peuvent être empiriques (alimentation d'une base de données, retours d'expérience, historiques...), ou fixes par des référentiels (la norme NF EN 60076 pour les transformateurs)

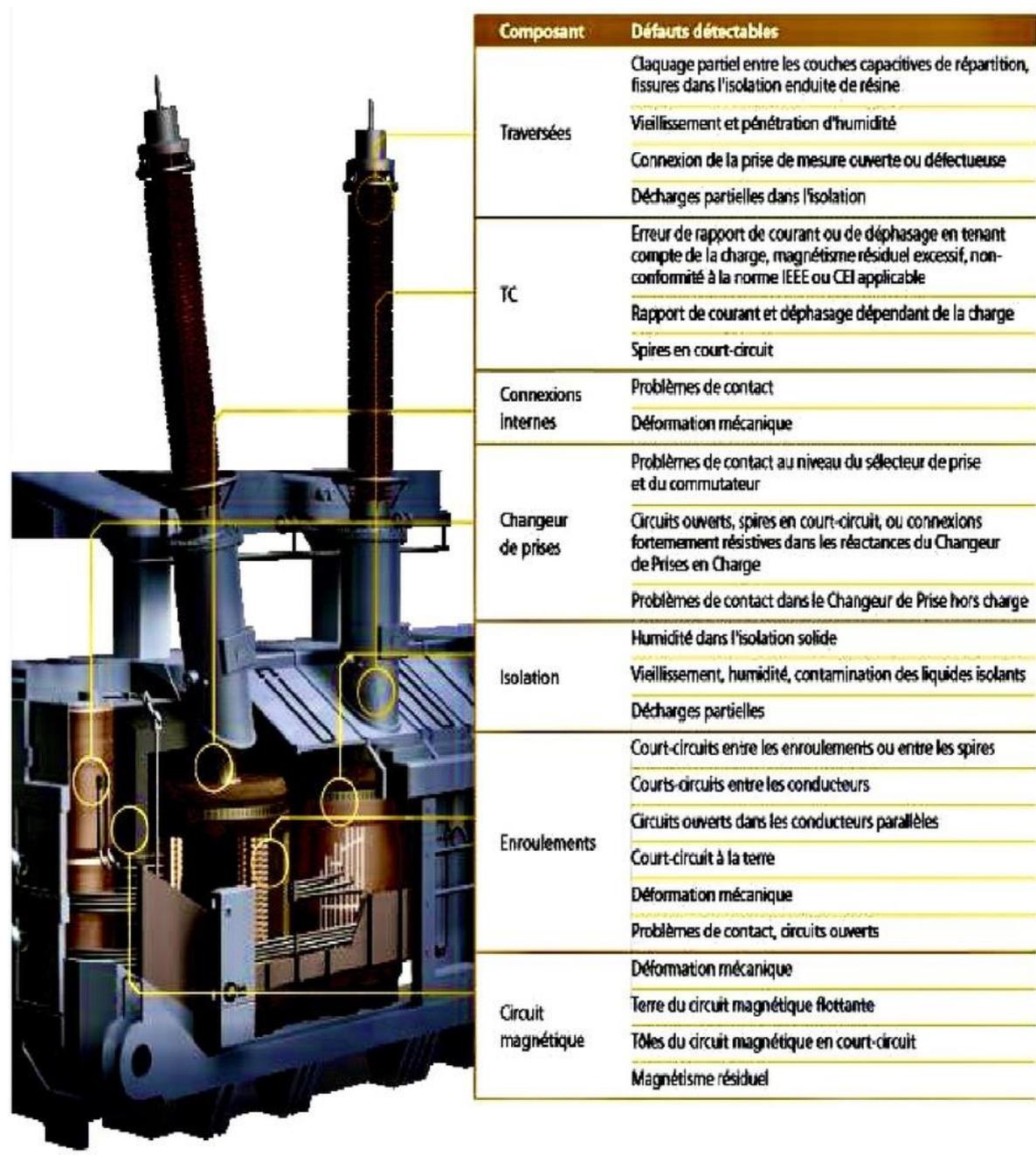


Figure II .11 : diagnostic sur les transformateurs de puissances[12].

## II.8 Modélisation d'un court-circuit entre spires dans un transformateur de puissance

### II.8.1 Modèle d'un transformateur triphasé de puissance

Notre dispositif est un transformateur triphasé à colonne, on utilise la méthode de discrétisation pour la mise en œuvre d'équation mathématique des enroulements. Des équations des impacts inductifs propres et mutuelles entre les spires sont décrites. Pour notre application, les spires ont une géométrie simple, en effet ces inductances sont calculées par des expressions analytiques[11].. La résolution analytique de ces équations complexes nécessite généralement des hypothèses simplificatrices.

#### a Hypothèse de départ

Les hypothèses simplificatrices pour la résolution d'un algorithme sont basées sur les phénomènes physiques. Pour la modélisation mathématique d'un transformateur de puissance, les hypothèses suivantes sont pris en considération :

- La géométrie étudiée est à asymétrie de révolution
- Les enroulements sont concentriques
- Les pertes fer sont négligées,
- L'effet d'extrémité des têtes des bobines est négligé.
- La saturation du circuit magnétique est négligée.
- Le circuit magnétique est linéaire

Pour une spire donnée, les effets mutuels sont essentiellement dus aux spires situées sur la même colonne .

#### b Modèle triphasé où modèle complet

La modélisation des transformateurs consiste à créer une structure mathématique qui décrit tous les phénomènes électriques. L'étude et la simulation du transformateur de puissance se base sur un modèle typique et complets où les éléments électriques et magnétiques propres du transformateur sont traduits sous formes de résistances, de condensateurs et de bobines et qui ont des valeurs appropriées. La (**figure II.12**) [6]..

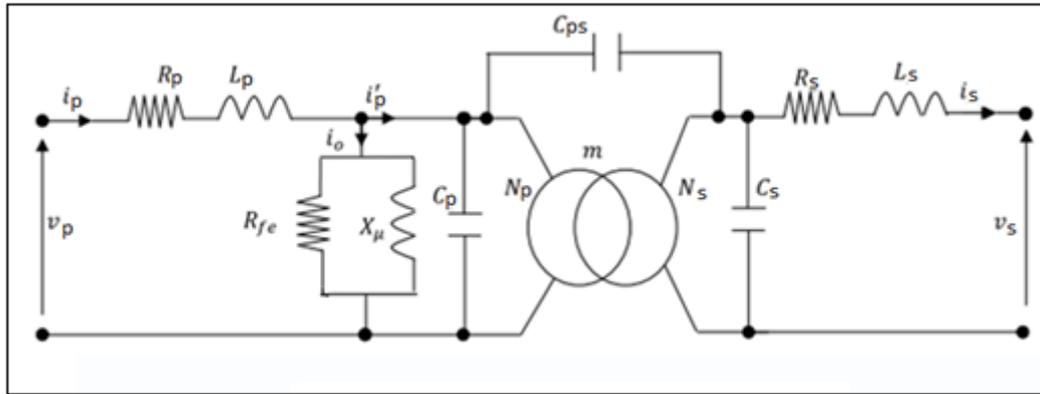


Figure II.12 : Modèle complet du Transformateur[6].

illustre ce modèle, de tel sorte qu' en désigne par  $R_p, R_s, L_p, L_s$  les résistances et inductances de fuites de l' enroulement primaire constitué de  $N_p$  spires et de l' enroulement secondaire de  $N_s$  spires;  $R_{fe}$  résistance du circuit magnétique et  $X_\mu$  est la réactance de magnétisation du circuit magnétique correspondant aux flux. En outre  $C_p, C_s, et C_{ps}$  sont des capacités parasites qui apparaissent en hautes fréquences. Le transformateur est alimenté sous une tension  $v_p$  variable, délivrant une tension  $v_s$  et traversé par les courants  $i_p$  au primaire et  $i_s$  au secondaire. Un transformateur réel est fondamentalement caractérisé par le système d'équations ci-dessous

$$[v_p] = [R_p][i_p] + d \frac{[\phi_p]}{dt} \quad (II.9)$$

$$[v_s] = [R_s][i_s] + d \frac{[\phi_s]}{dt} \quad (II.10)$$

$$[i_p] = N_s[i_s] = R\phi \quad (II.11)$$

Où :

$[R_p]$  : est le vecteur du résistance primaire

$[R_s]$  : est le vecteur du résistance secondaire

$[V_p]$  Le vecteur des tensions du primaire

$[V_s]$  Le vecteur des tensions du secondaire

$[i_p]$  Le courant traversant l'enroulement primaire.

$[i_s]$  Le courant traversant l'enroulement secondaire.

Dans les enroulements, les phénomènes magnétiques peuvent être résumés par un coefficient d'inductance liant le flux au courant qui lui donne naissance :

$$[\Phi_p] = [L_p][i_p] + [M_{ps}][i_s] \quad [\Phi_s] = [L_s][i_s] + [M_{sp}][i_p] \quad (\text{II.12})$$

Avec  $[L_p]$ ,  $[L_s]$  sont les matrices des inductances respectivement du primaires et du secondaires. Pour mieux comprendre le fonctionnement du transformateur, on étudiera le comportement d'un élément dans une spire dans deux enroulements HT et BT. La reluctance  $[R_e]$  est l'analogie magnétique de la notion de la résistance. Classiquement pour un tube de flux de longueur  $l$  et de section  $S$  constante et  $\mu$  perméabilité magnétique, son expression est:

$$R_e = \frac{l}{\mu S} \quad : \quad (\text{II.13})$$

## **II.9 L'interaction entre les composants d'un circuit électrique**

Chaque élément du circuit électrique est représenté par sa résistance électrique et son inductance, et entre eux ces éléments forment un système de circuit mutuellement exclusif, où tout conducteur de l'enroulement est constitué de "N" enroulements primaires en série et chacune de ces spires est constituée de "n" enroulements primaires en parallèle.

Le système résultant est alors régi par «  $n \times N$  » équations, à «  $n \times N$  » inconnues qui sont «  $n$  » courants «  $I_i$  » où  $i$  varie de 1 à  $n$  et les «  $N$  » tensions «  $V_p$  » où  $p$  varie de 1 à  $N$ . Chaque spire élémentaire est soumise à une tension identique à la tension à laquelle est soumise la spire principale. L'application de la loi de Kirchhoff au schéma équivalent de la figure nous permet d'écrire pour [11]:

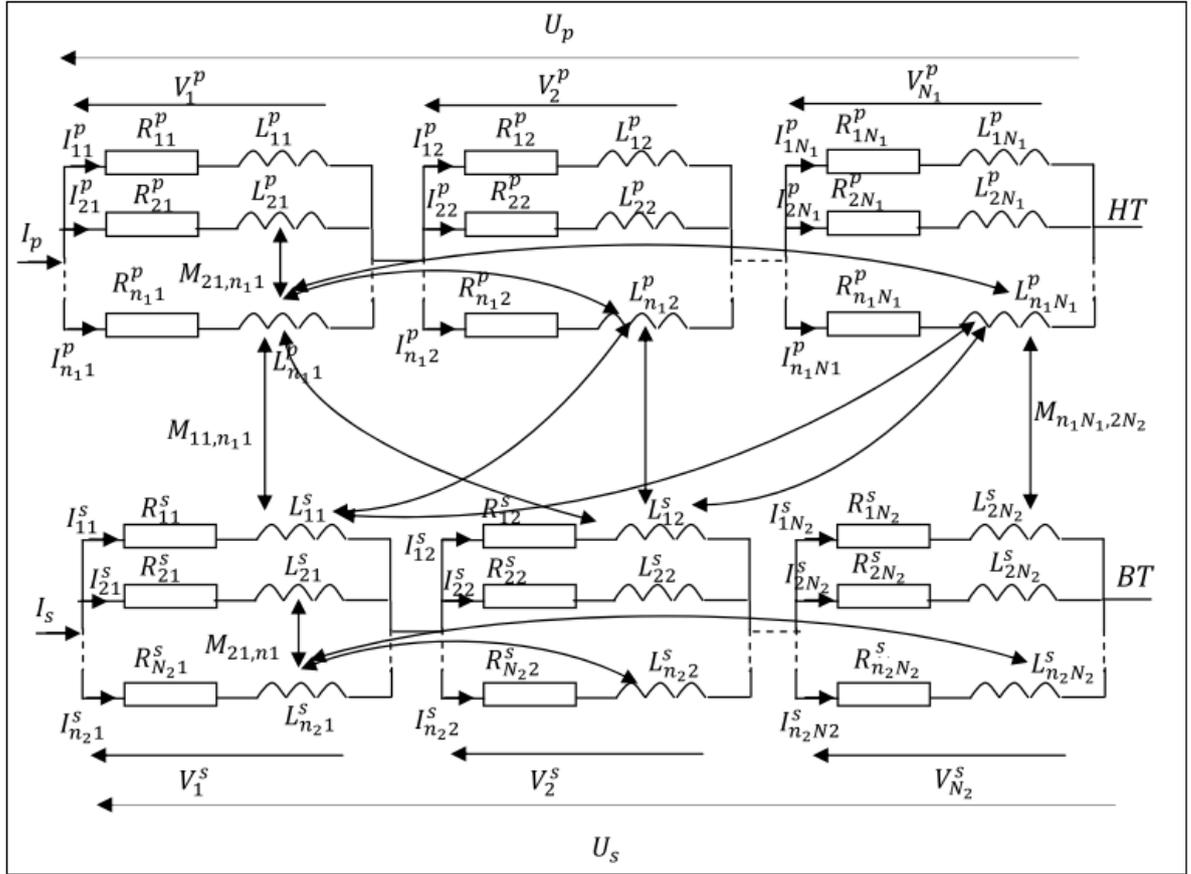


Figure II.13 : Schéma électrique équivalent pour les spires primaires et secondaires [11]

la spire 1

$$v_1^p = R_{11}I_{11} + L_{11} \frac{di_{11}}{dt} + \sum_{i=2}^{n_1} \sum_{j=1}^{N_1} M_{ij,11} \frac{di_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{N_2} \sum_{l=1}^{N_2} M_{11,kl} \frac{di_{kl}}{dt} \quad (\text{II.14})$$

$$v_1^p = R_{n_1 1} I_{n_1 1} + L_{n_1 1} \frac{di_{n_1 1}}{dt} + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{N_1} M_{ij, n_1 1} \frac{di_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{N_2} \sum_{l=1}^{N_2} M_{n_1 1, kl} \frac{di_{kl}}{dt} \quad (\text{II.15})$$

$$v_1^s = R_{11}I_{11} + L_{11} \frac{di_{11}}{dt} + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{N_1} M_{ij,11} \frac{di_{ij}}{dt} + \sum_{k=2}^{N_2} \sum_{l=1}^{N_2} M_{11,kl} \frac{di_{kl}}{dt} \quad (\text{II.16})$$

$$v_1^s = R_{n_2 1} I_{n_2 1} + L_{n_2 1} \frac{di_{n_2 1}}{dt} + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{N_1} M_{ij, n_2 1} \frac{di_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{N_2} \sum_{l=1}^{N_2} M_{n_2 1, kl} \frac{di_{kl}}{dt} \quad (\text{II.17})$$

Dans spire 2

$$v_2^p = R_{12}I_{12} + L_{12} \frac{dI_{12}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,12} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{12,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.18})$$

$$v_2^p = R_1 2I_1 2 + L_1 2 \frac{dI_1 2}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,1} 2 \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_1 2,kl \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.19})$$

$$v_2^s = R_{12}I_{12} + L_{12} \frac{dI_{12}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,12} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{12,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.20})$$

$$v_2^s = R_{n2} 2I_{n2} 2 + L_{n2} 2 \frac{dI_{n2} 2}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,n2} 2 \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{n2} 2,kl \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.21})$$

Dans la spire N :

$$v_N^p = R_{1N}I_{1N} + L_{1N} \frac{dI_{1N}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,1N} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{1N,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.22})$$

$$v_N^p = R_{n_1 N_2} I_{1N} + L_{n_1 N_2} \frac{dI_{n_1 N_2}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,n_1 N_2} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{n_1 N_2,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.23})$$

$$v_N^s = R_{1N_1} I_{1N_2} + L_{1N_2} \frac{dI_{1N_2}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,1N_2} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{1N_2,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.24})$$

$$v_N^s = R_{n_2 N_2} I_{1N} + L_{n_2 N_2} \frac{dI_{n_2 N_2}}{dt} + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{N1} M_{ij,n_2 N_2} \frac{dI_{ij}}{dt} + \sum_{k=1}^{n2} \sum_{l=1}^{N2} M_{n_2 N_2,kl} \frac{dI_{kl}}{dt} \quad (\text{II.25})$$

### II.9.1 Modélisation de court-circuit entre spires

Nous étudierons le cas d'un court-circuit se produisant dans un seul enroulement, et on suppose que le court-circuit se produit dans l'enroulement primaire (haute tension) de la phase A.

La figure (II.14) représente une bobine de l'enroulement primaire dont les entrées et les sorties sont indiquées, respectivement, A et X. Sur cette bobine, un court-circuit apparaît entre les spires aux points de contact a1 et a2. Pour modéliser le court-circuit entre spires, on isole les spires en court-circuit, pour former une nouvelle bobine et la bobine défectueuse ou bobine mère possède un nombre de spires diminué du nombre de spires en court-circuit puis dans ces spires en court-circuit, un courant apparaît que l'on appelle, courant tournant ou courant D'un court-circuit symbolisé par  $icc[11]$ .

On le voit sur la figure (II.14 et II.15) afin de concevoir l'apparition d'un court-circuit entre spires, entre les deux points de contact, nous allons introduire une résistance de contact notable  $Rd$ .

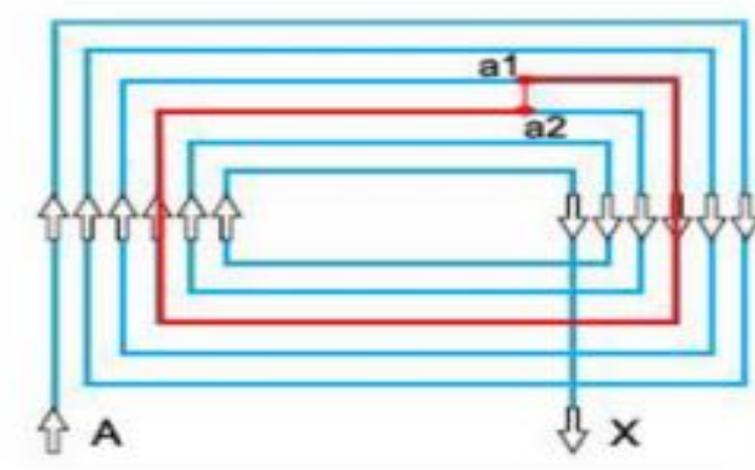


Figure II.14: Présentation du défaut sur une bobine[11].

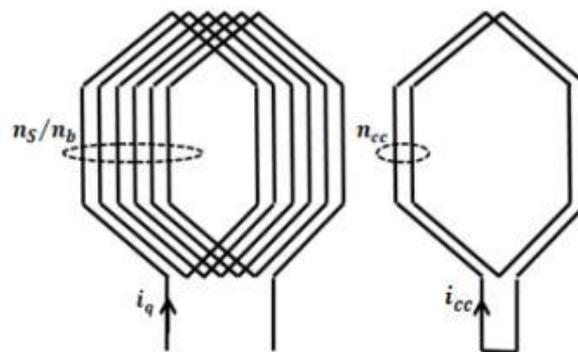


Figure II.15: Présentation du défaut en deux bobines différentes[11].

## II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les préoccupations d'information que peuvent réaliser l'utilisation des techniques de détection de défauts dans les transformateurs de puissance. Ceux destinés à réduire la possibilité de panne ou de dégradation du service et à augmenter la durée de vie du transformateur.

Des mesures électriques et thermiques doivent être effectuées systématiquement Transformateurs pour connaître leur état et prévenir les dommages.

# Chapitre III

Simulation de transformateur  
en circuit ouvert et court-  
circuit

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous effectuons une simulation numérique d'un transformateur en état sain puis avec le défaut de court-circuit entre spires, en utilisant le Logiciel matlab (simulink). Le but de simuler le transformateur en bon et faux fonctionnement est de détecter la présence de dysfonctionnements dans les variables d'état du transformateur de puissance. Ces défauts doivent être recherchés pour voir les signatures des voies d'apparition de court-circuit entre les spires du transformateur, Les résultats des analyses nous informent sur le taux d'échec, nous appliquons les méthodes d'analyse mathématique pour traiter les signaux et diagnostiquer notre système, l'essai à circuit ouvert et l'essai en court-circuit. un transformateur de réseau existe:

pour monter la tension ou pour diminuer la tension. Donc le primaire peut être à haute ou à basse tension. L'essai à circuit ouvert se fera en alimentant la bobine de basse tension, car il n'est pas facile d'avoir en laboratoire des instruments de mesure à haute tension. L'essai en court-circuit pourra se faire en alimentant l'une ou l'autre des bobines dépendant des équipements de mesure disponibles.

Peut importer à quel endroit on fera les mesures, il faudra toujours utiliser des données qui se rapportent à une seule tension.

Donc, avant de calculer un circuit équivalent, il faut s'assurer que les données que nous utiliserons sont toutes référées à la même tension.

### III.2 Représentation du système

Pour la simulation, nous utilisons le logiciel Matlab (Simulink). Notre simulation se compose d'une alimentation sinusoïdale d'un transformateur principal, voltmètres, et ampèremètres, afin de mesurer le courant et la tension traversant le transformateur électrique, également, nous utilisons des multiplexeurs pour collecter les courants et tensions dans une pièce par lequel la courbe est tracée, Il y a des outils dans Simulink qui nous permet de décrire n'importe quelle équation dont nous avons besoin. Nous avons entamé le processus à deux reprises (essai en circuit ouvert et essai en court-circuit) et d'effectuer la simulation par le schéma de principe, les ampèremètres sont reliés au transformateur, et voltmètre pour mesurer la tension et les oscillations afin de visualiser les signaux de sortie de l'ampèremètre et voltmètre et outils utilisés pour d'obtenir des résultats différents et spécifiques, Nous appliquerons ces outils comme indiqué dans le tableau suivant :

### III.3 Les équations utilisées pour la simulation

#### III.3.1 Cas du transformateur en circuit ouvert

En circuit ouvert, on cherche les valeurs de résistance et réactance du primaire du transformateur ( $R_c$  et  $X_m$ ) qui seront comparées aux valeurs types du transformateur électrique et doit correspondre pour assurer l'exactitude du fonctionnement donc:

$$I_0 = I_{oc} \tag{III.26}$$

$$I_c = I_{oc} \cos \varphi \tag{III.27}$$

$$I_m = I_{oc} \sin \varphi \tag{III.28}$$

$$P_{oc} = 3V_{oc}I_{oc} \cos \varphi \tag{III.29}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{oc}}{3V_{oc}I_{oc}} \tag{III.30}$$

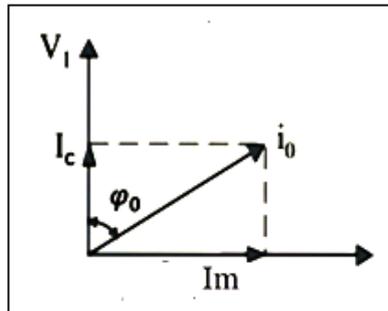


Figure III.1 : les composantes de vecteur courant

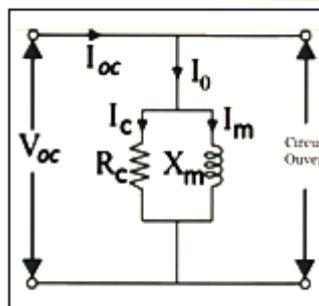


Figure III.2 : modèle électrique du spire primaire

alors que:

$$R_c = \frac{V_{oc}}{I_{oc} \cos \varphi} \tag{III.31}$$

$$X_m = \frac{V_{oc}}{I_{oc} \sin \varphi} \tag{III.32}$$

**III.3.2 Cas du transformateur en court-circuit**

Dans ce cas, nous recherchons les valeurs de résistance équivalente et inductance équivalente ( $R_{eq}$  et  $X_{eq}$ ) qui seront utilisées par Simulink, ensuite elles seront comparées avec les valeurs numériques standard du transformateur électrique.

$$X_{eq} = X_1 + \alpha^2 X_2 \tag{III.33}$$

$$R_{eq} = R_1 + \alpha^2 R_2 \tag{III.34}$$

donc :

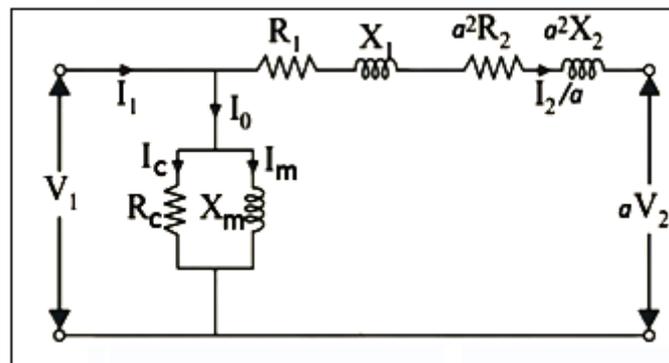
$$P_{cc} = 3I_{cc}^2 R_{eq} \tag{III.35}$$

alors que :

$$R_{eq} = \frac{P_{cc}}{3I_{cc}^2} \tag{III.36}$$

et :

$$\frac{|V_{cc}|}{|I_{cc}|} = |Z_{eq}| = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \tag{III.37}$$



**Figure III.3** : modèle électrique du transformateur en court circuit

Alors que :

$$X_{eq} = \sqrt{\left(\frac{|V_{cc}|}{|I_{cc}|}\right)^2 - R_{eq}^2} \tag{III.38}$$

Ci-dessus, on explicite les différentes valeurs des résistances, inductances et les tensions comme indiqués dans la tableau III.2 et la Figure III.1 utilisées pour notre simulation.

Tableau III.2 les valeurs des paramètres utilisées pour la simulation

	Enroulement primaire	Enroulement secondaire
Résistance R	4,32 $\Omega$	2,38 $\Omega$
Inductance propre L	0,45H	0,25 H
Tenstion V PH-PH	380 Vrms	380 Vrms

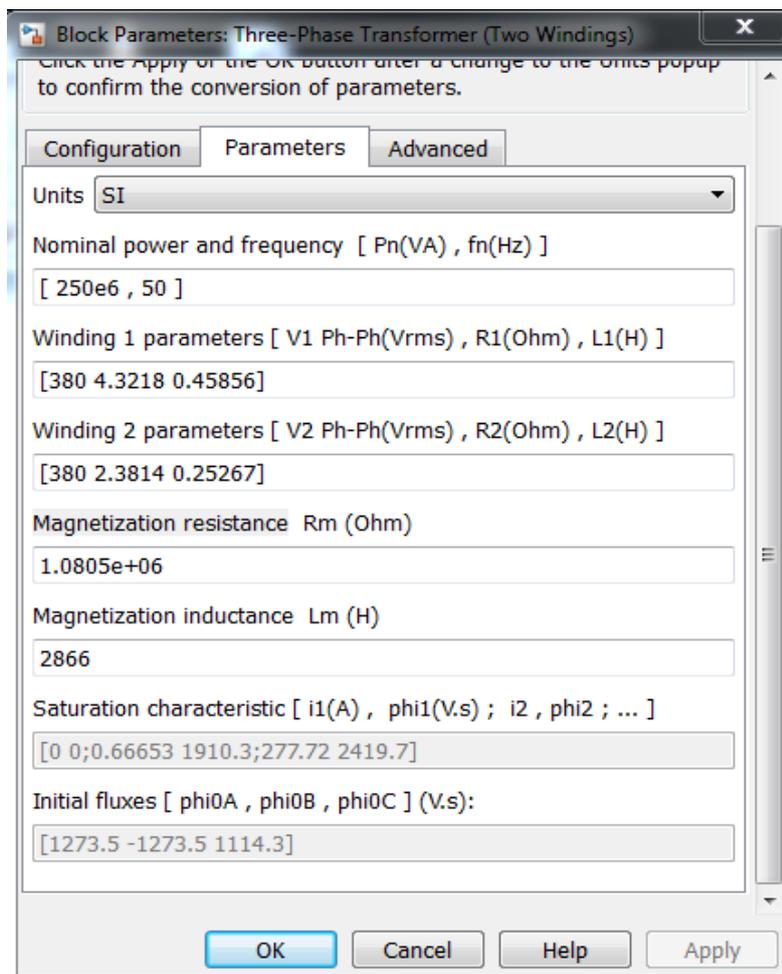


Figure III.4 le Réglage du transformateur triphasé utilisé par Simulink

Pour la comparaison, on calcule les valeurs pour circuit ouvert et circuit fermé des résistances et réactances.

**III.3.2.a Application numérique en circuit ouvert.**

$$I_{oc} = \frac{0.00045}{2} = 0.00022 \text{ Arms}$$

$$V_{oc} = \frac{311.4}{2} = 155.7 \text{ Vrms}$$

$$P_{oc} = 0.067 \text{ VA}$$

$$P_{oc} = 3V_{oc}I_{oc}\cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{0.067}{0.103} = 0.65$$

$$\arccos 0.65 = \varphi = 49,45$$

$$R_c = \frac{V_{oc}}{I_{oc}\cos\varphi}$$

$$R_c = \frac{155.7}{0.000143} = 1088811.19 \Omega$$

$$\sin\varphi = 0.75$$

$$X_m = \frac{V_{oc}}{I_{oc}\sin\varphi}$$

$$X_m = \frac{155.7}{0.000165}$$

$$X_m = 943636.36 \Omega$$

**III.3.2.b Application numérique en cas court-circuit**

$$P_{cc} = \frac{25.9}{2} = 12.95$$

$$I_{cc} = \frac{1.75}{2} = 0.87$$

$$V_{cc} = \frac{311.4}{2} = 155.7$$

$$R_{eq} = \frac{P_{cc}}{3I_{cc}^2}$$

$$R_{eq} = \frac{12.95}{2.29} = 5.65$$

$$X_{eq} = \sqrt{\left(\frac{|V_{cc}|}{|I_{cc}|}\right)^2 - R_{eq}^2}$$

$$X_{eq} = \sqrt{\left(\frac{|155.7|}{|0.875|}\right)^2 - 5.65^2}$$

$$X_{eq} = 177.85$$

Le modèle Simulink du transformateur triphasé utilise des voltmètres, ampèremètres, des multiplexeurs, des scopes pour la visualisation des signaux, en se servant de la boîte 'PowerGUI' pour lancer les blocs 'display' utiliser pour afficher les signaux de sortie.

Le schéma final des différents blocs utilisés par Simulink en circuit à vide est représenté sur la Figure III.5.

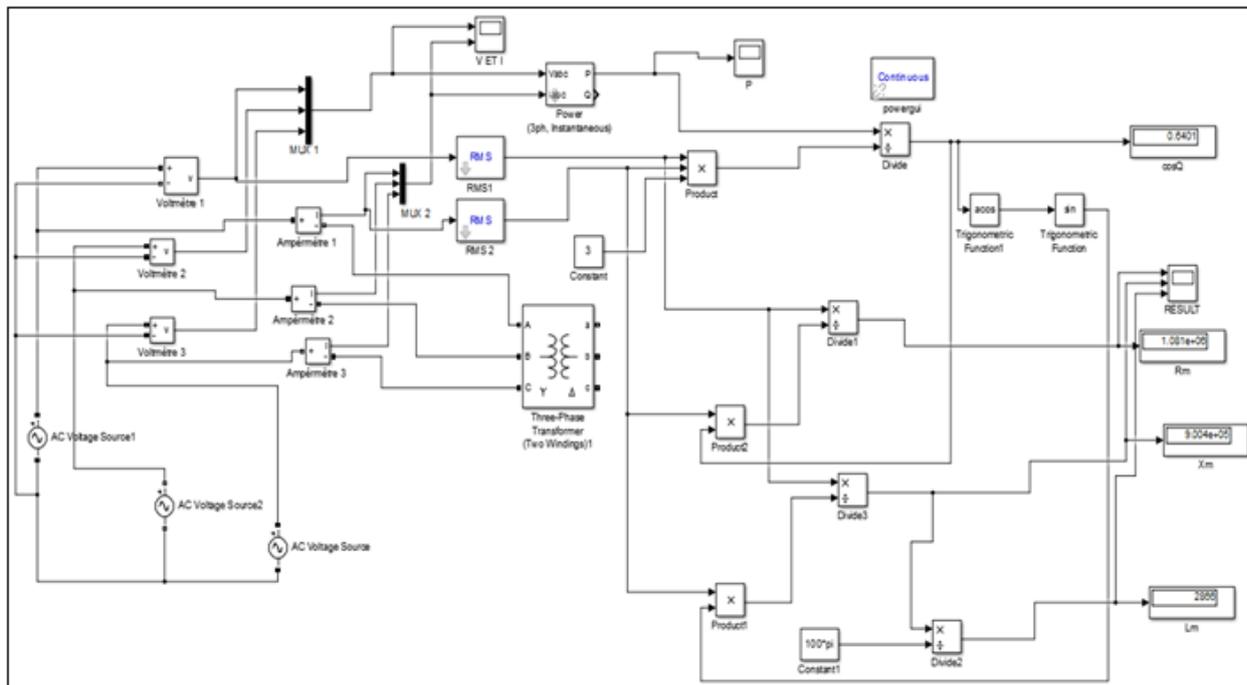
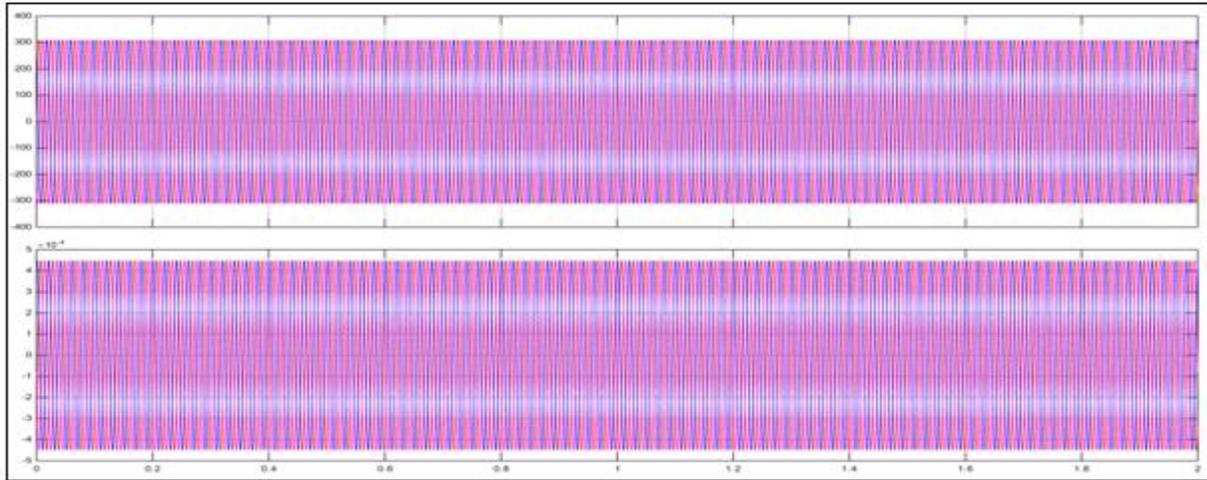


Figure III.5: Modèle du transformateur à vide et les différents blocs pour la simulation

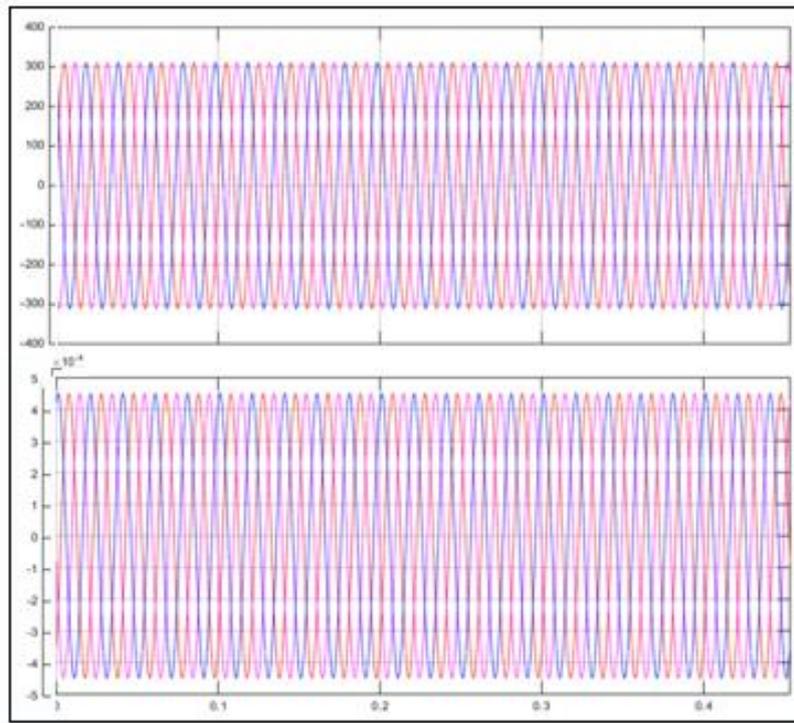
### III.4 Résultat de simulation

#### III.4.1 Résultat de simulation en circuit ouvert

En cas sain, le réseau est sinusoïdal de fréquence 50 Hz. Les tensions et les courants à l'entrée du transformateur sont données par les **Figure III. 6** et **Figure III. 7** ci-dessous.

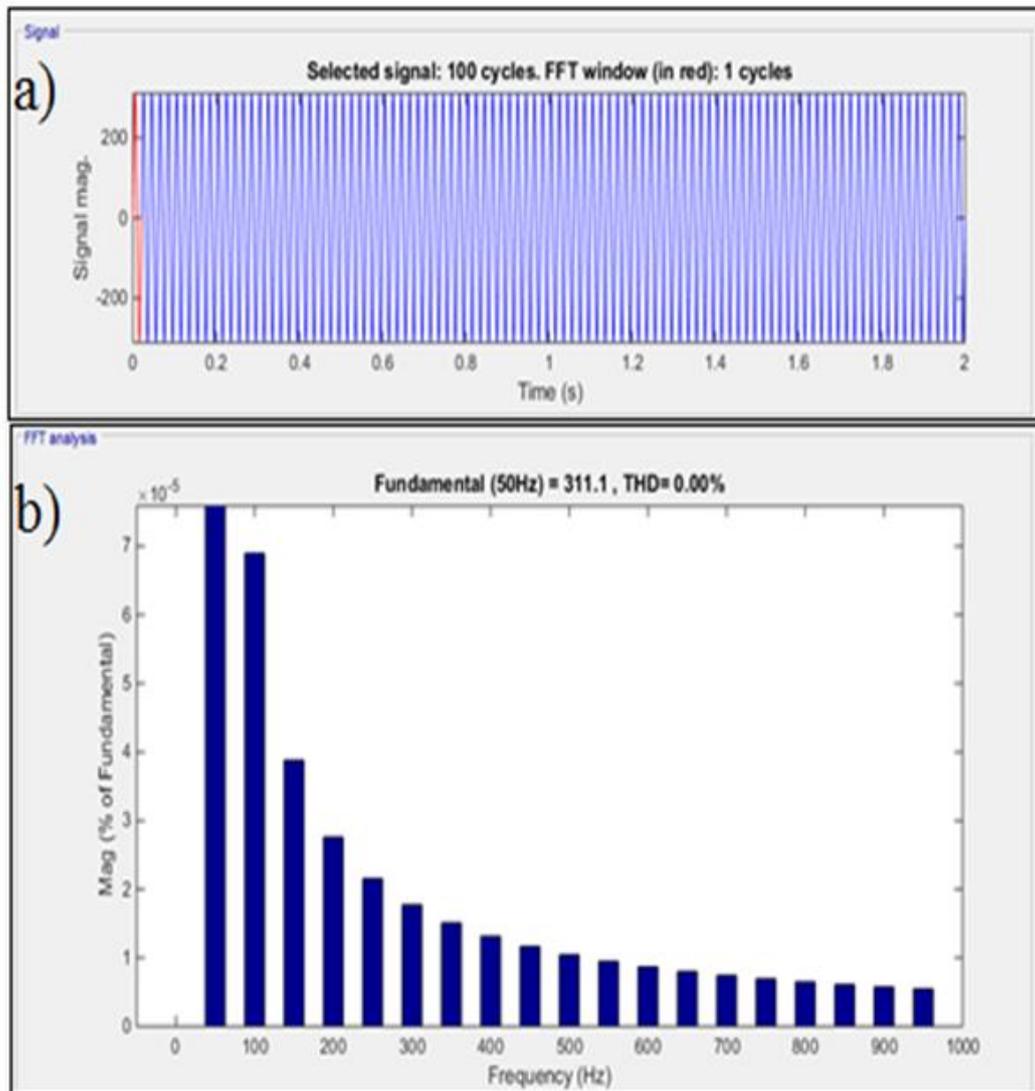


**Figure III. 6 :** Les tensions et les courants à l'entrée du transformateur à vide.

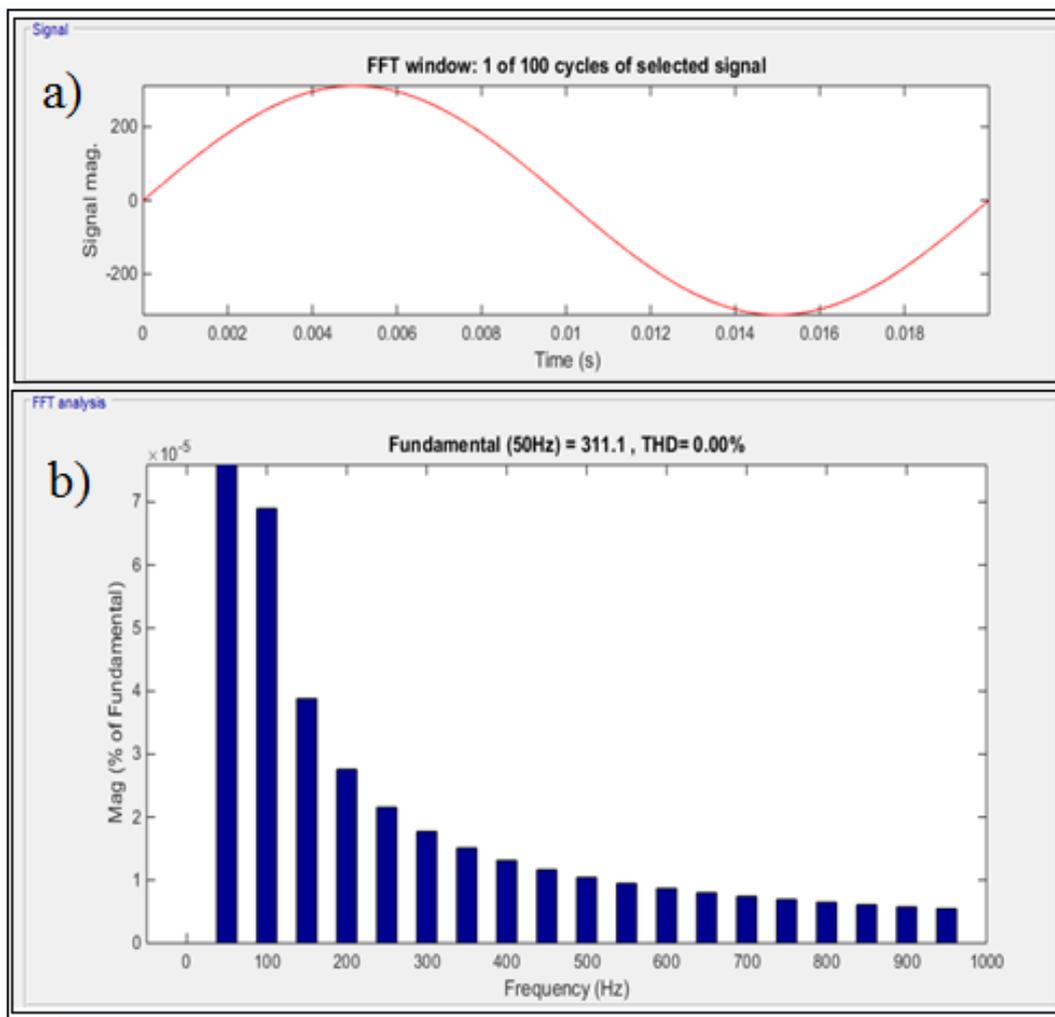


**Figure III.7:** Les tensions et les courants à l'entrée du transformateur en circuit ouvert agrandie

Les tensions des trois phases ont la même amplitude à savoir 311 volts pendant la simulation, puis nous voyons une tarte de courant de 0,45 mA dans une circonférence de deux secondes.

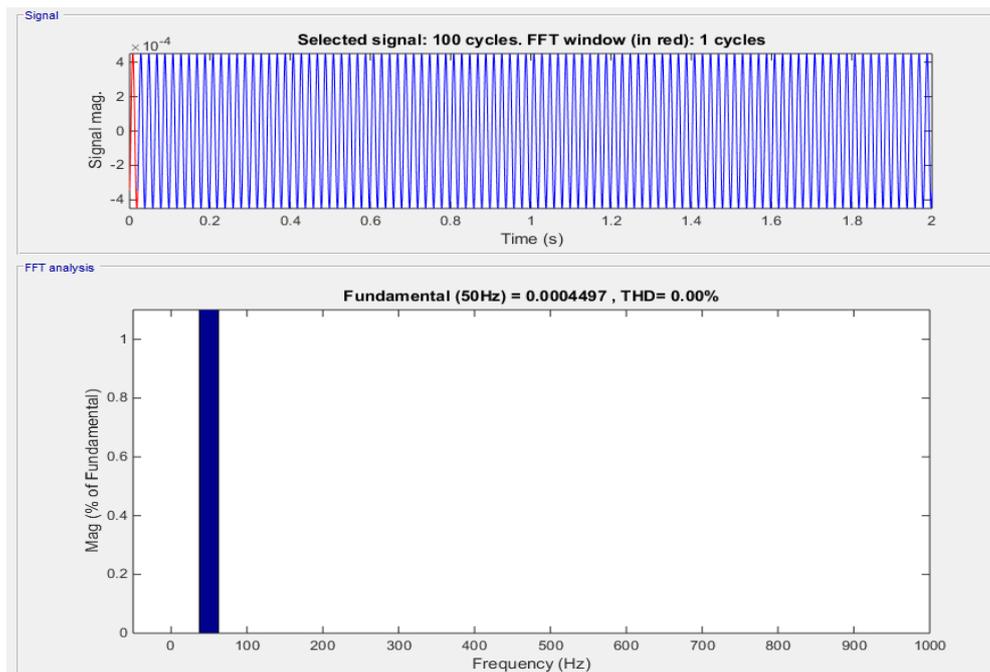


**Figure III.8:** Représentation séparée de la tension d’une phase  
 Représentation temporelle de la tension. b) Fast Fourier transform (FFT) de la tension  
 phasique traduit sous forme de la fondamentale et ces harmoniques.



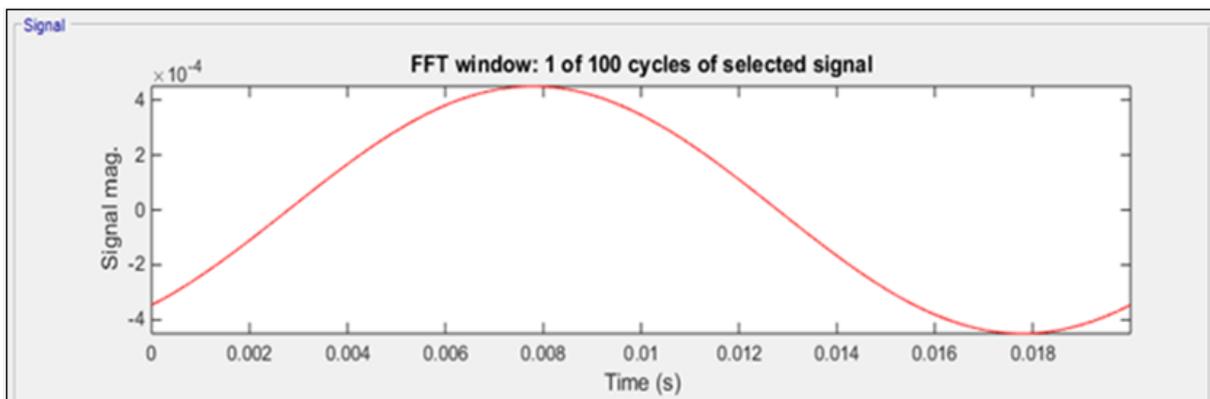
**Figure III.9:** Représentation séparée agrandie de la tension d’une phase

Avec une fréquence de 50 Hz du réseau et une tension de 311 volts, la stabilité du réseau est assurée. Nous nous rendons compte que la grande partie du signal est concentrée dans la fondamentale subordonné par des harmoniques qui sont négligeables devant la fondamentale de telle sorte que le taux de distorsion harmonique (TDH) est négligeable.



**Figure III.10 :** Représentation séparée du courant d’une phase du transformateur.

a) la courbe représentative du courant primaire à vide en fonction du temps. b) FFT du courant traduit par la fondamentale seule



**Figure III.11 :** la courbe agrandie représentative du courant primaire à vide en fonction du temps

Pour le courant, on remarque l'absence des harmoniques ce qui a conduit à un TDH nul. L'analyse FFT montre que le courant a une amplitude de 0,45 mA stable à 50 Hz.

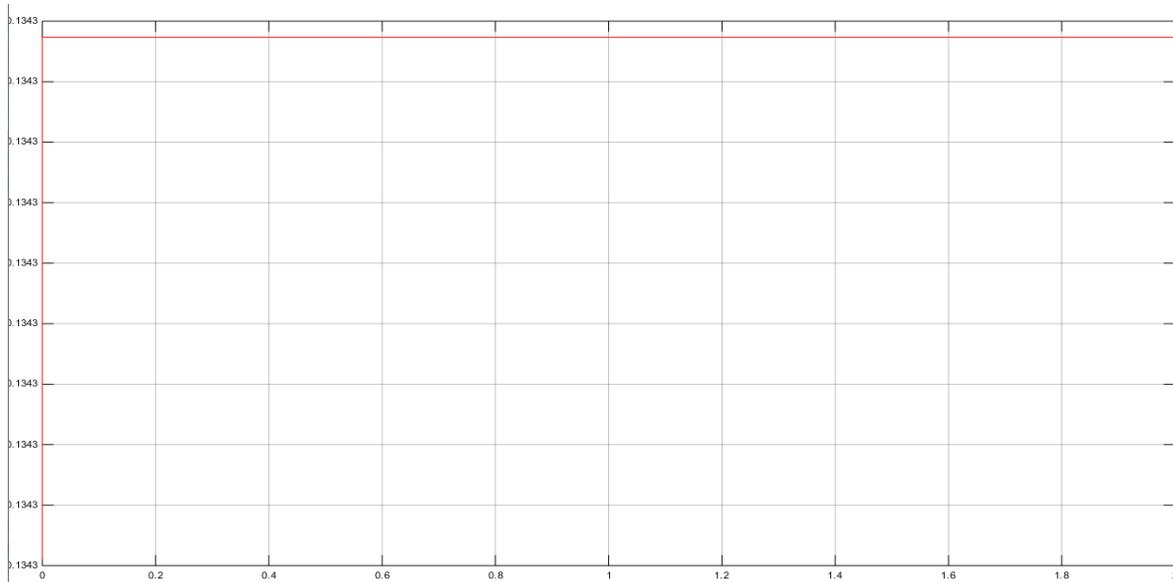


Figure III.12: la puissance active de l'entrée du transformateur en circuit ouvert agrandie

la puissance active de l'entrée du transformateur en circuit ouvert est représentée sur la Figure III.12, depuis cette courbe la puissance active est représentée sur l'intervalle 0 à 2 secondes, elle est constante avec une valeur de 0,1343 VA, en effet extraite du produit courant tension. Cela se reflète sur la Figure III.13 par l'analyse FFT.

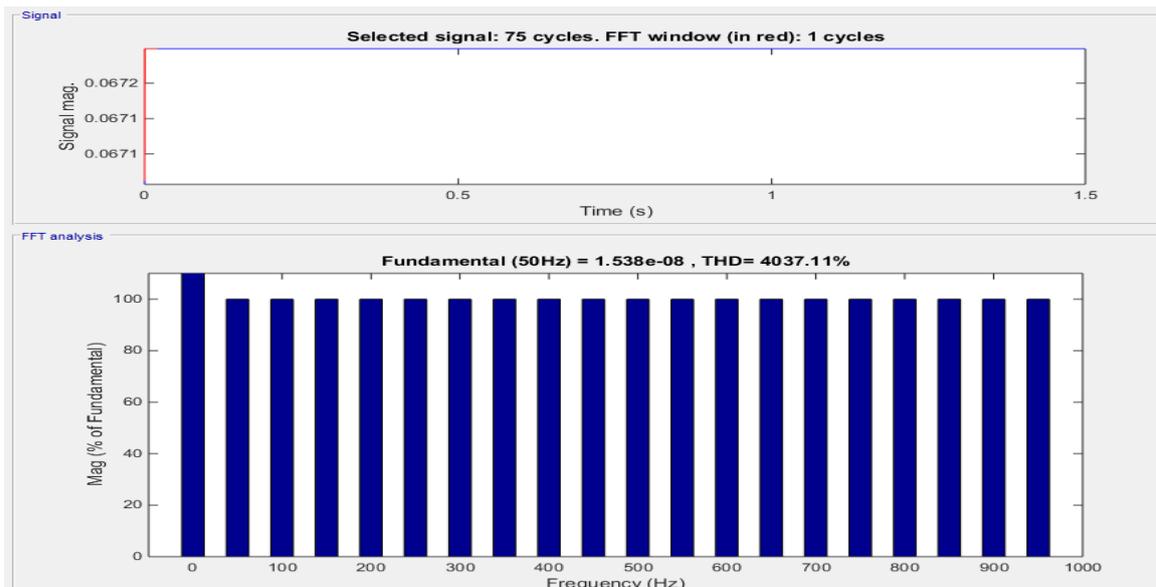


Figure III.13 : la puissance en circuit ouvert à l'entrée du transformateur

La puissance active est infectée par plusieurs facteurs nuisibles c'est pourquoi L'analyse fréquentielle FFT de la puissance active qui est stable à une valeur de 0,1343 VA montre la stabilité du réseau mais avec des harmoniques de telle sorte que le TDH est égale à 4037,11.

III.4.2 Résultat de simulation en court-circuit

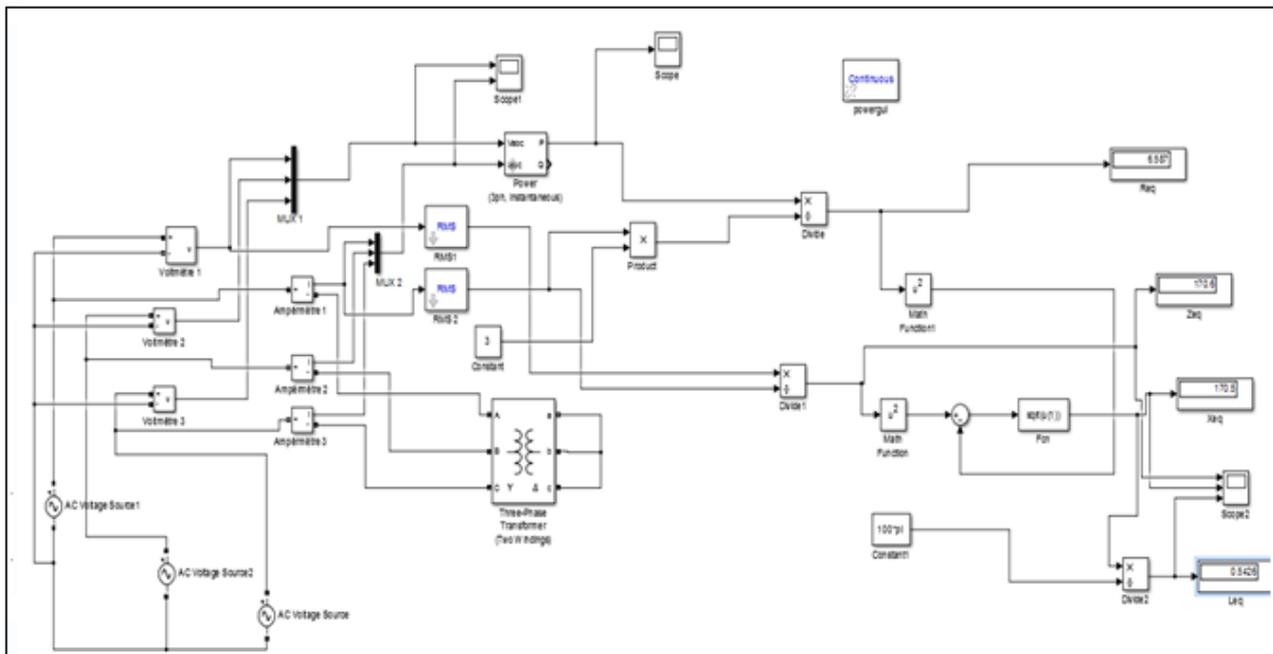


Figure III.14: Modèle du transformateur triphasé en court circuit et les différents blocs utilisés pour la simulation

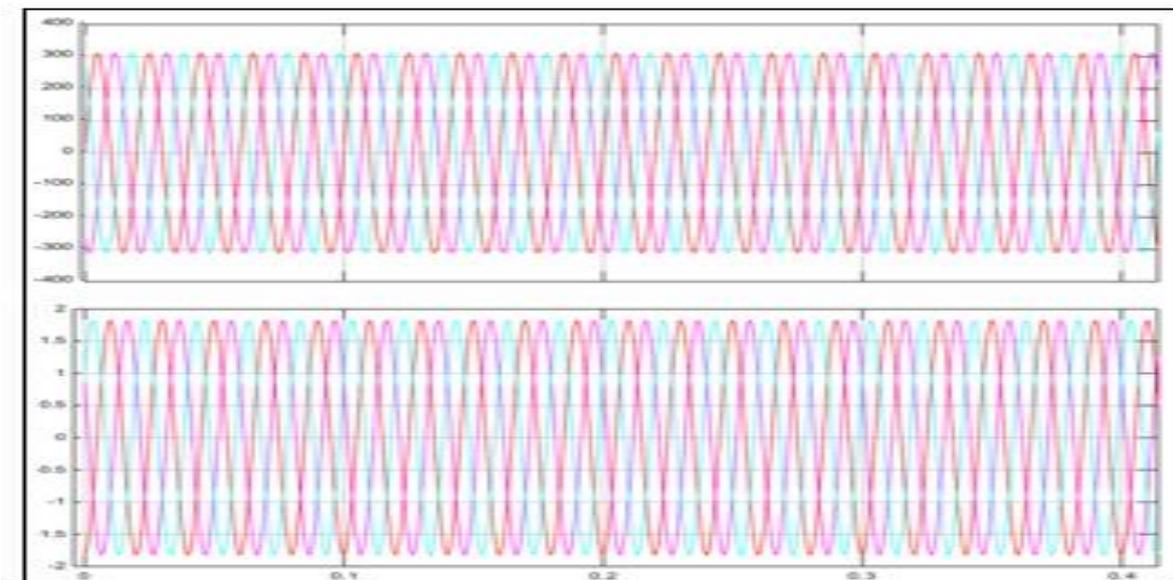
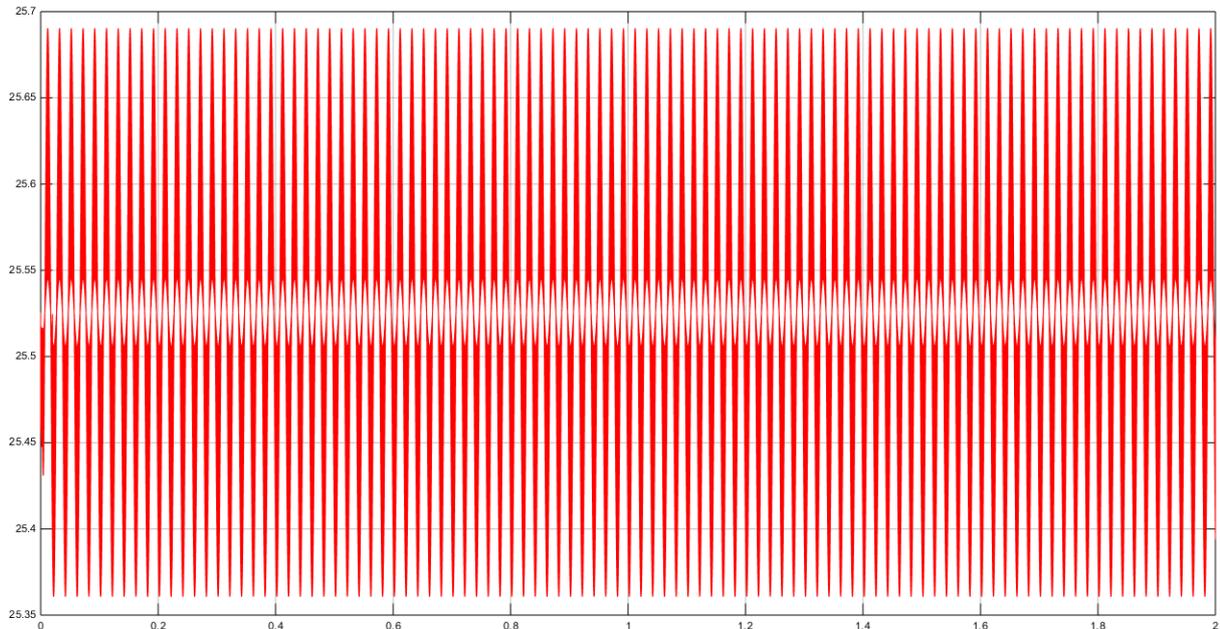


Figure III.15: Représentation temporelle des tensions et des courants à l'entrée du transformateur en court-circuit .

On voit une courbe sinusoïdale tension des phases à la même valeur de 311 V, lors de la simulation, ce qui signifie que la tension est restée à sa valeur optimale, la valeur du courant obtenu est de 1,5 A. On voit que le courant dans le circuit fermé a augmenté au voisinage de deux secondes comme c'est indiquée sur la Figure III.16.



**Figure III.16** : la puissance active en court-circuit à l'entrée du transformateur

On remarque sur la courbe sinusoïdale de la Figure III.18 que la puissance active sa valeur a changé sa valeur par rapport à sa valeur en circuit ouvert, qui est estimée à 25,1 VA, qui à son tour a augmenté en circuit fermé en augmentant le courant dans une période de deux secondes.

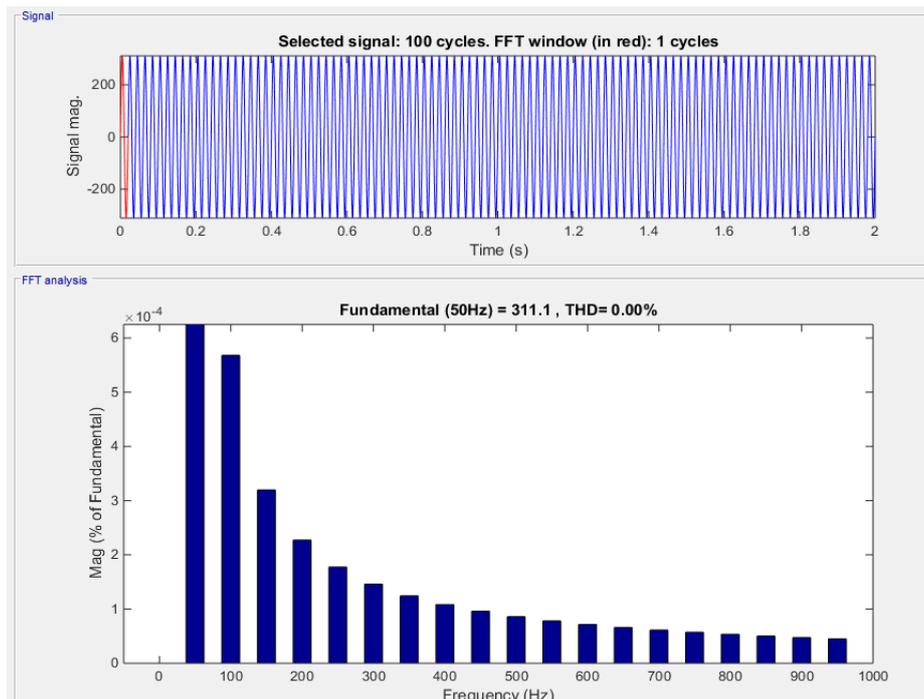


Figure III.17 : La représentation temporelle du signal tension en court-circuit et sa réponse.

d'analyse FFT

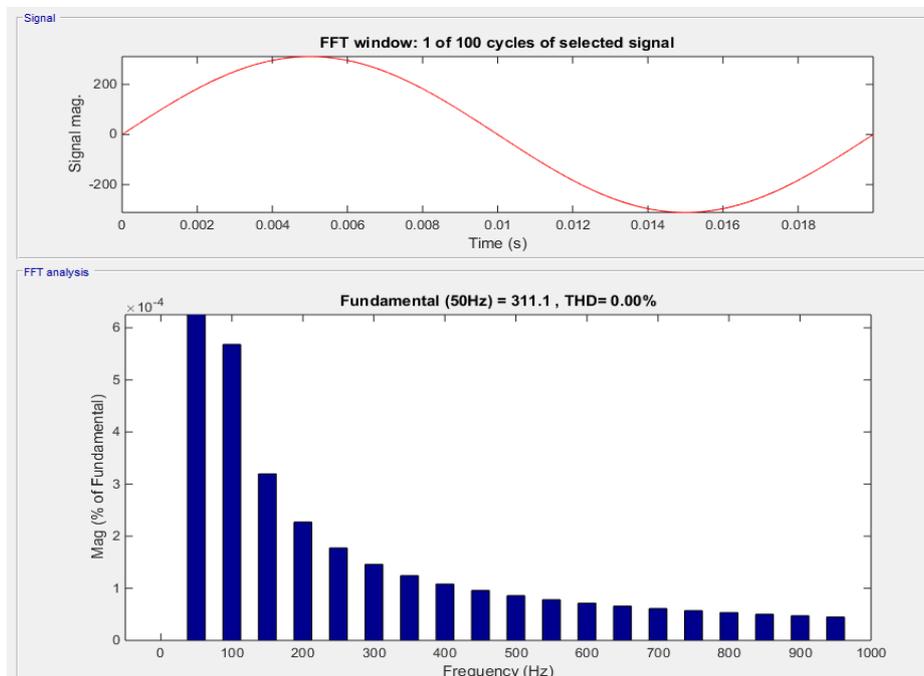
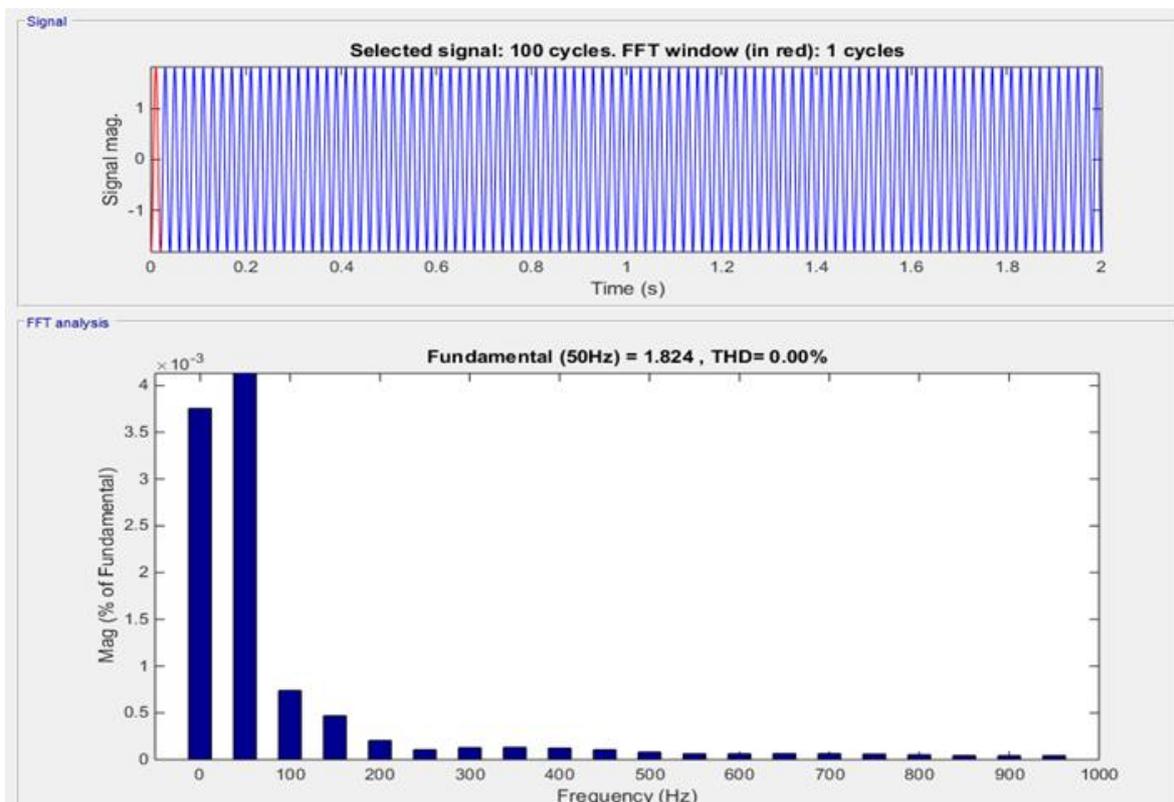


Figure III.18: La représentation temporelle du signal tension en court-circuit et sa réponse.

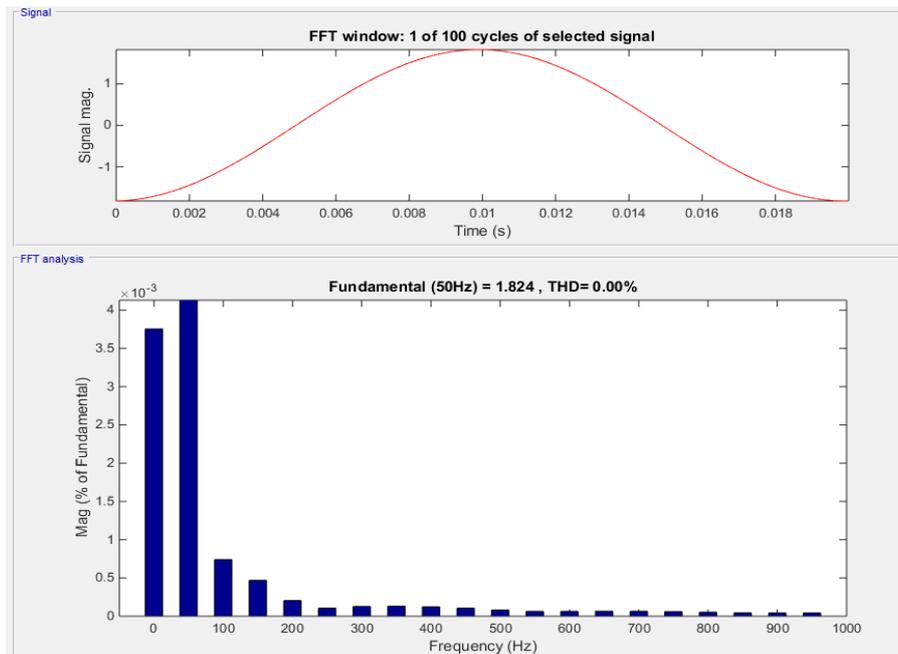
d'analyse FFT agrandi

On remarque à partir de l'analyse fréquentiel FFT que la tension a une valeur de 311 V, et que la stabilité du réseau est maximale à une fréquence de 50 Hz, mais son rapport est proche de zéro. On constate aussi qu'à partir de 50 Hz, l'apparition de l'harmonique qui rend la stabilité du réseau faible comme le montre la Figure III.19 et Figure III.20, et en la comparant avec le circuit ouvert, on remarque que la stabilité du réseau est légèrement inférieure à sa stabilité pour le cas du circuit ouvert. Les basses fréquences sont causées par le contact entre le courant et la puissance.



**Figure III.19:** La représentation temporelle du signal courant en court-circuit et sa réponse.

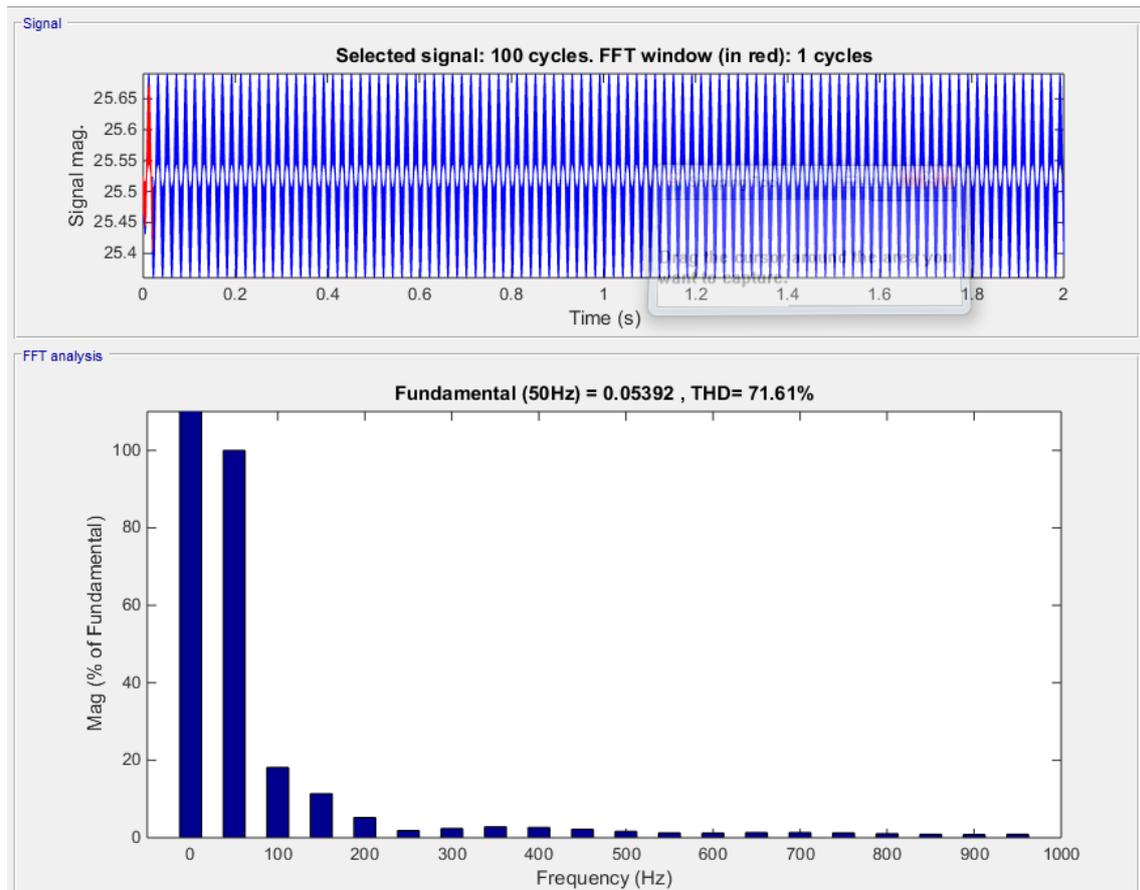
d'analyse FFT en court-circuit à l'entrée du transformateur



**Figure III.20:** La représentation temporelle du signal courant en court-circuit et sa réponse.

d'analyse FFT en court-circuit agrandie

Dans l'analyse fréquentielle du courant dans le cas d'un court-circuit de 1,5 ampères, on voit que la stabilité du réseau à la fréquence 0 Hz était d'environ 0,003%, et elle est passée à 0,004% à la fréquence de 50 Hz à sa valeur maximale, bien qu'il s'agisse d'un faible pourcentage et qu'il diminue presque complètement lorsque la fréquence augmente et s'approche de zéro dans le cas d'une fréquence de 400 et plus .



**Figure III.21 :** la puissance active en court-circuit du transformateur

Dans l'analyse fréquentielle de la puissance active du court-circuit, on note une valeur de 25,5 volts ampères, la stabilité du réseau à une fréquence de 0 Hz, sa valeur est supérieure à la valeur maximale et diminuée dans la fréquence de 50 Hz , mais à sa valeur idéale le taux de stabilité est de 100%, et on note que lorsque la fréquence augmente, et avec l'augmentation de fréquence à partir de 50 Hz Cependant, on note que lorsque la fréquence est augmentée de 10 Hz, le taux de stabilité diminue de un terrible 20%, et à partir de 250 Hz et plus, le pourcentage est quasi inexistant, très faible, plus la stabilité du réseau diminue, comme le montre la.

### III.5 Comparaison entre application nématique et simulink

Grâce à notre travail dans Matlab (Simulink), nous avons étudié deux cas de transformateur triphasé, en appliquant des équations arithmétiques et des théorèmes dans les deux cas (circuit ouvert et court-circuit) et avec plusieurs outils qui nous aident à les utiliser dans le programme. Nous obtenons les résultats de calcul et les comparons avec les théories et nous constatons que nous obtenons des résultats presque identiques. Par conséquent, nous concluons que notre travail dans Simulink est correct avec des opérations précises, et nous avons obtenu différentes courbes à partir de la courbe de courant et de tension. Et la courbe de puissance En comparant les courbes en circuit ouvert et en court-circuit, on constate que l'intensité du courant a augmenté, puisqu'elle était de 0,00045 ampère et est devenue 1,75 ampère, et que la puissance active a considérablement augmenté, puisqu'elle était de 0,067 et est devenue 25,9 volts ampères. Pour la fréquence, où nous avons remarqué dans les analyses que le rapport de stabilité du réseau de tension dans le court-circuit est légèrement supérieur au circuit ouvert et que le rapport de stabilité du courant dans le circuit ouvert ne fonctionne que dans la fréquence 50 Hz, et le reste de la fréquence le manque de stabilité n'est pas le même que dans le court-circuit fonctionne à la valeur optimale de la fréquence 50 et diminue lorsque la fréquence augmente mais elle ne disparaît pas comme c'est le cas pour le courant en circuit ouvert et gradations de puissance Les raisons de la diminution sont dues à la stabilité du réseau Le contact entre le courant et la charge crée des raisons qui rendent le rapport de stabilité faible

**III.6 Conclusion**

Dans ce travail on a caractérisé le transformateur triphasé et calculer leurs paramètres à l'aide d'un laboratoire virtuel MATLAB. Les résultats obtenus dans notre laboratoire virtuel afficher la cohérence avec les modèles théoriques et notre. Le logiciel MATLAB/SIMULINK, est un bon moyen d'étude du fonctionnement en Transformateurs triphasé dans les conditions de fonctionnement voulues. Aussi nous permet d'étudier, réaliser et simuler des autres phénomènes physiques Et le mettre dans les conditions que nous voulons

D'après ces résultats, nous concluons que les courants de court-circuit sont très importante, car elle nous renseigne sur l'ordre de grandeur des courants, ce qui permet de mesurer correctement les dimensions de la protection.

En effet, les courants de court-circuit sont des accidents qu'il faut éliminer dans un laps de temps pour en réduire les conséquences et effets néfastes sur le fonctionnement des réseaux, le comportement des équipements et surtout la sécurité des personnes, Les défauts ne peuvent être éliminés que par des dispositifs de protection.

# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

---

Notre travail comprenait une étude du transformateur de puissance en circuit ouvert et en court-circuit, et nous avons commencé par introduire un transformateur triphasé, en lui présentant son principe de fonctionnement, ses utilisations dans tous les domaines, comment le connecter et les types de connexion qui peuvent être connectés et de distinguer chaque type de connexion, et nous avons terminé l'étude théorique sur la façon de diagnostiquer un transformateur de puissance et ses types. Dans tous les domaines de l'électronique, mécanique, thermique ... etc., nous avons également étudié quelles sont les raisons qui provoquent des erreurs dans le transformateur et comment les traiter de diverses manières pour éviter les pertes matérielles et humaines. L'intérêt de cette étude était d'obtenir une vue globale du transformateur électrique, comment traiter si une erreur survenait, puis nous sommes passés à la simulation partie à travers le laboratoire virtuel représenté dans l'environnement Simulink Matlab, à travers lequel nous avons diagnostiqué le transformateur et appliqué des équations et théories fondamentales et réelles pour expérimenter le transformateur de puissance en cas de court-circuit et en cas de circuit ouvert. Cette simulation a été accompagnée d'une étude mathématique, où nous avons effectué des tests arithmétiques des lois du transformateur de puissance et nous nous sommes assurés que notre installation du transformateur est correcte et correcte selon plusieurs conditions de comparaison avec la présence d'appareils de mesure, avec la simulation résultats afin que l'étude soit précise et plus fiable, et au final nous avons mené une étude pratique approfondie sur le transformateur électrique triphasé en circuit ouvert et le court-circuit en termes d'extraction de plusieurs formes qui dépendent du débit de courant, tension et puissance et en les comparant, et nous avons également obtenu des gradations de stabilité dans le réseau, et au lieu de cela, nous avons connu la fréquence idéale pour le travail des transformateurs, et nous avons conclu que plus la taille de la fréquence électrique est grande, plus la diminution dans le pourcentage de stabilité et de stabilité du réseau et la diminution de l'efficacité du transformateur. La chute dépend également de la valeur de la charge. Ce qui a également été utile dans cette expérience a été de se plonger dans l'étude qui a conduit à la baisse de rendement

## Résumé

Dans cette étude, nous avons travaillé à déterminer la maintenance du réseau électrique. Pour savoir quelles étapes ou quelles analyses doivent être effectuées pour diagnostiquer un transformateur. Les études créées dans cette étude peuvent servir de base à l'amélioration de la transmission de l'énergie électrique. Étant donné qu'il fournit les dernières technologies liées à la pollution par le réseau, un transducteur avec des méthodes de détection des défauts, la modélisation des défauts de court-circuit entre les enroulements et la simulation sous MATLAB SUMILINK pour le générateur, les transformateurs et le système de chargement. Ce pendant, ils ont besoin de données pratiques pour confirmer leur authenticité.

في هذه الدراسة، عملنا على تحديد صيانة شبكة الكهرباء. لمعرفة الخطوات أو التحليلات التي يجب إجراؤها لتشخيص محول الطاقة. يمكن أن تكون الدراسات التي تم إنشاؤها في هذه المذكرة بمثابة أساس لتحسين نقل الطاقة الكهربائية. بما إنها توفر أحدث التقنيات المتعلقة بتلوث الشبكة، ومحول طاقة مع طرق الكشف عن الأخطاء، ونمذجة عيوب ماس كهربائي بين اللفات والمحاكاة تحت MATLAB SIMILINK للمولد والمحولات ونظام التحميل. ومع ذلك، فإنها تحتاج إلى بيانات عملية لتأكيد صحتها.

In this study, we worked to determine the maintenance of the electricity grid. To find out what steps or analyzes need to be done to diagnose a transducer. Studies created in this study can serve as a basis for improving electric power transmission. Since it provides the latest technology related to grid pollution, a transducer with fault detection methods, short circuit defect modeling between windings and simulation under MATLAB SUMILINK for generator, transformers and loading system. However, they need practical data to confirm their authenti

- [1] *Thierry VAN CUTSEM « Le transformateur de puissance » pp : 1-10 Notes théoriques du cours ELEC0014, Novembre 2016.*
- [2] *Jean SANCHEZ « Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de puissance » Université de Grenoble, Thèse soutenue publiquement le 21 juin 2011.*
- [3] *Mezari Naouel « Diagnostique des transformateurs de puissances » Mémoire de magister*
- [4] *BABA HAMED Amel née BENSEMAIN « Vers un modèle de classification neuronale des données médicales à base de la technologie FPGA » Thèse Docteur en Sciences Biomédical, 2017*
- [5] *Rekik Badri « Etude et modélisation des défauts des transformateurs de puissance » Mémoire Magister, Année 2008.*
- [6] *Bernard Multon « Modèles électriques du transformateur électromagnétique », revue 3EI, 1997, pp.31-36, Février 2012.*
- [7] *RITZ «Transformateurs de courant et de tension Moyenne Tension » Instrument transformers, Rev\_2014-01 JSW*
- [8] *D. Mari « Transducteurs et capteurs I » Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne, November 2011.*
- [9] *Bouchaoui Lahcene « Diagnostic des transformateurs de puissance par la méthode d'analyse des gaz dissous: application des réseaux de neurones » pp : 43-57, Mémoire Magister, Janvier 2010.*
- [10] *Didier Nilly. Le diagnostic d'état des transformateurs de puissance. Electromagnétisme. 2017.*
- [11] *Madjid MEZIANI « Contribution à la modélisation analytico-numérique des transformateurs de puissance » pp : 1-16, 43 ; Memoire Magister, Décembre 2011.*
- [12] <https://www.electricalcity.net/المحولات-الكهربائية-transformers/>
- [13] <http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.TransfoTriIndiceHoraire>
- [14] [http://www.electrosup.com/transformateur\\_electrique.php](http://www.electrosup.com/transformateur_electrique.php).

## Annexe

---

Les paramètres de transformateur Three phase :

Caractéristique	unite	valeur
Tension nominale	V (V)	311
Frequance	F (Hz)	50
Flux d'aimant	Phm(Wb)	0.108
courant	I(mA)	0.45
Resistance	R(ohm)	4.32
Inductance	L(H)	0.45
puissance nominal	Pn(VA)	$250 \cdot 10^6$