



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département Automatique et Electromécanique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Optimisation de la Maintenance Préventive par la
Méthode FMD d'un Transformateur HT/BT 60/30 kV
situé à Sonatrach Berkaoui - Ouargla

Déposé le : 11/09/2021

Par

Belamri Bachir Bensghir Abdelkader

Le jury composé de :

Boukhari Hamed	MCB.....	Univ Ghardaia	Evaluateur
Merzoug Hocine	MAA.....	Univ Ghardaia	Evaluateur
Zitani Brahim	MAA.....	Univ Ghardaia	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Résumé

Dans le domaine pétrolier les enjeux sont très grands, et chaque minute de production est un bien national, le maintien de la production passe par la fiabilité des équipements du processus de production, parmi ces équipements dont la fiabilité est très importante on trouve les transformateurs de grande puissance, comme le cas de celui sis à l'usine de traitement des hydrocarbures de Sonatrach Berkaoui

La concentration des efforts est sur la maximisation de l'utilisation de ce transformateur et l'amélioration de la disponibilité malgré la redondance existante est primordiale.

Notre étude est consacrée à l'optimisation de la maintenance d'un transformateur, car ces derniers ont une grande importance dans les usines, on conséquence, ils méritent une surveillance continue et une étude de fiabilité, maintenabilité et de disponibilité pour l'assurance de bonne performance.

Une étude sur la base de la méthode FMD est élaborée pour ce but.

Abstract

In the oil and gas industry time is very important for the production of hydrocarbons, one of these equipment is the electrical transformer in Sonatrach Berkaoui field

Our study is made around this electrical power transformer because is considered as an important equipment, due to its great importance in factory; consequently, it needs a continuous monitoring of reliability, maintainability and availability for the insurance of good performance

For that we have used FMD method to calculate different parameter of the failure mode of the equipment and perform the optimization of the maintenance plant minimize downtime

Keyword: reliability- maintainability- maintainability-AMDEC

ملخص

تستعمل الصناعة البترولية تجهيزات وآلات عديدة ويشترط فيها موضع هام ودور كبير في الحفاظ على الاقتصاد من خلال النقل والإنتاج وتصنيع المواد البترولية.... الخ وفي ظل المنافسة الشديدة في المجال الصناعي تعمل الشركات على تحسين وضعها من خلال تحليل وتحسين معداتها.

دراسنا هذه دراسة تحليلية استعمال طريقة FMD لتحسين برنامج الصيانة لمحول كهربائي ذو سعة كبيرة يزود منشاءه سوناطراك في حوض بركاوي بالطاقة الكهربائية ولما لها من أهمية كبيرة في المصنع ولذلك تتطلب مراقبتها مراقبه مستمرة ومنظمة من أجل التحسين في الموثوقية والصيانة الجيدة لضمان الأداء الأحسن من خلال تحسين قابليتها للصيانة.

كلمات مفتاحية: الموثوقية- قابلية الصيانة- الوفرة

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Dieu de nous avoir donné la santé, la force, et la volonté pour réaliser ce mémoire

Toutes nos infinies gratitudees à notre encadreur. Monsieur Zitani Brahim pour son suivie et ses aides précieuses

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer notre travail

Notre sincère reconnaissance Mr Arif mohamed a la tete du departement et a tout nos enseignants au département ST

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant les moments plus difficiles durant ma vie.

A toute ma petite famille

A toute ma grande famille

A tous mes amis partout et en particulier mes chers amis à l 'Université GHARDAIA

A la fin je dédie très chaleureusement a notre encadreur

BACHIR ET ABDELKADER

Table des matières

Résumé	i
Remerciement.....	ii
Dédicace	iii
Table des matières	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations explicitées	viii
Introduction Générale.....	1
I. Chapitre I Présentation de l'unité SONATRACH/DP/HAOUD BERKAOUI.....	3
Introduction	4
I.1. Situation géographique de la région HBK	4
I.2. Historique	5
I.3. Champ de HAOUD BERKAOUI	6
I.4. Champ de BENKAHLA.....	6
I.5. Champ de GUELLALA	6
I.6. L'organigramme de la direction régional de HAOUD BERKAOUI.....	7
II. Chapitre II Généralités sur les Transformateurs	8
Introduction	9
II.1. Historique	9
II.2. Définition	9
II.3. Principe de fonctionnement.....	10
II.4. Technologies de construction de transformateur de puissance	12
II.4.1. Circuit magnétique	12
II.4.2. Enroulements.....	13
II.4.3. Isolation	14
II.4.4. La Cuve	14
II.4.5. Traversées.....	15
II.4.6. Changeurs de prise	15
II.4.7. Refroidissement.....	15
II.4.8. Conservateur.....	15
II.4.9. Coffret des auxiliaires	15
II.4.10. Coffret de commande du changeur de prise en charge	15
II.5. Les Essais sur les transformateurs.....	16
II.6. Les Types des transformateurs de puissances et leurs utilisations.....	17
II.6.1. Transformateur immergé.....	18

II.6.2.	Transformateurs secs	18
II.6.3.	Autotransformateur	19
II.7.	Protection et surveillance de transformateur de puissance.....	19
II.7.1.	Relais BUCHHOLZ.	19
II.7.2.	Protection masse cuve	20
II.7.3.	Protection par DGPT	21
II.7.4.	Protection thermique	21
II.7.5.	Protection des surtensions	21
II.7.6.	Protection à maximum d'intensité	21
II.7.7.	Protection différentielle.....	22
	Conclusion.....	22
III.	Chapitre III Généralités sur la fonction maintenance.....	23
	Introduction	24
III.1.	La maintenance	24
III.2.	Etude de la fiabilité	27
III.3.	La maintenabilité.....	31
III.4.	Disponibilité.....	32
III.5.	Loi de Pareto	32
	Conclusion.....	33
IV.	Chapitre IV Etude Analytique FMD	34
	Introduction :.....	35
IV.1.	Défaillance du transformateur de puissance.....	36
IV.2.	Cas pratique a etudier	37
IV.3.	La Methode de Pareto	38
IV.4.	La Methode de Weibull :.....	43
	Conclusion.....	52
	Conclusion générale	53
	Références bibliographiques	54

Liste des Tableaux

Tableau II-1: Essai à vide.....	16
Tableau II-2: Essai en court-circuit.....	16
Tableau III-1 : les niveaux de maintenance	25
Tableau IV-1: Dossier historique des pannes.....	37
Tableau IV-2 : L'analyse ABC (Pareto)	38
Tableau IV-3 Plan Preventif.....	39
Tableau IV-4 : Fonction de répartition réelle.....	43
Tableau IV-5: test K-S (kolmogrov-smirnov) d'après la table de K-S :.....	44
Tableau IV-6: Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	46
Tableau IV-7: Fonction de répartition.....	47
Tableau IV-8: Calcul de la fiabilité.....	48
Tableau IV-9 : le taux de defaillance	49
Tableau IV-10: La maintenabilité	50
Tableau IV-11 Tableau de disponibilité.....	51

Liste des figures

Figure I-1: Vue générale sur le champ HBK.....	4
Figure I-2 Organigramme de la direction régionale de HAOUUD BERKAOUI.....	7
Figure II-1: Transformateur de puissance triphasé	9
Figure II-2: Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance.....	10
Figure II-3: Symbole de transformateur de puissance	10
Figure II-4: Schéma d'un transformateur triphasé de type colonne.....	10
Figure II-5: Schéma d'un transformateur monophasé.....	11
Figure II-6: Schéma électrique équivalent.	11
Figure II-7: Schéma de bilan de puissance d'un transformateur.....	11
Figure II-8: Schéma Vue intérieure d'un transformateur, type colonne.	12
Figure II-9: Circuit magnétique.....	12
Figure II-10: Enroulement.....	13
Figure II-11:La cuve d'un transformateur de puissance..	14
Figure II-12:La Traverse..	15
Figure II-13: Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique	17
Figure II-14: Transformateur immergé dans l'huile	18
Figure II-15: Transformateur sec.	18
Figure II-16: Schéma d'un autotransformateur.....	19
Figure II-17: Schéma de fonctionnement de Relais BUCHHOLZ.	20
Figure II-18: Schéma de protection masse cuve.	20
Figure II-19: Schéma de dispositif DGPT.....	21
Figure III-1 : Les types des maintenances.....	25
Figure III-2: Politiques de maintenance [6]	27
Figure III-3 : Courbe en baignoire	29
Figure III-4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).....	30
Figure III-5: redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :.....	31
Figure IV-1 : La Courbe d'ABC	38
Figure IV-2: papier de Weibull en logiciel minitab17	43
Figure IV-3: La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :	46
Figure IV-4: La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)	47
Figure IV-5 : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)	48
Figure IV-6: Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab).....	49
Figure IV-7: La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :	50
Figure IV-8 La Courbe de disponibilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :.....	51

Liste des abréviations explicitées

TTR :	Temps de réparation
TBF :	Temps de bon fonctionnement
UT :	Temps entre défaillances
R(t) :	Fonction de fiabilité
F(t) :	Fonction de défaillances
f (t) :	Densité de probabilité
λ (t) :	Taux de défaillance
MUT :	Moyenne temps entre défaillance
MTTR :	Moyenne de temps de réparation
μ :	temps de réparation
MTBF :	Moyenne de Temps de bon fonctionnement
F :	Fiabilité
M :	Maintenabilité
D :	Disponibilité
β :	Paramètre de forme
γ :	Paramètre de position
η :	Paramètre d'échelle
FMD :	Méthode fiabilité Maintenabilité disponibilité

Introduction Générale

Actuellement notre pays l'Algérie est en face de grands changements dans l'économie nationale. Le développement des différentes industries (lourde, légère, de l'énergie, de la chimie et de la pétrochimie, etc.) exige un réseau d'alimentation en Energie électrique sophistiquée et fiable pour accompagner cette phase de développement accélérer

Le réseau électrique est constitué principalement par le transformateur qui ont un rôle primordial dans les domaines d'activité industrielle, Pour chaque type d'utilisation il existe un transformateur bien à adapter à ce besoin

Il faut être en mesure de choisir les transformateurs selon les exigences technologiques et de les exploiter d'une façon efficace, un spécialiste doit parfaitement connaître les constructions de ces machines, leur principe de fonctionnement et la base théorique qui sert à expliquer leurs caractéristiques.

Les Transformateur sont des appareils qui transforment l'énergie électrique de haute tension en une Energie électrique de basse tension, moyennent un rendement

Le technicien en charge de ces transformateurs sur site doit être en connaissance des règles de l'entretien et la base théorique pour prévoir l'état de la machine dans les différentes conditions d'exploitation.

L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente. Les responsables des services de maintenance dans les entreprises ne sont pas toujours en mesure de défendre rigoureusement leur budget d'opération et encore moins leur contribution à l'efficacité de l'entreprise.

L'application des méthodes prévisionnelles de maintenance à des matériels à haute production est moins coûteuse que la perte de production due un arrêt du matériel. L'arrêt du transformateur entraîne l'arrêt de toute la l'installation ou même de toute l'usine.

Ces quelques considérations amènent à penser que, de plus en plus, la fonction maintenance prend une part importante dans la production, d'où la nécessité de lui donner au sein des autres fonctions de la production les responsabilités qui lui incombent et les moyens de les assurer. Toutefois, quels que soient le coût et l'importance de la maintenance, celle-ci n'est pas un but, mais un moyen pour réaliser la production et assure sa qualité.

Le but de ce travail est une analyse FMD d'un transformateur responsable de l'alimentation en électricité la base de Sonatrach a Berkaoui a Ouargla, et le mémoire présentant ce travail comporte quatre chapitres, une introduction et une conclusion générale.

Le premier chapitre présente d'entreprise en général.

Le deuxième chapitre l'étude bibliographique sur les transformateurs

Le troisième chapitre présente l'état de la maintenance en général sous nom "Généralité sur la maintenance", lui-même décrivant les principaux concepts qui éclairent notre mémoire, la définition et l'organisation de la maintenance des équipements de production, les concepts de maintenance.

Enfin, le quatrième chapitre expose l'application analytique de cette technique sur l'équipement de production étudiée sous "étude FMD.

Chapitre I
Présentation de l'unité
SONATRACH/DP/HAOUD
BERKAOUI

Introduction

Notre stage a été effectué au niveau de l'unité de fabrication des tubes souder en spirale ALFA PIPE GHARDAIA. La société qui nous avons choisit est implanté à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaia, à 10km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 23000m² et son effectif s'élevé en moyenne à 500 employeurs.

Spécialisé dans la production et commercialisation de tube soudé en spirale destine à la construction de pipeline (gazoduc oléoduc), et aux infrastructures de transfert d'eau et travaux publique.

I.1. Situation géographique de la région HBK

La région de HAOUD-BERKAOUI représenté l'une des dix(10) principaux zones productrices d'hydrocarbures du Sahara Algériens. Sur la route RN°49 dites des pétroliers reliant Ghardaïa à HASSI MESSAOUD, et à 35 Km au sud-ouest d'Ouargla, un carrefour indique la présence d'un champ pétrolier, il s'agit de la région de HAOUD-BERKAOUI.

Cette région est située à 770Km au sud de la capitale (Alger), elle est très importante en raison de sa part de production des hydrocarbures du pays. Elle s'étend du sud est de Ghardaïa jusqu'au champ extrême BOUKHZANA, près de la route de TOUGGOURT. A ce jour là, 100 puits sont en exploitation, répartis sur l'ensemble des champs, dont 73 puits en gaz lift, et 27 éruptifs.

La production cumulée depuis l'origine est de 86 millions de m³, pour des réservoirs globaux en place de 472 million de m³. Toutes les quantités d'huiles et de gaz récupérés sont acheminées vers les différents centres de production de la région Il existe trois centres principaux de production : HAOUD BERKAOUI, BENKAHLA et GUELLALA.

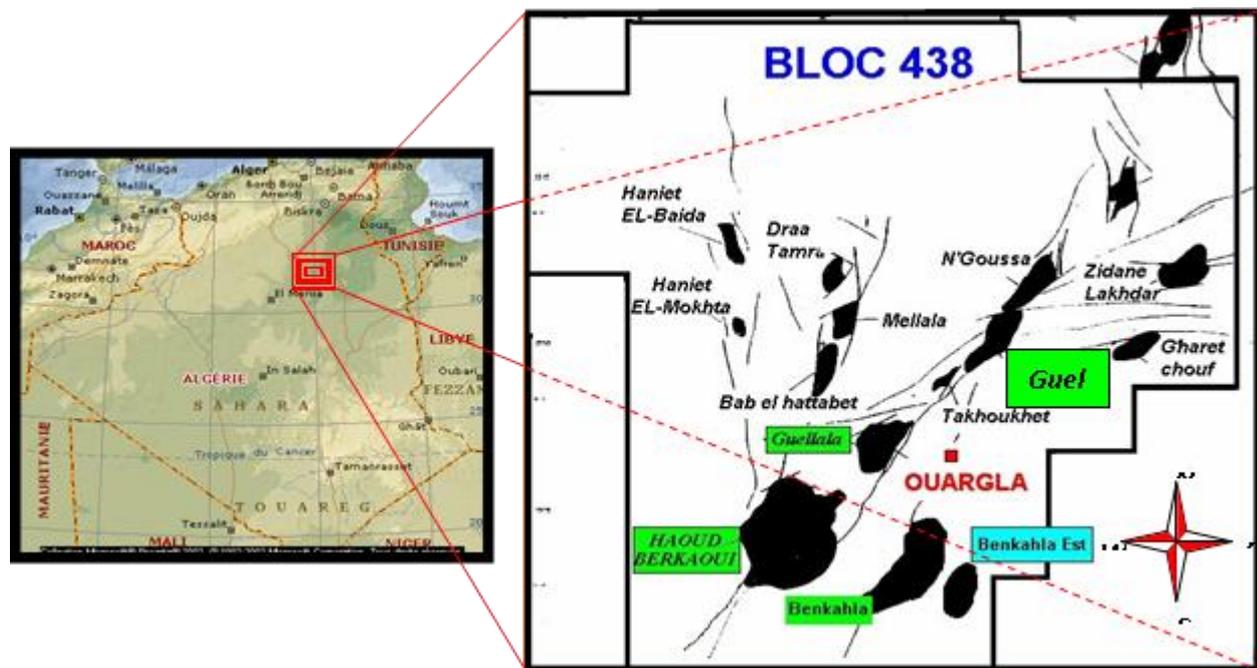


Figure I-1: Vue générale sur le champ HBK

I.2. Historique

La direction régionale de HAOUD BERKAOUI se trouve dans la commune de rouissait à 25km du chef lieu de la wilaya de Ouargla, la région a été gérée par HASSI MESSAOUD de 1965 à 1976 et voici les grandes lignes de son historique.

En 1976 la région HAOUD BERKAOUI est devenue autonome. La découverte des champs périphériques s'étend entre 1963 et 1984. En espace de 30 ans la région s'est développée considérablement grâce aux différentes découvertes et investissements dont les plus importants, sont les suivantes :

- 1963 : Découvert du champ Ouargla par le sondage OA1.
- 1965 : Découvert du champ HAOUD BERKAOUI par le sondage OK101.
- 1966 : Découvert du champ BENKAHLA par le sondage OKP24.
- 1967 : Mise en route du centre de traitement d'huile de BERKAOUI, qui se compose de deux batteries de séparation, 3 bars de stockage et 2 motopompes d'expédition et revoit la production de 1° puis de la région <<OK101>>.
- 1969 : Découvert du champ GUELLALA par le sondage GLA02.
- 1970 : Extension du centre BERKAOUI pour recevoir la production de BENKAHLA.
- 1971 : Mise en service du centre de production de BENKAHLA.
- 1972 : Découvert du champ de GUELLALA NORD-EST par le sondage GLANE01.
- 1976 : Mise en service du centre de production de GUELLALA.
- 1976 : Création de la région HAOUD BERKAOUI.
- 1977 : mise en service de la production GLA-NE.
- 1978 : Mise en service du centre de production de GUELLALA-EST.
- 1979 : Mise en service du centre de production de Draa Tamar (champ périphérique).
- 1981 : Démarrage d'injection d'eau pilot à BERKAOUI et Bendali.
- 1984 : Extension du centre de BENKAHLA.
- 1985 : Démarrage de l'unité de traitement des gaz associés du secteur D'OUED NOUMER.
- 1986 : Extension du centre de production de GUELLALA NORD-EST.
- 1989 : Passation des consignes entre les régions HBK et HASSIR'MEL.
- 1992 : Mise en route de l'unité de traitement des gaz torchés situé à GUELLALA et trois stations de BOOSTING situées respectivement à HBK, BENKAHLA, et GUELLALA (la stations de BOOSTING sert a envoyer le gaz du centre de production de traitement).
- 1993 : Mise en service des nouvelles d'injection d'eau (pompes centrifuges électriques de GUELLALA et BENKAHLA).
- 1995 : Mise en services de nouvelle station d'injection d'eau (pompes centrifuges électriques).
- 1996 : Mise en service de nouvelle station unité de dessalage ou centre de BERKAOUI.
- 1999 : Découverte du champ de BKHE Par le sondage de BKHE.
- 2001 : Mise en service d'une station de traitement des eaux domestiques. Délimitation des périmètres de sécurité des puits (clôtures).

- 2003 : Triennal de l'unité de traitement du gaz GLA.
- 2004 : Déplacement des manifolds production et tests vers l'extérieur du centre de production de GLA. Remplacement des pompes d'expédition du centre de production de BKH et du centre de production de GLA-NE.
- 2005 : Lancement du projet « démolition du bac R01 » et construction de 3 nouveaux bacs (5000m cube) : deux à GLA et un à HBK.
- 2006 : Triennale de l'unité de traitement du gaz de GLA, installation de postes blindés de 60 KV à BKH et GLA. Lancement du projet tableau de bord XP. Modification pour raccord aéro gaz lift.
- 2007 : Extension du projet de récupération du gaz associé

I.3. Champ de HAOUD BERKAOUI

Sur une superficie de 175 Km², ce champ découvert en mars 1965 par la CFPA (compagnie française de pétrole algérien) par le forage du puits OK101, situé au sommet de l'anticlinal.

La mise en production de ce gisement a eu lieu en janvier 1967, la production HBK se compose d'une unité de séparation d'huile avec une capacité de 8000 m³/j, d'une autonomie de stockage de 13000 m³, d'une unité de BOOSTING gaz de 1 million m³/J, et d'une unité de station d'injection d'eau à raison de 6000m³/j.

I.4. Champ de BENKAHLA

Le gisement de BENKAHLA a été découvert en novembre 1966 par la même compagnie (CFPA) par le forage du puits OKP24. sur une superficie de 72 Km². Ce centre de production est composé d'une unité de séparation d'huile de 5000 m³/J, et d'une unité de BOOSTING gaz de 560000 m³/j, toute la production d'huile de BENKAHLA est expédiée vers le centre de production HBK.

I.5. Champ de GUELLALA

Ce gisement est découvert le 28 octobre 1969 par le forage de GLA1, sa mise en production effectuée en février 1973. Il s'étend sur une superficie de 35 Km², avec une profondeur moyenne de 3500 m.

Actuellement, le centre de production se compose d'une unité de séparation d'huiles d'une capacité de 7000 m³/J, d'une unité de stockage de 15000 m³/j, et d'une unité de BOOSTING gaz de 762000 m³/j.

Cette station est également dotée d'une unité de traitement de gaz d'environ 2,4 Millions m³/j, sa capacité de récupération est estimée à 500 T/J, de GPL et de 90 tonnes /par jour pour les condensât.

Cette dernière est accompagnée d'une unité de compression de gaz à 75 bars d'une capacité de 1660000 m³/j, pour les besoins, en gaz lift des puits de la région.

Les volumes restant étant expédiés vers HASSI R'MEL par le gazoduc, GR1, depuis sa mise en service 1992 ; 134 millions de m³ de gaz sec ont été ainsi expédiés vers HASSI R'MEL, auxquels s'ajoutent 429000 tonnes de GPL.

I.6. L'organigramme de la direction régional de HAOUD BERKAOUI

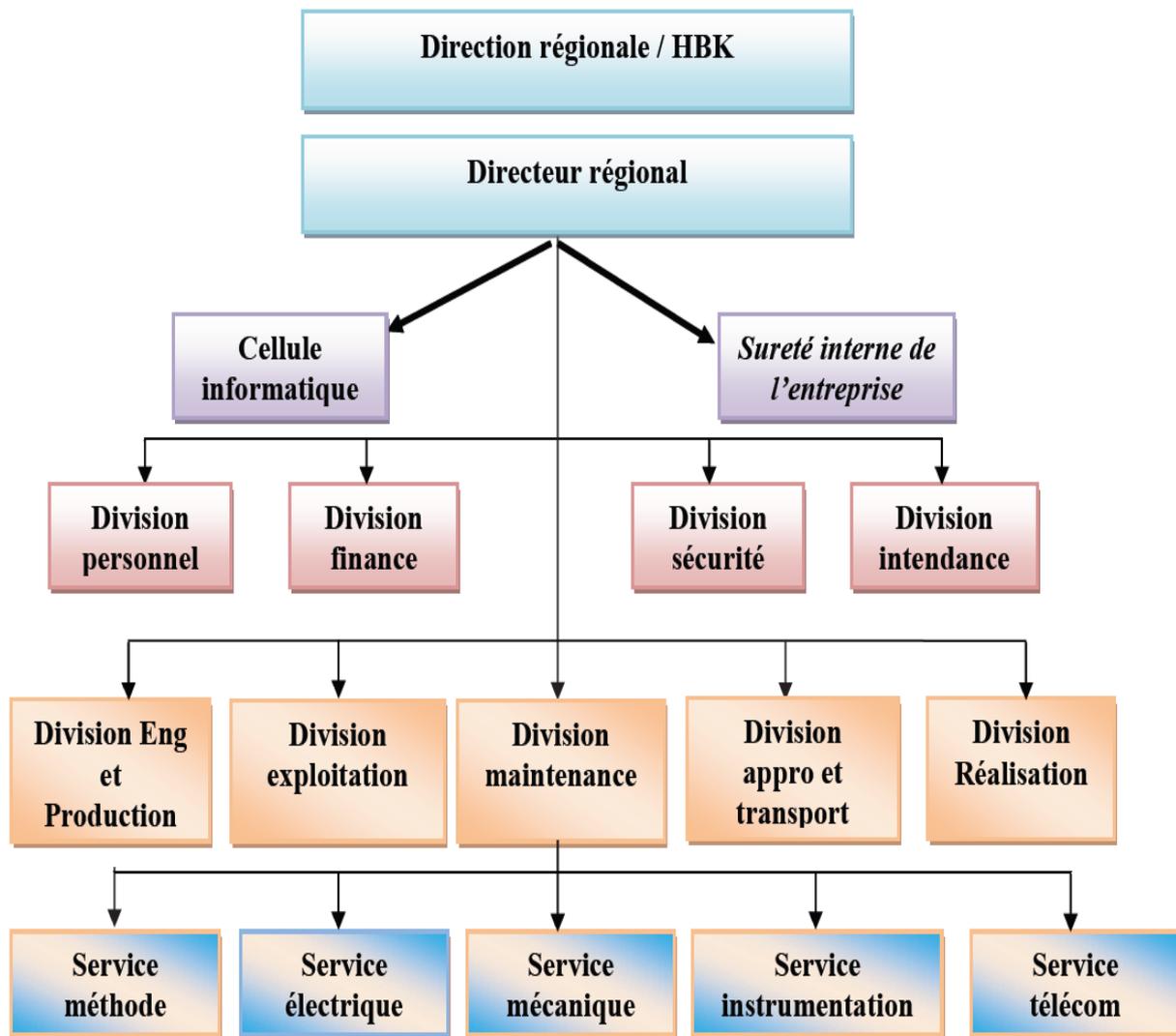


Figure I-2 Organigramme de la direction régionale de HAOUD BERKAOUI

Chapitre II

Généralités sur les Transformateurs

Introduction

Dans ce chapitre on va exposer le principal état d'art de la théorie des transformateurs de puissance et les principaux éléments qui constituent et leurs appareils de mesure et la protection interne, externe, ensuite exploitations de transformateur (Age, fiabilité vieillissement).

II.1. Historique

En 1820, Hans Christian Oersted, physicien danois a découvert qu'un conducteur véhiculant un courant génère un champ magnétique. Quelques années plus tard, en 1830, Josef Henry donne corps aux notions d'induction et de self-induction. En 1831 l'anglais Michael Faraday a une série d'expériences avec un appareil constitué d'un anneau de fer et d'enroulements de fil cuivre isolé.

En 1832 Lucien Gaulard (1850-1880), jeune électricien français, chimiste de formation, présente à la société Française des Électriciens un « générateur secondaire », dénommé depuis Transformateur [1].

II.2. Définition

Le transformateur est une machine électrique statique, appelé aussi convertisseur statique à induction, il comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, destiné à transformer la tension et le courant alternatifs, à une tension et courant alternatifs de même fréquence mais d'amplitudes différentes selon les besoins d'utilisation [2].



Figure II-1: Transformateur de puissance triphasé

II.3. Principe de fonctionnement

Un transformateur comprend essentiellement deux circuits électriques montés sur un circuit magnétique, l'un des circuits électriques dit enroulement primaire comporte N_1 spires étant raccordé à une source de tension alternatif U_1 , le courant I_1 qui traverse cet enroulement donne naissance à un flux ϕ_m dans le circuit magnétique. Ce flux induit une force électromotrice dans le deuxième enroulement dit « enroulement secondaire » de N_2 spires aux bornes duquel apparaît une tension U_2 [4].

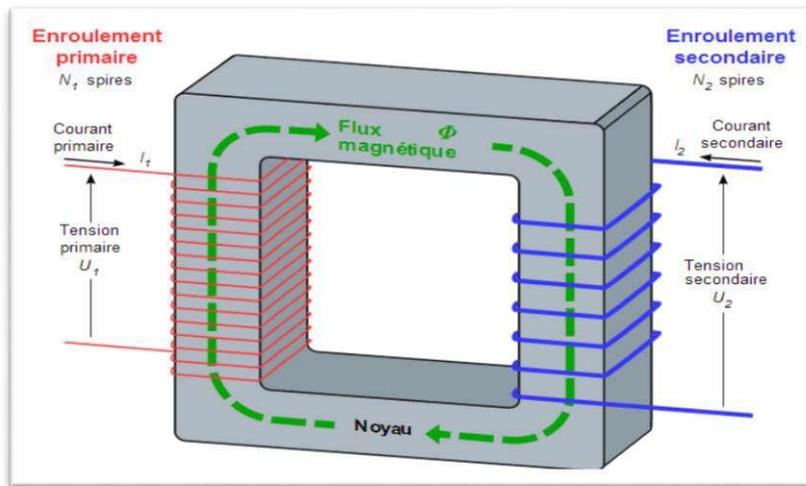


Figure II-2: Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance.

Symbole de transformateur

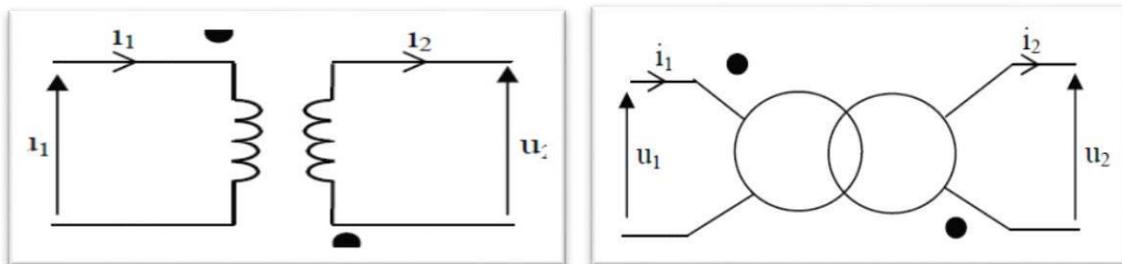


Figure II-3: Symbole de transformateur de puissance

Transformateur triphasé de type colonne.

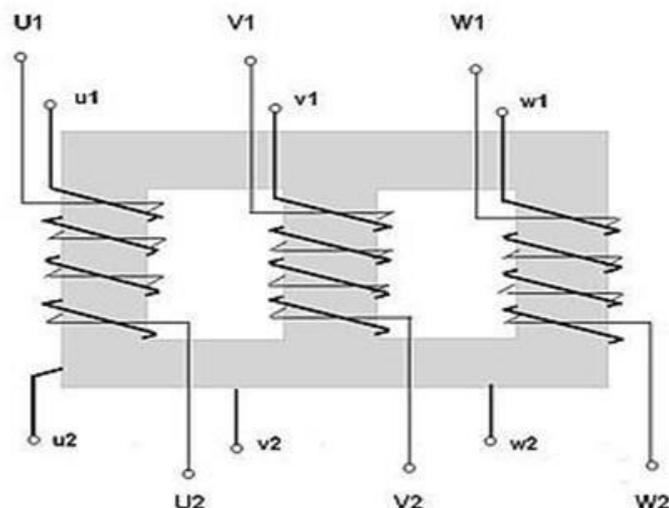


Figure II-4: Schéma d'un transformateur triphasé de type colonne..

Transformateur monophasé.

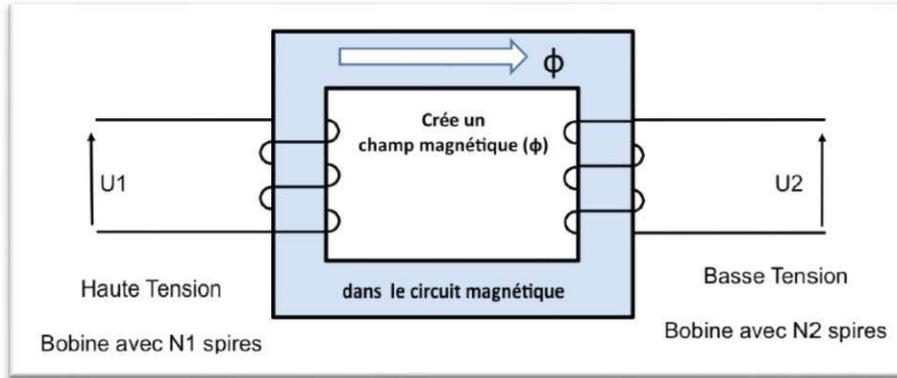


Figure II-5: Schéma d'un transformateur monophasé.

Schéma électrique équivalent

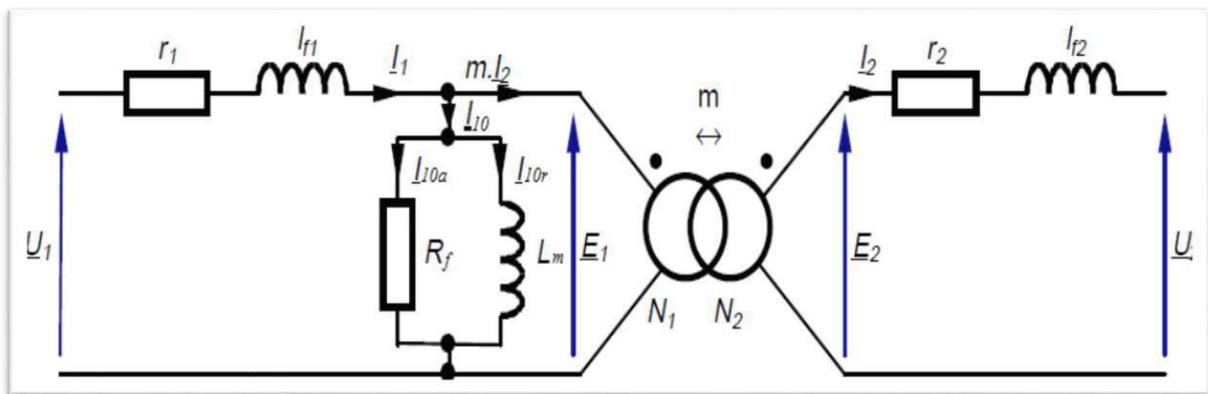


Figure II-6: Schéma électrique équivalent.

Bilan de puissance

Bilan de puissance égale

$$P_1 = P_{J1} + P_{fer} + P_{J2} + P_2$$

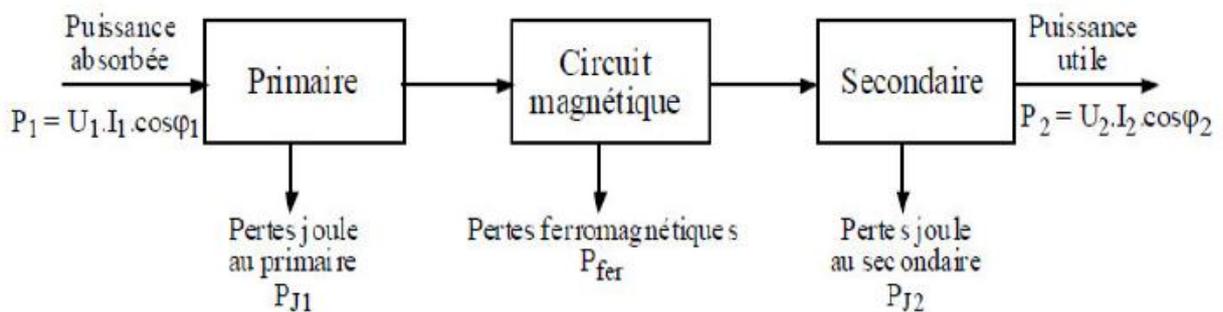


Figure II-7: Schéma de bilan de puissance d'un transformateur.

Rendement

Le rendement de transformateur par définition égale le rapport de la puissance fournie par le secondaire sur la puissance absorbée au primaire

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\text{puissance fournie par le secondaire}}{\text{puissance au primaire}}$$

II.4. Technologies de construction de transformateur de puissance

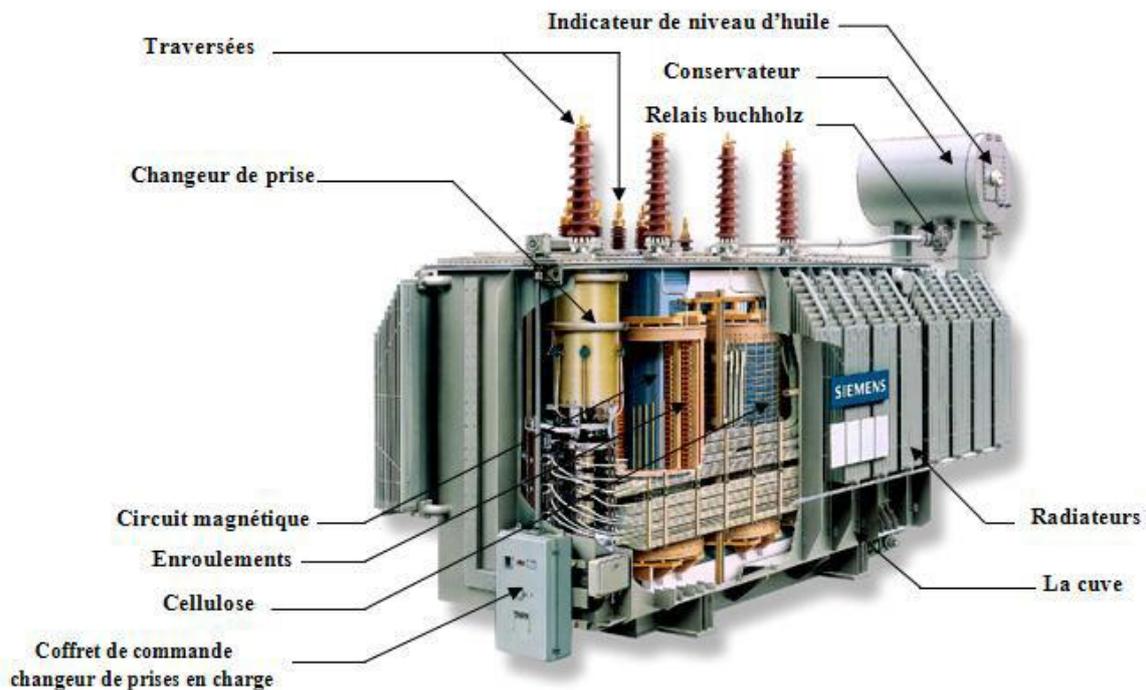


Figure II-8: Schéma Vue intérieure d'un transformateur, type colonne.

II.4.1. Circuit magnétique

Le rôle du circuit magnétique est de canaliser le flux magnétique produit par l'excitation de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire [9].

Le noyau se compose d'un empilage de tôles ferromagnétique de haute perméabilité et à grains orientés, isolées électriquement entre elles. Il doit être conçu de façon à réduire les pertes par courant de Foucault et par hystérésis qui se produisent lors de la variation périodique du flux magnétique. Afin de minimiser les pertes on procède à [9,10] :

- l'emploi d'acier magnétique doux ayant une petite surface du cycle d'hystérésis et de faible perte par hystérésis,
- l'emploi de tôles dont l'épaisseur est choisie tel que les courants de Foucault soient pratiquement sans effet.

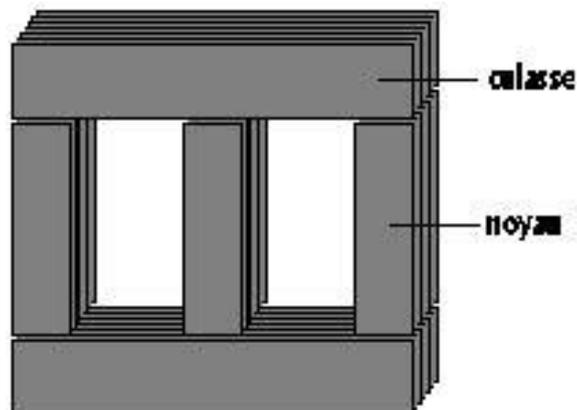


Figure II-9: Circuit magnétique..

Circuit magnétique Type cuirassé

Pour ce type de transformateur, le circuit magnétique entoure complètement l'enroulement des deux côtés. Ces transformateurs sont utilisés principalement au sein des réseaux de transport et de distribution, où les surtensions transitoires sont fréquentes.

Pour cela des écrans sont utilisés afin de réduire les contraintes liées aux champs électriques dans les bobinages [10].

Circuit magnétique Type colonnes

Le transformateur à colonnes est constitué de deux enroulements concentriques par phase. Ces enroulements sont montés sur un noyau ferromagnétique qui se ferme à ses extrémités via des culasses afin d'assurer une bonne canalisation du flux magnétique.

Dans cette technologie. Les enroulements qui entourent le circuit magnétique de manière à maximiser le couplage tout en minimisant le volume des conducteurs. Cette disposition plus simple que le précédent est utilisée pour les transformateurs de haute tension et les grandes puissances. Les enroulements peuvent être disposés sur un circuit magnétique trois colonnes (noyaux). Ce type de circuit magnétique est dit à flux force.

Si le déséquilibre est important. On utilise les transformateurs à quatre ou cinq colonnes. Dont trois sont bobinées et les autres servent au retour des flux [10].

II.4.2. Enroulements

Les enroulements du transformateur sont l'ensemble des spires fabriqués généralement en cuivre émaillé, isolées entre elles par du papier [9].

Pour une phase d'un transformateur donnée il y a un enroulement par niveau de tension considéré : un pour la basse tension et un pour la haute tension, avec parfois un supplémentaire pour la moyenne tension. Ces différents enroulements sont imbriqués les uns dans les autres avec l'enroulement de basse tension à l'intérieur et les enroulements de niveau de tension supérieurs de façon croissante vers l'extérieur. La figure (I.19) représente une demi-coupe d'enroulement [5].

Les enroulements permettent le transfert de la puissance du primaire vers le secondaire (tertiaire) tout en modifiant la tension (circulation du courant) [9].



Figure II-10: Enroulement..

II.4.3. Isolation

Dans la partie active d'un transformateur de puissance on trouve deux types d'isolation [10].

Isolation cellulosique

Les matériaux isolants solides appliqués tels que le papier, compressé, le cylindre isolant et le carton sont faits à partir des matériaux cellulosiques qui constituent le meilleur compromis technico-économique de l'isolation du système imprégné dans les transformateurs de puissance

Isolation liquide

L'huile du transformateur est souvent une huile minérale qui est faite d'un mélange d'alcane, de naphènes, et des hydrocarbures aromatiques, raffinés à partir du pétrole brut.

Les processus de raffinage pourraient inclure le traitement par l'acide, l'extraction par solvants, l'hydrotraitement, ou la combinaison de ces méthodes. Le raffinage lorsqu'il est parfaitement achevé, peut rapporter les caractéristiques de l'huile minérale aux spécifications exigées. Le rôle fondamental de l'huile est d'assurer l'isolation diélectrique et le refroidissement du transformateur. Les huiles modernes procurent plus de stabilité à la dégradation, et elles sont dépourvues du soufre en corrosif.

Au plus, elles devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- point d'inflammabilité élevée,
- point de congélation bas,
- rigidité diélectrique élevée,
- basse viscosité,
- bonne résistance à l'électrification statique.

II.4.4. La Cuve

La constitution de la cuve de transformateurs est liée aux calculs thermiques, généralement elle est fabriquée en acier.

La cuve sert à la protection de la partie active du transformateur, elle est ajourée pour permettre la circulation naturelle de l'air autour du transformateur elle assure plusieurs rôles tels que :

- réservoir d'huile,
- assurer la résistance en court-circuit,
- maintenir à l'intérieur de la cuve la majorité du flux de fuite produit par le courant dans les enroulements [9,10]



Figure II-11: La cuve d'un transformateur de puissance..

II.4.5. Traversées

Les traversées isolantes ont pour but d'assurer la liaison électrique entre les extrémités des enroulements primaire et secondaire, d'une part, et les lignes d'arrivée et de départ, d'autre part, à travers le couvercle ; d'où le nom de traversées.

Leurs fonctions sont principalement l'isolement du champ électrique et une fixation étanche et robuste sur le couvercle.

Il existe plusieurs types de traversée. Pour les tensions jusqu'à quelques dizaines de kV le corps des traversées est généralement constitué d'un bloc unique de porcelaine, qui est un matériau isolant [5].



Figure II-12: La Traversée..

II.4.6. Changeurs de prise

Le changeur de prise est un ensemble de quelques spires qui sont condensés en série avec les spires de l'enroulement haute tension. Elles permettent de modifier le rapport de transformation en charge et hors charge d'un transformateur de puissance sur une plage de réglage, on distingue deux types de changeur de prise en charge et hors charge (à vide).

II.4.7. Refroidissement

Dans les transformateurs de puissance le refroidissement s'effectue via cette huile circulant en circuit fermé de la partie active, siège des pertes vers une source froide à laquelle il abandonne des calories celle-ci peut être. [5] :

- directement la surface de la cuve pour les petites puissances,
- des aérorefrigérants,
- des radiateurs,
- des hydro réfrigérants

II.4.8. Conservateur

Le conservateur (réservoir d'expansion) est utilisé pour les transformateurs dits « respirant » son rôle est de permettre la dilatation de l'huile en fonction de la température.

La surface du diélectrique peut être en contact avec l'air ambiant (conservateur classique) ou être séparée par une paroi étanche souple (conservateur à diaphragme) [9].

II.4.9. Coffret des auxiliaires

Le coffret des auxiliaires contient. [9] :

- appareillage de commande et de protection des ventilateurs des pompes,
- borniers de raccordement des contacts des appareils de mesure et de protection,
- résistance de chauffage.

II.4.10. Coffret de commande du changeur de prise en charge

Ces équipements permettent de commander les changeurs de prise en charge qui se trouvent à l'intérieur de la cuve du transformateur [9].

II.5. Les Essais sur les transformateurs

Essais sur les transformateurs

Essais à vide

Tableau II-1: Essai à vide

	Cas monophasé	Cas triphasé
Circuit de teste		
Facteur de puissance	$\cos(\varphi) = \frac{P_0}{V_0 I_0}$	$\cos(\varphi) = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_0 I_0}$
Résistance shunt	$\frac{1}{R_f} = \frac{I_0}{V_0} \cos(\varphi)$	$\frac{1}{R_f} = \frac{I_{0-phase}}{V_{0-phase}} \cos(\varphi)$
Réactance shunt	$\frac{1}{X_m} = \frac{I_0}{V_0} \sin(\varphi)$	$\frac{1}{X_m} = \frac{I_{0-phase}}{V_{0-phase}} \sin(\varphi)$

Essai en court circuit

Tableau II-2: Essai en court-circuit

	Cas monophasé	Cas triphasé
Circuit de teste		
Facteur de puissance	$\cos(\varphi) = \frac{P_{cc}}{V_{cc} I_{cc}}$	$\cos(\varphi) = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{cc} I_{cc}}$
L'impédance équivalente	$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \cos(\varphi)$	$Z_{eq} = \frac{I_{cc-phase}}{V_{cc-phase}} \cos(\varphi)$ $R_{eq} = \frac{P_{cc}}{3 I_{cc}^2}$
Réactance série	$X_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \sin(\varphi)$	$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$

II.6. Les Types des transformateurs de puissances et leurs utilisations

Les transformateurs de puissance sont des appareils très employés dans les réseaux électriques et les applications industriels [21].

- la sortie des centrales électriques,
- transport d'énergie électrique,
- distribution d'énergie électrique,
- les applications industrielles (transformateur de four et sous-station ferroviaires).

Un transformateur peut assurer deux fonctions :

- élever ou abaisser une tension alternative monophasée ou triphasée,
- assurer l'isolation entre deux réseaux électriques (isolation galvanique entre deux réseaux électriques).

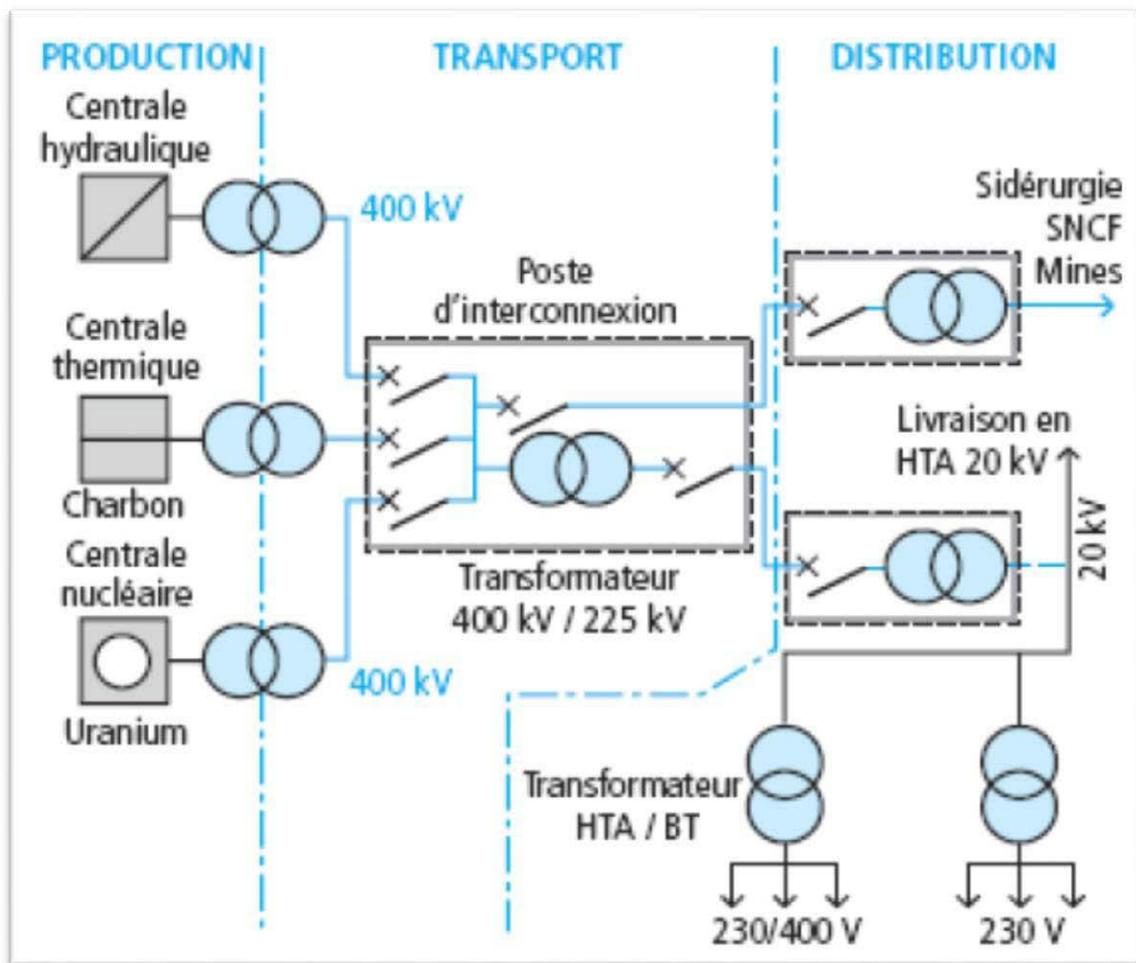


Figure II-13: Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique

II.6.1. Transformateur immergé

Le transformateur est disposé dans un bain d'huile qui assure l'isolement et le refroidissement. Ce transformateur est moins onéreux et a des pertes moindres que le transformateur sec [8].



Figure II-14: Transformateur immergé dans l'huile

II.6.2. Transformateurs secs

Les enroulements BT et les enroulements HT sont concentriques et enrobés dans une résine époxy. Le transformateur sec peut être disposé dans une enveloppe de protection qui permet de l'isoler du monde extérieur et d'assurer l'évacuation de la chaleur au travers de ses parois.

Le transformateur sec présente les meilleures garanties de sécurité contre la pollution (pas de fuite de liquide, pas de vapeurs nocives en cas d'incendie) [8].



Figure II-15: Transformateur sec.

II.6.3. Autotransformateur

Cet appareil présente l'avantage d'un dimensionnement plus faible que celui d'un transformateur, à puissance traversant égale. Il se distingue du transformateur par le fait qu'il existe un point commun aux enroulements primaire et secondaire. Etant donné qu'il n'y a plus d'isolation galvanique entre les enroulements primaire et secondaire, tout défaut se manifestant sur un réseau se propage immédiatement sur le second [5].

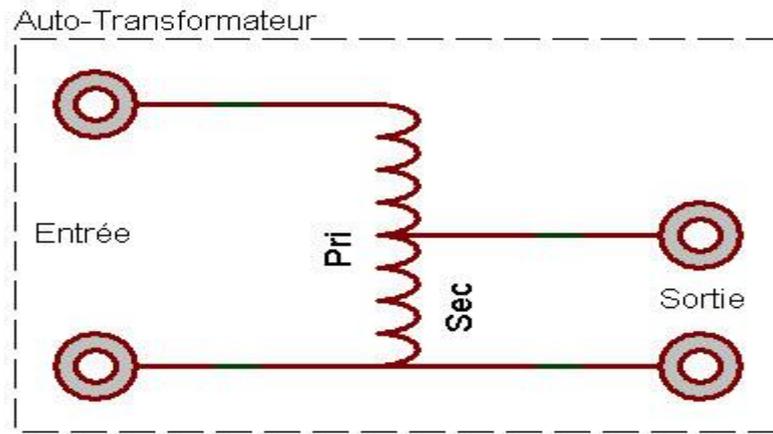


Figure II-16: Schéma d'un autotransformateur.

II.7. Protection et surveillance de transformateur de puissance.

Le transformateur est un élément particulièrement important d'un réseau électrique. Il est nécessaire de le protéger efficacement contre tous les défauts susceptibles de l'endommager qu'ils soient internes ou externes [10].

II.7.1. Relais BUCHHOLZ.

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve de transformateur et de là vers le conservateur à travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ. Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Si ce mouvement est faible, il ferme un contact de signalisation (alarme BUCHHOLZ). Par ailleurs, un ordre de déclenchement est émis au moyen d'un autre contact qui se ferme en cas de mouvement important.

Les gaz restant enfermés à la partie supérieure du relais, d'où ils peuvent être prélevés, et leur examen permettent dans une certaine mesure de faire des hypothèses sur la nature de défauts :

- Si les gaz ne sont pas inflammables on peut dire que c'est l'air qui provient soit d'une poche d'air ou de fuite d'huile.
- Si les gaz s'enflamment, il y a eu destruction des matières isolantes donc le transformateur doit être mis hors service.

Analyse visuelle, si le gaz est :

Incolore : c'est de l'air. On purge le relais et on remet le transformateur sous tension.

Blanc : c'est qu'il y a échauffement de l'isolant.

Jaune : c'est qu'il s'est produit un arc contournant une cale en bois

Noir : c'est qu'il y a désagrégation de l'huile

Cette protection sera à deux niveaux pour le transformateur : le premier donnera un signal d'alarme, le second un signal de déclenchement [10].

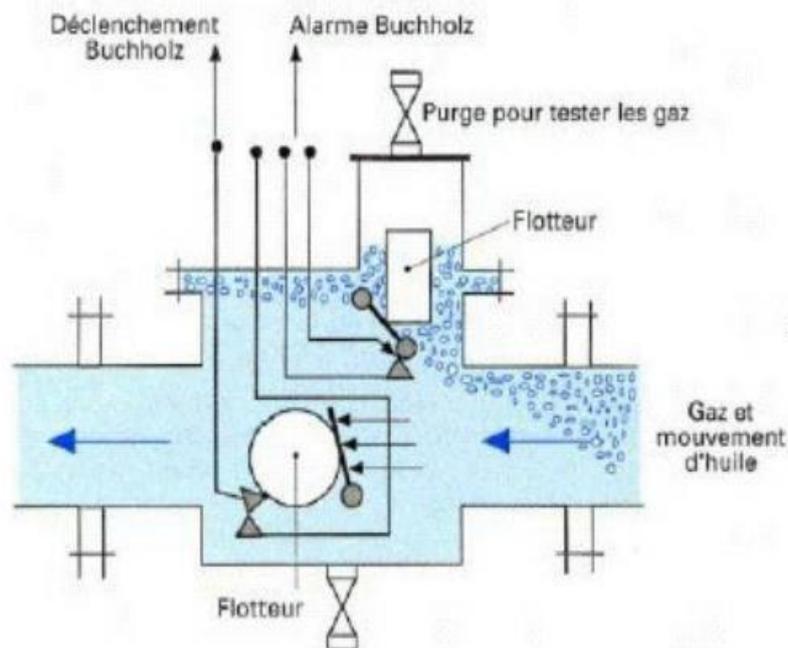


Figure II-17: Schéma de fonctionnement de Relais BUCHHOLZ.

II.7.2. Protection masse cuve

Une protection rapide, détectant les défauts internes au transformateur, est constituée par le relai de détection de défaut à la masse de cuve. Pour se faire, la cuve du transformateur, ses accessoires, ainsi que ses circuits auxiliaires doivent être isolés du sol par des joints isolants.

La mise à la terre de la cuve principale du transformateur est réalisée par une seule connexion courte qui passe à l'intérieur d'un transformateur de courant tore qui permet d'effectuer la mesure du courant s'écoulant à la terre.

Tout défaut entre la partie active et la cuve du transformateur est ainsi détecté par un relai de courant alimenté par ce TC. Ce relai envoie un ordre de déclenchement instantané aux disjoncteurs primaires et secondaires du transformateur.

Une protection de cuve sera prévue contre les défauts à la terre qui se produisent à l'intérieur du transformateur. La cuve du transformateur doit être isolée de la terre [10].

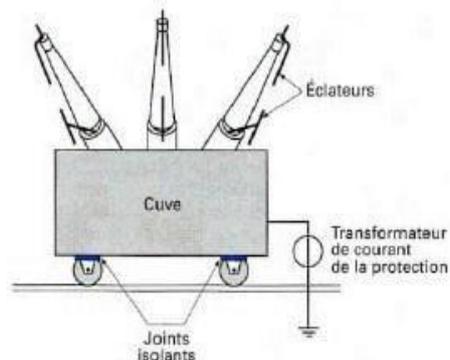


Figure II-18: Schéma de protection masse cuve.

II.7.3. Protection par DGPT

Le DGPT (DéTECTeur Gaz, Pression et Température) est un dispositif de protection utilisé pour le transformateur d'isolement liquide. Ce dispositif détecte les anomalies au sein du diélectrique liquide telles qu'émission de gaz, élévation de pression ou de température, et provoque la mise hors tension du transformateur. Il est principalement destiné à la protection des transformateurs immergés étanches à remplissage total. Pour un défaut grave, le dégagement gazeux est recueilli en un point haut au relai, une accumulation trop importante provoque une alarme.



Figure II-19: Schéma de dispositif DGPT

II.7.4. Protection thermique

Sur le transformateur sont montés plusieurs thermomètres et des images thermiques donnant une image de la température du cuivre. Depuis quelques années des fibres optiques sont aussi installées dans les enroulements permettant une mesure plus fine et plus rapide de cette température

II.7.5. Protection des surtensions

Deux moyens de protection contre les surtensions sont utilisés de manière large, les éclateurs et les parafoudres :

- Eclateur : est un dispositif simple constitué de deux électrodes dans l'air. la limitation de tension aux bornes est effectuée par l'amorçage d'intervalle d'air.
- Parafoudre : permettent de se débarrasser de ce comportement néfaste car ils présentent un comportement réversible. Ce sont des résistances fortement nonlinéaires qui présentent une diminution importante de leur résistance interne audessus d'une certaine valeur de tension aux bornes.

II.7.6. Protection à maximum d'intensité

Des relais reliés à des transformateurs de courant (équivalents d'un ampèremètre en haute tension) déclenchent le transformateur suite à une surintensité temporaire, fixée selon un seuil. Ces unités de protection agissent contre le défaut externe (défaut entre les phases et défaut entre phase et terre)

- Trois relais à maximum de courant de phase à deux seuils (seuils bas et seuils haut) temporisés pour la protection contre les défauts entre les phases.
- un relais à maximum de courant homopolaire à deux seuils (seuils bas et seuils haut) temporisés, désensibilisé à l'harmonique trois pour la protection contre les défauts de la terre

II.7.7. Protection différentielle

La protection différentielle est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaires à la somme des courants secondaires. L'écart de ces courants ne doit pas dépasser une valeur i_0 pendant un temps supérieur à t_0 , au-delà il y a déclenchement. Cette protection à une sélectivité absolue, il lui est demandé plus d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieurs.

Le principe de fonctionnement de la protection est basé sur la comparaison des courants rentrants et des courants sortants du transformateur.

Cette protection s'utilise :

- pour détecter des courants de défaut inférieurs au courant nominal,
- pour déclencher instantanément puisque la sélectivité est basée sur la détection et non sur la temporisation.

Conclusion

Les transformateur en générale, peut être imposée par la nécessité technique d'un système ou par des condition de l'environnement et de l'emplacement.

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les transformateurs, ainsi que les principaux éléments qui les constituent, leur rôle et leur importance dans cette machine statique.

Chapitre III

Généralités sur la fonction maintenance

Introduction

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations.

La maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise. La maintenance n'a plus pour seule vocation d'assurer le bon fonctionnement.

III.1. La maintenance

Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-000 (Association française de normalisation), La maintenance est l'ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [7]

Importance et rôle de la maintenance

L'importance et le rôle de la maintenance sont illustrés par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente et le bon fonctionnement des installations matérielles de production. Le rôle de la maintenance serait, en définitive, de permettre aux autres services de l'entreprise de remplir leurs fonctions en obtenant le rendement optimum des investissements. [6]

Les objectifs de la maintenance

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels :

- Facteur technique.
- Facteur économique.
- Facteur humain et écologique.[6]

a) Objectifs techniques (opérationnels)

- Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité) - Assurer une performance de haute qualité
- Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.

b) Objectifs économiques

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et de son taux d'utilisation.

c) Objectifs humains et écologiques

- Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail

- Etudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents
- Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, ...etc.).

Les cinq niveaux de maintenance

La norme NF X 60-010 définit, à titre indicatif, cinq « niveaux de maintenance » : [11]

Tableau III-1 : les niveaux de maintenance

Niveau	Personnel d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus pièce de rechange trouvées à proximité sans délai.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle,...etc.
4	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, de contrôle, ...etc.
5	Equipe complète, polyvalente, en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Les différentes formes de maintenance

Les diverses options susceptibles d'être mis en œuvre par le service de maintenance relèvent de deux principes fondamentaux : [7]

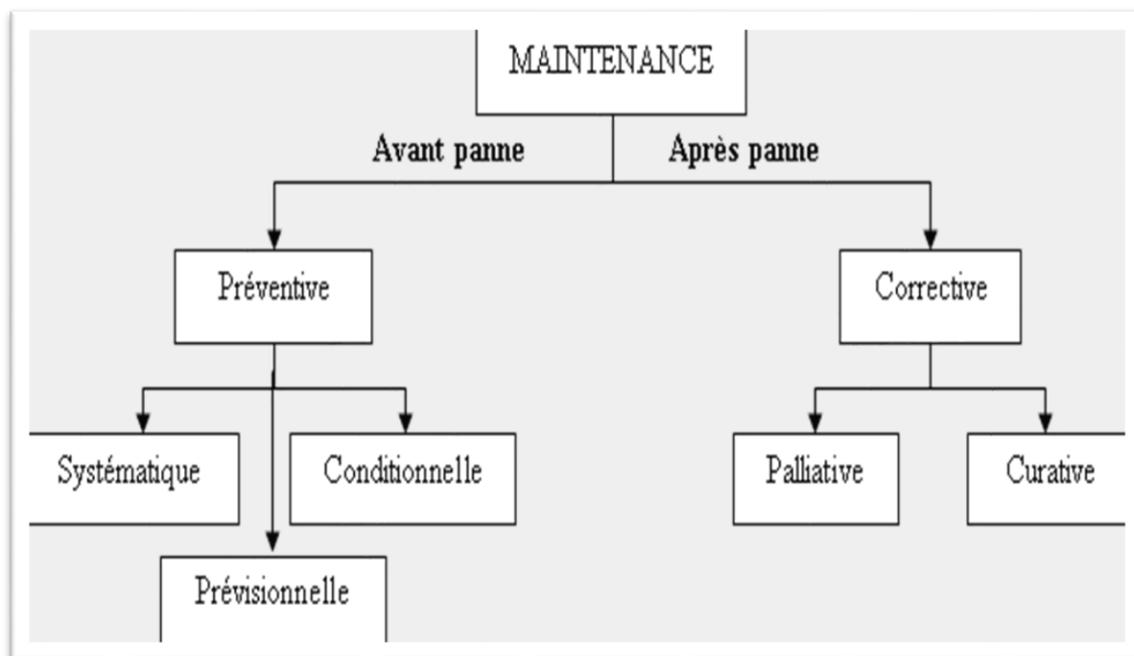


Figure III-1 : Les types des maintenances

La maintenance préventive

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La figure (II.2) représente la courbe de la maintenance préventive. La maintenance préventive se subdivise en trois types :

a) Maintenance systématique

Selon l'AFNOR : « Maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou un nombre prédéterminé d'unités d'usage ».

Exemple

- Lubrifier les boîtes de vitesse des fraiseuses toutes les 200 heures
- Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km
- Changer les roulements de guidage des broches des tours tous les 5000 heures
- Nettoyer les glissières chaque jour
- Vérifier la tension des courroies chaque semaine ; ...etc.

b) Maintenance conditionnelle

Selon l'AFNOR : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement les vibrations, pression, bruit, température, ...etc.

Exemple

- Procéder à un équilibrage des ventilateurs si le niveau vibratoire atteint 60 μm (Seuil d'alarme).
- Prévoir un changement de roulement s'il y a une évolution de l'accélération mesurée à ce point.
- Vérifier les fours si les capteurs thermiques indiquent une chute de température dans la tuyauterie, etc.

c) Maintenance prévisionnelle

Parfois appelée « maintenance prédictive », la maintenance prévisionnelle est, selon l'AFNOR, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.

Maintenance corrective

Selon toujours la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ».

Il y a deux types de Maintenance corrective :

a) Maintenance palliative (Dépannage)

C'est une remise en état de fonctionnement effectuée in-situ parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle a un caractère « Provisoire » et doit être suivie par une action corrective durable.

b) Maintenance curative

Il s'agit des réparations faites in-situ ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère « définitif ».

Politiques de maintenance

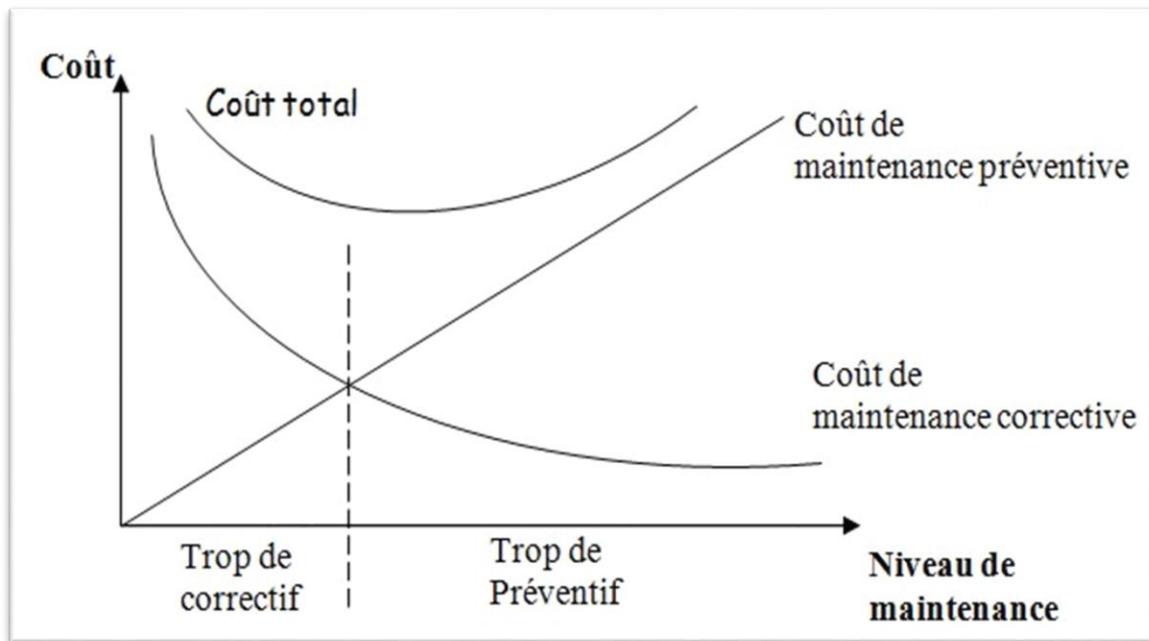


Figure III-2: Politiques de maintenance [11]

Les opérations de maintenance

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306).

a) Le dépannage C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

b) La réparation C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

c) Les inspections Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

d) Les visites Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

e) Les contrôles Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement. [10]

III.2. Etude de la fiabilité

a) Notion de fiabilité d'un système

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné, pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation, et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer.

b) Définition

D'après la norme (NORME X60—500). La fiabilité est l'aptitude (la probabilité) d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données.

c) Objectifs de la fiabilité :

- Mesurer une garantie dans le temps ;
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie ;
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- Déterminer la stratégie de l'entretien ; - Choisir le stock.

d) Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

Dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement :

- La loi exponentielle
- La loi de WEIBULL
- La loi normale
- La loi log-normale (ou loi de GALTON)
- La loi binomiale
- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités

e) Modèle de WEI BULL

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de weibull dépend des trois paramètres suivants : β , γ et η .

1) La densité de probabilité

La densité de probabilité d'une loi de weibull a pour expression :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ avec } t \geq \gamma$$

Où : β est le paramètre de forme ($\beta > 0$) η est le paramètre de d'échelle ($\eta > 0$) γ est le paramètre de position ($-\infty \leq \gamma \leq +\infty$)

2) b) La fonction de répartition

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.02})$$

3) La fonction de fiabilité $R(t)$

La fonction de fiabilité s'écrit

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.03})$$

d) Le taux de défaillance (Taux d'avarie) Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t .

On a donc : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

$\lambda(t)$ s'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante : [10]

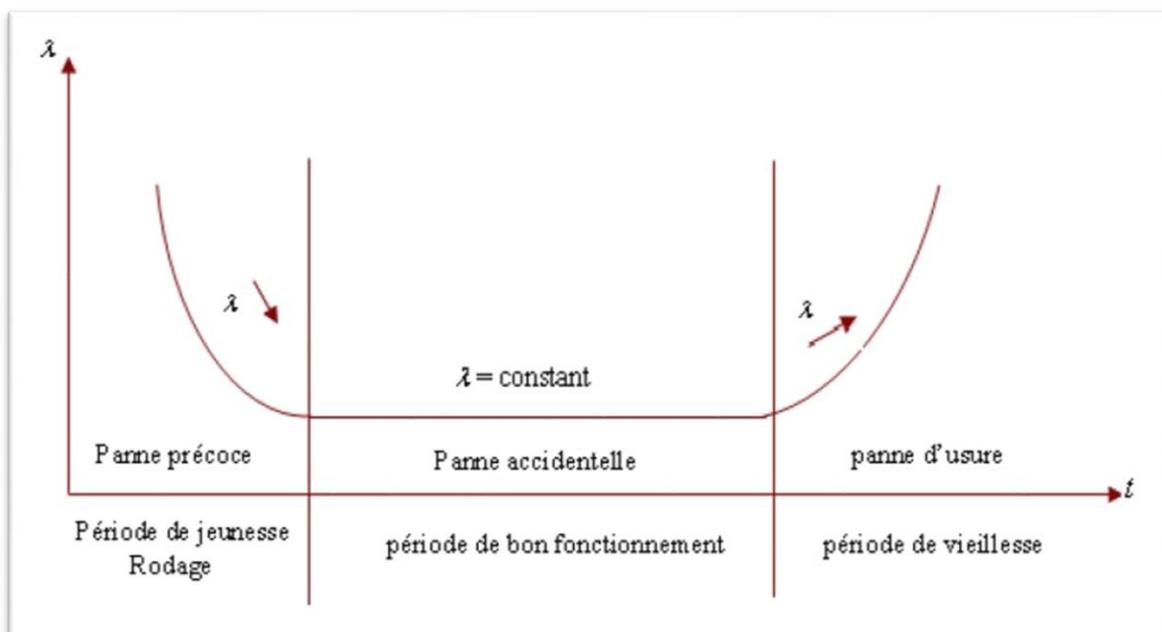


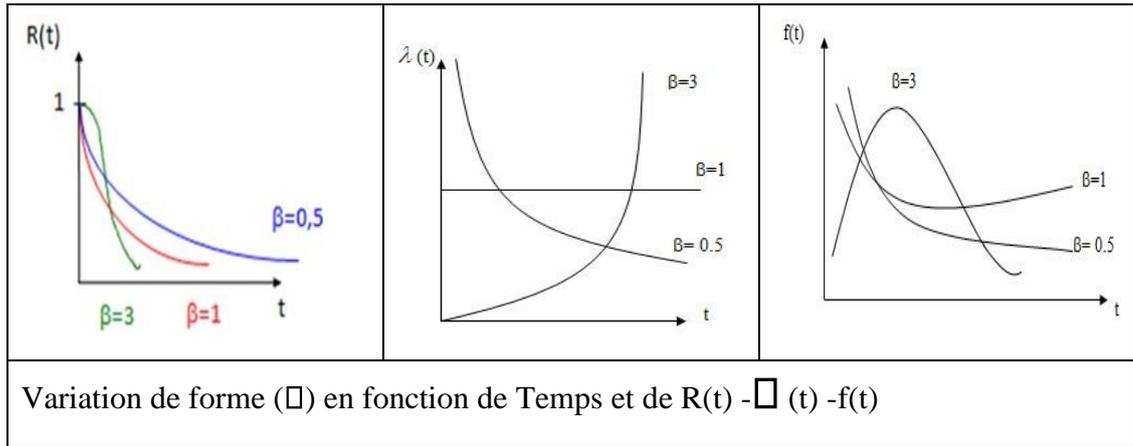
Figure III-3 : Courbe en baignoire

4) Paramètre de forme β

Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

- $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
- $3 < \beta < 4$: usure, corrosion
- Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité

- Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse



5) Étude paramétrique du modèle de WEI BULL

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est nulle jusqu'à un certain âge β .

6) Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres : (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

a) Graphique à échelle fonctionnelle :

Pour la distribution de Weibull à 3 paramètres, on fait la transformation :

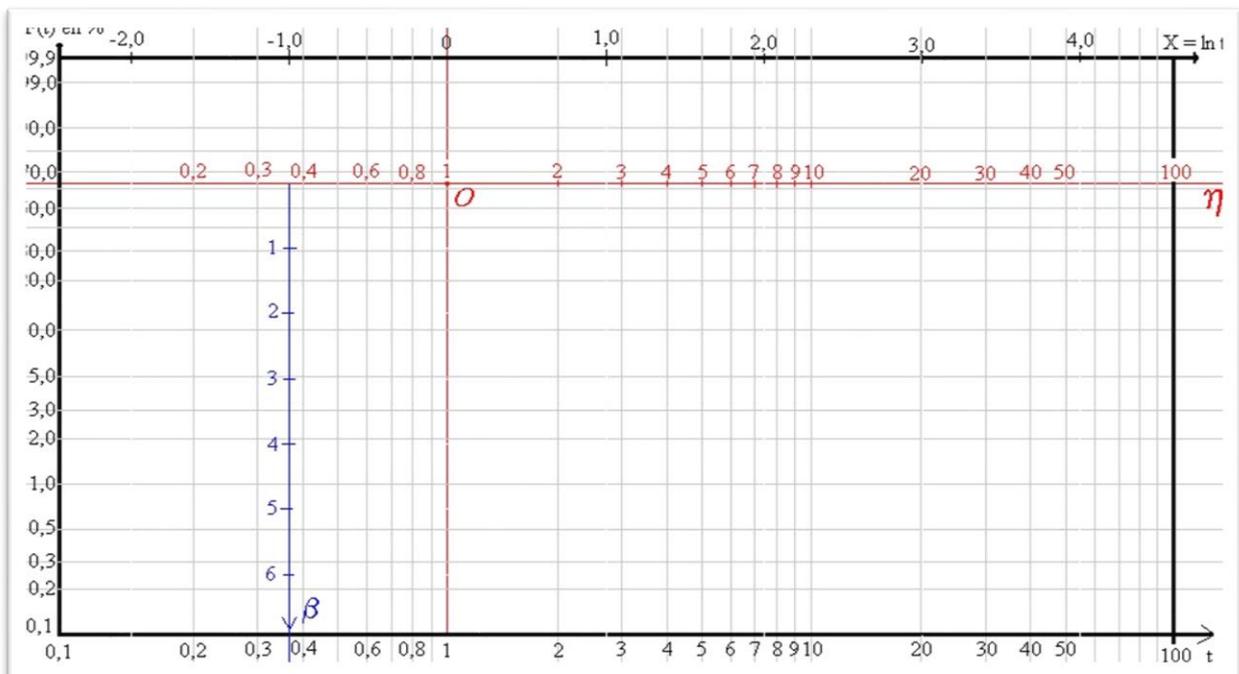


Figure III-4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

7) Recherche de γ

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

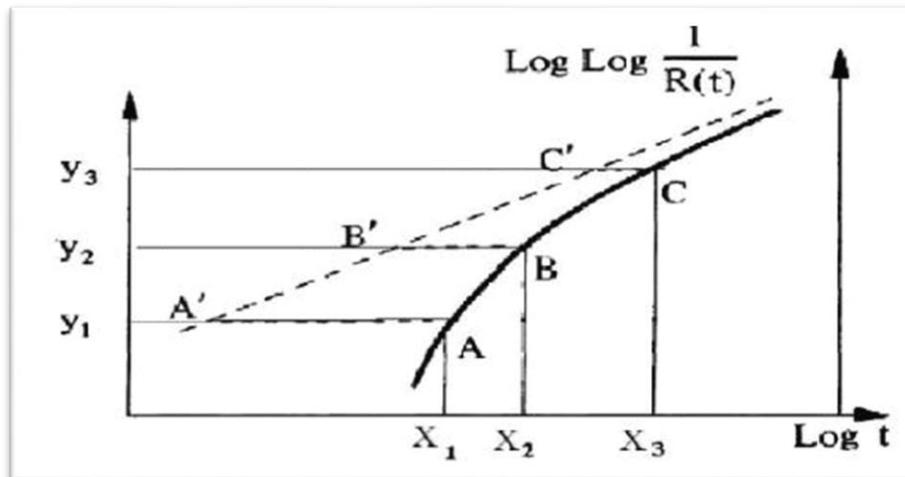


Figure III-5: redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$Y = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (II.05)$$

Considérons les points :

$A(X_1, Y_1)$; $B(X_2, Y_2)$; $C(X_3, Y_3)$

$$Y_3 > Y_2 > Y_1$$

$$2Y_2 = Y_1 + Y_3$$

$$\gamma = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

Recherche de η

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

8) Recherche de β

- β est la pente de la droite de corrélation.
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit ensuite β sur l'axe B.

III.3. La maintenabilité

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR : [8]

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombre de pannes (n)}}$$

MTTR : (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation

III.1 Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [8]

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{(II.06)}$$

III.4. Disponibilité

C'est l'aptitude d'un bien sous les aspects combinés de la fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées.

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- avoir le moins possible d'arrêts de production,
- être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

Les types de disponibilité

a) Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{(II.07)}$$

b) Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est :

III.5. Loi de Pareto

Origine de la méthode

Elle est issue des travaux de Wilfred Pareto (1848-1923) économiste italien né à Paris. Il constata en étudiant la répartition de l'impôt foncier aux USA que 15% des contribuables payaient 85% du total. Depuis, cette méthode se nomme loi de Pareto, loi des 15-85 ou 20-80.

Définition et intérêt de la méthode

Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traités en priorité. Elle permet donc de distinguer d'une façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins. Elle évite ainsi de ne pas se laisser accaparer par des travaux certes utiles mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

C'est le cas d'un service maintenance, où les tâches sont nombreuses et la main d'œuvre est parfois insuffisante, de plus, les technologies récentes coûtent cher. Il convient par conséquent de s'organiser d'une façon rationnelle, ainsi en appliquant la méthode ABC de Pareto on peut remédier à ce problème en déterminant exactement les types d'interventions à mener en priorité.

[7]

Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre croissant de coûts (heures ou argent), chaque panne se rapporte à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes cumulés. On obtient ainsi un graphe montrant trois zones :

Zone A : Dans cette zone on constate que 20% des pannes représente 80% des coûts, c'est la zone de priorité.

Zone B : Dans cette zone, les 30% de pannes suivantes ne coûtent que 15% supplémentaires.

Zone C : Enfin, dans cette zone, les 50% de pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les trois principaux concepts de maintenance, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité. On a aussi donné une vue globale sur la maintenance et son importance dans l'entreprise.

Chapitre IV

Etude Analytique FMD

Introduction :

La fiabilité de transformateur de puissance est un souci majeur car la qualité d'énergie électrique pouvant être transmise est diminuée si la puissance de la centrale ou du réseau n'est pas disponible à cause des problèmes de sécurité du fonctionnement.

Malgré le nombre limité de données statistiques de différents réseaux, il semble que le taux des défaillances en service soit supérieur pour les transformateurs à tension plus élevée. Il semble que beaucoup de problèmes sont dus à un niveau de puissance plus élevé. Mais on doit signaler que l'augmentation en tension a aussi une influence dans la mesure où les dimensions physiques du transformateur sont plus grandes pour des tensions plus élevées.

Plusieurs experts ont démontré que les prises des régulateurs dans ces puissances exercent une influence défavorable sur la fiabilité. Les commutateurs en charge occasionnent certaines pertes de disponibilité car les transformateurs doivent être inspectés pour réparer les commutateurs en charge. Les traversés paraissent être une autre cause de perte de disponibilité. Une raison importante d'améliorer leur fiabilité est le coût d'indisponibilité, qui est derrière leur retrait d'exploitation [5].

Le vieillissement d'un transformateur est défini par la dégradation irréversible de la capacité de service d'un transformateur, en générale altérée par l'augmentation de la probabilité conditionnelle de défaillance avec le temps (due par exemple à la dégradation des matériaux isolants), dans certains cas la capacité de service peut également diminuer en raison de la modification des contraintes économiques et stratégiques

La vie d'un transformateur dépend en grande partie de la vie du papier qui est utilisé pour isoler le bobinage et divers autres composants. La vie du papier est fonction de la qualité de l'huile avec laquelle le transformateur est rempli, de la qualité même du papier, de la température de fonctionnement, de la charge et des variations brusques de tension auxquelles le transformateur est exposé.

La qualité de l'huile est dépendante du cycle de service et du régime de maintenance qui lui sont appliqués. La durée de vie avant défaillance des gros transformateurs est autour de 50 ans. De telles informations pourraient sembler indiquer que les défaillances sont relativement rares dans les 25 premières années mais que le taux de défaillance augmente de façon significative après 40 ans d'utilisation [5].

Le constructeur fabrique un transformateur conforme au cahier des charges initial établi par le client. Afin de garantir un certain nombre de caractéristique, le transformateur passe des essais de réception, sont potentiellement destructifs (supérieurs à la tension nominale principalement). L'ensemble de ces essais garantissent le bon fonctionnement du transformateur en sortie d'usine et ces derniers sont comme mesures de référence pour le reste de la vie de l'appareil.

La durée de vie d'un transformateur est liée à sa résistance à ces contraintes, le suit, la connaissance de son contexte d'exploitation [5].

IV.1. Défaillance du transformateur de puissance

Les conséquences des défauts latents à l'intérieur du transformateur de puissance sont souvent remarquables, qui peuvent diminuer à la fois ses tenues : diélectriques, thermiques et mécaniques à des valeurs inadmissibles, au-dessous des contraintes appliquées. Ceci peut progresser à un point où l'isolation ne peut résister face à ces surcharges provoquées par le courant de défaut ou de surtension (court-circuit, vibrations, surcharges, décharges partielles, foudre..). Ainsi, le diagnostic de ces défauts est étroitement lié à l'évaluation de l'état d'isolation solide et liquide [16].

Statistiques sur Causes internes défaillances [16]

- Détérioration et vieillissement d'isolation
- Perte de serrage d'enroulement
- Défaillance d'isolation du noyau
- Déformation d'enroulement due aux forces de court-circuit
- Les traversées (Brushings) et les bornes
- Changeurs de prises
- Connexion
- Surchauffèrent.
- Oxygène
- Humidité
- Contamination solide dans l'huile d'isolation
- Décharge partielle
- Défauts de conception et de fabrication.
- Résonance d'enroulement

Statistiques sur Causes externes défaillances [16]

- Les surtensions de foudre ou de manoeuvre transitoire
- Court circuits externes
- Température
- Événements Séismiques : Les événements séismiques tels que les tremblements de terre peuvent causer des dommages internes.
- Surcharge du système.
- Surchauffe lors de traitement d'huilé
- Echauffement par mauvaise ventilation et dissipation calorifique
- La défaillance dans les pompes
- Transport : Les incidents pendant le transport des nouveaux transformateurs ou en service qui peuvent endommager sa structure interne

IV.2. Cas pratique a etudier

L'historique de panne ; le traitement des données brutes de l'historique (tableau IV. 1), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TTR) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.

Tableau IV-1: Dossier historique des pannes

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	12/2/2016	29/04/2016	1824	48	Resistance de Chauffage	changer la resistance de chauffage
2	1/5/2016	14/09/2016	312	24	Disjoncteur SF1	verifier l'usure des contacts d'arc
3	15/09/2016	3/11/2016	1176	24	La protection PP2	changer le disjoncteur
4	4/11/2016	9/2/2017	2088	48	Caisaillement du sectionneur de mise à la terre	changer le sectionneur
5	11/2/2017	25/03/2017	1008	10	Batterie	tension de charge des batteries
6	25/03/2017	12/7/2017	2616	20	La protection PP3	changer le disjoncteur
7	13/07/2017	9/9/2017	1368	48	Sectionneur de barre 60 kV N1	l'état des contacts du sectionneur de terre
8	11/9/2017	20/01/2018	3144	10	Resistance de Chauffage	fonctionnement du relais Buchholz
9	20/01/2018	30/03/2018	1680	45	Fluair 400	mécanisme d'entraînement du SMALT
10	1/4/2018	5/7/2018	2280	22	La protection PP1	moteur du régleur en charge
11	6/7/2018	9/8/2018	816	8	Bruit anormale	Serrage des connexions
12	9/8/2018	7/11/2018	2136	45	Fluair 400	la tenue au points de connexion de la filerie BT
13	9/11/2018	15/01/2019	1608	24	Disjoncteur SF1	Serrage des connexions
14	16/01/2019	7/4/2019	1920	17	Mcset	les couteaux et les plots du sectionneur de terre

Pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto

Tableau IV-2 : L'analyse ABC (Pareto)

N°	Organe	TTR(h)	Cumul TTR	% TTR	Nombre de panne	Cumul des pannes	%de pannes Cumulées
1	Fulair 400	106	90	23%	1	1	10%
2	La protection PP1	70	66	40%	1	2	20%
3	Caisaillement du sectionneur de mise à la terre	69	48	52%	1	3	30%
4	Disjoncteur SF1	65	48	64%	1	4	40%
5	Resistance de Chauffage	48	48	76%	1	5	50%
6	Sectionneur de barre 60 kV N1	25	48	89%	1	6	60%
7	Mcset	10	17	93%	1	7	70%
	Batterie		10	95%	1	8	80%
	Resistance de Chauffage		10	98%	1	9	90%
	Bruit anormale		8	100%	1	10	100%

IV.3. La Methode de Pareto

Définition

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

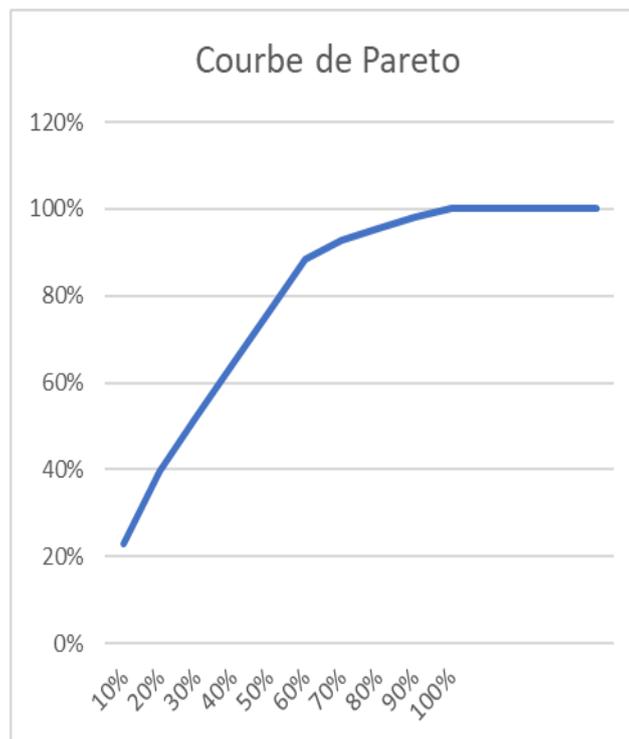


Figure IV-1 : La Courbe d'ABC

Interprétation des résultats

-Zone "A":

Dans la majorité des cas, on constate que environ 50% des pannes représente 75% des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités (Fluair 400, La protection PP1, Caisaillement du sectionneur de mise à la terre, Disjoncteur SF1).

- Zone "B":

Dans cette tranche, les 25 % des pannes représentent 20 % supplémentaire Resistance de Chauffage, Sectionneur de barre 60 kV N1, Mcset).

- Zone "C":

Dans cette zone les 25 % des pannes restantes ne représentent que 5% des heures d'arrêts (Batterie, Resistance de Chauffage, Bruit anormale).

Et cela permet de repartir les intervention du plan maintenance sur plusieurs freuances, journaliere, hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle, annuelle ...

Tableau IV-3 Plan Preventif

Operation executable en fonctionnement	Fréquence
Blindé TH7m	
<i>Vérifier la propreté du local d'installation</i>	<i>Hebdomadaire</i>
Transformateur HT/MT	
<i>Vérifier la propreté du local d'installation</i>	<i>Hebdomadaire</i>
<i>Vérifier l'état général et de propreté du transformateur / Aucun corp étranger sur le l'appareil</i>	<i>Hebdomadaire</i>
Transformateur MT/BT	
<i>Vérifier la propreté du local d'installation</i>	<i>Hebdomadaire</i>
<i>Vérifier l'état général et de propreté du transformateur / Aucun corp étranger sur le l'appareil</i>	<i>Hebdomadaire</i>
<i>Vérifier la position haute du flotteur du DMCR</i>	<i>Hebdomadaire</i>
<i>Vérifier l'étanchéité du DMCR (pas de fuite)</i>	<i>Hebdomadaire</i>
Batteries	
<i>Nettoyer les batteries (eau seulement)</i>	<i>Mensuelle</i>
<i>Vérifier visuellement le niveau d'electrolyte</i>	<i>Mensuelle</i>
Synoptique	
<i>Nettoyage de la face avant</i>	<i>Mensuelle</i>
<i>Test des lampes du synoptique</i>	<i>Mensuelle</i>
Batteries	
<i>Nettoyer les batteries (eau seulement)</i>	<i>Mensuelle</i>
<i>Vérifier visuellement le niveau d'electrolyte</i>	<i>Mensuelle</i>
Synoptique	
<i>Nettoyage de la face avant</i>	<i>Mensuelle</i>
<i>Test des lampes du synoptique</i>	<i>Mensuelle</i>
Transformateur HT/MT	
<i>Vérifier l'absence de fuite (dans le cas ou le transformateur est hors tension)</i>	<i>Semestrielle</i>
<i>Vérifier l'absence de condensation dans les instruments de mesure ou les boites à câbles (dans le cas ou le transformateur est hors tension)</i>	<i>Semestrielle</i>
<i>Nettoyer le transformateur (dans le cas ou le transformateur est hors tension)</i>	<i>Semestrielle</i>
Blindé TH7m	

Operation executable en fonctionnement	Fréquence
<i>Contrôle du gaz SF6</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Inspection des circuits de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Inspection des parafoudres</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Comptabilisation du nombre de manœuvres du disjoncteur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Réalisation d'un cycle « ouverture » et « fermeture » en mode local et à distance du disjoncteur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Comptabilisation du nombre de manœuvres du sectionneur et du sectionneur de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Réalisation d'un cycle « ouverture » et « fermeture » en mode local et à distance du sectionneur et du sectionneur de terre</i>	<i>Annuelle</i>
Fluair 401	
<i>Nettoyer les pièces isolantes</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Graisser (fine pellicule de graisse) les pinces d'embrochages</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser les axes, articulations, mécanismes et glissières des volets</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser les patins de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser le mécanisme d'entraînement du SMALT</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue au points de connexion de la filerie BT</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue, l'état et le serrage des connexions du collecteur principal, de la tresse du sectionneur de terre, des câbles MT</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier l'état des contacts du sectionneur de terre et son bon fonctionnement</i>	<i>Annuelle</i>
<i>dépoussiérer et nettoyer l'intérieur du compartiment, les extrémités de câble et les écrans isolants</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser (très légèrement) les couteaux et les plots du sectionneur de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>dépoussiérer et nettoyer l'intérieur du compartiment et les isolateurs</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue, l'état et les serrages du jeu de barres</i>	<i>Annuelle</i>
Disjoncteur SF2	
<i>inspection visuelle</i>	<i>Annuelle</i>
<i>manœuvre O/I</i>	<i>Annuelle</i>
<i>contrôle de l'usure des contacts d'arc</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les guides des ressorts</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la présence des viroles de type "Bauman"</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les axes et les articulations</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les accrochages et les axes</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les accrochages et les axes</i>	<i>Annuelle</i>
MCset	
<i>Nettoyer les pièces isolantes</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Graisser (fine pellicule de graisse) les pinces d'embrochages</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser les axes, articulations, mécanismes et glissières des volets</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser les patins de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier et graisser le mécanisme d'entraînement du SMALT</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue au points de connexion de la filerie BT</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue, l'état et le serrage des connexions du collecteur principal, de la tresse du sectionneur de terre, des câbles MT</i>	<i>Annuelle</i>

Operation executable en fonctionnement	Fréquence
<i>vérifier l'état des contacts du sectionneur de terre et son bon fonctionnement</i>	<i>Annuelle</i>
<i>dépoussiérer et nettoyer l'intérieur du compartiment, les extrémités de câble et les écrans isolants</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser (très légèrement) les couteaux et les plots du sectionneur de terre</i>	<i>Annuelle</i>
<i>dépoussiérer et nettoyer l'intérieur du compartiment et les isolateurs</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la tenue, l'état et les serrages du jeu de barres</i>	<i>Annuelle</i>
Disjoncteur LF2	
<i>inspection visuelle</i>	<i>Annuelle</i>
<i>manœuvre O/I</i>	<i>Annuelle</i>
<i>contrôle de l'usure des contacts d'arc</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les guides des ressorts</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>vérifier la présence des viroles de type "Bauman"</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les axes et les articulations</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les accrochages et les axes</i>	<i>Annuelle</i>
<i>nettoyer tout le sous ensemble</i>	<i>Annuelle</i>
<i>huiler toutes les pièces phosphatées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>graisser les accrochages et les axes</i>	<i>Annuelle</i>
Transformateur HT/MT	
<i>Vérifier l'absence de fuite</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Enlever les traces de rouilles et retoucher la peinture avec de l'antirouille</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier l'absence de bruit ou de bruit anormal</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyer les traversées porcelaines</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyer les cadrans de mesure</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Serrage des connexions</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Serrage des connexions des accessoires</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Changer le Silicagel de l'assécheur d'air si il est rose ou blanc</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier le niveau d'huile dans le conservateur (ajoutez en si nécessaire)</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier le paramétrage de chaque protection</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifie le bon fonctionnement du relais Buchholz</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier l'étanchéité du relais Buchholz</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier le fonctionnement de la résistance de chauffage</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Contrôler visuellement les équipements du transformateur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier l'absence de condensation dans les instruments de mesure ou les boites à câbles</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyer le transformateur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Prendre un échantillon d'huile dans le compartiment du régleur en charge</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier le relais de protection du régleur en charge</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier la commande du moteur du régleur en charge</i>	<i>Annuelle</i>
Transformateur MT/BT	
<i>Vérifier le serrage des connexions</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyage des traversées porcelaines (poussière, sel...)</i>	<i>Annuelle</i>
Chargeurs et batteries	
<i>Contrôle visuel</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Test des leds</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier que les ouvertures de ventilation sont propres</i>	<i>Annuelle</i>

Operation executable en fonctionnement	Fréquence
<i>Contrôler les grilles de ventilation</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier visuellement les connexions électriques et les composants en cas de signe d'endommagement ou de corrosion</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier la tension de charge des batteries</i>	<i>Annuelle</i>
SCM22	
<i>Tester fonctionnellement l'appareil</i>	<i>Annuelle</i>
Sepam	
<i>Autotest de diagnostic</i>	<i>Annuelle</i>
MICOM P442	
<i>Test de la led alarme</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier les entrées optiques isolées</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier les contacts de sortie</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier la précision des mesures</i>	<i>Annuelle</i>
Climatisatin MODULAIR	
<i>Nettoyer les filtres à air</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Changer les filtres à air</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier la tension des courroies de ventilateurs</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Resserrer les bornes électriques</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyer le ballon de l'humidificateur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Remplacer le ballon de l'humidificateur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Nettoyer la batterie de l'échangeur extérieur</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier les circuits frigorifiques</i>	<i>Annuelle</i>
<i>Vérifier la régulation</i>	<i>Annuelle</i>
Batteries	
<i>Vérifier le serrage des connexions</i>	<i>2Ans</i>
Transformateur HT/MT	
<i>Effectuer un test du régleur en charge sur toute la plage de fonctionnement</i>	<i>3Ans</i>
Blindé TH7m	
<i>contrôle des seuils des densistats</i>	<i>5Ans</i>
<i>contrôle d'humidité du SF6</i>	<i>5Ans</i>
<i>inspection des armoires BT de la filerie et du câblage</i>	<i>5Ans</i>
Transformateur HT\MT	
<i>Test de tenue du dielectrique par prélevement d'un échantillon</i>	<i>10Ans</i>
Transformateur MT\BT	
<i>Test de tenue du dielectrique par prélevement d'un échantillon en bas de cuve (tension de claquage minimum 30kV)</i>	<i>10Ans</i>
Blindé TH7m	
<i>inspection des peintures et des protections</i>	<i>1000 cycles</i>
<i>vérification du serrage de la boulonnerie du disjoncteur</i>	<i>1000 cycles</i>
<i>inspection de la commande électrique</i>	<i>1000 cycles</i>
<i>entretien de la partie active et du mécanisme d'entraînement</i>	<i>1000 cycles</i>
<i>mesure des vitesses</i>	<i>2000 cycles</i>
<i>mesure de la durée de séparation des contacts du disjoncteur</i>	<i>5000 cycles</i>
<i>mesure de la durée d'ouverture de fermeture des contacts du disjoncteur</i>	<i>5000 cycles</i>
<i>contrôle de la durée d'armement de la commande du disjoncteur</i>	<i>5000 cycles</i>
<i>vérification de la simultanéité entre pôles du disjoncteur</i>	<i>5000 cycles</i>
<i>graissage de la commande mécanique du disjoncteur</i>	<i>5000 cycles</i>
<i>mesure des temps de fonctionnement</i>	<i>5000 cycles</i>

IV.4. La Methode de Weibull :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4}$ (dans notre cas $N = 14 \leq 20$) et on trace la courbe de Weibull

Tableau IV-4 : Fonction de répartition réelle

N°	TBF(h)	N	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
1	312	1	1	0,0486	4,86
2	816	1	2	0,1180	11,80
3	1008	1	3	0,1875	18,75
4	1176	1	4	0,2569	25,69
5	1368	1	5	0,3263	32,63
6	1608	1	6	0,3958	39,58
7	1680	1	7	0,4652	46,52
8	1824	1	8	0,5347	53,47
9	1920	1	9	0,6041	60,41
10	2088	1	10	0,6736	67,36
11	2136	1	11	0,7430	74,30
12	2280	1	12	0,8125	81,25
13	2616	1	13	0,8819	88,19
14	3144	1	14	0,9513	95,13

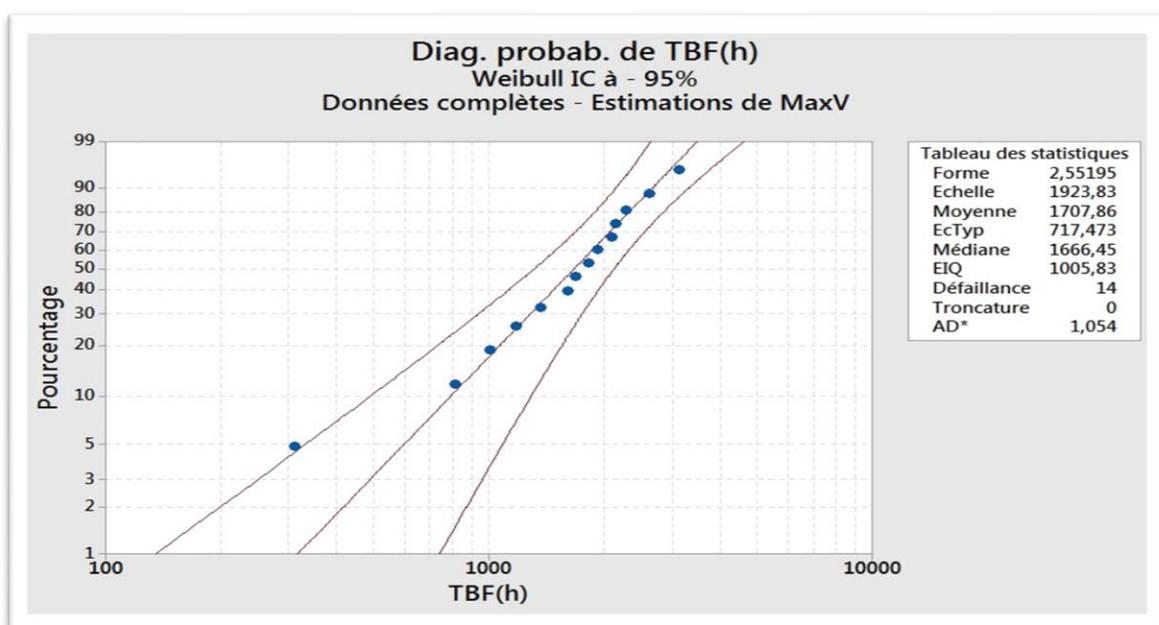


Figure IV-2: papier de Weibull en logiciel minitab17

$$\beta=2,55195$$

$$h= 1923,83$$

$\gamma= 0$ par ce que les pannes passent à l' origine du temps.

Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de KS avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F_e(t)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

Tableau K-S

Tableau IV-5: test K-S (kolmogrov-smirnov) d'après la table de K-S :

N°	TBF	F (i)	F(t)	$D_{Nmax} = F(i) - F(t) $
1	312	0,0486	0,00959042	0,03900958
2	816	0,1180	0,1060112	0,0119888
3	1008	0,1875	0,17482113	0,01267887
4	1176	0,2569	0,24781401	0,00908599
5	1368	0,3263	0,34222709	0,01592709
6	1608	0,3958	0,46888654	0,07308654
7	1680	0,4652	0,50718328	0,04198328
8	1824	0,5347	0,58224372	0,04754372
9	1920	0,6041	0,6302497	0,0261497
10	2088	0,6736	0,70841251	0,03481251
11	2136	0,7430	0,72910138	0,01389862
12	2280	0,8125	0,78617504	0,02632496
13	2616	0,8819	0,88817766	0,00627766
14	3144	0,9513	0,96987637	0,01857637

$D_{Nmax} < D_{N,\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$.

$D_{Nmax}=0,07308654$ tandis que $D_{N,\alpha}=D_{14, .20}= 0,274$ (voir annexe tab.1).

$0,073008654 < 0.274$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable

Exploitation les paramètres de WEIBULL :**a) Le MTBF**

Le tableau de MTBF donne $A=0,8873$ $B=0,380$ (voir annexe tab.2).

$$\text{MTBF} = A\eta + \gamma$$

$$\text{MTBF} = 0,8873 \cdot 1923,83 + 0 \quad \text{MTBF} = 1711,45 \text{ h.}$$

b) La densité de probabilité en fonction de MTBF

$$f(t=\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t)=1923,83 \frac{2,55195}{1923,83} \left(\frac{1711,45}{1923,83}\right)^{2,55195-1} e^{-\left(\frac{1711,45}{1923,83}\right)^{2,55195}} = 0,00075$$

c) La fonction de répartition en fonction de MTBF

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t=\text{MTBF}) = 0,52 = 52\%$$

d) La fiabilité en fonction de MTBF

$$R(t=\text{MTBF}) = 1 - F(t=\text{MTBF})$$

$$R(\text{MTBF}) = 1 - 0,52 = 0,48 = 48\%$$

e) Le taux de défaillance en fonction de MTBF

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$\lambda_{(t=\text{MTBF})} = 0,00159 \text{ panne/heures.}$$

f) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

$$R(t) = 80\% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0,8) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$T = 1923,83 \ln[(1/0,48)]^{1/2,55195}$$

$$t_{\text{sys}} = 1704,24 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité du transformateur supérieur à 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1704 heures.

Étude de modèle de weibull :

a) La fonction de la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

Tableau IV-6: Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
f (t) × 10⁻⁵	7,80	31,33	04,14	46,48	51,4	53,33	51,01	48,89	43,92	36,91	23,89	8,56

La courbe de densité de probabilité

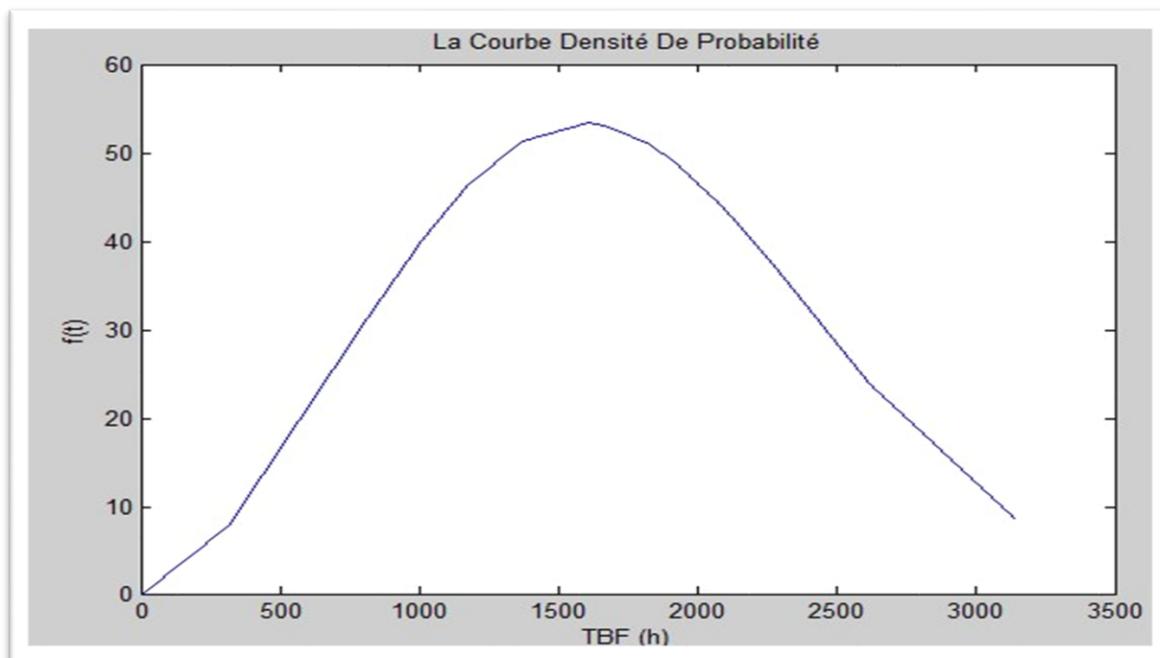


Figure IV-3: La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

D'après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) augmente avec la progression du temps jusqu'à le temps (t=1608h) et après cette valeur la fonction f(t) diminue avec le temps.

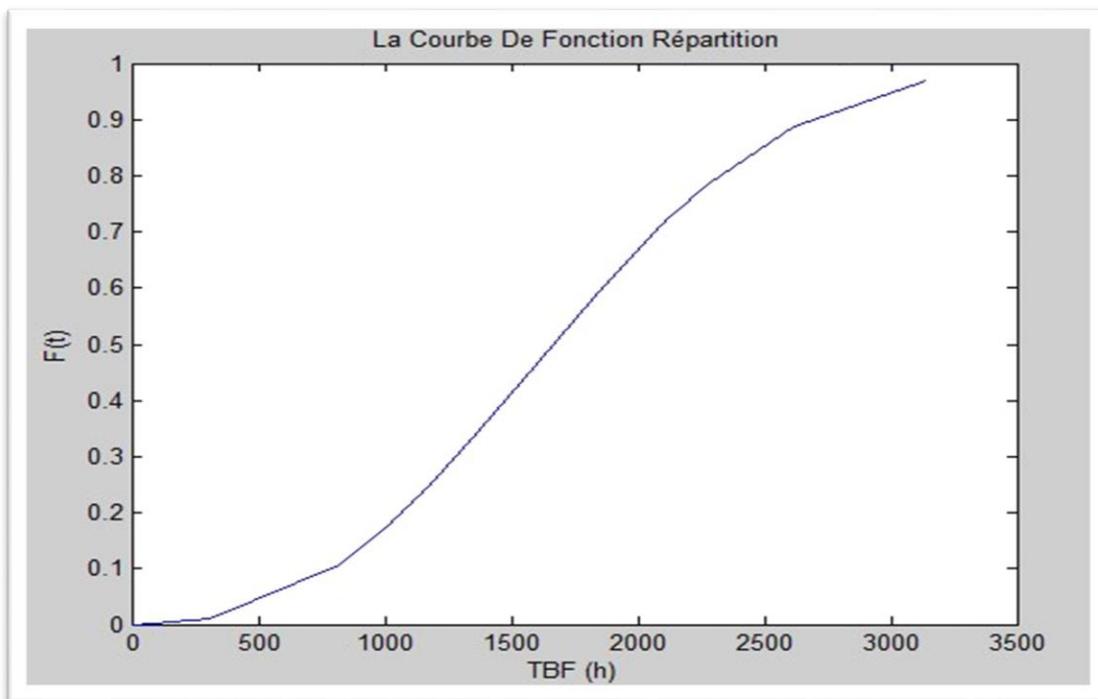
b) Fonction de répartition F(t) :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Tableau IV-7: Fonction de répartition

TBF	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
F(t)	0,009	0,10	0,17	0,24	0,34	0,46	0,58	0,63	0,70	0,78	0,88	0,96

Courbe fonction de répartition F(t) :

*Figure IV-4: La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)*

Analyse de la courbe :

La fonction de défaillance est croissante en fonction de temps, et pour $t = \text{MTBF}$,

$$F(\text{MTBF}) = 0,52 = 52\%$$

c) La fiabilité $R(t)$

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1 - F(t)$, après calcul de la fiabilité à l'instant $t = \text{MTBF}$, on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que l'équipement n'est pas très fiable à $t = \text{MTBF}$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t = \text{MTBF}) = 0,48$$

Tableau IV-8: Calcul de la fiabilité

TBF(h)	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
R(t)	0,99	0,89	0,82	0,75	0,65	0,53	0,41	0,36	0,29	0,21	0,11	0,03

Courbe de la fiabilité :

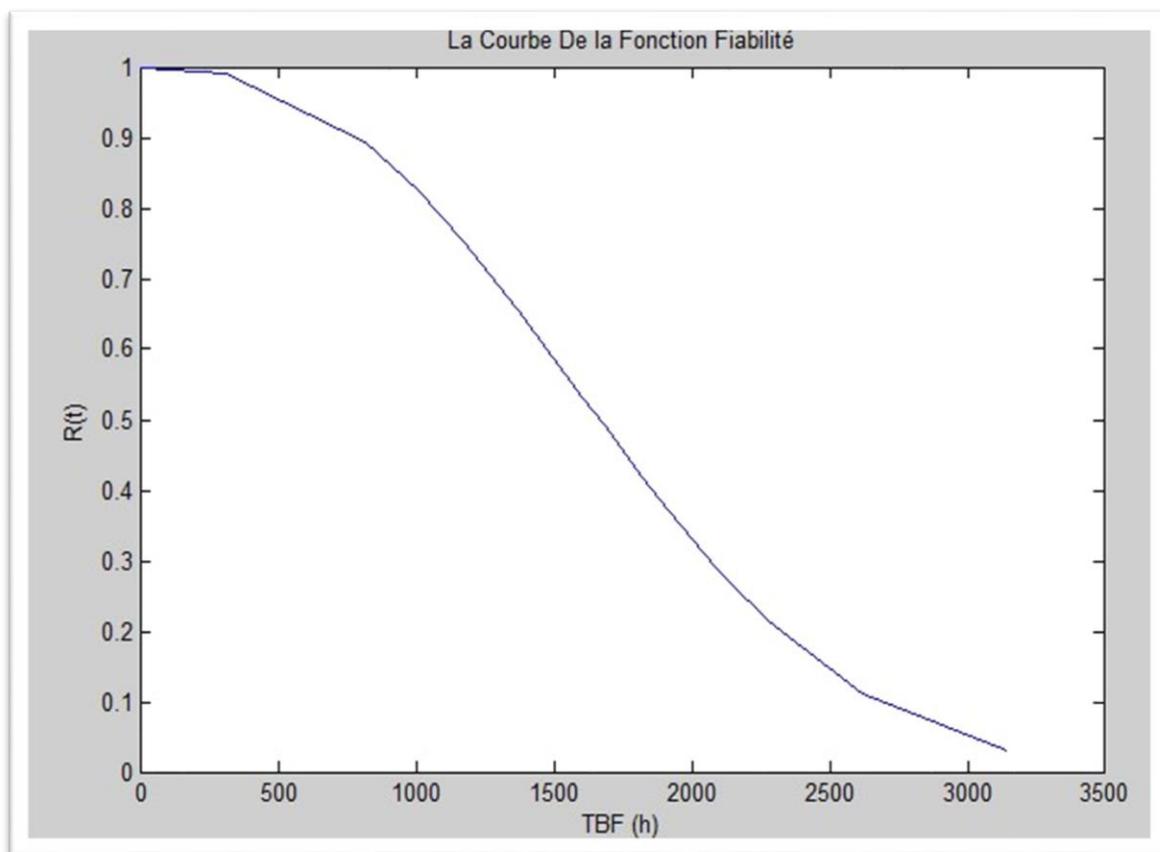


Figure IV-5 : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure.

L'amélioration de la fiabilité passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

d) Le taux de défaillance $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Tableau IV-9 : le taux de défaillance

TBF(h)	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0,07	0,35	0,48	0,61	0,78	1,004	1,22	1,32	1,50	1,72	2,13	2,84

Courbe du taux de défaillance :

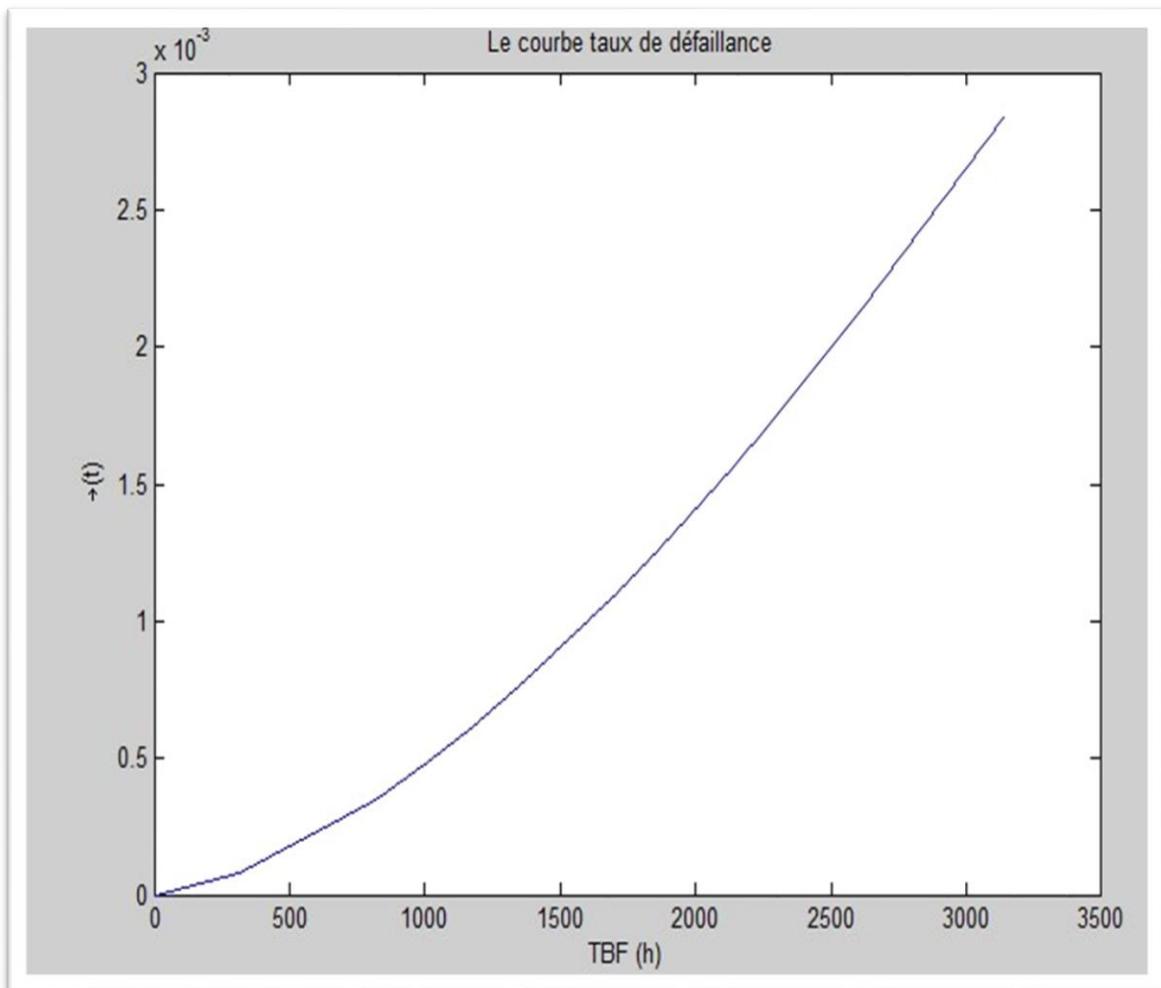


Figure IV-6: Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

Le taux de défaillance est croissant en fonction de temps.

Calcul de Maintenabilité du Transformateur

D'après l'historique des pannes

$$MTTR = \Sigma TTR / N.$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de pannes.

$$MTTR = 393/14 = 28.07 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/28.07 = 0.0356$ intervention / heure.

Tableau IV-10: La maintenabilité

TTR(h)	20	40	60	80	100	160	180	200	220	240	260	280
M(t)	0,509	0,759	0,881	0,942	0,971	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

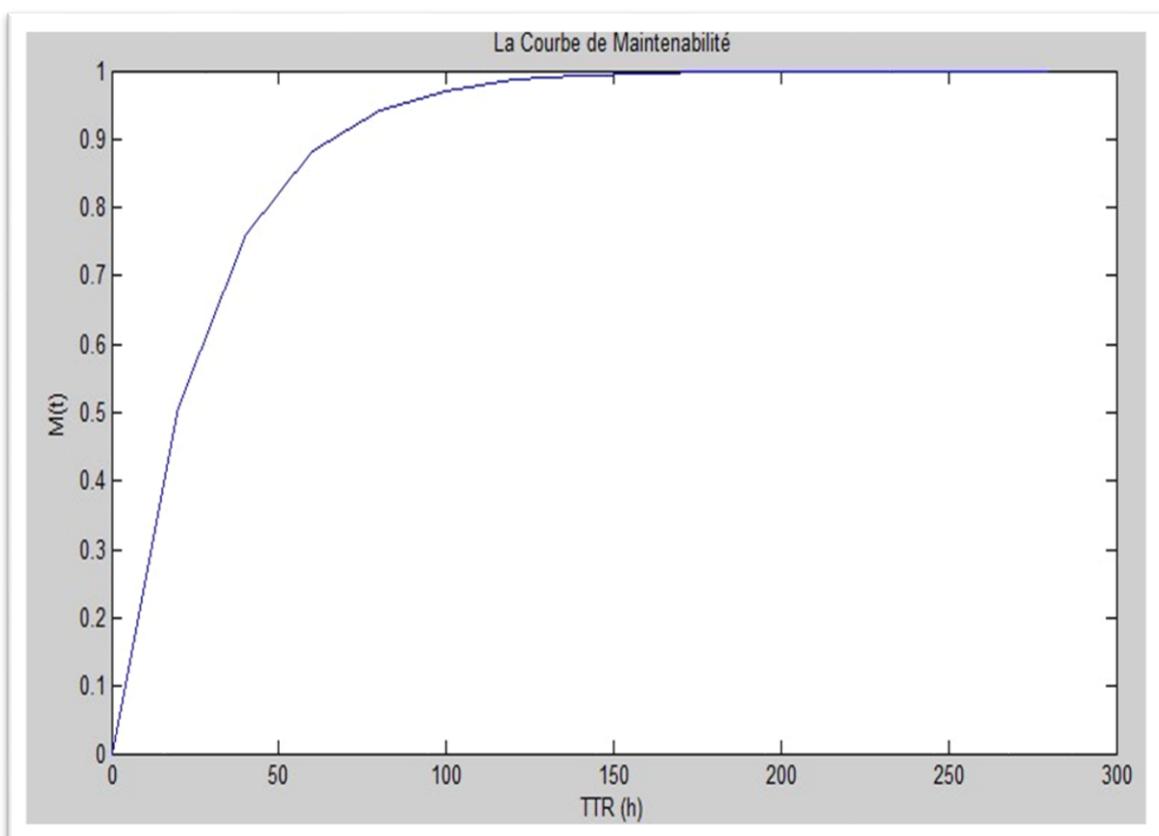


Figure IV-7: La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

La Maintenabilité est croissante en fonction du temps à l'instant T=260 heures, la maintenabilité est 99,99%.

IV.2.6 Calcul de la disponibilité

a) Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{1711,45}{1711,45+28,07} = 0.9838$$

b) Disponibilité instantané

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1711,45} = 0.000584$$

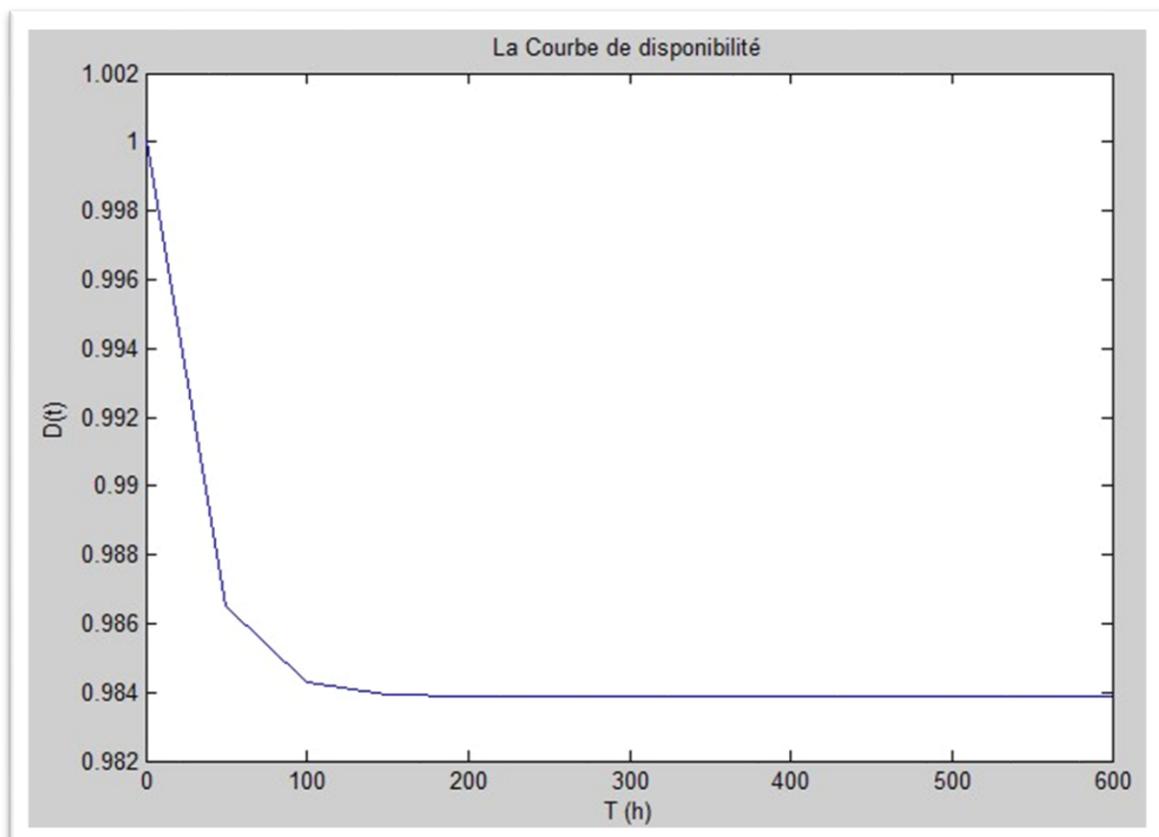
$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{28,07} = 0.0356$$

$$\mu + \lambda = 0,0356 + 0,000584 = 0,0361$$

$$D(t) = \frac{0,0356}{0,000584+0,0356} + \frac{0,000584}{0,000584+0,0356} e^{-(0,000584+0,0356)t}$$

Tableau IV-11 Tableau de disponibilité

T(h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
D(t)	0,721	0,502	0,349	0,243	0,169	0,118	0,082	0,057	0,039	0,027	0,019	0,013

Courbe de la disponibilité**Figure IV-8** La Courbe de disponibilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmentée sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa Maintenabilité).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous pouvons conclure que la FMD a un rôle très important dans l'industrie et en plus que ça, les méthodes de calculs des instruments de l'entreprise tel que les composants. Ces méthodes ont permis de suivre en détail les problèmes et choisir une meilleure politique de maintenance, donc une bonne amélioration du travail.

Pour garder la fiabilité du transformateur supérieur à 80% il faut intervenir systématiquement chaque **1704 heures**, presque chaque deux mois et demi, ce qui nous permet de conseiller le service maintenance de pré-programmer l'intervention trimestrielle de **15 jours**

Conclusion générale

A l'issue de notre étude, nous avons constaté qu'il est très important de définir la panne et comprendre les phénomènes des défaillances et de dégradation des équipements

Ainsi connaître les comportements de l'équipement en termes de défaillance par l'étude détaillée de la Fiabilité et de la Disponibilité FMD qui nous a permis de proposer une meilleure politique de maintenance, ce qui donne peu avoir un impact sur les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance est cela pour la meilleure organisation de maintenance.

La loi de Pareto nous a permis de bien déterminer les peu de défaillances qui sont à l'origine des plus grandes portions des temps arrêt, et nous avons identifié les éléments importants du transformateur et qui nécessitent des interventions à mener en priorité de ceux qui le sont le moins.

L'autre partie de notre étude en utilisant la méthode FMD nous a permis modéliser le comportement du transformateur électrique par la loi des lois mathématique, on a déterminé la valeur du paramètre de forme supérieur à 1 ($\beta > 1$), ce qui nous indique que l'équipement est en **période de vieillesse**.

Pour garder donc sa fiabilité à 80% il faut programmer des interventions systématiques toutes les **1704 heures**. Environ deux mois et demi, ce qui nous ramené à proposer de préprogrammer les interventions de maintenance trimestrielle et l'exécuter tous les deux mois et demi.

Enfin, à travers tous ces résultats, on a pu raffiner et optimiser le plan de maintenance, qui vise à l'amélioration des actions de maintenance préventive, dans le but de le maintenir, et de prolonger sa durée de vie, par optimisation de la maintenance préventive qui a été l'objet de thème de ce travail

Références bibliographiques

- [1] WWW.SONELGAZ.DZ.
- [2] A. BELLAREDJ ET Y. GAOUAR « conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220 kV », mémoire de master université ABOUBAKER BELKAID – TLEMCEN.
- [3] www.google scholar.com.
- [4] SMIR BERKANE «Technologies Des Equipements Electriques Des Postes HTB» Thèse de l'université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2007.
- [5] Jean Sanchez, « Aide au diagnostic des défauts des transformateurs de puissance » université Grenoble alpes, 2011
- [6] Schémas et Appareillages électriques Centre Universitaire de RELIZANE .
- [7] A. BELHOMME, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011
- [8] Mr S. BOUCIF «Etude & Dimensionnement du Poste de Transformation 400/220 KVde Sidi-Ali-Boussidi» Thèse de l'université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2007.
- [9] A.BELHOMME, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011.
- [10] Gean-Marie AUBERVEILLE Livre Génie Industrielle. Maintenance Industrielle de l'entretien de base à l'opération de la sureté // 2004.
- [11] Francis TAMWO Institut universitaire Fotso Victor de Bandjoun - Licence maintenance industrielle et productique 2011.