

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI  
DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DE GENIE DE LA  
CONSTRUCTION**



**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN ELECTROMECHANIQUE

**OPTION : MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

## Thème

**Contribution au diagnostic des défauts à l'aide des réseaux  
neurones artificiels RNA.**

**Cas : Défaut de température d'huile de la turbine à vapeur.**

Présenté par : HAMMOUM AGHILAS

AREZKI JUBA

Mémoire soutenu devant le jury composé de :

<b>Mr. ZAIDI ALI</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. BENALIA Karim</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mr. SLIMANI Mohand</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Co-Promoteur</b>
<b>Mr. YAMANI Noureddine</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Examineur</b>

**2020/2021**

# *Remerciements*

*Tout d'abord nous devons remercier Dieu qui nous a donné la santé et la volonté pour la réalisation de ce présent travail de recherche.*

*Nous tenons à remercier notre directeur de recherche M. BENALIA Karim pour ses conseils précieux, ses remarques ainsi que pour sa disponibilité durant la réalisation de ce modeste travail.*

*Que les membres du jury qui ont eu la gentillesse d'accepter de lire, d'examiner et de corriger ce modeste travail, trouvent ici l'expression de nos profonds remerciements.*

*Enfin, nous remercions tous les enseignants et personnels du département de génie de la construction. Nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers et respectueux parents pour tous leurs sacrifices,*

*pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*À mes sœurs, À mes frères pour leur appui et leur encouragement.*

*À toute ma famille et mes amis proches.*

*H. AGHILAS*

# *Dédicaces*

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection*

*A mes chers frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur*

*A toute ma famille, source d'espoir et de motivation*

*A tous mes amis, tout particulièrement NADINE, MYKONOS*

*SALAH, YOUNES*

*A AGHILAS, cher ami avant d'être binôme*

*A vous chers lecteurs*

*A. JUBA*

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE .....	01
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION ET DESCRIPTION TECHNOLOGIQUE DE LA CENTRALE.</b>	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Présentation de l'organisme d'accueil .....	03
I.3. Les Différents types des centrales.....	04
I.4. Production de l'énergie électrique.....	04
I.4.1. L'origine de l'énergie.....	04
I.4.2. Le Principe de production.....	04
I.5 Rôle de la centrale thermique.....	04
I.5.1. Circuit liquide.....	05
I.5.2. Circuit Vapeur.....	05
I.5.3. Circuit Electrique.....	05
I.5.3.1. Circuit de Puissance.....	05
I.5.3.2. Circuit auxiliaire.....	05
I.6. Organisation d'une centrale thermique.....	06
I.6.1. Structure générale.....	06
I.6.2 Combustible.....	07
I.6.3. Chaudière (générateur de vapeur SGP).....	07
I.6.4 Condenseur.....	09
I.6.5. Les pompes.....	09
I.6.6. Groupe Turbo-Alternateur.....	11
I.6.7. Eau de réfrigération (eau de mer).....	14
I.6.8 Station de dessalement de l'eau de mer.....	14
I.6.9. Station de déminéralisation.....	14
I.6.10. Station électro-chloration.....	14
I.6.11. Les auxiliaires communs aux quatre (4) tranches.....	15
I.6.12. Commande et contrôle.....	15
I.6.13. Système de surveillance.....	15

# SOMMAIRE

I.7. Principe de fonctionnement de la centrale thermique.....	17
I.5. Conclusion .....	19

## CHAPITRE II : DESCRIPTION DU SYSTEME D'HUILE TURBINE A VAPEUR

II.1. Introduction.....	20
II.2. Etude technologique de système étudié.....	20
II.2.1. Corps Haut Pression (HP).....	20
II.2.2. Corps Moyenne Pression (MP).....	22
II.2.3. Corps Basse Pression (BP).....	23
II.3. Système de Circuit d'huile.....	24
II.3.1 Constitution.....	24
II.3.2. Fonctionnement.....	26
II.3.3. Les différents modes de fonctionnement.....	26
II.3.4 Caractéristique d'huile.....	27
II.4. Les principaux équipements de système d'huile.....	28
II.4.1 Cuve à l'huile.....	28
II.4.2. La pompe à l'huile principale.....	28
II.4.3 Motopompes plein débit de 1er secours (motopompe auxiliaire).....	30
II.4.4 La motopompe de soulèvement.....	30
II.4.5 Motopompe de 2eme secours.....	31
II.4.6 Réfrigérant d'huile.....	31
II.4.7 Organe de réglage de la température d'huile.....	32
II.4.8 Filtre à l'huile double.....	32
II.4.9 Dispositif d'étranglement d'huile.....	32
II.4.10. Vanne d'arrêt d'urgence a commandé hydraulique.....	32
II.4.11. Ventilateur des buées.....	32
II.5. L'instrumentation de circuit d'huile turbine.....	33
II.5.1 Les capteurs.....	33

# SOMMAIRE

II.5.2 Indicateur de niveau.....	34
II.5.3 Les convertisseurs.....	34
II.5.3.1 Les convertisseurs électriques de vitesse.....	34
II.5.3.2 Les convertisseurs électro hydrauliques.....	35
II.5.4. Les détecteurs.....	36
II.5.4.1 Détecteurs de survitesse.....	36
II.5.4.2 Les vannes.....	37
II.6. Conclusion.....	38
<b>CHAPITRE III PRINCIPAUX DEFAUTS DES MACHINES TOURNANTES ET TECHNIQUES DES RNA</b>	
III.1. Introduction.....	39
III.2. Typologie de défauts.....	39
III.3. Principaux défauts des machines tournantes.....	40
III.3.1. Le déséquilibre massique des rotors (balourd).....	40
III.3.2. Désalignement.....	41
III.3.3. Défauts des roulements.....	42
III.3.4. Défaut de vitesse d'une turbine à gaz.....	44
III.4. Quelques notions fondamentales sur la maintenance industrielle.....	45
III.4.1. Définition.....	45
III.4.2. Différents types de maintenance.....	45
III.4.2.1. Maintenance préventive.....	45
III.4.2.2. Maintenance corrective.....	46
III.4.2.3. La maintenance méliorative.....	46
III.4.3. Le diagnostic et pronostic pour la maintenance préventive conditionnelle.....	47
III.4.4. Surveillance et diagnostic.....	48
III.4.4.1. Définitions.....	48
III.4.4.2. Classification des méthodes de surveillance et de diagnostic.....	49
III.5. Généralités sur les réseaux de neurones artificiels (RNA).....	50
III.5.1. Neurone biologique.....	50

# SOMMAIRE

III.5.2. Réseaux de neurones formels.....	51
III.5.3. Réseaux de neurones artificiels.....	51
III.5.4. Architectures de réseaux de neurones.....	54
III.5.4.1. Les réseaux statique (non bouclés).....	54
III.5.4.2. Les réseaux dynamique (bouclés).....	56
III.5.5. Apprentissage des réseaux de neurones.....	56
III.5.6. Algorithme d'apprentissage de rétropropagation.....	57
III.5.7. Déroulement de la classification par le PMC.....	58
III.5.8. Implémentation du PMC sous MATLAB.....	59
III.6. Conclusion.....	61
 <b>CHAPITRE IV ETUDE DE CAS : DIAGNOSTIC ET SURVEILLANCE DE DEFAUT DE LA TEMPERATURE DE SYSTEME D'HUILE DANS LES SORTIES DES PALIERS</b>	
IV.1. Introduction.....	62
IV.2. Application de l'algorithme de PMC.....	62
IV.3. Résultats et discussion.....	63
IV.3.1. Architecture optimale trouvée.....	63
IV.3.2. Apprentissage du réseau.....	64
IV.3.3. Test du réseau RNA.....	65
IV.4. Arbre de défaillance de défaut de la température d'huile.....	67
 CONCLUSION GÉNÉRALE.....	 69
BIBLIOGRAPHIE.....	71

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I : PRESENTATION ET DESCRIPTION TECHNOLOGIQUE DE LA CENTRALE.

Figure I.1. Photo d'implantation de la centrale.....	3
Figure I.2. Plan de masse de la centrale de CAP-DJINET.....	6
Figure I.3. Vue réelle d'un condensateur par surface.....	9
Figure I.4. Vue de face de la pompe d'extraction.....	9
Figure I.5. Vue de face de la pompe d'alimentation.....	10
Figure I.6. Vue réelle de la turbine à vapeur au niveau de la centrale.....	11
Figure I.7. Les trois corps de la turbine MP, BP et HP.....	12
Figure I.8. Vue réelle d'un Alternateur de la centrale. ....	13
Figure I.9 Positionnement des capteurs de surveillance dans la turbine.....	16
Figure I.10. Schéma synoptique de fonctionnement de la centrale.....	18

### CHAPITRE II : DESCRIPTION DU SYSTEME D'HUILE TURBINE A VAPEUR.

Figure II.1 : Corps HP.....	24
Figure II.2 : Corps MP.....	25
Figure II.3 : Corps BP.....	26
Figure II.4 : Schéma de circuit d'huile turbine.....	27
Figure II.5 : Pompe à l'huile principale.....	31
Figure II.6 : La pompe de soulèvement.....	33
Figure II.7: Indicateur de niveau.....	36
Figure II.8 : Coupe transversale du convertisseur de vitesse.....	37
Figure II.9 : Vanne d'arrêt et soupape de réglage.....	40

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE III : PRINCIPAUX DEFAUTS DES MACHINES TOURNANTES ET TECHNIQUES DES RNA

Figure III.1. Différents types de défauts d'un système physique.....	42
Figure III.2. Représentation de défaut de balourd.....	43
Figure III.3. Désalignement parallèle.....	44
Figure III.4. Figure désalignement angulaire.....	44
Figure III.5. Roulement à billes.....	45
Figure III.6. Les différents types de maintenance.....	48
Figure III.7. Principe de la maintenance corrective.....	49
Figure III.8. Schéma synoptique de Pronostic et diagnostic pour la maintenance.....	50
Figure III.9. Structure générale d'une procédure de surveillance et diagnostic.....	52
Figure III.10. Le neurone biologique.....	53
Figure III.11. Le modèle de neurone formel.....	54
Figure III.12. Le modèle de neurones artificiels.....	55
Figure III.13. Exemple de fonctionnement d'un neurone artificiel.....	55
Figure III.14. Différents types de fonctions d'activations pour le neurone artificiel.....	56
Figure III.15. Réseau multicouche PMC.....	58
Figure III.16. Réseau dynamique (feed-back).....	59
Figure III.17. Organigramme du déroulement de la classification par PMC.....	62
Figure II.18. Etapes pour implémenter un PMC sous MATLAB.....	62

## LISTE DES FIGURES

### **CHAPITRE IV : ETUDE DE CAS : DIAGNOSTIC ET SURVEILLANCE DE DEFAUT DE LA TEMPERATURE DE SYSTEME D'HUILE DANS LES SORTIES DES PALIERS**

Figure IV.1. Apprentissage du réseau de neurone « 401-11-04 ».....	67
Figure IV.2 : Simulation des sorties du réseau.....	68
Figure IV.3. Test du RNA par des valeurs admissible (sans défaut).....	69
Figure IV.4. Test du RNA avec un défaut.....	70
Figure IV.5. Arbre de défaillances pour la température d'huile.....	71

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1. Comparaison entre neurone biologique et artificiel.....	56
Tableau IV.1 : variation de l'erreur quadratique moyenne en fonction de neurones de la couche cachée.....	66

## ABREVIATION

GTA : Groupe Turbine Alternateur.

HP : Haut Pression.

MP : Moyenne Pression.

PB : Basse Pression.

PMC : Perceptron Multi Couches.

RNA : Réseaux De Neurones Artificiels.

TOR : Tout Ou Rien.

IA : Intelligence Artificielle.

La consommation croissante en énergie étant en hausse, un investissement dans la construction des unités de production s'impose. L'industrie de production de l'électricité est l'une des plus importantes du secteur énergétique. En Algérie la société nationale SONELGAZ SPE couvre les besoins du territoire national

Dans notre travail, on a effectué un stage à la centrale thermique à vapeur de CAP-DJENET. On s'est intéressé particulièrement au système d'huile dans les sorties des paliers de la turbine à vapeur.

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Son indisponibilité entraîne la perte de la production d'énergie, contrairement à d'autres matériels (pompes alimentaires, pompes de circulation assistée, ventilateurs...) dont la redondance permet de poursuivre l'exploitation des installations soit à pleine charge, soit éventuellement à charge partielle.

Il est essentiel d'effectuer un suivi de l'évolution de l'ensemble de grandeurs physiques mesurées en exploitation qui sont, pour la plupart, enregistrés en salle de commande des tranches de production. Cette surveillance est réalisée lors du fonctionnement des installations aux conditions nominales mais elle s'avère également utile lors des phases transitoires d'exploitation (démarrage, arrêt, prise de charge...).

C'est pour cette raison qu'on a essayé de proposer une méthodologie simple pour le développement d'un système de surveillance de tous grandeurs physiques essentiels (pression de vapeur, vibrations, température d'huile ...) dans tous les points nécessaires de la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap-Djinet, basée sur la méthode de réseau de neurones artificiels de type perceptron multi couches (PMC).

Pour mener à bien notre projet nous avons élaboré le plan suivant :

Le premier chapitre servira à faire une présentation technologique de la centrale thermique de Cap-djinet et son fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre nous étudierons le système d'huile de la turbine en détaillant son principe de fonctionnement

Le troisième chapitre comportera une présentation sur les principaux défauts des machines tournantes et technique de RNA.

Le dernier chapitre concerne la localisation des défauts en identifiant les causes probables de ce défaut. L'approche est basée sur la méthode hybride en combinant à la fois les réseaux de neurones artificiels et l'arbre de défaillance. Se basant sur la simulation, on a fait des scénarios de défaillance sur la turbine pour voir la réaction du système développé s'il réagit correctement à la détection et localisation du défaut et donnant les causes probables de ce défaut.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale, ainsi que quelques perspectives d'améliorations de ce présent travail.

## CHAPITRE I

# *DESCRIPTION TECHNOLOGIQUE DE LA CENTRALE CAP DJINET.*

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'organisme d'accueil, et lieu de déroulement de notre projet de fin d'études : la centrale thermique de RAS DJINET, où il sera question d'exposer le processus de production de l'électricité, principale activité de la centrale.

## I.2. Présentation de l'organisme d'accueil

La centrale thermique est située au bord de la mer à 75km à l'est d'Alger, à la périphérie de la ville de Ras Djinet, dans la willaya de Boumerdès, sur une extension d'environ 35 hectares. Le choix du site pour son implantation est basé sur les raisons de proximité des consommateurs importants. Cette dernière est composée de (4) groupe monoblocs d'une puissance unitaire de 168 Mégawatts (MW) totalisant une capacité installée de 672Mega watts. Situés notamment dans la zone industrielle Rouïba - Reghaïa ; la possibilité d'extension et les Conditions de sous-sol favorables ne nécessitant pas de fondations profondes.

La centrale a été construite par un consortium Austro - Allemand (Siemens - Kraftwerk union AG KWU - SGP) qui avaient la responsabilité des études, de la supervision, du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que par l'entreprise Espagnole (Dragados) à laquelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer. Des entreprises algériennes ont aussi participé à la réalisation de la centrale, telles que ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP et d'autres. La mise en service des ses quatre groupes turbo - alternateur s'est effectuée de 1986 à 1987.

La centrale de Ras Djinet est composée d'une salle de machines dans laquelle se trouvent les principaux éléments de la centrale (générateur de vapeur et groupe turbo - alternateur), une salle de commande et de contrôle, une station de traitement d'eau et stations annexes.



Figure I.1 : Photo d'implantation de la centrale.

### **I.3. Les Différents types des centrales**

Les centrales électriques tirent leur énergie de diverses sources :

- La combustion de matériaux organique fossiles (pétrole, charbon, gaz) dans les centrales thermiques classique ou de matériaux nucléaires pour les centrales thermique nucléaires (cette combustion sert à vaporiser l'eau ; la pression de la vapeur met en mouvement la turbine).
- La force de l'eau dans les centrales hydrauliques.
- La force de vent dans les centrales éoliennes.
- La force de mer dans les centrales marémotrices.

### **I.4. Production de l'énergie électrique**

#### **I.4.1. L'origine de l'énergie**

Dans les usines thermiques l'énergie provient de la transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique puis la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique. L'énergie calorifique est produite par un combustible qui peut être un solide (charbon de bonne qualité ou déchet de charbon), un liquide fuel-(mazout), gas-oil et gazeux : gaz de haut fourneau et gaz naturel.

#### **I.4.2. Le Principe de production**

L'énergie électrique se produit dans les usines génératrices. Ces usines comportent toute un ou plusieurs groupes constitués chacun par une machine entrainante. Cet alternateur produit un courant électrique triphasé de 50 Hz a une tension comprise entre 5000 et 15500 V. Cette tension insuffisante pour le transport est élevée à une valeur comprise entre 63 et 235 KV par un transformateur situent dans un poste de départ (poste élévateur).

### **I.5 Rôle de la centrale thermique**

Le rôle d'une centrale thermique est de transformer d'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquides et vapeur.

### **I.5.1. Circuit liquide**

L'eau extraite du puits de condenseur passe par les trois réchauffeurs bas pressions (BPI), (BP2), (BP3) puis la bêche alimentaire. L'eau est pompée par les pompes alimentaires cers l'économiseur qui se trouve en fin de parcours des gaz de combustion et comme son rôle principal est le réchauffement de l'eau d'alimentation et puis il est conduit aux écrans vaporisateurs par les quatre colonnes de descentes. Après un temps d'échauffement un mélange eau vapeur monte vers le ballon chaudière où se produit une séparation entre l'eau et la vapeur.

### **I.5.2. Circuit Vapeur**

La vapeur séparée dans le ballon chaudière est menée par les tubes ascendants. Elle parcourt le premier désurchauffeur et ensuite par la deuxième surchauffeur, et elle traverse le deuxième désurchauffeur avant d'arriver à la dernière surchauffeur. La vapeur surchauffée quitte la chaudière et elle est détendue dans le corps (HP) de la turbine. Après la détente elle est récupérée pour être désurchauffeurs qui servent à la stabilité de la température de sortie.

La vapeur surchauffée est détendue dans le corps (MP) de la turbine et continue sa détente dans le corps (BP). Elle est ensuite dirigée vers le condenseur où elle se condense dans le puit.

### **I.5.3. Circuit Electrique**

#### **I.5.3.1. Circuit de Puissance**

L'importance de la partie thermique ne doit pas faire oublier qu'elle n'a finalement qu'un but Entraîner à «3000 tr/min » le rotor de l'alternateur ; le circuit thermique se prolonge en quelque sorte par les circuits électriques de puissance, ceux-ci comprennent l'alternateur ; le transformateur principal et l'appareillage T.H.T. permettant d'acheminer l'énergie électrique vers les jeux de barres du poste de départ.

#### **I.5.3.2. Circuit auxiliaire**

Ils ont pour fonction de distribuer de l'électricité à l'intérieur de l'usine notamment aux consommateurs tels que les moteurs de ventilateurs, broyeurs, les pompes, etc. Globalement, la puissance consommée est considérable équivaut aux environs de « 8% » à « 10% » de la puissance nette de l'usine.

## I.6. Organisation d'une centrale thermique

### I.6.1. Structure générale

La centrale comprend plusieurs éléments qui définissent les différentes stations existantes et les différents mécanismes qui assurent le bon fonctionnement de cette dernière. Ces stations sont résumées comme suit (Figure I.2).

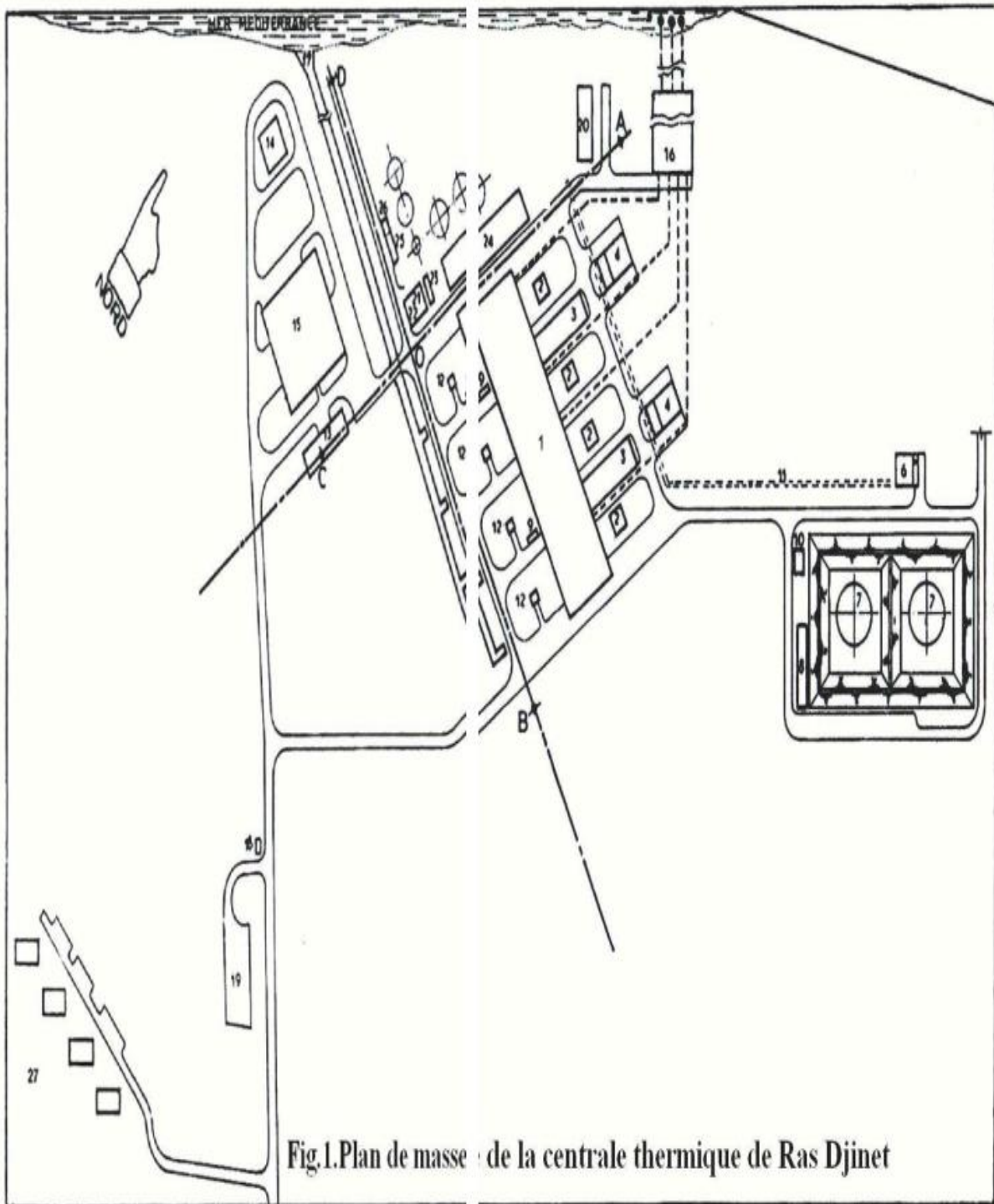


Figure I.2 :Plan de masse de la centrale de CAP-DJINET.

1. salle des machines.
2. chaudière.
3. locaux des auxiliaires électriques.
4. locaux des auxiliaires mécaniques.
5. tour de prise d'eau de mer.
6. station de détente de gaz.
7. réservoir stockage fuel.
8. station pompage et dépotage fuel.
9. station de production H2.
10. poste d'incendie à mousse.
11. rack à tuyauterie.
12. air des transformateurs.
13. bâtiment administratif.
14. cantine.
15. atelier.
16. station de pompage.
17. canal et rejet d'eau de mer.
18. potier (poste d'entrée).
19. parc véhicules.
20. station de chloration.
21. préparation d'eau potable.
22. déminéralisation.
23. fosse de neutralisation.
24. dessalement d'eau de mer.
25. station des pompes d'incendie.
26. Pompe d'eau déminéralisée.
27. Logement d'exploitation.

### **I.6.2 Combustible**

Le combustible utilisé dans la combustion à la centrale thermique de CAP-DJINET est le gaz naturel de HASSI-R'MEL. Le secours est assuré par du fuel-oil stocké dans deux réservoirs de 10 000 m<sup>3</sup> pour qu'il soit utilisé dans le cas d'absence du gaz naturel. Le débit nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes : 160 000 Normal m<sup>3</sup>/heures.

### **I.6.3. Chaudière (générateur de vapeur SGP)**

Le générateur de vapeur (chaudière) a pour rôle de transformer l'eau en vapeur à haute pression pour alimenter le groupe turbine alternateur (GTA). Les générateurs de vapeurs sont de type à circulation naturelle (circulation naturelle de l'eau et de la vapeur), l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau.[5]

**a) Constitution :**

Chambre de combustion formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisateurs) :

- ✓ **Ballon (réservoir)** : c'est un réservoir placé au-dessus de la chambre de la combustion, qui renferme de l'eau à l'état liquide provenant de l'économiseur alimentant les tubes écrans vaporisateurs et de l'eau à l'état vapeur provenant des tubes écrans pour l'alimentation des surchauffeurs.
- ✓ **(01) économiseur** : c'est un échangeur de chaleur.
- ✓ **(03) surchauffeurs** : Les surchauffeurs, au nombre de trois (primaire, secondaire et tertiaire), permettant grâce à la récupération de la chaleur sensible des fumées provenant du foyer, d'élever la température de la vapeur au-delà du point de saturation pour atteindre la valeur de 540 C°, afin d'éliminer l'humidité contenue dans cette vapeur et donc d'améliorer le rendement de la turbine et ainsi diminuer la consommation du combustible.
- ✓ **(03) désurchauffeurs par injection d'eau** pour la régulation de température vapeur.
- ✓ **(04) colonnes de descentes et les tubes écrans** : Les tubes écrans constituant les parois de la chambre de combustion, sont alimentés à leur partie inférieure par quatre colonnes dites de descente. La chaleur reçue par ces tubes, essentiellement par rayonnements, est transmise à l'eau en vue de sa vaporisation.
- ✓ **(08) brûleurs de combustion mixte gaz/fuel** : Le générateur de vapeur est équipé de huit brûleurs fonctionnent au gaz naturel ou fuel léger. Ils sont disposés sur quatre étages de la face avant la chaudière.

**b) Caractéristiques techniques de générateur**

- ✓ Capacité de vaporisation maximale : 523tr/h
- ✓ Pression de service : 160bars.
- ✓ Température de vapeur : 540 °C.
- ✓ Consommation en gaz naturel : 40 m<sup>3</sup>/h.
- ✓ Consommation gas-oil (fuel) : 42 m<sup>3</sup> /h.
- ✓ Température eau d'alimentation : 24 6°C.

### I.6.4 Condenseur

C'est un échangeur de chaleur, il provoque la condensation de la vapeur, grâce à la circulation d'eau froide venant de la mer et circulant dans les 15000 tubes qui se trouve à l'intérieur du condenseur.



Figure I.3 : Vue réelle d'un condensateur par surface.

### I.6.5. Les pompes

Ils existent deux types de pompes :

- **Pompe d'extraction** : Les pompes d'extraction d'eau ont pour rôle d'acheminer le condensât principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bêche d'alimentation en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été et les réfrigérants d'hydrogène.



Figure 1.4 : Vue de face de la pompe d'extraction.

- **Pompe d'alimentation** : Les pompes d'alimentation servent à alimenter le générateur de vapeur (chaudière) avec de l'eau nécessaire, en passant par les réchauffeurs haut pression (HP)

du poste d'eau (le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfèrent l'eau du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière), et l'économiseur du générateur de vapeur. Les pompes d'alimentation doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Les conditions de fonctionnements des pompes d'alimentation sont:

- Aspirer de l'eau chaude.
- Refouler de l'eau à une pression élevée.
- Assurer un débit d'eau important.
- Avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences de manque d'eau dans le générateur de vapeur.

La centrale contient trois pompes avec un débit de 261,6 m<sup>3</sup> /h pour chacune de ces pompes. Ces pompes renvoient l'eau à une forte pression.



**Figure 1.5 : Vue de face de la pompe d'alimentation.**

### I.6.6. Groupe Turbo-Alternateur

#### a) Turbine à Vapeur :

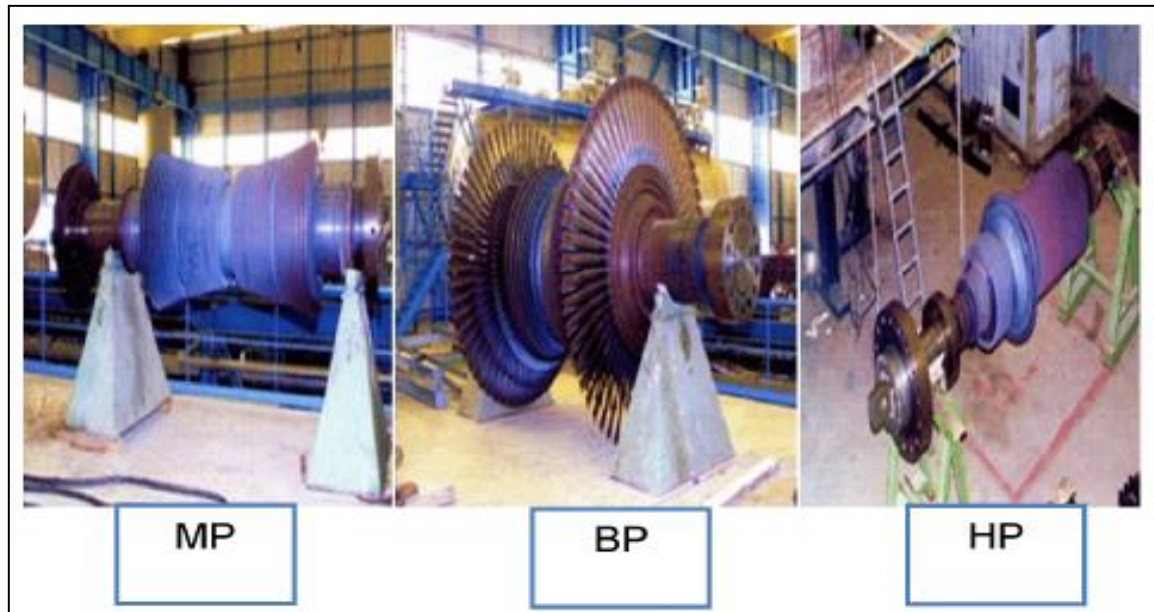
La turbine est une machine à une seule ligne d'arbre. Elle transforme l'énergie thermique disponible de la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre. Le travail mécanique produit sert à entraîner l'alternateur.



Figure I.6 : Vue réelle de la turbine à vapeur au niveau de la centrale.

La turbine est constituée de trois corps : haute pression (HP), moyenne pression (MP) et basse pression (BP).

- **Le corps Haut Pression (HP) :** Il est à simple flux et sa construction, en forme de tonneau lui assure un fonctionnement Souple, l'enveloppe interne à plan de joint axial est montée de façon à ne pas entraver les dilatations thermiques. Sa pression de fonctionnement est de 172 bars.
- **Le corps Moyenne Pression (MP) :** Il est à double flux, l'enveloppe externe qui porte l'enveloppe interne à un plan de joint horizontal. Sa pression de fonctionnement est de 48 bars.
- **Le corps Basse Pression (BP) :** Il est à double flux et est constitué de trois enveloppes à plan de joint horizontal l'enveloppe interne, suspendue dans l'intermédiaire, porte les premiers étages des aubes directrices. La turbine est dotée d'une régulation électro hydraulique lui permettant d'être réglé à la vitesse nominale de 3000t/min.



**Figure I.7 : Les trois corps de la turbine MP, BP et HP.**

#### **b) Alternateurs :**

Un alternateur fonctionne selon la loi de l'induction électromagnétique. Cette loi montre que quand on déplace un conducteur dans un champ magnétique de façon à "couper" des lignes de force, une tension est induite entre les extrémités du conducteur. Les lignes de force sont appelées flux magnétique ou champ. La tension induite varie selon la vitesse avec laquelle on coupe les lignes de force : elle croît proportionnellement avec elle. Appliquons la loi d'induction électromagnétique à un conducteur en forme de cadre qui tourne entre les deux pôles N et S d'un électroaimant ou aimant. Les extrémités du cadre sont reliées par l'intermédiaire 2 bagues et de deux frotteurs (balais) aux bornes d'un millivoltmètre. Quand le conducteur tourne d'un mouvement uniforme, le millivoltmètre dévie alternativement dans un sens et dans l'autre, indiquant ainsi l'apparition dans le conducteur d'une tension induite (force électromotrice alternative). Le courant obtenu est un courant alternatif, dont la courbe est sinusoïdale. Il change de sens plusieurs fois par seconde. Ce résultat peut aussi être obtenu par la rotation d'un aimant ou électroaimant à l'intérieur d'une bobine. L'aimant constitue l'inducteur (rotor), la bobine l'induit (stator).

Un alternateur possède deux éléments distincts essentiels :

- Le stator (pièce statique c'est-à-dire qui ne tourne pas dans l'alternateur (stator provient de statique qui veut dire immobile)) est une bobine de cuivre donc conductrice et sensible aux phénomènes électromagnétique.

- Le rotor (pièce qui tourne (rotor provient de rotation qui signifie en mouvement tournant)) est aimant qui produit un champ magnétique. Cette pièce possède un axe est solidaire du rotor et lorsque l'axe est entraîné, il fait tourner le rotor.

### Les caractéristiques de l'alternateur :

La puissance maximale produite est de : 176 MW.

La tension : 15.5 KV. La fréquence : 50Hz.

L'intensité du courant : 8195 A.



**Figure I.8 : Vue réelle d'un Alternateur de la centrale.**

### c) L'excitatrice :

L'énergie nécessaire à l'excitatrice est prélevée sous forme mécanique sur l'arbre du groupe, la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique continue s'effectue en utilisant un alternateur et des diodes.

L'alternateur principal contient l'inducteur principal fixe et l'induit tournant, ce dernier est alimenté par des diodes qui sont elles-mêmes alimentées par l'alternateur principal.

L'énergie nécessaire à l'excitation de l'alternateur est fournie par un alternateur pilote dont l'inducteur est constitué par un aimant.

Les caractéristiques générales de l'excitatrice sont :

- Puissance de la machine  $P=710$  KW
- Courant maximal d'excitation  $I=2450$  A
- Plafond de la tension d'excitation  $U_{max}=240$  V
- Vitesse de rotation  $V=3000$  tr/min
- Rendement du système d'excitation=90%

#### **I.6.7. Eau de réfrigération (eau de mer)**

La prise d'eau se situe en mer à 900m de la station de pompage et de filtration. L'eau arrive par trois conduites d'amener d'eau de mer.

#### **I.6.8 Station de dessalement de l'eau de mer**

La station de dessalement a pour rôle, la production d'eau dessalée à partir de l'eau de mer. Elle est constituée de quatre unités de dessalement produisant chacune  $500m^3$  /j assurent la production en eau dessalée puis stockée dans deux baches ( $2 \times 2700m^3$ ).

Les trois produits chimiques qui sont injectés pour le traitement de l'eau sont :

- Le belgard EVN : c'est un inhibiteur d'incrustation utilisé pour éviter l'entartrage.
- La belite(M33) : c'est un produit anti-mousse utilisé pour éviter la formation du mousses au niveau des évaporateurs.
- Le bissulfite de sodium ( $NA_2S_03$ ) : c'est un produit permettant l'élimination de chlore dans l'eau pour diminuer la conductivité.

#### **I.6.9. Station de déminéralisation**

Deux chaînes de déminéralisation de  $40m^3$  /h chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau-vapeur. Les lits mélanges sont un mélange de résines cationiques et anioniques et le stockage de l'eau déminéralisée se fait dans deux réservoirs de  $1500m^3$  chacun.

#### **I.6.10. Station électro-chloration**

La chloration de l'eau de mer permet de protéger le circuit d'eau de mer (condenseur, conduite d'amener d'eau de mer...) contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium.

### **I.6.11. Les auxiliaires communs aux quatre (4) tranches**

- **La station de production d'hydrogène** : Elle sert à produire de l'hydrogène nécessaire au refroidissement des quatre alternateurs de la centrale.
- **Le poste de détente gaz** : Il compose de deux lignes de filtration gaz et trois lignes de régulation pour la détente gaz de 60 à 6 bars.
- Le poste de dépotage et transfert fuel : Il est constitué de deux bâches de stockage de capacité 2x10000m<sup>3</sup>.

### **I.6.12. Commande et contrôle**

La centrale de Ras-Djinet se caractérise par un degré élevé d'automatisme et de centralisation des commandes. Il existe plusieurs chaînes de régulation par groupe de production qui permettent un pilotage automatique du groupe. Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande.

La salle de commande comprend pour chaque tranche :

- Deux pupitres de conduites.
- Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- Un tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques.

### **I.6.13. Système de surveillance**

Il permet une bonne conduite du groupe de production des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau, vibration), des différents équipements du groupe sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de déplacement de seuil.

#### **- Les capteurs de surveillance de la turbine**

Concernant notre turbine, on peut citer six types essentiels de capteurs de surveillance.

Les six types sont placés de la façon suivante :

- Un capteur de vitesse est en avant de l'arbre de la turbine (1);
- Quatre capteurs de vibrations pour les quatre paliers de la turbine (2) (3) (4) (5);
- Quatre capteurs de pression : deux à l'entrée et à la sortie du corps HP(7) (6), un à l'entrée du corps MP (8) et un à la sortie du corps BP (9) ;

- Quatre capteurs de débit d'huile dans les quatre paliers (10) (11) (12) (13) ;
- Quatre capteurs de température d'huile à la sortie de chaque palier (14) (15) (16) (17) ;
- Quatre capteurs de température : deux à l'entrée et à la sortie du corps HP (19) (18),
- Un à l'entrée du corps MP (20) et un la sortie du corps BP (21) ; Voir (Figure I.5).

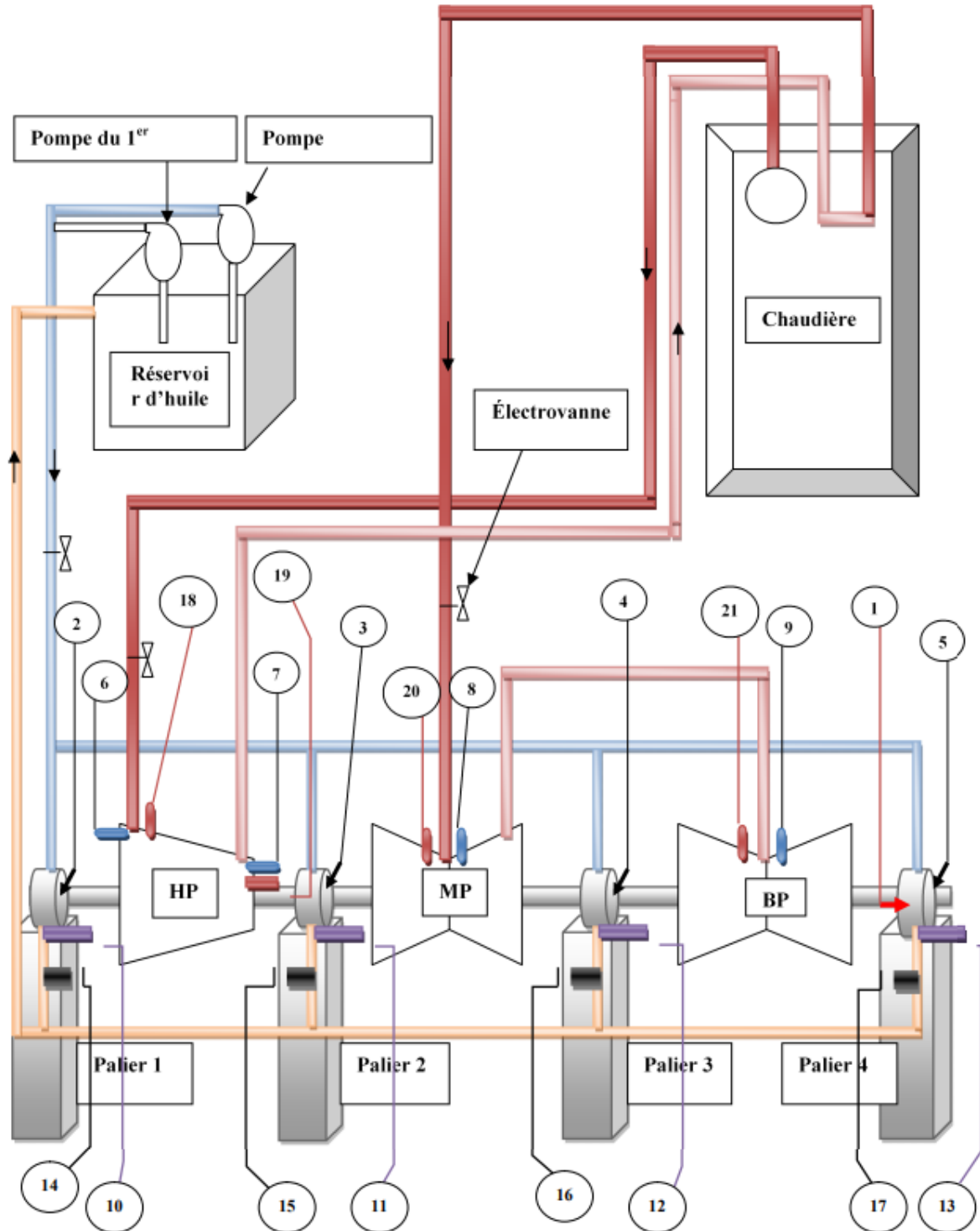


Figure I.9 : Positionnement des capteurs de surveillance dans la turbine.

## I.7. Principe de fonctionnement de la centrale thermique

Les pompes d'extractions aspirent le condensat à partir de condenseur à pression de 0.05 bars et une température de 33°C, elle refoule l'eau vers les réchauffeurs BP1, BP2, BP3 où l'augmentation de la température s'effectue comme ceci :

- ✓ 52°C à la sortie de réchauffeur BP1.
- ✓ 84°C à la sortie de réchauffeur BP2.
- ✓ 113°C à la sortie de réchauffeur BP3.

L'eau est prise à la bêche d'alimentation où passe le dégazage, sa température est de 152°C et sa pression est de 170 bars.

L'eau de la bêche d'alimentation est aspirée par les pompes d'alimentations où elles l'envoient vers les réchauffeurs HP5 et HP6, où on constate que la température augmente comme ceci :

- ✓ 200°C a la sortie de réchauffeur HP5.
- ✓ 246°C a la sortie de réchauffeur HP6.

L'eau chaude compromis arrive au ballon chaudière, les parois tubulaires qui tapissent la chambre de combustion où elle se ramène jusqu'à la température d'ébullition, et même jusqu'à la température de vaporisation.

La moitié supérieure du ballon chaudière contient de la vapeur saturée. Celle-ci est dirigée sur les trois surchauffeurs, où elle va augmenter de température jusqu'à 540°C, en cas d'une température plus élevée que cette dernière, il y a le déclenchement des désurchauffeurs a fin de la diminuer jusqu'à 540°C, la pression reste presque constante (170 bars).

La vapeur de la surchauffeur arrive au corps HP de la turbine où elle détente jusqu'à 40 bars, et sa température diminue jusqu'à 375°C, puis elle retourne vers les resurchauffeurs qui se trouvent dans la chaudière, où elle se réchauffe pour atteindre les 544°C ; ensuite elle entre dans le corps MP de la turbine qui continuera jusqu'au corps BP, en passant par ces trois corps, elle fournit le travail moteur. [3]

Le dernier circuit est le condenseur, dans lequel s'effectue la condensation de la vapeur sous vide à une pression 0.05 bars et à la température de 33°C. L'eau recueillie est froide, elle commence son cycle de nouveau.

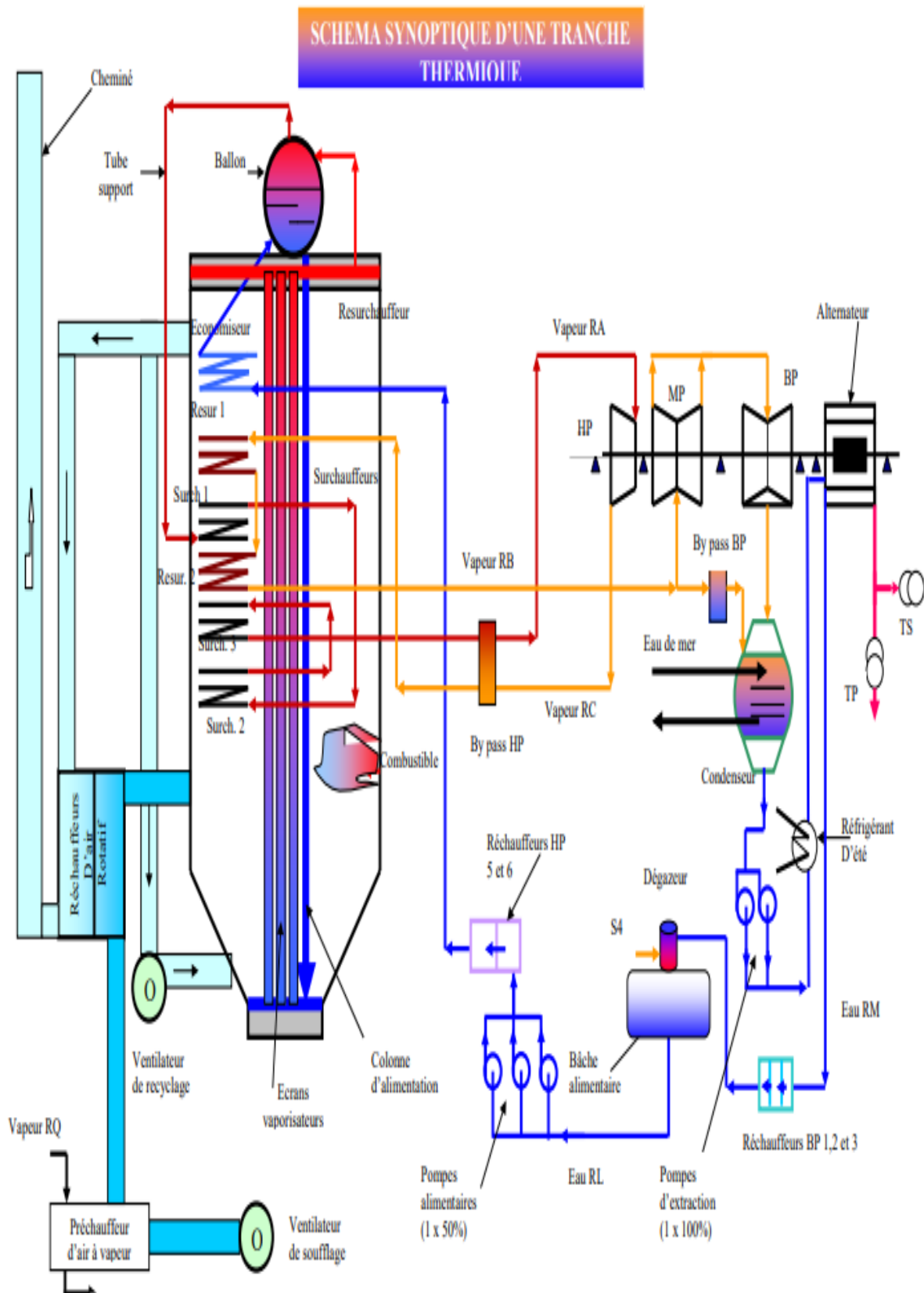


Figure I.10 : Schéma synoptique de fonctionnement de la centrale.

## **I.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation succincte des équipements de la centrale thermique de Cap-Djinet et on a expliqué son principe de fonctionnement.

## CHAPITRE II

*DESCRIPTION DU SYSTEME D'HUILE*

*DE LA TURBINE A VAPEUR*

## II.1. Introduction

Les installations auxiliaires du groupe turbo-alternateur assurent son bon fonctionnement en marche normale ainsi qu'au démarrage et à la mise en service. Elles remplissent différentes fonctions, comme par exemple. Le graissage des paliers, du groupe, l'évacuation du condenseur, l'alimentation des étanchéités d'arbre et le refroidissement de l'alternateur.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter le système d'huile turbine qui assure le graissage des groupes turbo-alternateur dont il permet de lubrifier les paliers de la ligne d'arbre (turbine, alternateur) et d'une part d'alimenter en huile le circuit de contrôle régulateur de vitesse de la turbine

## II.2. Etude technologique de système étudié

La turbine est une machine transformant l'énergie calorifique contenue dans la vapeur en énergie mécanique tout en détendant cette vapeur. la turbine aussi considérée comme couple moteur pour soulager la vitesse de l'alternateur quand la fréquence du réseau baisse (demande de charge) chez les consommateurs [5]. La turbine est située au poste d'eau (réchauffeur), car la turbine dite à condensation et a soutirage, la détente complète de la vapeur à la sortie de corps BP est inférieure à la pression atmosphérique, dont les soutirages base pression sont pris du corps BP pour réchauffer le condensât principal [5].

La turbine joue un grand rôle dans l'installation thermique, elle fait la liaison avec la chaudière par régulation pour recevoir la vapeur en provenance de la chaudière à travers les soupapes de réglage de débit vapeur pour faire tourner celle-ci à une vitesse de 3000tr/mn pour assurer un équilibre entre alternateur et réseau électrique c. a. d( synchronisation), et grâce au système d'excitation dont l'excitatrice accouplée dans le même arbre avec l'alternateur et turbine que le courant électrique tri phase produit au niveau du stator alternateur [5].

### II.2.1. Corps Haut Pression (HP)

#### a) Fonctionnement :

Le corps HP de la turbine est une construction en tonneau, il équipe d'un étage de réglage pour régularisation par groupe de tuyères. Quatre ensembles combinent vanes d'arrêt/soupape régulatrices sont associés à autant de groupes de tuyères, ils sont disposés de chaque cote du corps.

La vapeur conduite à la turbine par intermédiaire des tuyauteries parvient aux de détente soupapes régulatrices après avoir traversé les vannes d'arrêt. À partir de ces soupapes, la vapeur s'écoule l'enveloppe. Des clapets anti retour sont montés sur les tuyauteries de resurchauffe entre le corps HP [5].

**b) Les paliers :**

• **Palier d'extrémité :**

Le palier d'extrémité (palier porteur) à deux coins d'huile et monte en tête de la machine, il supporte le rotor et le corps HP et renferme les équipements suivants [5]:

- Coussinet porteur de rotor HP.
- Pompe a' huile principale.
- Convertisseur de vitesse hydraulique.
- Convertisseur de vitesse électrique.

• **Palier arrière :**

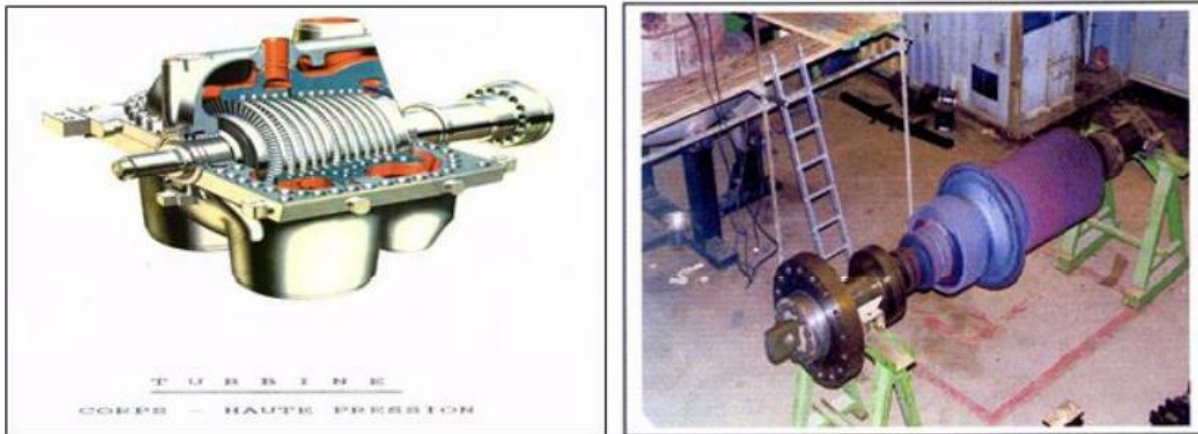
Le palier arriéré ou palier radial et butée est monte entre les corps HP et MP il sert à support les enveloppes et les rotors des corps HP et MP et encaisser axial s'exerçant sur le rotor.

Le palier arrière renferme les équipements suivants [5]:

- Palier combine porteur et de butée.
- Capteur de vibration de l'arbre.
- Capteur de vibration du palier.
- Dispositif de déclenchement du détecteur d'usure butée.

**c) Caractéristique du corps HP :**

- Corps : à simple flux.
- Débit vapeur : 138 bars.
- Température vapeur : 535oC.
- Etage de réglage à action : 1.
- Etage à réaction : 23.
- Poids : 4910kg.



**Figure II.1 : Corps HP.**

## **II.2.2. Corps Moyenne Pression (MP)**

### **a) Fonctionnement :**

Le corps MP est équipé de deux vannes d'interception et de deux soupapes modératrices disposées symétriquement de part et d'autre du corps.

La vapeur réchauffée véhiculée par les tuyauteries parvient aux soupapes modératrices après avoir traversé les vannes d'interception [5].

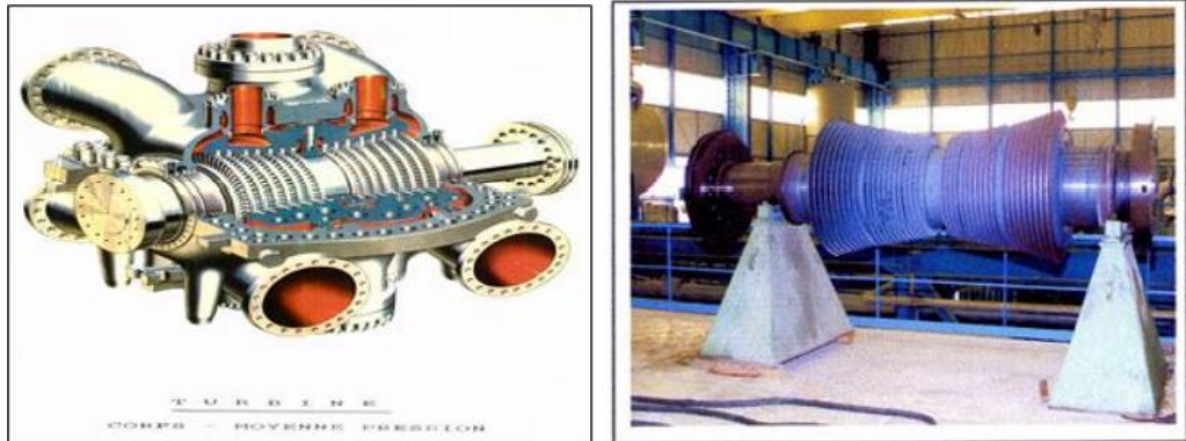
### **b) Paliers :**

Corps MP est disposé entre les corps HP et BP. Il sert à supporter l'enveloppe du corps MP et les rotors des corps MP et BP. Le corps de palier renferme les équipements suivants [5]:

- Capteur de vibration de l'arbre.
- Capteur de vibration du palier porteur.
- Vireur hydraulique.

### **a) Caractéristique du corps MP :**

- Nombre d'étages à réaction : 2x19.
- Pression admission : 35.9bar.
- Température admission : 535°C.
- Débit vapeur : 467.9 T/h.



**Figure II.2 : Corps MP.**

### **II.2.3. Corps Basse Pression (BP)**

#### **a) Fonctionnement :**

Le corps BP est de type à double flux. Il s'agit d'une construction mécano-soudée comprenant une carcasse et une double enveloppe [5].

#### **b) Palier :**

Le corps du palier arrière est disposé entre le corps BP et l'alternateur, il sert à supporter le rotor du corps BP. Il remplace les équipements suivants [5]:

- Capteur de vibration du corps de palier.
- Palier porteur
- Capteur de vibration de l'arbre

#### **C) Caractéristique du corps BP :**

- Nombre d'étage : 2x8.
- Pression : 5.5 bar.
- Température admission vapeur : 282°C.
- Débit vapeur : 406T/h.
- Hauteur de l'ailette du dernier étage : 676.3mm.
- Poids du corps BP équipé : 168103kg.



**Figure II.3 : Corps BP.**

## **II.3. Système de Circuit d'huile**

### **II.3.1 Constitution**

- Une cuve à huile.
- Une pompe à huile principale.
- Deux motopompes plein débit de 1er secours (pompes auxiliaires).
- Deux motos-pompes de soulèvement.
- Deux motopompes de 2eme secours.
- Un réfrigérant d'huile.
- Un organe de réglage de la température d'huile.
- Un filtre à huile double.
- Des dispositifs d'étranglement d'huile.
- Une vanne d'arrêt d'urgence à commande hydraulique.
- Une installation d'aspiration des buées d'huile.

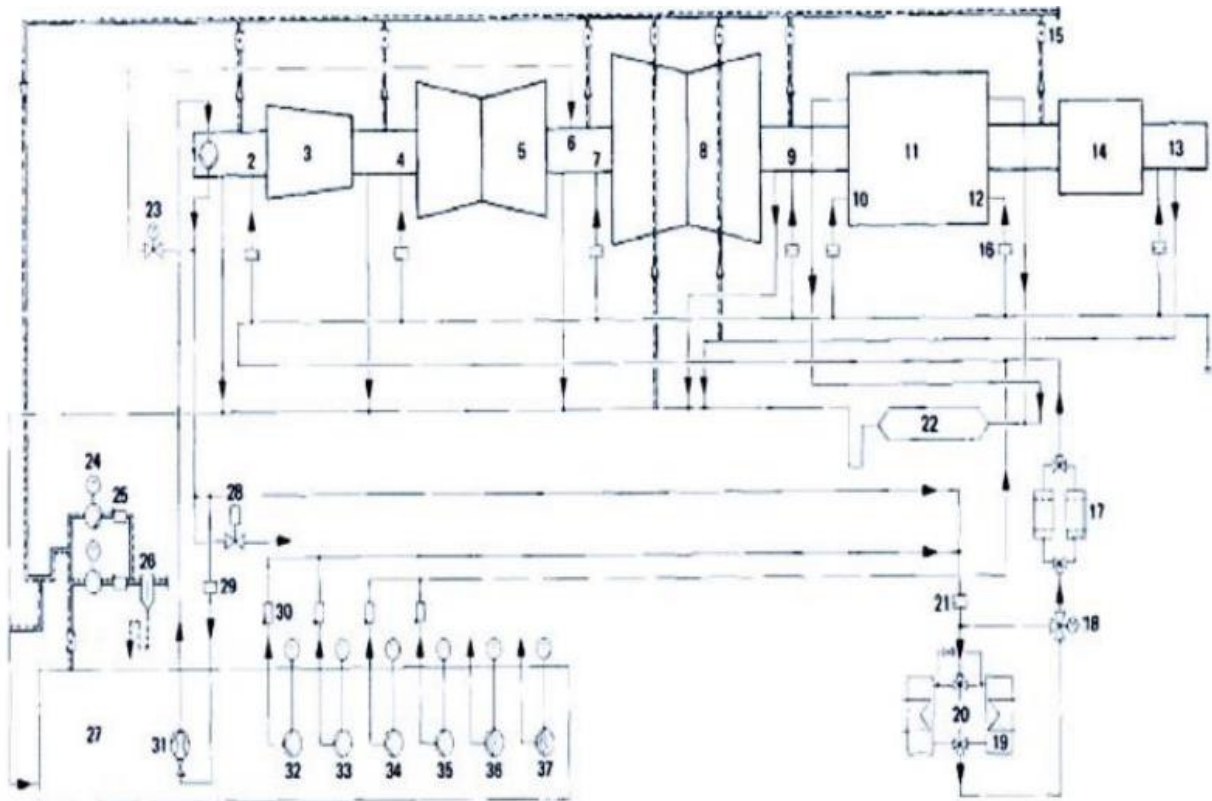


Figure II.4 : Schéma de circuit d'huile turbine.

- |   |  |
|---|--|
| 1. Pompe à huile principale.                        | 20. Inverseur.                                       |
| 2. Palier porteur.                                  | 21. Diaphragme.                                      |
| 3. Corps HP.  | 22. Réservoir d'huile d'étanchéité.                  |
| 4. Palier porteur et de butée.                      | 23. Organe d'arrêt du vireur hydraulique.            |
| 5. Corps MP.  | 24. Ventilateur d'aspiration des buées d'huile.      |
| 6. Vireur hydraulique.                              | 25. Clapet anti retour.                              |
| 7. Palier porteur.                                  | 26. Séparateur d'huile.                              |
| 8. Corps BP.  | 27. Cuve à huile.                                    |
| 9. Palier porteur.                                  | 28. Vanne d'arrêt d'urgence à commande hydraulique.  |
| 10. Palier de l'alternateur.                        | 29. Diaphragme.                                      |
| 11. Alternateur.                                    | 30. Organe anti-retour.                              |
| 12. Palier de l'alternateur.                        | 31. Injecteur.                                       |
| 13. Palier de l'excitatrice.                        | 32. Motopompe plein débit de 1er secours.            |
| 14. Excitatrice.                                    | 33. Motopompe plein débit de 1er secours en réserve. |
| 15. Clapet d'étranglement.                          | 34. Motopompe de 2ème secours.                       |
| 16. Clapet d'étranglement.                          | 35. Motopompe de 2ème secours en réserve.            |
| 17. Diaphragme.                                     | 36. Motopompe de soulèvement.                        |
| 18. Filtre à huile double.                          | 37. Motopompe de soulèvement en réserve.             |
| 19. Organe de réglage de la température de l'huile. |  |

### II.3.2. Fonctionnement

Le circuit d'huile est pour les fonctions suivantes [1] :

- ✓ Assure le graissage et le refroidissement des paliers du groupe.
- ✓ Alimente en huile le vireur hydraulique.
- ✓ Alimente en huile le circuit d'huile de commande.
- ✓ Soulèvement de la ligne de d'arbre.

### II.3.3. Les différents modes de fonctionnement

Les différents modes de fonctionnement sont les suivants [1] :

➤ **Marche normale :**

En marche normale, la pompe principale implantée dans le corps du palier d'extrémité et couplée directement à l'arbre de turbine aspire directement l'huile dans la cuve et la refoule dans le circuit d'huile sous pression.

L'aspiration de l'huile par pompe principale est facilitée par l'injecteur. L'injecteur produit une pression suffisante à l'aspiration de la pompe principale quel que soit le régime d'exploitation.

Ainsi, la pompe principale remplit parfaitement sa fonction et les phénomènes de cavitation qui pourraient se produire à cause de l'huile motrice requise sont prélevés sur le circuit d'huile sous pression et son débit réglé par le dispositif d'étranglement d'huile.

L'huile destinée au circuit d'huile de commande est prélevée sur être sur le circuit sous pression.

L'alimentation en huile du circuit d'huile de commande peut être interrompue brusquement en fermant la vanne d'arrêt d'urgence en cas de risque d'incendie consécutif à une fuite du circuit d'huile de commande.

Le débit d'huile destiné à chaque palier est réglé lors de la mise en service au moyen des dispositifs d'étranglement d'huile.

➤ **Marche avec motopompe plein débit de premiers secours :**

En période de virage, de démarrage et de mise à l'arrêt une des deux pompes plein débit de premier secours entraîné par un moteur triphasé a courant alternatif alimente le circuit sous pression et supplée à la pompe principale aussi longtemps que le débit de cette pompe n'est pas garanti en raison de la vitesse de rotation insuffisante de la turbine.

Lors du virage la vanne d'arrêt est ouverte et les buses du vireur sont alimentées en huile.

➤ **Marche avec motopompe de 2<sup>ème</sup> secours :**

Une des deux pompes de deuxième secours assure l'alimentation en huile de graissage si la pompe principale et les deux pompes de premier secours sont défectueuses. Les pompes de deuxième secours débitent directement dans le circuit de graissage en by-passant les réfrigérants d'huile et évitent la détérioration d'un moteur à courant continu, l'autre par un moteur triphasé à courant continu, l'autre par un moteur triphasé à courant alternatif.

Les pompes de premier et de deuxième secours sont enclenchées automatiquement par la commande partielle dès que la pression de tarage des manostats est atteinte. La pression de tarage est échelonnée en route l'une après l'autre en cas de besoin.

Après graissage et refroidissement des paliers, l'huile retourne à la cuve par un collecteur, à la sortie du réservoir de stockage d'huile, la conduite de retour comporte un siphon qui empêche l'entrée d'hydrogène dans la cuve à l'huile en cas d'incendie sur le circuit d'huile d'étanchéité.

### **II.3.4 Caractéristique d'huile**

L'huile utilisée pour le groupe doit avoir les principales caractéristiques suivantes :

- Viscosité cinématique à 40°C : 31-50,6 mm<sup>2</sup>/s.
- Point d'éclair min 160°C.

Un bon pouvoir de désaéragement est exigé, car l'existence d'air dispersé en quantité supérieure à un certain niveau pose des problèmes pour le fonctionnement des pompes à l'huile et de la régulation hydraulique.

Pour une bonne tenue de l'huile au vieillissement, les températures suivantes ne devraient pas être dépassées :

100% dans les carters de palier

75% pour l'huile de décharge

65% pour la température du mélange dans la cuve à l'huile.

## II.4 Les principaux équipements de système d'huile

### II.4.1 Cuve à l'huile

La cuve à l'huile contient l'huile nécessaire à la lubrification, au refroidissement et à la commande du groupe turbo-alternateur. Elle sert non seulement au stockage de l'huile, mais aussi à son dégazage.

La capacité de la cuve est conçue de manière à assurer, huit fois par heure au maximum la circulation de l'huile contenue dans la cuve [3].

#### - Circulation d'huile dans la cuve :

L'huile provenant du circuit retourne à la cuve par l'orifice d'admission implanté au-dessous de niveau d'huile, puis pénètre dans un compartiment où elle subit un premier dégazage en s'élevant. Elle passe ensuite à travers la crépine dans le compartiment voisin où elle est reprise sur l'autre côté de la cuve par l'injecteur ou la pompe.

#### - Aspiration de l'huile :

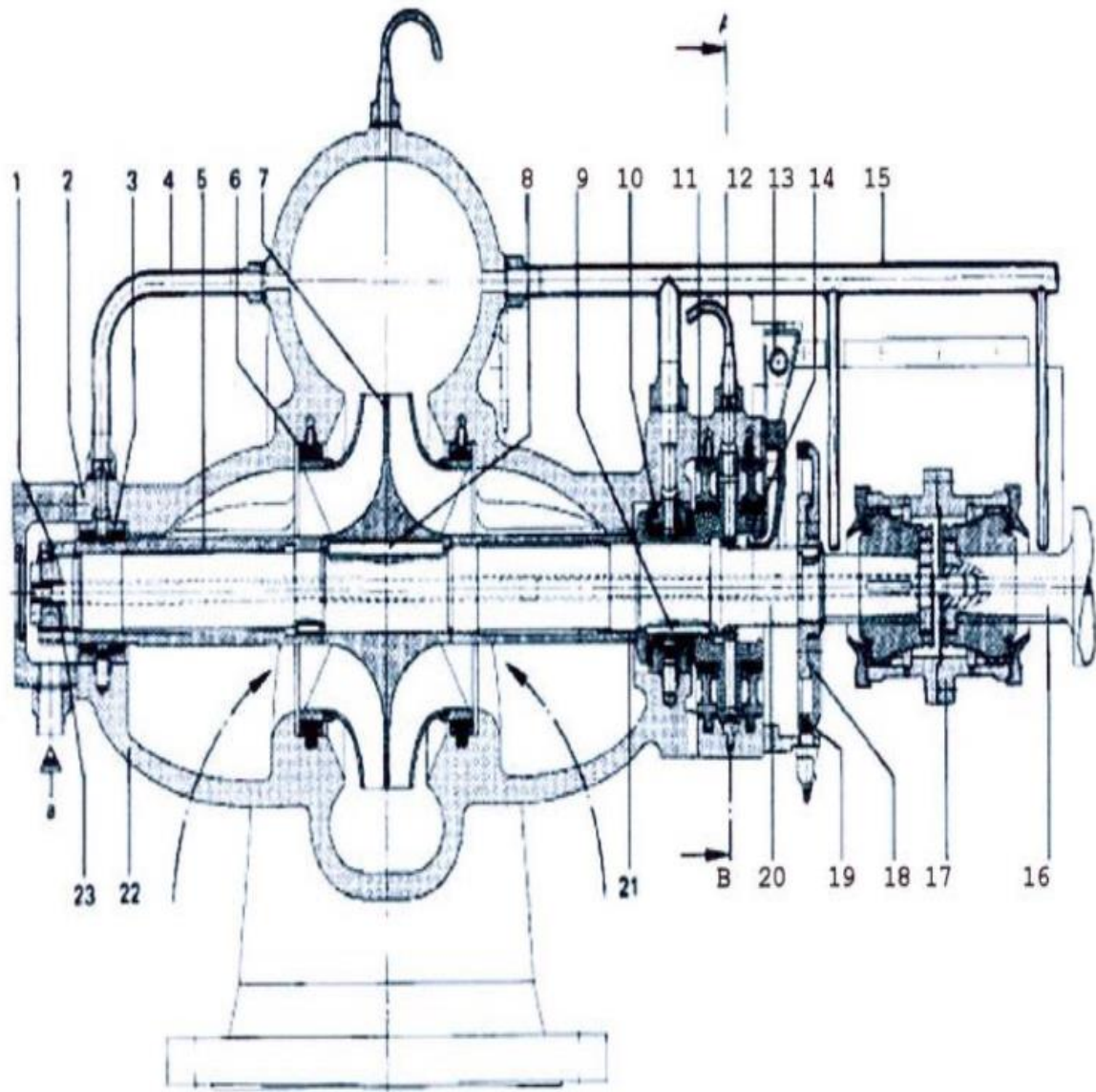
Les corps des motopompes plongent dans l'huile se trouvant dans la cuve et l'aspiration s'effectue au point le plus bas afin de fournir aux circuits raccords une huile aussi dégazée que possible.

Les moteurs d'entraînement des pompes sont fixes sur des plaques de base solidaires du couvercle de la cuve.

### II.4.2. La pompe à l'huile principale

La pompe à l'huile principale implantée dans le palier avant de la turbine alimente le groupe turbo-alternateur en huile, cette huile est utilisée pour le graissage des palières et le refroidissement des tourillons de l'arbre. Elle sert aussi d'huile primaire et d'huile d'essai.

La pompe principale est directement entraînée par le bout d'arbre de la turbine auquel elle est reliée par l'accouplement. Si le groupe est à l'arrêt ou si la pompe principale est défaillante, l'huile est fournie par des pompes de périmètre secours. Ces pompes alimentent aussi l'aspiration de la pompe principale pour l'amorcer jusqu'à ce que la pompe principale puisse aspirer elle-même l'huile dans la cuve située au-dessous [3].



**Figure II.5 : Pompe à l'huile principale.**

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. Bague filetée.                  | 13. Réservoir d'alimentation en huile     |
| 2. Demi- corps supérieur de pompe. | 14. Convertisseur de vitesse hydraulique. |
| 3. Palier porteur.                 | 15. Conduite d'huile.                     |
| 4. Conduite d'huile.               | 16. Bout d'arbre.                         |
| 5. Douille.                        | 17. Accouplement.                         |
| 6. Bague d'étanchéité.             | 18. Convertisseur de vitesse électrique.  |
| 7. Roue.                           | 19. Aimant widia.                         |
| 8. Clavette.                       | 20. Arbre de la pompe.                    |
| 9. Clavette.                       | 21. Douille d'écartement.                 |
| 10. Palier de butée.               | 22. Demi- corps inférieur de la pompe.    |
| 11. Bague.                         | 23. Tube d'huile.                         |
| 12. Purge d'air.                   |   |

### **II.4.3 Motopompes plein débit de 1er secours (motopompe auxiliaire)**

Elles assurent l'alimentation en huile du circuit d'huile sous pression en période :

- ✓ Démarrage
- ✓ Mise à l'arrêt
- ✓ Virage

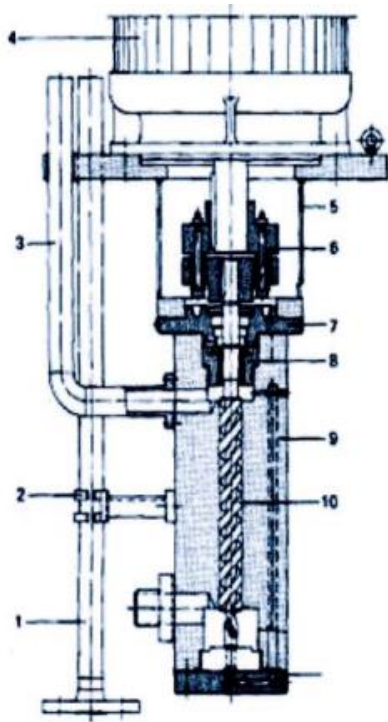
Une des deux moto- pompes est alors mise en service.

La motopompe est une pompe centrifuge verticale à un étage doté d'une roue à aubes radiale et d'un corps en spirale. Elle est montée sur le capot de la cuve d'huile et le corps de la pompe plonge dans l'huile. L'huile pénètre dans la tubulure d'aspiration à la partie inférieure et est véhiculée dans la conduite de refoulement de circuit d'huile sous pression par l'intermédiaire d'un tube.

L'arbre de la pompe est supporté dans le corps de la pompe par un palier lisse d'une part et par un palier à roulement à billes d'autre part, monté dans le boîtier de palier. Le palier à roulement est lubrifié par l'intermédiaire d'une tuyauterie alimentée à partir de la chambre de refoulement de la pompe. Le palier lisse est lubrifié par l'intermédiaire d'un orifice débouchant également dans la chambre de refoulement [3].

### **II.4.4 La motopompe de soulèvement**

La pompe de soulèvement est une pompe auto amorçant à trois vis à palier interne de la Société Allweiler. Elle refoule l'huile nécessaire pour soulever le rotor à bas régime [3].



1. Conduite de retour.
2. Support.
3. Conduite de refoulement.
4. Moteur.
5. Lanterne.
6. Accouplement.
7. Couvercle de pompe (côté commande).
8. Grain fixe.
9. Corps de la pompe.
10. Vis de commande.

**Figure II.6 : La pompe de soulèvement.**

#### **II.4.5 Motopompe de 2eme secours**

La motopompe de deuxième secours est implantée sur couvercle de la cuve à l'huile, et immergée dans la capacité d'huile, celle est entraînée par un moteur électrique boulonné sur le couvercle.

Elles ont pour fonction l'alimentation en huile du circuit d'huile sous pression en cas de défaillance de la pompe à huile principale et des deux Motopompes pleines à huile débit de 1er secours. Une des deux motopompes de 2eme secours est alors mise en service.

Même constitution que la motopompe plein débit de 1er secours, mais conçue pour un débit et une pression de refoulement plus faible [3].

#### **II.4.6 Réfrigérant d'huile**

Les réfrigérants d'huile servent à refroidir l'huile de graissage avant son entrée dans les paliers du groupe lorsque le circuit d'huile sous pression est alimenté par la pompe à huile principale ou une motopompe plein débit de 1er secours.

Pendant que l'un des réfrigérants est en service, l'autre est en réserve et isolé à l'aide d'un inverseur [3].

#### **II.4.7 Organe de réglage de la température d'huile**

La soupape de réglage sert à régler la température de l'huile de graissage à une valeur de consigne de 45°

Selon la position de la soupape, l'huile de graissage peut emprunter les parcours suivants [3]:

- Toute l'huile passe dans le réfrigérant d'huile.
- L'huile passe en partie dans le réfrigérant d'huile, en partie dans la conduite by-pass.
- Toute l'huile passe dans la conduite by-pass.

#### **II.4.8 Filtre à l'huile double**

Deux filtres à l'huile sont prévus pour nettoyage continu de l'huile de graissage et de refroidissement des paliers. Grass au système d'inverseur de marche il est possible de permuter les filtres (en cas d'encrassement de celui étant en service) sans perturbation du fonctionnement du groupe turbo- altérateur [3].

#### **II.4.9 Dispositif d'étranglement d'huile**

Le dispositif d'étranglement d'huile place directement en amont des paliers dans le circuit sous pression sert au réglage de la quantité d'huile nécessaire pour les paliers.

#### **II.4.10 Vanne d'arrêt d'urgence a commandé hydraulique**

La vanne d'arrêt d'urgence interrompt brusquement l'alimentation en huile des organes de réglage et sécurité en cas de risque d'incendie consécutif à une fuite d'huile sur le circuit d'huile de commande.

La fermeture de la vanne peut être déclenchée par un des boutons poussoirs qui se trouvent a des endroits appropriés, par exemple à proximité de groupe.

#### **II.4.11 Ventilateur des buées**

Après graissage et refroidissement des paliers, l'huile retourne à la cuve. Les buées d'huile se formant dans les corps des paliers, les conduites d'huile de retour et de cuve à l'huile sont espérées par les ventilateurs d'aspiration des buées. L'huile connue dans les buées est extraite dans un séparateur d'huile puis amenée un réservoir d'huile de fuite.

## II.5. L'instrumentation de circuit d'huile turbine

On appelle contrôle l'observation des valeurs de différents paramètres qui caractérise un procédé technologique et la récolte des informations sur l'état de l'équipement et le fonctionnement.

### II.5.1 Les capteurs

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle.

Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles.

Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie), on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de natures électrique ou pneumatique.

Dans les systèmes automatisés séquentiels, la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), analogique (dans ce cas, il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique) [5].

#### a. Les capteurs analogiques :

Les capteurs analogiques servent à transformer une grandeur physique en une autre de type variation d'impédance, de capacité ou d'inductance.

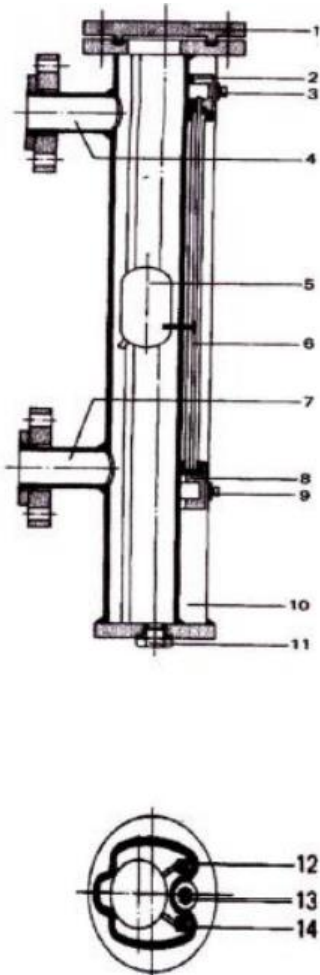
Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique qu'il représente peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné. Ainsi, on peut dire que la tension de secteur sinusoïdale (220V AC) est un signal de type analogique [5].

#### b. Les capteurs tout ou rien (TOR) :

Ces sont des capteurs qui nous donnent des signaux sur l'état d'un système sous forme binaire, par exemple : vanne ouverte ou fermée.

## II.5.2 Indicateur de niveau

L'indicateur de niveau est utilisé lorsque les tubes de verre ne conviennent pas pour des raisons de sécurité.



Tableaux II.2 : Caractéristiques d'un indicateur de niveau.

Numéro	Désignation
1	Bride tampon
2	Supports
3	Vis de fixation
4	Piquage
5	Flotteur
6	Tube de verre à échelle graduée
7	Piquage
8	Supports
9	Vis de fixation
10	Tube profile
11	Bouchons de vidange
12	Aimants permanents
13	Aimant suiveur
14	Aimant permanent

Figure II.7: Indicateur de niveau.

## II.5.3 Les convertisseurs

### II.5.3.1 Les convertisseurs électriques de vitesse

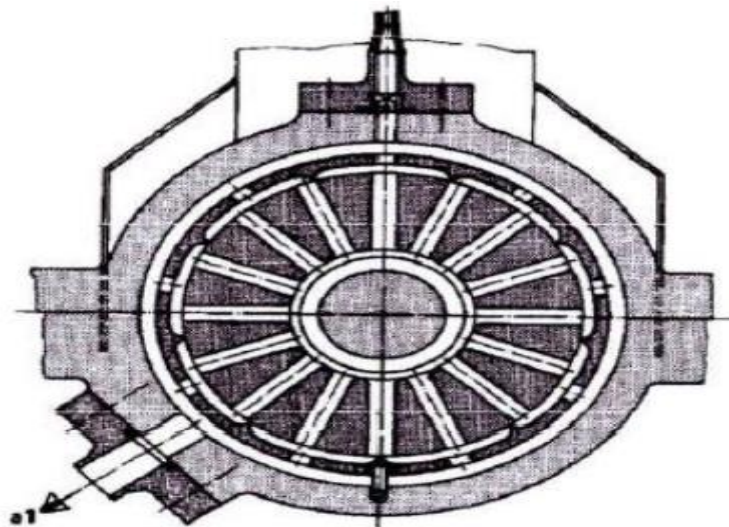
L'indication à distance de la vitesse de rotation est assurée par un convertisseur de mesure électrique de vitesse de rotation, monté sur l'arbre de la pompe d'huile principale.

Le convertisseur se compose d'un disque (en aluminium) comportant 60 paires d'aimants permanents montés dans un orifice réparti en périphérie du disque.

Étant donné que ce disque magnétique est solidaire de l'arbre de la pompe de l'huile principale qui elle est solidaire à l'arbre de la turbine, il tourne à la vitesse de rotation de la turbine.

Le disque magnétique tourne devant des générateurs de hall (soude de hall) qui délivrent une impulsion de tension à chaque passage d'un aimant. Les ronds halls sont à nombres de trois, un quatrième est mis à la réserve. Les signaux digitaux venant des ronds halls sur trois voies sont transformés en un signal analogique par l'intermédiaire d'un convertisseur fréquence tension.

Un circuit de sélection choisi la série d'impulsion moyenne, qui est converti en une tension continue par convertisseur fréquence tension. En cas de défaillance sur voie, la commutation est effectuée sur une autre [3].



**Figure II.8 : Coupe transversale du convertisseur de vitesse.**

### **II.5.3.2 Les convertisseurs électro hydrauliques**

Le convertisseur électro hydraulique constitue l'interface entre la partie électrique et la partie hydraulique de la régulation turbine. Il convertit le signal électrique, correspondant à la pression d'huile secondaire.

#### **a. Constitution :**

Il est constitué d'une bobine électrique mobile dont le moyen est solidaire à un tiroir de commande par une tige, d'un piston moteur (amplificateur) qui est relié à trois pistons Asservis

à l'aide d'un levier, une douille, un ressort et deux transformateurs différentiels qui assurent l'asservissement électrique [5].

### **b. Fonctionnement :**

Les signaux électriques du régulateur agissent sur la bobine mobile qui actionne le tiroir de commande par l'intermédiaire d'une douille, à l'état d'équilibre, le tiroir de commande se trouve en position de repos, la pression d'huile de fermeture rapide et la force de ressort s'annulant naturellement.

Si le régulateur électrique délivre un ordre d'ouverture aux organes, la douille de la bobine mobile se déplace vers le haut.

La pression sous le tiroir de commande augmente. Le tiroir coulisse vers le haut (principale d'un piston asservi).

L'huile de commande passe sous le piston moteur qui en se déplaçant vers le bas, la pression d'huile secondaire augmente.

Le déplacement du piston moteur actionne le système d'asservissement électrique par l'intermédiaire des transformateurs différentiels.

Les soupapes modératrices s'ouvrent en fonction de l'ouverture des soupapes régulatrices. Ce rapport peut-être modifié par l'intermédiaire du dispositif de réglage des soupapes qui permet de limiter la température du corps HP.

En cas de la rupture du fil de la bobine plongeuse, le régulateur hydraulique se charge immédiatement de réglage, dans ce cas la bobine plongeuse se déplace à la position de fin de course 100% [5].

## **II.5.4 Les détecteurs**

### **II.5.4.1 Détecteurs de survitesse**

Le détecteur de survitesse a pour fonction d'arrêter la turbine en cas de dépassement de la vitesse admissible, il est monté dans le rotor de la turbine.

#### **- Principe de fonctionnement :**

La vitesse de déclenchement est réglée au moyen de la vis (6). Cette vis de réglage sert à déplacer le centre de gravité de la masselotte (4) et au centre par rapport à l'arbre de la turbine de façon que la force de rappel du ressort soit supérieure à la force centrifuge sollicitant la

masselotte, aussi longtemps que la vitesse de la turbine est inférieure à la vitesse de déclenchement.

Dans cette position, la masselotte appuie contre capuchon fileté (1). Si la vitesse de déclenchement est atteinte. La force centrifuge l'emporte sur la force de rappel du ressort (5) et la masselotte (4) est poussée hors de l'arbre de la turbine, ce qui déclenche la fermeture rapide.

#### **II.5.4.2 Les vannes**

##### **➤ Vanne d'arrêt**

La vapeur pénètre dans le corps de la vanne (16) par la tubulure d'admission et arrive au-dessus du clapet principal monobloc avec la tige de la vanne (13).

Des bagues (12) assurent l'étanchéité de la tige au passage à travers la douille de guidage (9). De plus, lorsque la vanne est ouverte, le clapet pilote vient appuyer sous l'action de la vapeur, avec son portage d'étanchéité arrière contre vis (14) qui se trouve repoussée à son tour contre le grain de fond.

Ce système complet l'étanchéité de la traversée de la tige. la tige et le clapet est doté d'une protection anti-torsion.

La douille (9) est fixe au corps (16) par une bague fileté (10).

L'étanchéité entre la douille et le corps est assurée par une bague élastique a profil en U (11) dont les branches s'écartant sous effet de la pression de la vapeur et viennent appuyer contre les surfaces d'étanchéité du corps [5].

##### **➤ Soupape de réglage**

Le clapet (18) et la tige de manœuvre de la soupape de réglage forment un ensemble monobloc.

Des orifices de décharge sont percés dans le clapet pour diminuer l'effort d'ouverture de la soupape.

Le clapet et sa tige (18) sont guidés par douille, des bagues (21) assurent l'étanchéité de la tige au passage à travers la douille.

Lorsque la soupape est complètement ouverte, le portage à d'étanchéité arrière du clapet appuie contre le gain de fond (19).

Ce système complète l'étanchéité de la traversée de la tige, comme sur la vanne d'arrêt, la douille est fixe au corps (16) par une bague filetée (23) et l'étanchéité entre la douille et le corps est assurée par réglage est actionnée par le piston de servomoteur (27) qui consiste par un ressort Belleville à la fermeture et par l'huile motrice à l'ouverture.

Le déclencheur de la fermeture rapide ou un incendie sur circuit de régulation provoque la fermeture brusque de la vanne d'arrêt et de la soupape de réglage [5].

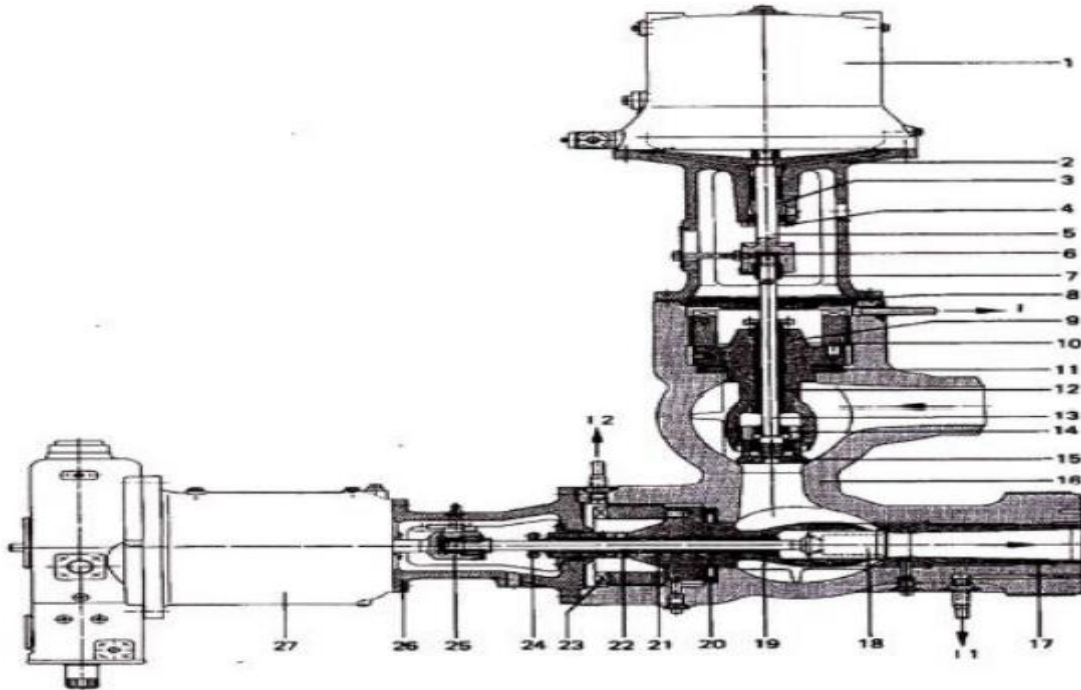


Figure II.9 : Vanne d'arrêt et soupape de réglage.

## II.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présente le système d'huile turbine qui assure le graissage des groupes turbo-alternateur dont il permet de lubrifier les paliers de la ligne d'arbre (turbine, alternateur) et d'une part d'alimenter en huile le circuit de contrôle du régulateur de vitesse de la turbine

Ensuite nous avons étudié les différents organes de système. Et on a dévoilé les problèmes qui causants le mal fonctionnement de système.

## *CHAPITRE III*

# *PRINCIPAUX DEFAUTS DES MACHINES TOURNANTES ET TECHNIQUES DES RNA*

### III.1. Introduction

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) consistent en un ensemble d'outils et de méthodes de calcul. Ils sont caractérisés par leur capacité d'apprentissage, de généralisation, de mémorisation, de classification, d'adaptation et de décision. Ils sont appliqués dans divers domaines, tel que la reconnaissance de formes, le contrôle et la robotique. En maintenance industrielle, les réseaux de neurones sont utilisés pour résoudre les problèmes du diagnostic par la classification automatique des signaux et des formes correspondants aux différents états de fonctionnements normaux et anormaux des machines.

Ce chapitre est divisé en trois parties. Dans la première partie, nous présentons quelques principaux défauts des machines tournantes. La deuxième quelques notions fondamentales sur la maintenance industrielle, diagnostic et la surveillance. La troisième partie contient une synthèse, de quelques généralités sur les réseaux de neurones artificiels

### III.2. Typologie de défauts

Un défaut est défini comme étant un écart non permis entre la valeur réelle d'une caractéristique du système et sa valeur nominale. Trois types de défauts sont distingués, comme illustré sur la Figure III.1 :

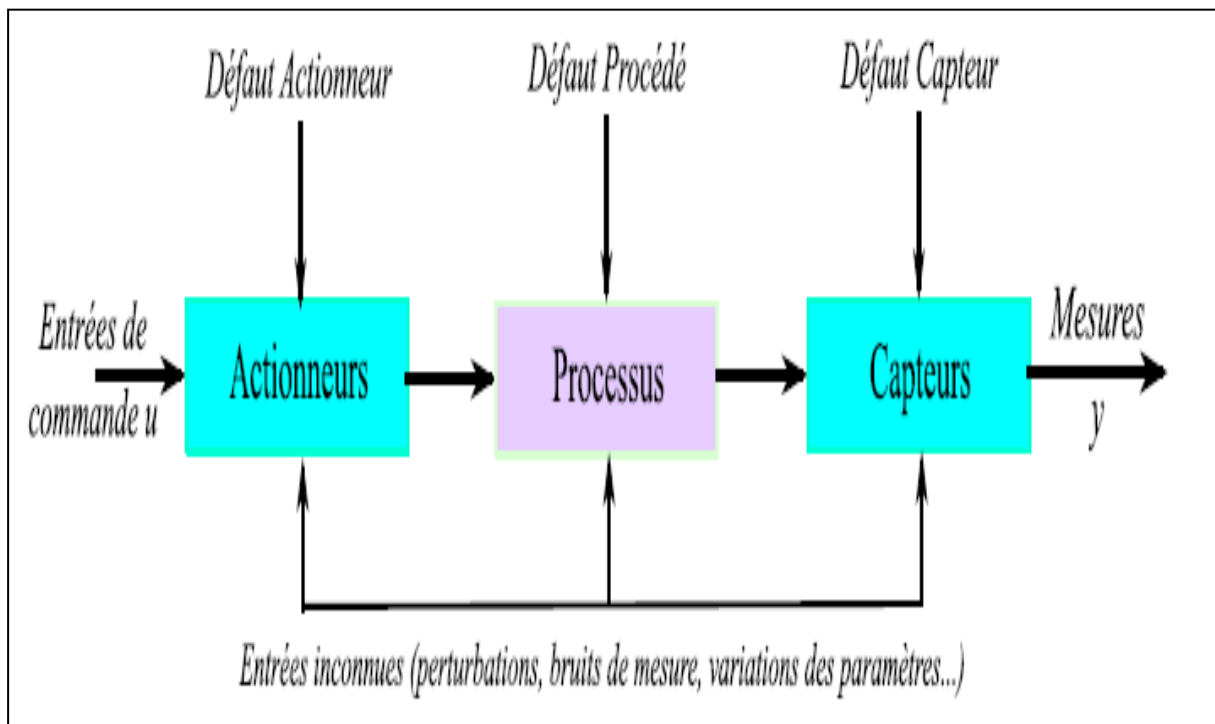


Figure III.1. Différents types de défauts d'un système physique.

- **Défauts capteurs :** Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. Ainsi, un défaut capteur caractérise une mauvaise image de la grandeur physique à mesurer. Pour les systèmes en boucle fermée, les mesures issues de ces capteurs sont utilisées pour la génération du signal de commande.
- **Défauts actionneurs :** L'actionneur est un élément de la partie opérative (d'un système physique) capable de produire un phénomène physique (déplacement, dégagement de chaleur, émission de lumière . . .) à partir de l'énergie qu'il reçoit. En conséquence, les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative. Ils s'additionnent aux signaux de commandes du système, et engendrent des problèmes liés aux organes qui agissent sur l'état du système.
- **Défauts composants (Défauts système) :** Les défauts composants sont des défauts qui affectent les composants du système lui-même. Ce sont les défauts qui ne peuvent pas être classifiés ni parmi les défauts actionneurs ni parmi les défauts capteurs. Ce type de défauts correspond à une dégradation des composants du système par un changement des paramètres internes.

### III.3. Principaux défauts des machines tournantes

#### III.3.1. Le déséquilibre massique des rotors (balourd)

Le balourd est un défaut qui se rencontre en présence du déséquilibre de l'arbre d'une machine tournante. Ce phénomène se produit à la vitesse de rotation et est causé par une mauvaise répartition spatiale des masses dans la structure, entraînant un déplacement du centre de gravité en dehors de l'axe géométrique du rotor de la machine tournante.

La force engendrée par le balourd est fonction de la masse, et du rayon du cercle sur lequel le rotor tourne [4]

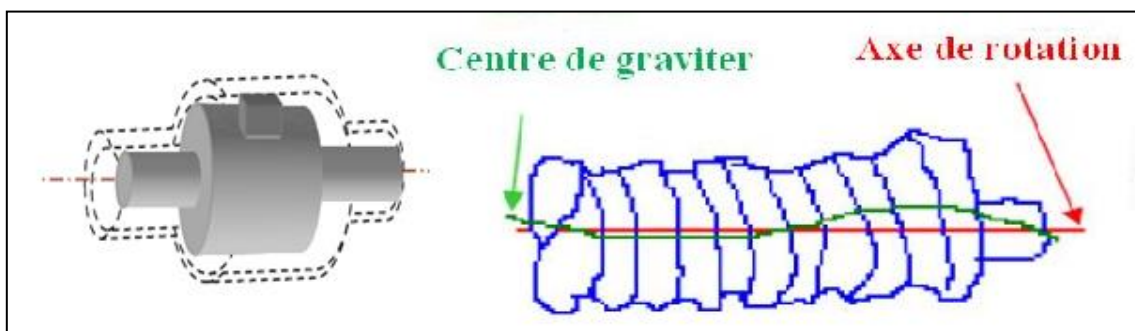


Figure III.2. Représentation de défaut de balourd [4].

### III.3.2. Désalignement

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux palies soutenant le même axe [06].

On distingue deux types de désalignement :

- 1- **Désalignement parallèle** : Il se produit quand les axes de rotation des deux machines ont le même angle d'orientation, mais ils sont séparés verticalement, chacun de l'autre.

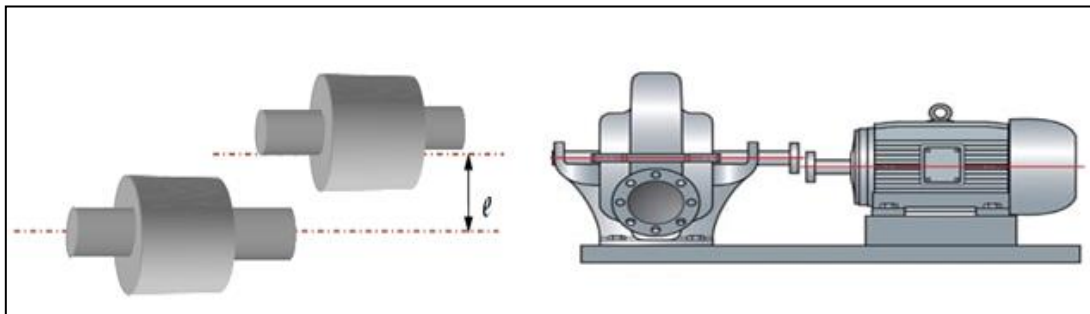


Figure III.3. Désalignement parallèle [06].

- 2- **Désalignement angulaire** : Il se produit quand l'axe de rotation de deux machines à un angle différent.

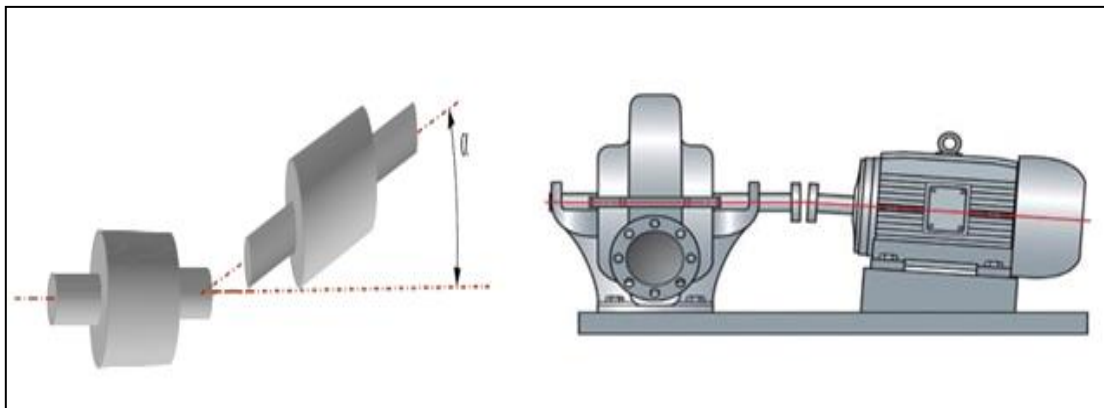


Figure III.4. Figure désalignement angulaire [06].

Dans le cas d'une turbine à gaz on parle généralement de désalignement de l'accouplement entre le système de démarrage (moteur de lancement ou turbine à détente) et la turbine à gaz côté compresseur axial de la turbine [4].

### III.3.3. Défauts des roulements

Souvent pour le guidage en rotation, de nombreuses machines tournantes comme les turbines à gaz sont équipées de paliers de roulements car ils présentent une meilleure solution pour lutter contre le frottement pour les organes de machines en mouvement de rotation [4].

Les roulements en général se constituent par : Bague extérieure, bague intérieure, cage et bille.

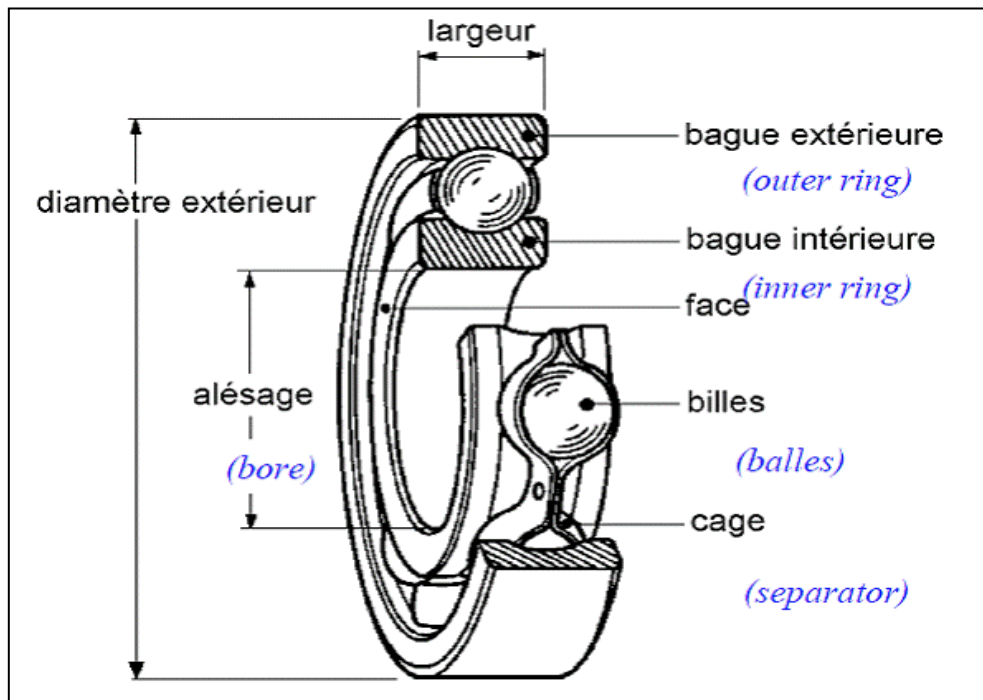


Figure III.5. Roulement à billes [4].

- **Défaut sur la bague interne** : Il est caractérisé par la présence d'une raie à la fréquence caractéristique du défaut noté par  $f_{bi}$  :

$$f_{bi} = \frac{N}{2} \left( 1 + \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) (f_{rot} - f_{ext}) \quad (\text{II.3.1}).$$

Avec :

$f_{rot}$  : Fréquence de rotation de la bague interne.

$f_{ext}$  : Fréquence de rotation de la bague externe. En général elle est prise égale à zéro, si la bague extérieure est emmanchée (fixée) dans le carter.

$N$  : Vitesse de rotation ;

$d_b$ : Diamètre des billes ;

$d_m$ : Diamètre moyen,

$\alpha$  : angle de contact.

- **Défaut sur bague externe** : Ce défaut est caractérisé par la présence d'un pic à la fréquence noté par  $f_{be}$  :

$$f_{be} = \frac{N}{2} \left( 1 - \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) (f_{rot} - f_{ext}) \quad (\text{II.3.2}).$$

- **Défauts sur les éléments roulants** : La première fréquence caractéristique de défauts correspond à la fréquence de rotation de l'élément roulant  $f_{er}$  sur lui-même.

De plus, cet élément roulant rencontre une première fois la bague interne et une seconde fois la bague externe dans chaque tour. Alors, il génère des chocs à deux fois cette fréquence.

$$f_{er} = \frac{1}{2} \frac{d_m}{d_p} \left( 1 - \left( \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) \right) (f_{rot} - f_{ext}) \quad (\text{II.3.3}).$$

- **Défauts sur la cage** : Ces défauts se manifestent par la présence d'un pic à la fréquence  $f_{cag}$  et ses harmoniques.

$$f_{cag} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{d_d}{d_m} \cos(\alpha) \right) f_{rot} + \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{d_d}{d_m} \cos(\alpha) \right) f_{ext} \quad (\text{II.3.4}).$$

- **Défaut de vibrations d'un roulement** :

Les vibrations générées au sein d'un roulement sont de faible amplitude, ressemblant à un bruit aléatoire. Lors de l'apparition d'une avarie, une impulsion se produit chaque fois que le défaut participe à un contact. L'avarie a donc une fréquence caractéristique qui dépend de la géométrie du roulement et de l'emplacement de l'écaillage (sur la bague intérieure, sur la bague extérieure, ou sur un élément roulant).

### III.3.4. Défaut de vitesse d'une turbine à gaz

#### ➤ Défaut de survitesse

Le défaut de survitesse survient des troubles dans le circuit de régulation de vitesse ou des troubles de la charge elle-même, il est causé également par une température excessive et mauvais équilibrage des vannes.

La survitesse est dangereuse et risque de faire exploser les rotors, pour cela on trouve souvent les dispositions pour se protéger de la survitesse.

Le système de protection est un système électrique dont les composants principaux sont indiqués ci-dessous [4] :

- ✓ Capteurs magnétiques de vitesse ;
- ✓ Un appareil électrique ;
- ✓ Système logique de relais de protection survitesse ;
- ✓ Tableau d'affichage.

#### ➤ Défaut de sous-vitesse

Le défaut de sous-vitesse indique une vitesse de rotation insuffisante de la turbine à gaz. Ce défaut est généralement causé par :

- ✓ Un déséquilibre du triangle de feu (air, fuel, étincelle), dû à une dégradation de l'état des aubes du compresseur axiale (mauvaise compression d'air) ;
- ✓ Un mauvais équilibrage des vannes du gaz ;
- ✓ Excès de température ;
- ✓ Défaillance dans les capteurs de vitesse ;
- ✓ Déséquilibre au niveau du système de vireur.

## III.4. Quelques notions fondamentales sur la maintenance industrielle

### III.4.1. Définition

Selon la norme AFNOR X 60-010, la maintenance est définie comme suite :

« C'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié en mesure d'assurer un service déterminé ».

### III.4.2. Différents types de maintenance

Les différents types de la maintenance sont illustrés dans le diagramme suivant :

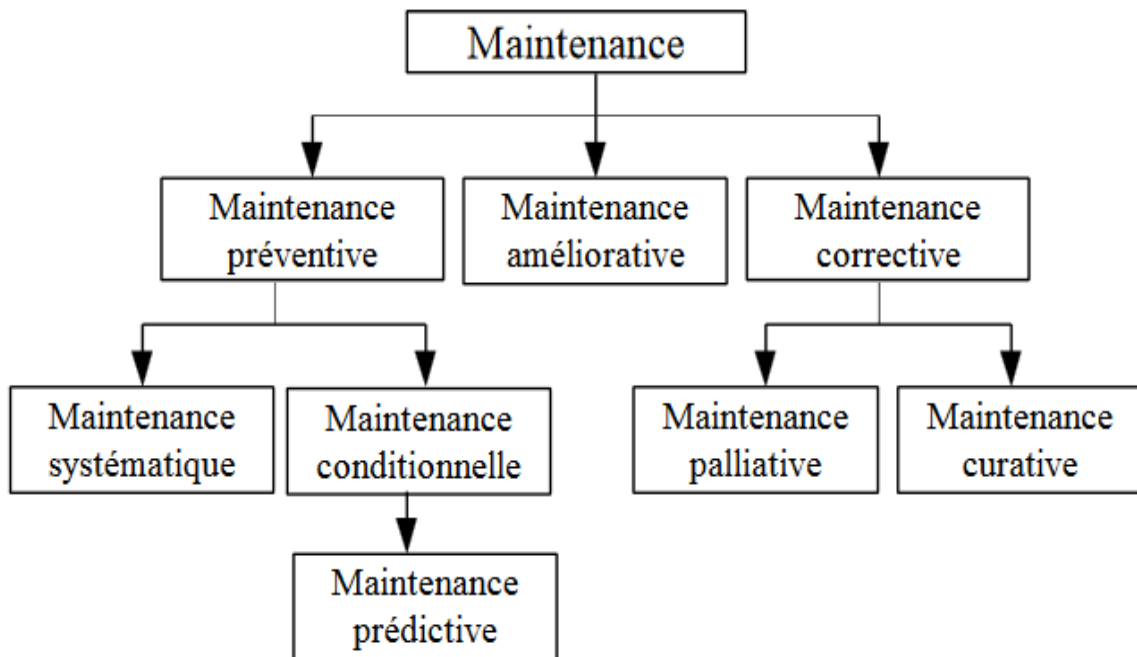


Figure III.6. Les différents types de maintenance.

#### III.4.2.1. Maintenance préventive

Elle vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système, pour cela elle s'appuie sur la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle. La maintenance préventive se divise en deux formes essentielles.

- **Maintenance préventive systématique** : C'est la maintenance qui est effectuée selon un échancier établi en fonction du temps, ou du nombre d'unités d'usage. Elle se pratique quand on souhaite procurer un équipement pour une sécurité de fonctionnement.

- **Maintenance préventive conditionnelle** : C'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation du bien. Cette forme de maintenance permet d'assurer une surveillance continue des points sensibles de l'équipement au cours des visites préventives dont le rôle est d'éliminer les pannes accidentelles ou de les réduire à un niveau acceptable. [8]

### III.4.2.2. Maintenance corrective

La maintenance corrective (appelée également réactive) est exécutée après détection d'une panne et est destinée à remettre un bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise. Ainsi l'application d'actions relevant de la maintenance corrective vient en réponse directe à l'apparition d'une défaillance [6].

La figure II.7 présente ces activités qui touchent généralement deux types d'intervention :

- Les interventions palliatives qui remettent le système en état de fonctionnement provisoire ;
- Les interventions curatives permettant de réparer le système d'une manière définitive.

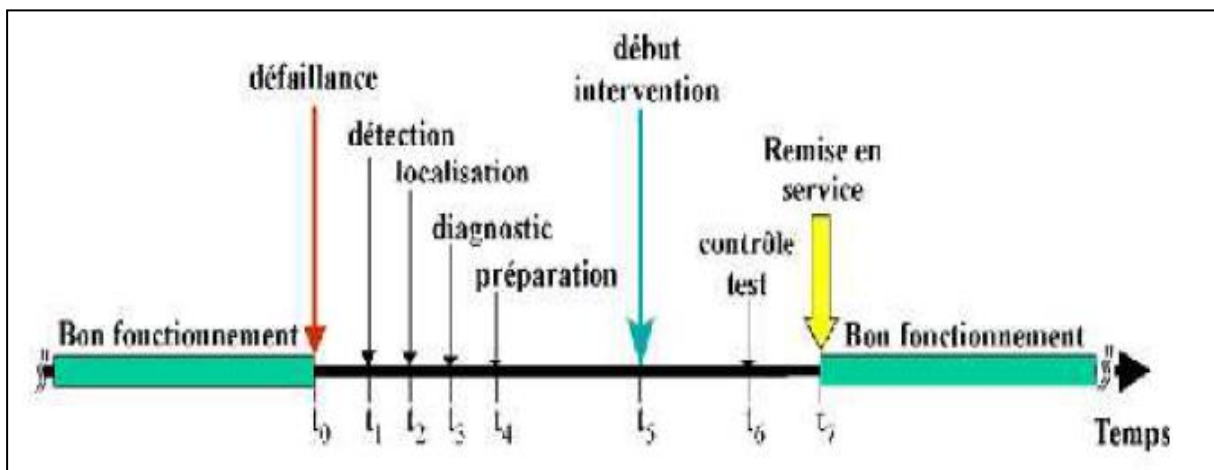


Figure III.7. Principe de la maintenance corrective.

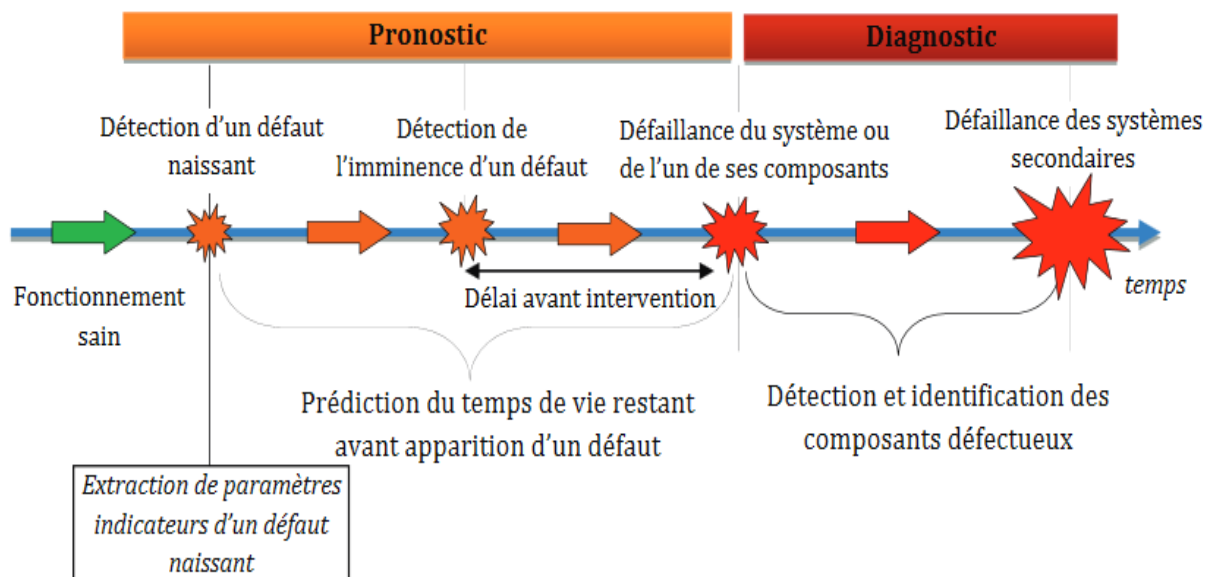
### III.4.2.3. La maintenance améliorative

L'amélioration des biens d'équipement est un « ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise » (norme NF EN 13306). On apporte donc des modifications à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer la maintenabilité.

### III.4.3. Le diagnostic et pronostic pour la maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle nécessite une approche prédictive. Celle-ci fournit au personnel de la maintenance une indication sur l'état futur du système et, idéalement, octroie un délai suffisant pour que le personnel, l'équipement et les pièces de rechange soient organisés, minimisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts de maintenance [8].

La figure III.8 présente les étapes d'un processus de traitement d'un défaut éventuel au niveau d'un système. Ce système est considéré comme étant en état de marche au début, puis, après un certain temps, un défaut naissant se développe dans le système. Au fil du temps, la sévérité du défaut augmente jusqu'à la dégradation totale du système. Si le système est autorisé à poursuivre son fonctionnement, il y a une possibilité de voir apparaître d'autres défauts.



**Figure III.8. Schéma synoptique de Pronostic et diagnostic pour la maintenance.**

Le processus de diagnostic intervient généralement au moment de l'apparition d'un défaut et/ou dans l'intervalle entre la défaillance du système et la défaillance des systèmes secondaires. Toutefois, si un défaut naissant peut être détecté à un stade précoce, alors, les opérations de maintenance pourront être retardées jusqu'à ce que l'état du système évolue vers un état plus dégradé. Cet intervalle, entre la détection d'un défaut naissant et son apparition, définit le domaine (temporel) du pronostic. Fournir un intervalle suffisant, communément appelé temps de vie restant, entre la détection du défaut naissant et la défaillance du système, permet de mieux exploiter le système et réduire d'avantage les opérations de maintenance.

Pour mettre à profit les avantages du pronostic, le personnel de la maintenance doit :

- Disposer de techniques permettant de détecter et d'identifier un défaut naissant ;
- Avoir une estimation fiable du temps qui reste avant l'intervention, à savoir le temps restant avant l'apparition d'un défaut.

Le terme « pronostic » trouve son origine dans le mot grec « progignôskein » qui signifie « savoir à l'avance ». Le terme « savoir à l'avance » ou pronostic peut être défini comme la capacité à prédire avec précision la durée de vie restante d'un composant défaillant du système ou sous-système, et aussi anticiper la prise de décision pour les opérations de maintenance.

### **III.4.4. Surveillance et diagnostic**

#### **III.4.4.1. Définitions**

La surveillance est la détection d'une anomalie. Le diagnostic consiste en la détermination des composants défaillants au sein d'un système physique. Il est effectué à travers la localisation et l'identification des défauts, afin de maintenir le fonctionnement nominal du système malgré l'apparition de défauts.

La détection a pour objectif de signaler les comportements qui diffèrent d'un fonctionnement normal. Elle se fait à travers l'enregistrement des informations pouvant indiquer la survenue d'éventuelles anomalies dans le comportement du système. Cette tâche est ensuite complétée par celle de localisation qui doit indiquer quel organe ou quel composant est affecté par le défaut. Enfin, la tâche d'identification a pour objet de caractériser le défaut en durée et en amplitude afin d'en déduire la sévérité [06].

Le diagnostic constitue donc une étape d'une procédure plus complète que nous désignons sous le nom de surveillance. La figure (II.9) montre la structure générale d'un système de surveillance.

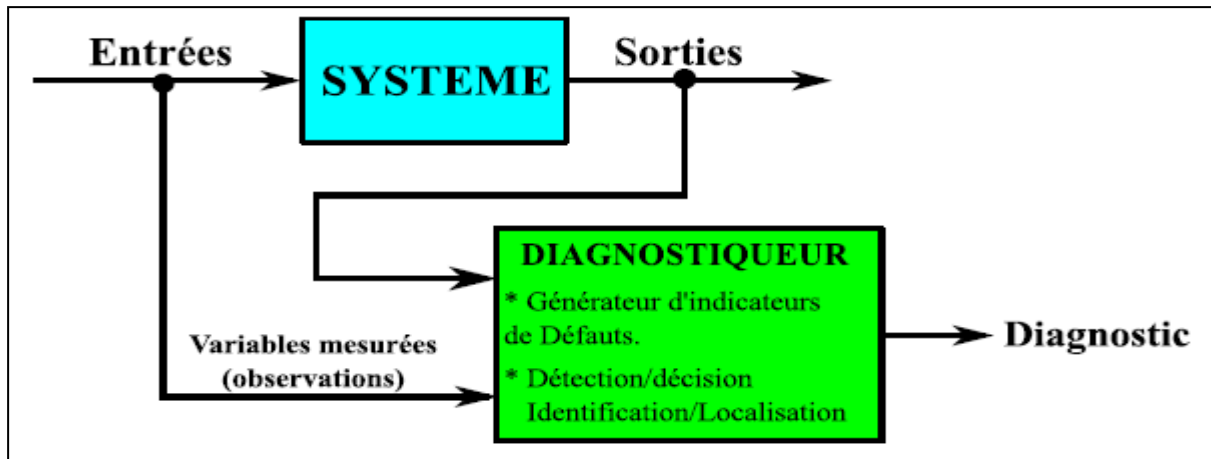


Figure III.9. Structure générale d'une procédure de surveillance et diagnostic [06].

L'identification ou l'estimation du défaut est une tâche plus délicate qui nécessite une modélisation du comportement du système et des connaissances sur les défaillances. Obtenir une estimation du défaut, permet bien entendu de donner une image beaucoup plus précise de l'état du système.

#### III.4.4.2. Classification des méthodes de surveillance et de diagnostic

Les méthodologies de surveillance sont généralement divisées en deux groupes :

- Surveillance avec modèle,
- Surveillance sans modèle.

Les premières se basent sur l'existence d'un modèle formel de l'équipement et utilisent généralement des techniques de l'automatique [04].

Les techniques de surveillances sans modèle sont divisées en deux parties. La première partie correspond aux outils statistiques de traitement du signal qui sont généralement qualifiés d'outils de traitement de bas niveau, parce qu'ils sont en contact direct avec le signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarme brutes, sans aucune information concernant leurs significations. La deuxième partie est celle des techniques dites de haut niveau et qui sont plutôt orientées vers la communication avec l'expert [07]. Celle-ci représentent les techniques de l'intelligence artificielle (IA) et servent comme outil de base pour l'aide à la décision [06].

## III.5. Généralités sur les réseaux de neurones artificiels (RNA)

### III.5.1. Neurone biologique

Comme les réseaux de neurones mis au point par les informaticiens sont largement inspirés de ce que la biologie nous apprend sur ceux que l'on trouve chez les humains, il convient d'abord de décrire brièvement le modèle biologique. Les neurones reçoivent des signaux électrochimiques (impulsions électriques) par les dendrites et envoient l'information par les axones. La connaissance de la structure interne du cerveau biologique et la compréhension de son fonctionnement a été d'une extrême importance pour l'émergence des réseaux de neurones artificiels à la fin de la première moitié de siècle précédent [1].

La figure III.10 représente les éléments d'un neurone biologique.

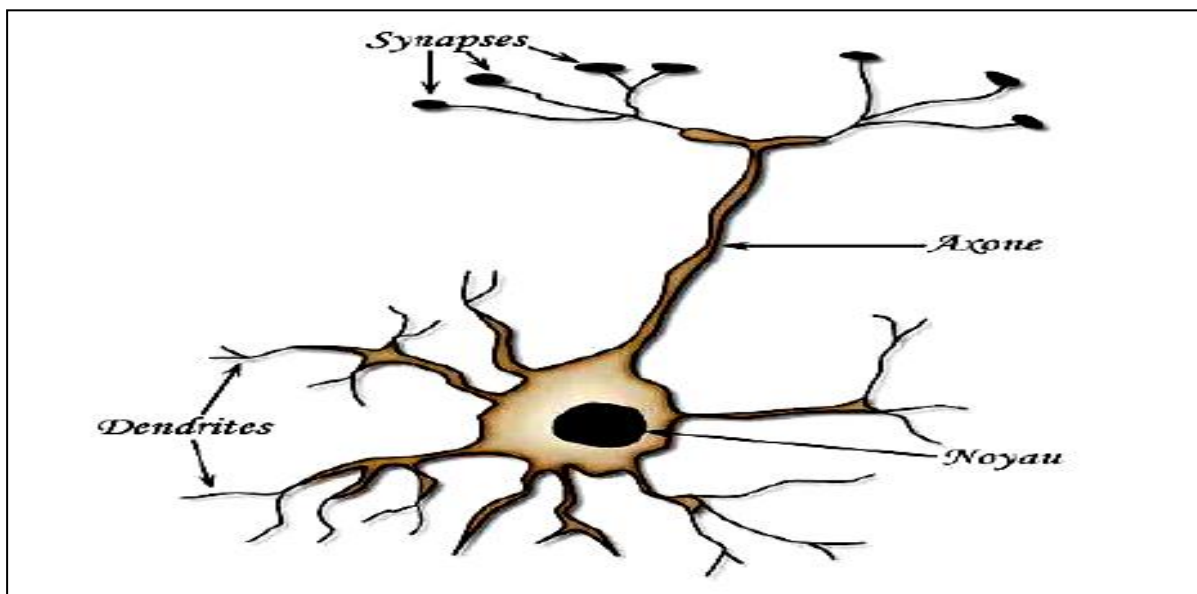


Figure III.10. Le neurone biologique [1].

Le neurone est constitué de :

- **Les dendrites** : ce sont les récepteurs principaux du neurone pour capter les signaux qui lui parviennent.
- **Le corps cellulaire** : Il est composé d'un noyau qui effectue les transformations biochimiques essentielles à la vie de neurone et se ramifie pour former les dendrites, qui établissent la liaison avec d'autres cellules.
- **L'axone** : Il sert de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone. Il se ramifie à son extrémité, là où il communique avec d'autres neurones.

- **Les synapses** : Ils permettent aux cellules nerveuses de communiquer entre elles. Les synapses se rencontrent surtout entre les axones et les dendrites.

### III.5.2. Réseaux de neurones formels

Les réseaux de neurones formels sont à l'origine d'une tentative de modélisation mathématique du cerveau humain.

Un neurone formel est un opérateur effectuant la somme pondérée de ses entrées externes puis elle s'active suivant la valeur de cette sommation pondérée puis modulée par une fonction d'activation (voir figure III.11) [2]

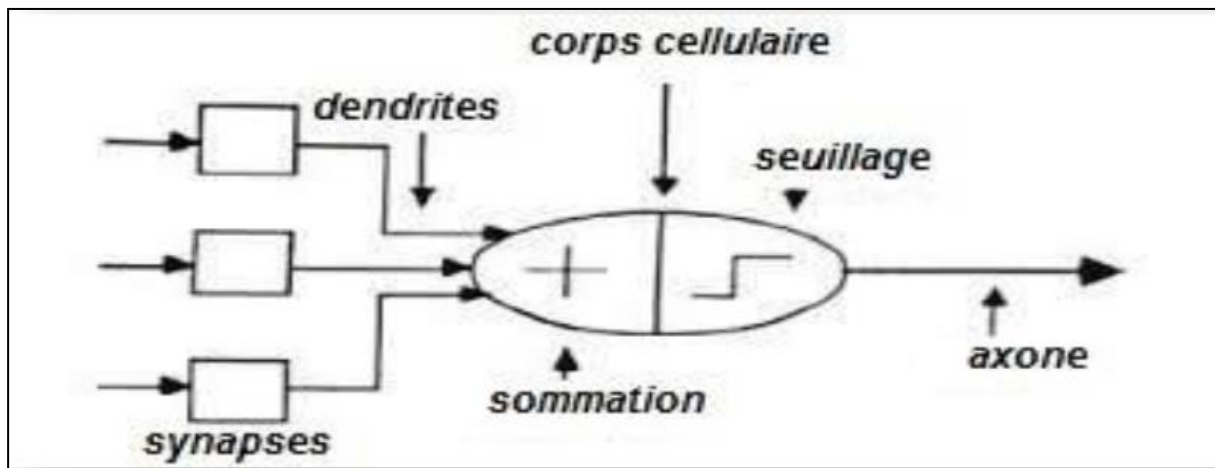


Figure III.11. Le modèle de neurone formel .

### III.5.3. Réseaux de neurones artificiels

Un réseau de neurones artificiels (RNA) est un système d'opérateurs non linéaires interconnectés, recevant des signaux de l'extérieur par ses entrées, et délivrant des signaux de sortie, ces (RNA) sont une métaphore des structures cérébrales et de traitement parallèle et distribué d'information et comportent plusieurs éléments de traitement appelé neurone.

Chaque neurone fonctionne indépendamment des autres de telle sorte que l'ensemble est un système parallèle fortement interconnecté.

L'information détenue par le réseau de neurone est distribuée à travers l'ensemble des constituants et non localisée dans une partie de mémoire sous la forme d'un symbole [6].

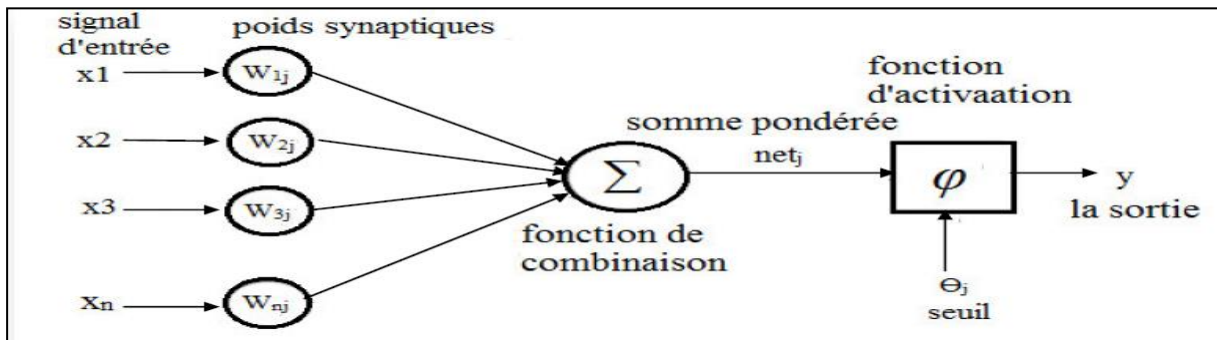


Figure III.12. Le modèle de neurones artificiels.

- La fonction φ est appelée fonction d'activation ; c'est une fonction non linéaire.

Avec :

$$net_j = \sum_{i=0}^n W_i X_i = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n;$$

et  $\begin{cases} y = 1 \text{ si } net_j > \theta_j \\ y = 0 \text{ si } net_j < \theta_j \end{cases}$

➤ Exemple numérique :

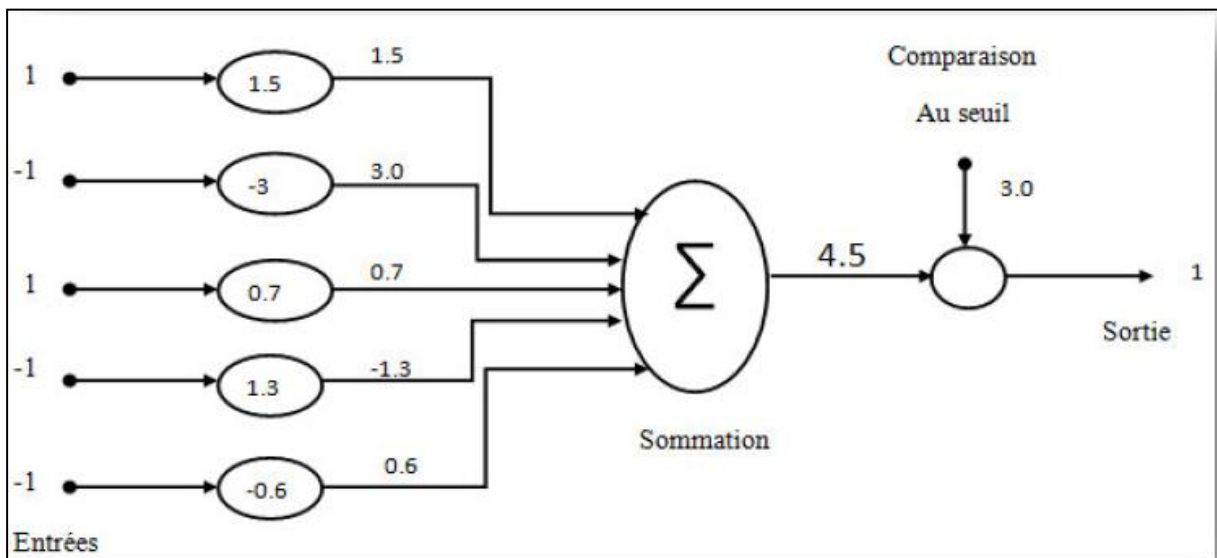
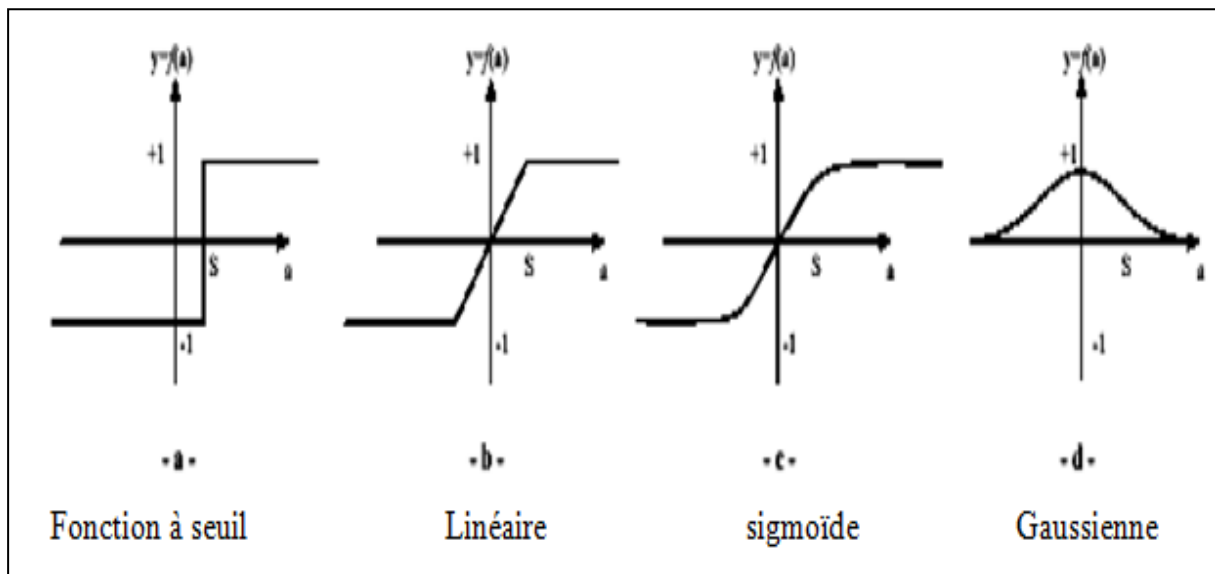


Figure III.13. Exemple de fonctionnement d'un neurone artificiel.

Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction d'activation. Les plus courantes sont présentées sur la figure III.14. On remarquera qu'à la différence des neurones biologiques

dont l'état est binaire, la plupart des fonctions d'activation sont continués, offrant une infinité de valeurs possibles comprises dans l'intervalle  $[0, +1]$  ou  $[-1, +1]$ .



**Figure III.14.** Différents types de fonctions d'activations pour le neurone artificiel.

On peut comparer la correspondance entre les propriétés respectives de neurones biologiques et neurones artificiels comme le montre le tableau II.1 [1].

**Tableau III.1.** Comparaison entre neurone biologique et artificiel.

Système nerveux	Réseau neuronal artificiel.
Neurone	Traitant élément, nœud, neurone artificiel, neurone abstrait.
Le corps cellulaire (soma)	Niveau de l'activation, fonction de l'activation, fonction de transfert, la fonction de la sortie.
Axone	La communication avec d'autre neurone.
Synapse	Poids multiplicatifs.

### III.5.4. Architectures de réseaux de neurones

L'organisation des réseaux de neurones peut se faire à partir de deux grandes catégories d'architecture :

- Les réseaux statiques ;
- Les réseaux dynamiques.

#### III.5.4.1. Les réseaux statique (non bouclés)

Un réseau est non bouclé, ou statique, si son graphe ne possède pas de cycle. Il réalise donc, de manière générale, une relation algébrique non linéaire entre ses entrées et ses sorties. C'est à dire qu'il est obligatoire de représenter un réseau graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux et que l'information circule des entrées vers les sorties sans retour (un seul sens), autrement dit, la sortie courante n'a aucune influence sur les entrées futures [7].

On peut dire que l'utilisation dominante des réseaux non bouclés est l'organisation des réseaux en plusieurs couches de neurones appelés réseaux multicouches ou perceptron multicouches PMC. Un réseau multicouche comporte une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées, et une couche de sortie.

Dans un tel réseau, la sortie de chaque neurone de la couche (r) est reliée à l'entrée de chaque neurone de la couche (r+1). L'architecture des réseaux multicouches est représentée dans la figure III.15.

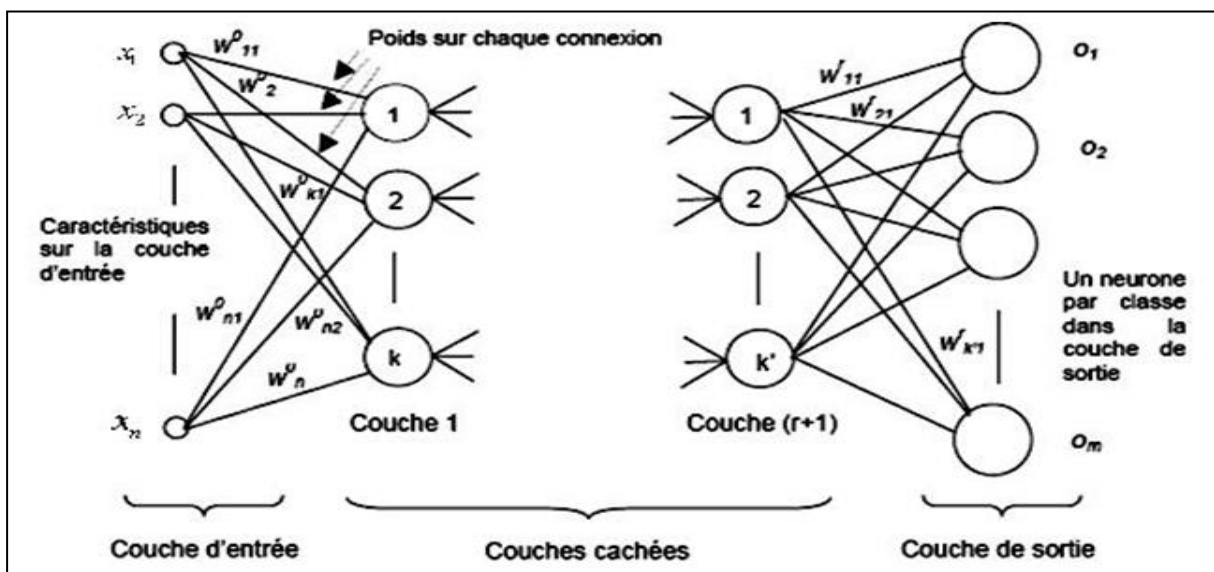


Figure III.15. Réseau multicouche PMC.

Avec :

- $X$  : est le vecteur d'entrée du réseau.
  - $O$  : est le vecteur de sortie du réseau.
  - $W$ : poids synaptiques.
- **Neurones d'entrée** : La première couche est appelée couche d'entrée. Elle recevra les données source que l'on veut utiliser pour l'analyse. Dans le cas de l'aide au diagnostic industriel, cette couche recevra les indicateurs de surveillance. Sa taille est donc directement déterminée par le nombre de variables d'entrées.
- **Neurones cachés** : La seconde couche est une couche cachée, en ce sens qu'elle n'a qu'une utilité intrinsèque pour le réseau de neurones et n'a pas de contact direct avec l'extérieur. Les fonctions d'activation sont en général non linéaires sur cette couche mais il n'y a pas de règle à respecter.
- **Neurones de sortie** : La troisième couche est appelée couche de sortie. Elle donne le résultat obtenu après compilation par le réseau de données d'entrée dans la première couche. Dans le cas de l'aide au diagnostic industriel, cette couche donne l'état de la machine.

#### III.5.4.2. Les réseaux dynamique (bouclés)

Un réseau de neurones bouclé peut avoir une topologie de connexions quelconque, qui ramènent aux entrées la valeur d'une ou plusieurs sorties. Pour qu'un tel système soit causal, il faut évidemment que toute boucle soit associée à un retard. Dès lors, il devient un système dynamique, régi par une ou plusieurs équations aux différences non linéaires, résultant de la composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions. Les réseaux de neurones bouclés sont utilisés pour effectuer des tâches de modélisation de systèmes dynamiques, de commande de processus, ou de filtrage.

Tout réseau de neurone bouclé aussi complexe soit-il peut être mis sous une forme canonique comportant un réseau de neurone non bouclé dont certaines sorties (les variables d'état) sont ramenées aux entrées par des bouclages de retard unité [21].

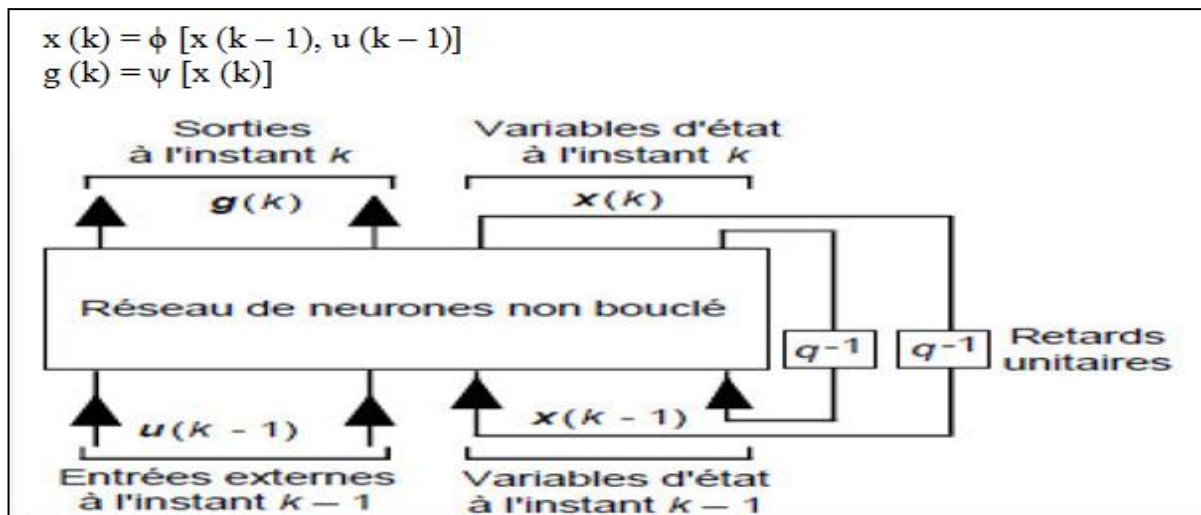


Figure III.16. Réseau dynamique (feed-back) [1].

### III.5.5. Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est probablement la caractéristique la plus intéressante des réseaux de neurones. C'est une période de développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement de réseau est modifié jusqu'à l'obtention d'une réponse désirée.

L'apprentissage est la modification des poids de chaque connexion entre neurones dont le but d'accorder la réponse à ce réseau. Il est souvent impossible de décider a priori des valeurs des poids des connexions d'un réseau pour une application donnée. Il y a deux types d'apprentissage : supervisé et non supervisé [1].

- **Apprentissage supervisé :** C'est généralement le mode le plus utilisé. Son principe est particulier ; on soumet au réseau à un grand nombre d'exemples pour lesquels l'entrée et la sortie associée sont connues et les poids sont modifiés de façon à corriger l'erreur commise par le réseau, le plus répandu algorithmes d'apprentissage supervisé est l'algorithme de *rétro-propagation* du gradient d'erreur qui est appliqué aux réseaux multicouches.
- **Apprentissage non supervisé :** Contrairement aux modes supervisés, seule une base d'entrée est fournie au réseau. Celui-ci doit déterminer lui-même ses sorties en fonction de similarités détectées entre les différentes entrées, c'est-à-dire en fonction d'une règle d'auto-organisation. Il explore la structure des données, ou encore la corrélation entre les modèles d'entrée et les organise à partir de cette corrélation en des catégories.

### III.5.6. Algorithme d'apprentissage de rétropropagation

La méthode classique pour l'apprentissage du perceptron multicouche est l'algorithme de rétropropagation [11]. Cet algorithme repose sur la minimisation de l'erreur quadratique entre les sorties calculées et celles souhaitées.

Le terme rétropropagation du gradient provient du fait que l'erreur calculée en sortie est transmise en sens inverse vers l'entrée.

En résumé, nous utiliserons, pour l'apprentissage du réseau, l'algorithme de rétropropagation avec minimisation du gradient d'erreur qui est défini par les étapes suivantes :

1. Initialiser les poids à des petites valeurs et les seuils du réseau.
2. Insérer à l'entrée du réseau une observation (exemple) de la base de données en forme de vecteur de caractéristiques, puis calculer sa valeur d'activation et sa fonction d'activation :

$$3. \quad net_i = \sum_j w_{ij} o_j \quad (III.5.1)$$

$$4. \quad o_i = f(net_i) \quad (III.5.2)$$

Avec :

$f$  : La fonction d'activation ;

$o_i$  : La sortie du neurone  $i$ .

5. Évaluer l'erreur des sorties du réseau :

$$\delta_j = (d_j - o_j) o_j (1 - o_j) \quad (III.5.3)$$

$d_j$  : La valeur de l'erreur désirée.

6. Ajuster les poids :

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j o_i \quad (\text{III.5.4})$$

$\eta$  : La valeur du taux d'apprentissage.

7. Évaluer le signal d'erreur pour chaque couche cachée :

$$\delta_j = o_j (1 - o_j) \sum_k w_{jk} \delta_k \quad (\text{III.5.5})$$

8. Ajuster les poids de la couche cachée en utilisant la formule (III.5.4)

9. Répéter les étapes 2 à 6 pour l'ensemble des observations de la base d'apprentissage tant que le critère d'arrêt n'a pas été atteint. La formule de calcul de l'erreur quadratique de l'ensemble de la base d'apprentissage définie comme suit :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_p \left( \sum_k d_{pk} - o_{pk} \right)^2 \quad (\text{III.5.6})$$

Où  $p$  est l'indice d'un exemple de la base et  $k$  est l'indice du nœud de sortie. L'objectif est de minimiser cette erreur.

### III.5.7. Déroulement de la classification par le PMC

Le traitement (classification) des différents états d'une machine par la méthode des réseaux de neurones artificiels se fait selon l'organigramme présenté par la figure III.17.

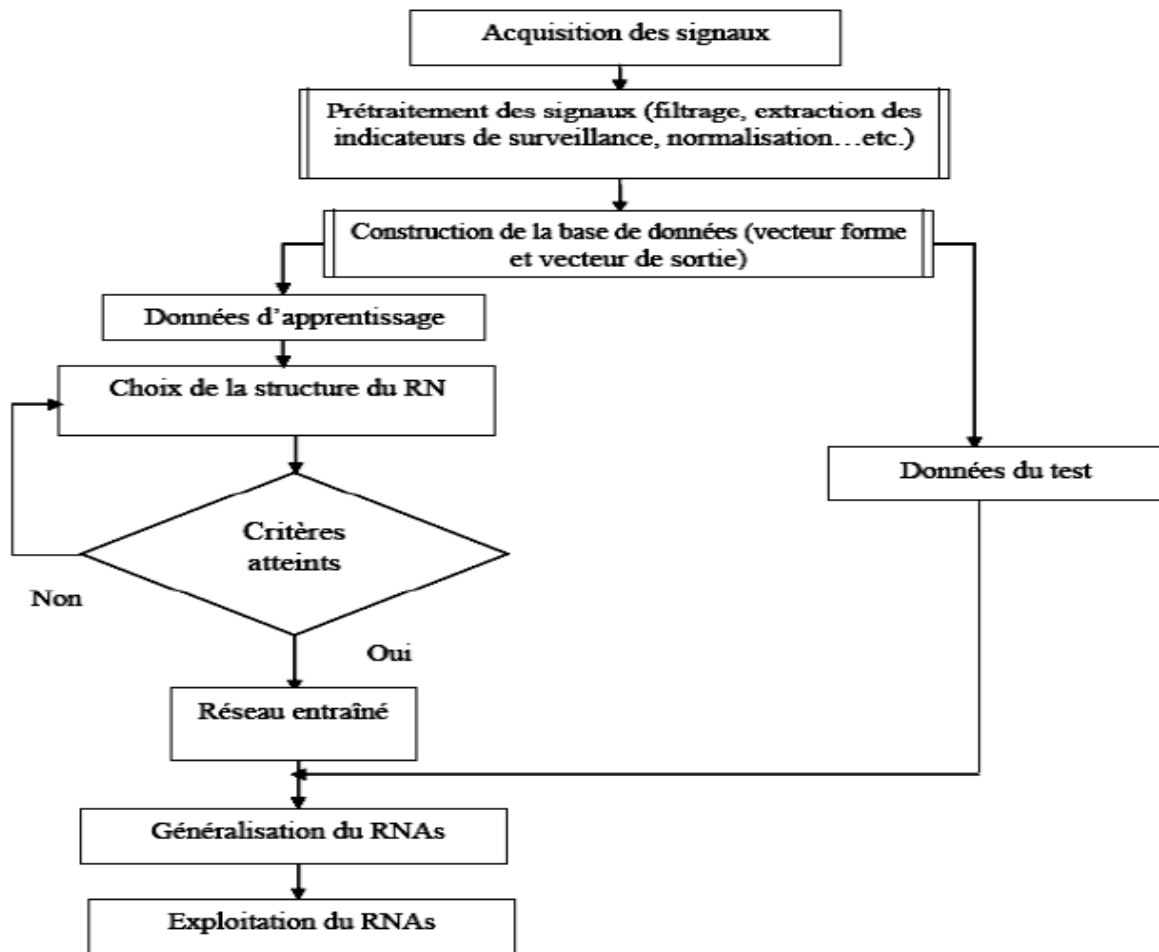


Figure III.17. Organigramme du déroulement de la classification par PMC [09].

### III.5.8. Implémentation du PMC sous MATLAB

L'implémentation du réseau PMC sous MATLAB se fait selon le schéma suivant :

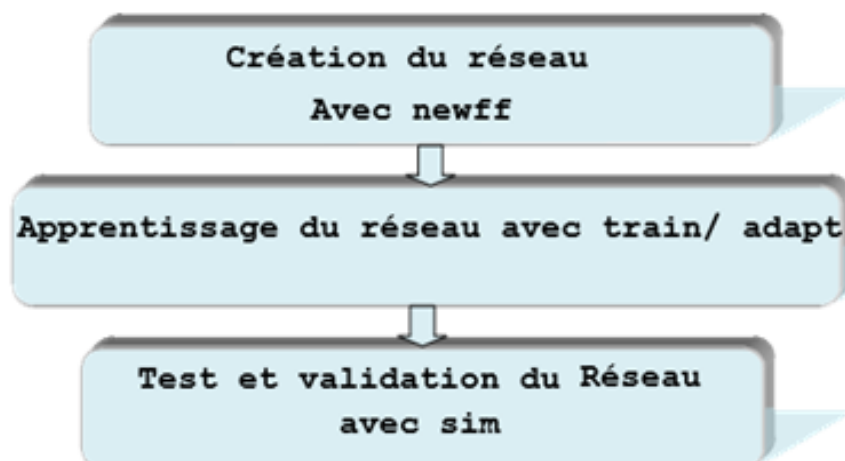


Figure II.18. Etapes pour implémenter un PMC sous MATLAB.

- **Création du réseau** : La commande **newff** crée un réseau de neurones artificiel de type perceptron multicouche.

**Syntaxe :**

```
net= newff(PR, [S1,S2,...,Si], {TF1 TF2 TFNL}, BTF, BLF, PF)
```

**PR**: matrice des valeurs minimales et des valeurs maximales du vecteur d'entrée P.

**Si**: nombre des neurones dans la  $i^{\text{ème}}$  couche (couche cachées et couche de sortie).

**TFNL**: fonction de transfert dans la  $i^{\text{ème}}$  couche (Tansig, Logsig, Purelin,...etc.)

**BTF**: fonction d'apprentissage par rétro-propagation du réseau. (trainlm,...etc.)

**BLF** : type d'algorithme utilisé (learngdm,... etc.)

**PF**: fonction de performance (mse, mae,... etc.)

- **Apprentissage du réseau** : L'apprentissage se fait avec la fonction **train** pour l'apprentissage de type batch c'est-à-dire, le calcul de l'erreur se fait après la présentation de tous les exemples d'apprentissage.

**La syntaxe est comme suite :**

```
Net=train(net, P, T) .
```

Avec : **net**: réseau de neurones créé.

**P**: matrice des observations (entrée du réseau).

**T**: matrice des étiquettes (sortie du réseau).

Ou par **adapt** pour l'apprentissage de type incrémental, c'est-à-dire, l'erreur est calculée après chaque exemple.

**La syntaxe est la suivante :**

```
Net=adapt(net, P, T) .
```

Avant d'exécuter les commandes **train** et **adapt**, il faut d'abord, entrer les paramètres d'apprentissage du réseau.

```
Net.trainParam.lr = taux d'apprentissage.  
Net.trainParam.show = fréquence d'affichage.  
Net.trainParam.epochs = nombre max des itérations.  
Net.trainParam.goal = erreur minimale.
```

➤ **Test et validation du réseau :**

Le test du réseau se fait avec la commande **sim** qui a la syntaxe suivante :

```
Y=sim(net,P);
```

Avec **Y** : sortie calculée (réelle).

### **III.6. Conclusion**

L'objectif de ce chapitre était de donner un aperçu des différents défauts des machines tournante (turbine à vapeur) et les techniques des réseaux de neurones artificiels (RNA), utilisées dans le diagnostic et surveillance de ces défauts.

Le chapitre suivant sera consacré à l'application de la méthode des réseaux de neurones artificiels dans la surveillance de notre turbine à vapeur.

## CHAPITRE IV

*ETUDE DE CAS : DIAGNOSTIC ET  
SURVEILLANCE DE DEFAUT DE LA  
TEMPERATURE DE SYSTEME D'HUILE  
DANS LES SORTIES DES PALIERS*

## IV.1. Introduction

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Son indisponibilité entraîne la perte de la production d'énergie, contrairement à d'autres matériels (pompes alimentaires, pompes de circulation assistée, ventilateurs...) dont la redondance permet de poursuivre l'exploitation des installations soit à pleine charge, soit éventuellement à charge partielle.

C'est pour cela, il est essentiel d'effectuer un suivi de l'évolution de l'ensemble de grandeurs physiques mesurées en exploitation qui sont, pour la plupart, enregistrés en salle de commande des tranches de production. Cette surveillance est réalisée lors du fonctionnement des installations aux conditions nominales mais elle s'avère également utile lors des phases transitoires d'exploitation (démarrage, arrêt, prise de charge...). Pour ce faire, nous avons essayé de proposer une méthodologie simple pour le développement d'un système de surveillance des grandeurs physique de la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap-Djinet, basée sur la méthode de réseau de neurones artificiels de type perceptron multi couches (MLP).

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la surveillance de température d'huile au niveau des paliers de la turbine.

## IV.2. Application de l'algorithme de PMC

- On mesure la température d'huile à la sortie de chaque palier par des sondes de température, tel que la température minimale acceptable est égale à 45 °C et la température maximale est égale à 85 °C, donc l'intervalle de températures admissibles c'est [45 °C,85°C], pour chaque palier.
- L'erreur limite donnée au réseau est  $E_p = 10^{-4}$ , le nombre d'itérations imposé  $N = 1000$  et le pas de calcul c'est  $p = 0.001$ , le taux d'apprentissage  $\eta = 0.5$ .
- Après l'apprentissage, les zones de bon et de mauvais fonctionnement, seront illustrées. Nous codons les zones de bon fonctionnement à « 1 », et les zones défectueuses à « -1 ».

- Pour obtenir l'architecture optimale nous devons suivre les étapes représentées dans l'algorithme PMC (chapitre III) afin de minimiser l'erreur quadratique. Le nombre de neurone maximum donné pour la couche cachée est  $N_i = 20$ , donc

### IV.3. Résultats et discussion

#### IV.3.1. Architecture optimale trouvée

Le programme de l'algorithme PMC de notre réseau RNA pour la surveillance de défaut de la température au niveau d'un système d'huile est réalisé sous MATLAB.

Dans ce programme nous avons testé plusieurs réseaux notés dans le tableau (V.1) afin d'obtenir la plus petite erreur quadratique.

L'architecture optimale trouvée est : « 401-11-04 » qui représente la plus petite erreur 8.34153e-005, voir tableau IV.1

On remarque le nombre de neurones de la couche cachée  $N = 11$  tel que le vecteur d'entrée  $X = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$  et le vecteur de sortie  $y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4]$ ,  $M = 401$ .

RNA	Architecture	Temps (s)	Itérations	Erreur quadratique
1	401-01-04	26.19	53	0.316752
2	401-02-04	202.48	731	0.243762
3	401-03-04	46.33	101	0.208584
4	401-04-04	206.00	836	0.151502
5	401-05-04	184.85	581	0.129797
6	401-06-04	190.14	551	0.0802512
7	401-07-04	202.55	496	0.0816648
8	401-08-04	218.71	481	0.0337968
9	401-09-04	365.46	756	0.0331011
10	401-10-04	319.69	581	0.0428223
<b>11</b>	<b>401-11-04</b>	<b>153.72</b>	<b>266</b>	<b>8.34153e-005</b>

**Tableau IV.1 : variation de l'erreur quadratique moyenne en fonction de neurones de la couche cachée**

### IV.3.2. Apprentissage du réseau

La figure (IV.1) présente la courbe d'évolution de l'erreur quadratique moyenne pendant la phase d'apprentissage en fonction du nombre d'itérations. La courbe est présentée par le logiciel MATLAB, et les résultats d'apprentissage sont donnés chaque 50 itérations, et lorsqu'on atteint une valeur de l'erreur proche de zéro, l'apprentissage est terminé.

D'après le graphe d'apprentissage, on remarque l'apprentissage converge vers l'erreur fixée d'ordre  $10^{-4}$  après 266 itérations dans une durée de 153.72 s.

On remarque une convergence lente de 0 à 250 itérations, après ce nombre d'itérations, nous avons eu une convergence rapide du graphe d'apprentissage.

L'adaptation des poids dans le début d'apprentissage sera difficile et nécessite un nombre suffisant d'itérations.

Une fois, les poids commencent à s'adapter, il sera facile d'avoir une convergence rapide

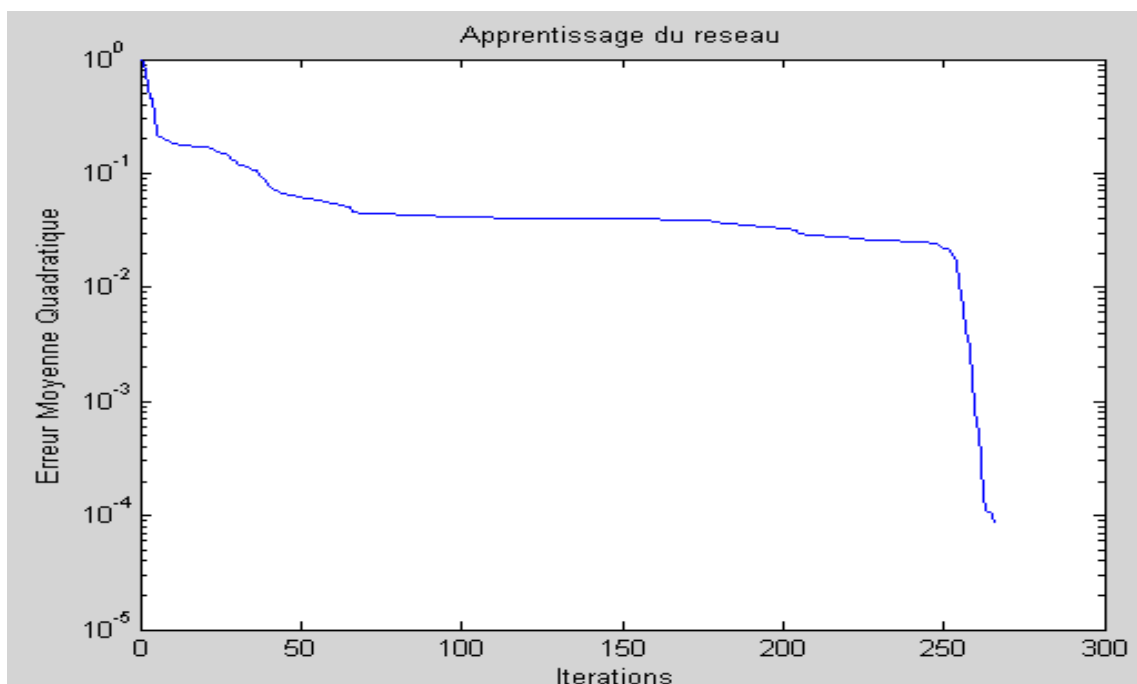
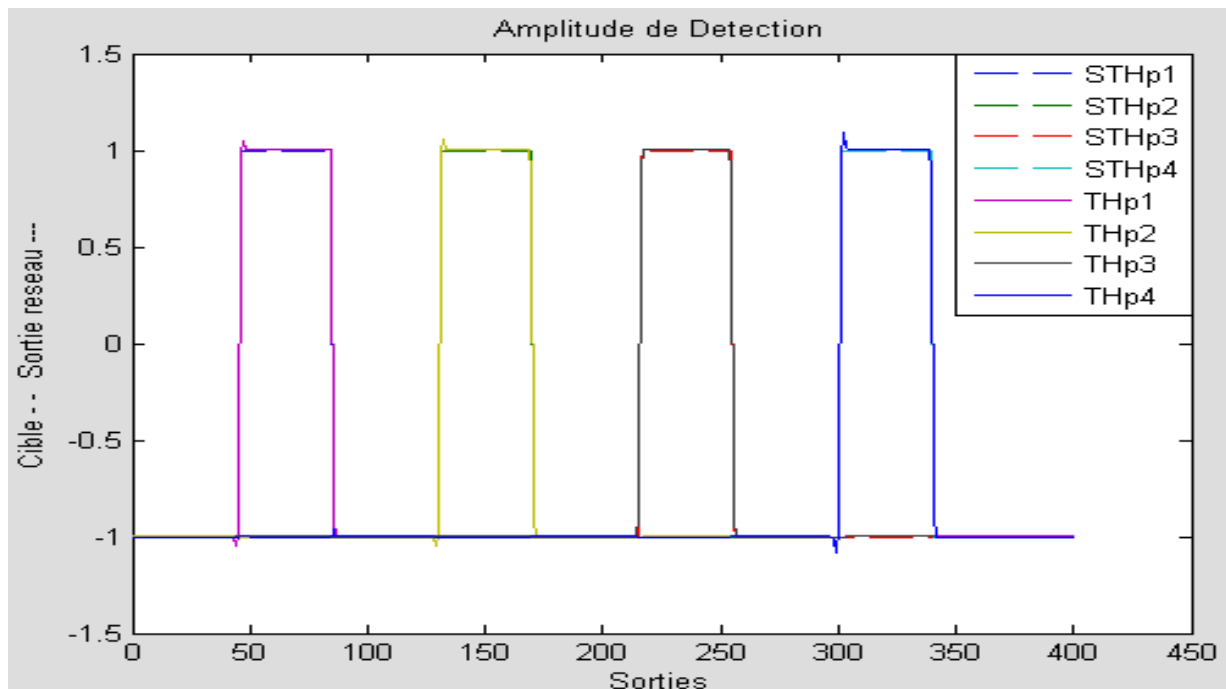


Figure IV.1. Apprentissage du réseau de neurone « 401-11-04 ».

Une fois le réseau de neurone est construit, et que son apprentissage à atteint des performances satisfaisantes, on passe à l'étape de test afin de vérifier que notre réseau réagit correctement.

Après la simulation (figure IV.2), on remarque que les graphes en ligne continue du réseau sont bien coïncidés avec les graphes en ligne discontinue des fonctions désirées, ce qui explique la bonne simulation de l'architecture trouvée.



**Figure IV.2 : Simulation des sorties du réseau**

### IV.3.3. Test du réseau RNA

Pour bien savoir que notre réseau est fiable et capable de détecter un défaut et de le localiser, on propose de tester des défauts (fausses valeurs) dans le réseau et on observe la réaction de ce dernier.

#### **-Test 1 : tester par des valeurs acceptables [45 °C, 85°C] (sans défauts)**

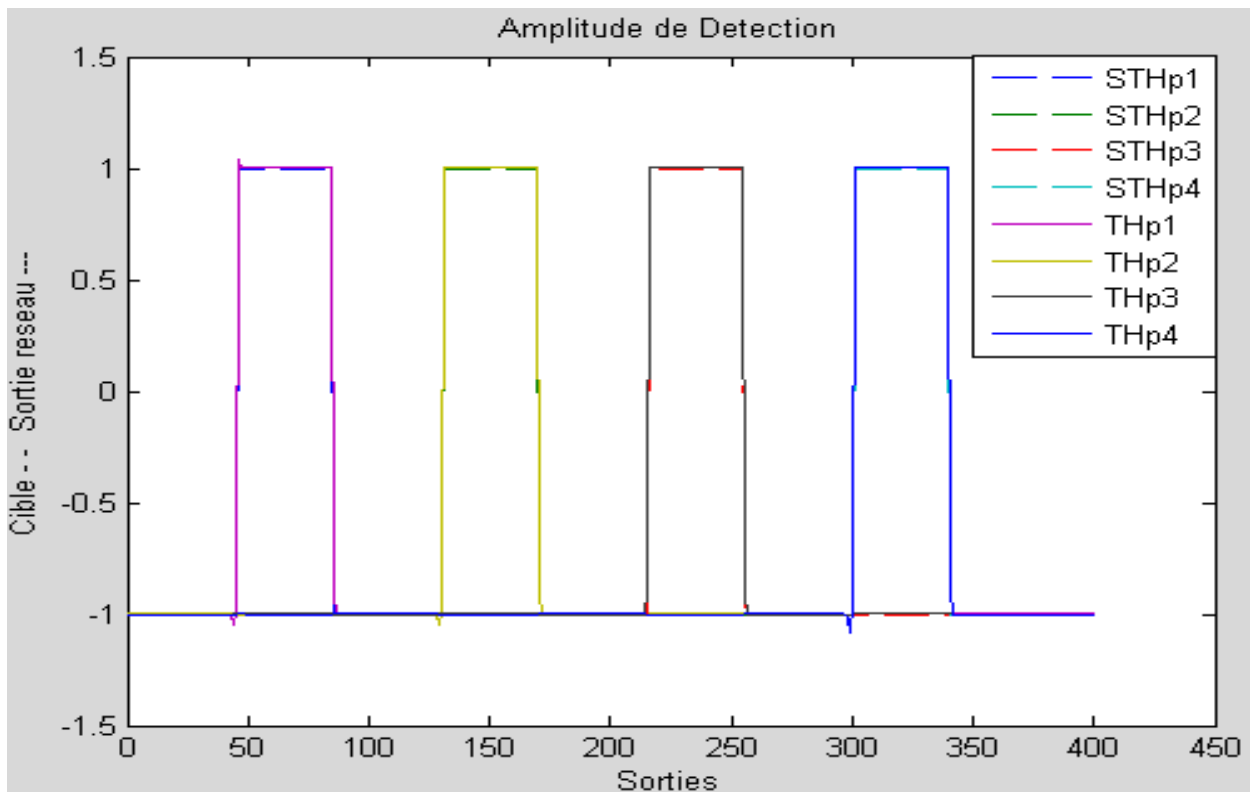
150°C pour le palier 1 (THp1),

60°C pour le palier 2 (THp2),

80 °C pour le palier 3 (THp3)

70°C pour le palier 4 (THp4).

Les résultats présentés dans la figure IV.2 montre que le réseau ne possède aucun défaut



**Figure IV.3. Test du RNA par des valeurs admissible (sans défaut)**

➤ **Test 2 : tester par des valeurs non acceptables (avec un défaut)**

Par exemple deux valeurs de températures sont bonnes les autres sont mauvaise :

90°C pour le palier 1,

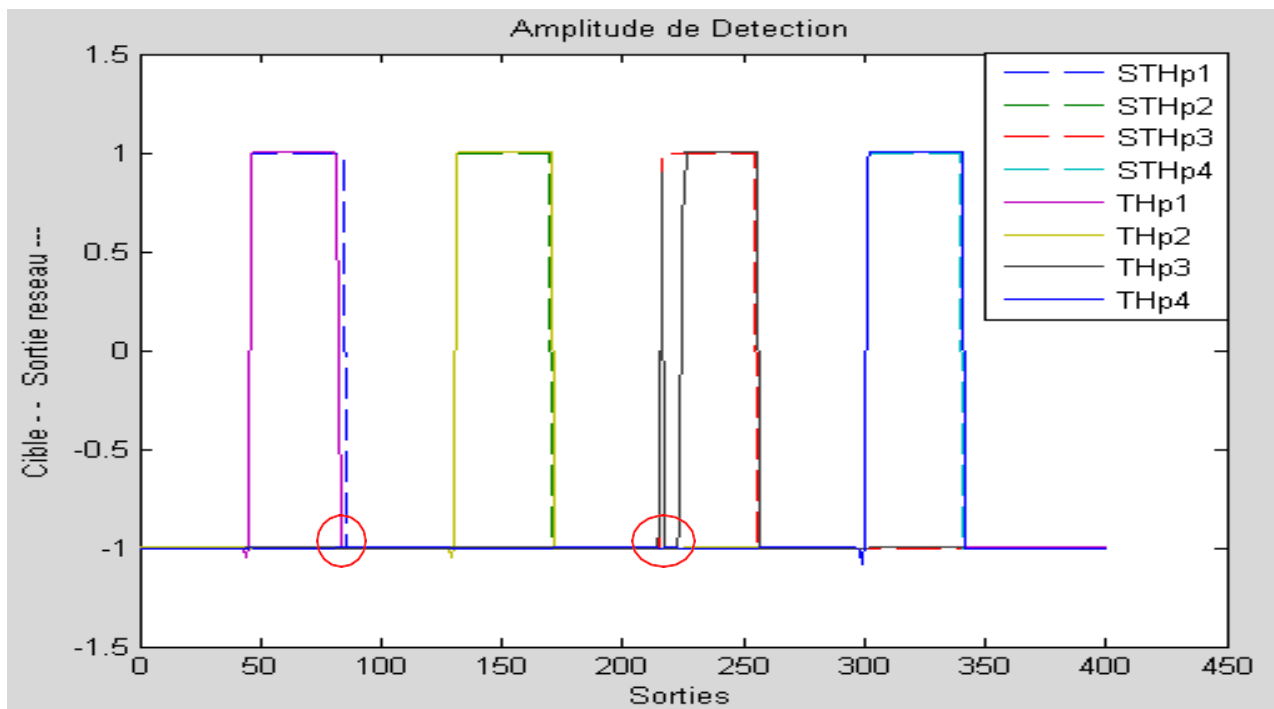
50°C pour le palier 2,

20°C pour le palier 3

60°C pour le palier 4.

Les résultats montrés dans la figure IV.4 montre que le réseau déclenche une alarme pour le palier 1 (THp1) et le palier 3 (THp3), a cause des températures inacceptables reçues par le réseau.

Les zones de mauvais fonctionnement sont sélectionnées par les deux cercles en rouge, voir figure IV.4



**Figure IV.4. Test du RNA avec un défaut**

#### IV.4. Arbre de défaillance de défaut de la température d'huile

La réalisation d'un arbre de défaillance nécessite les conditions suivantes :

- Connaissance technologique de la machine à étudier,
- Connaissance de l'historique des pannes de la machine,
- Connaissance du fonctionnement de la machine et le déroulement du procès,
- Savoir la relation entre les événements redoutés et leurs influences sur fonctionnementde la machine étudiée.

L'augmentation de la température d'huile dans les sorties des paliers est généralement à cause des frottements dans les paliers et parfois à cause des conditions d'utilisation d'huile (condition d'environnement, huile hors normes...). Voir la figure IV.5.

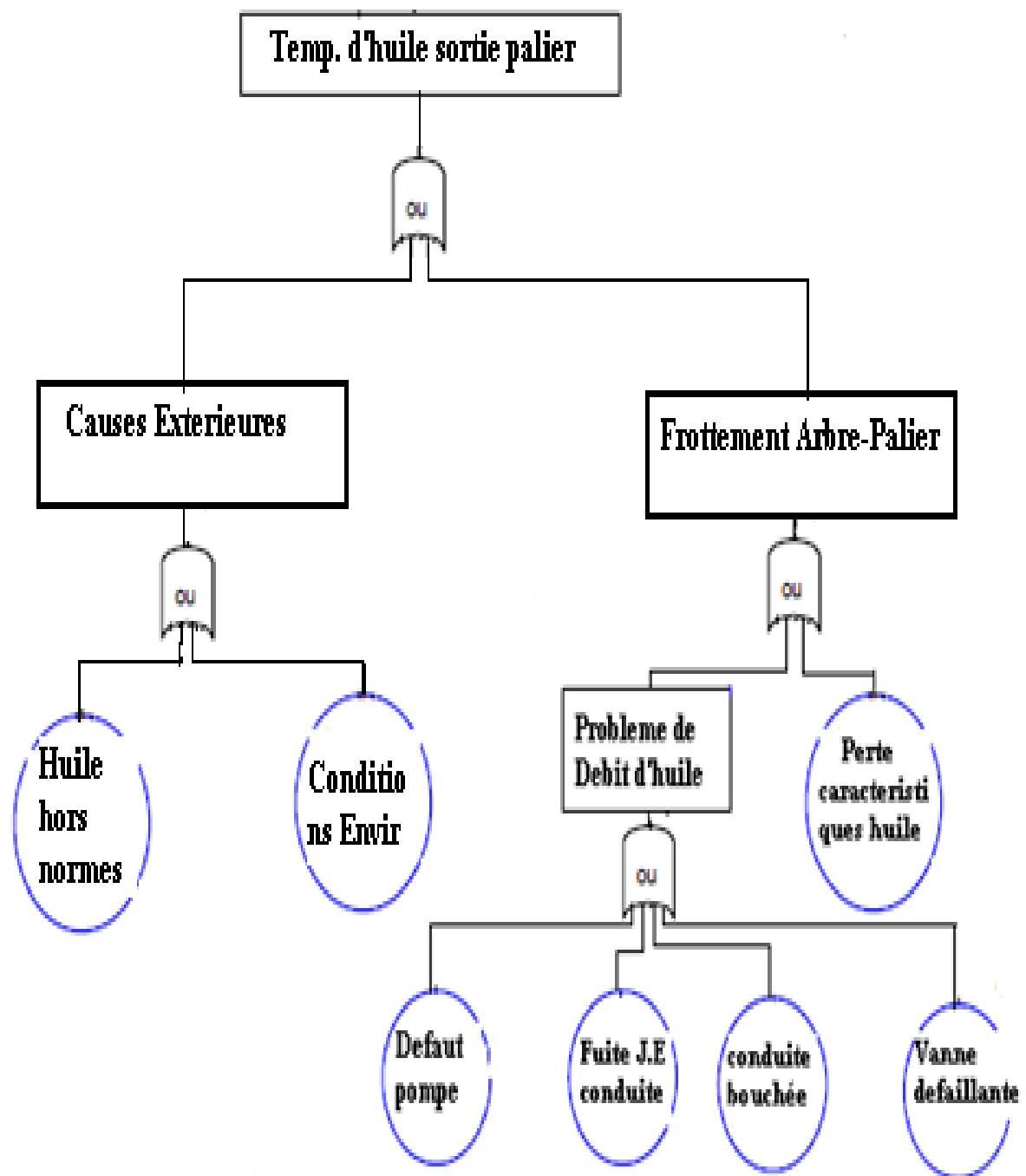


Figure IV.5. Arbre de défaillances pour la température d’huile

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude des réseaux de neurones artificiels pour la surveillance et diagnostic d'un défaut d'augmentation de la température d'huile dans les sorties des paliers d'une turbine à vapeur au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet au sein de l'entreprise SONALGAZ.

Dans un premier temps, nous avons entamé notre travail par la présentation de la centrale thermique de cap Djinet et son fonctionnement technologique. Puis nous avons présenté notre système étudié à savoir le système d'huile de la turbine.

Nous avons par la suite présenté les principaux défauts des machines tournantes et la technique de réseau de neurones artificiels RNA

En dernier lieu, Nous avons élaboré un programme de surveillance pour le défaut de température d'huile dans les sorties des paliers de la turbine. Pour ce faire, nous avons proposé la technique de réseau de neurones artificiels multicouches PMC pour la surveillance des défauts.

Une fois que l'apprentissage du réseau est terminé et devenu prêt, nous l'avons testé en changeant les valeurs des températures d'huile au niveau des sorties des paliers de la turbine. Les résultats ont montré que le réseau de neurones artificiel était à la hauteur avec une erreur quadratique négligeable.

En perspective, il est intéressant :

- De faire une étude comparative entre la méthode des réseaux de neurones artificiels en utilisant l'algorithme de Perceptron Multi Couches (PMC) avec la méthode de surveillance avec modèle en utilisant la technique d'automatique, en termes d'efficacité.
- D'étendre l'étude pour d'autre types et architectures de réseaux de neurones, entre autres les réseaux feed-forward avec rétroaction (feed-back).
- D'étendre l'étude pour d'autres types des défauts de la turbine à vapeur, tels que défaut de vibrations d'un roulement et le déséquilibre massique des rotors.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Enfin, nous espérons que l'étude effectuée présente un intérêt pour l'entreprise, et apporte un éclairage aux étudiants qui auront à préparer leur projet de fin d'études ultérieurement.

### ➤ **Ouvrages et articles :**

[1] **Howard DEMUTH, Mark BEALE**, (July 2002) « *Neural Network Toolbox; For Use with MATLAB*», The Math Works, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, MA 01760-2098.

[2], **Jacques MOREL** (Mars 2001), « *Surveillance vibratoire et maintenance prédictive* » École nationale supérieure de mécanique (ENSM), R 6100–Techniques de l'ingénieur.

[3] **Kamal MEDJAHER, Amine MECHRAOUI, Noureddine ZERHOUNI** Article (2008), « *Diagnostic et pronostic de défaillances par réseaux bayésiens* ». Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174 - UFC / ENSMM / UTBM, GIPSA-lab., CNRS UMR 5216,  
**ENSIEG, France.**

[4] Ilyes Khelf, «Diagnostic Des Machines Tournantes Par Les Techniques De L'intelligence Artificielle», These De Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba (2014)

[5] A.GHERSALLAH et D.SAADA, « Equipement principal session I : poste d'eau de la centrale thermique de Cap-Djinet », promotion 2012.

[6] F.NEDJARD et M.AROUS, « Etude et maintenance d'une pompe alimentaire de la centrale thermique de Cap-Djinet ». Département automatique, UMBB, promotion 2011.

[7] HENRI NEY, "Electrotechnique et Normalisation, 2 éléments de L'automatisme.

[8]- La documentation interne de la centrale thermique de Cap-Djinet.

