

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT MAINTENANCE INDUSTRIELLE



MEMOIRE DE MASTER

Filière Génie Mécanique

Option Mécatronique

-Thème-

*Contribution à la surveillance de la turbine à gaz MS 5002b
par réseaux de neurones artificiels*

Présenté par

GUEMOURI Aghiles & MERDAS Oualid

JURY

Président ***Mr. BENAZZOUZ.D***

Encadreur ***Mr. RAHMOUNE.Ch***

Examineur ***Mr. ADJERID.S***

Examineur ***Mr. TOUATI.Y***

Examineur ***Mr. ALEM.S***

2016 / 2017

Remerciement

On remercie DIEU le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. RAHMOUNE. Ch, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

On remercie vivement monsieur D. BENAZZOUZ, Professeur à l'université de boumerdes pour sa contribution à notre formation, notre remerciement s'adresse également à Mr. Y. TOUATI et H. BEN SENNOUSSI, qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier Mr. A. AOUAKLI, l'équipe d'exploitation, de turbomachine et de SPEEDTRONIC de Sonatrach (CIS) pour leurs aides précieuses.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidé et soutenu de près ou de loin.

Dédicace

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour mon défunt père (IDIR);

A la plus belle créature que dieu a créée sur terre, à cette source de tendresse, de patience et de générosité, à ma mère;

A mes chers frères (Ramdan, Amirouche, Methias) ;

A mes chères sœurs ;

A toute ma famille (M.GUERCHOUH, R.GUERCHOUH, D.AOUAKLI...);

A mes proches amis (N.BOUFROURA, W.BEN SAADI, S.GHERBI, N.OULD SAADA...);

A mon binôme (O.MERDAS) ;

A mes camarades de promotion (B.BELACEL, D.RABHI, A.MAHAMI, M.BERKANE) ;

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

A.GUEMOURI

Dédicace

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour mon défunt père (HAMID);

A la plus belle créature que dieu a créée sur terre, à cette source de tendresse, de patience et de générosité, à ma mère;

A mon cher frère (ZIANE);

A mes chères sœurs ;

A toute ma famille (AOMAR, BOUZID, RACHID, H.BOUDJELTI ...);

A mes proches amis (BILAL ,HAMZA, HSINOU ...);

A mon binôme (A.GUEMOURI);

A mes camarade de promotion (A.MAHAMI , M.BERKANE);

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

O.MERDAS

Liste des figures

Figure 1: Principe d'une turbine à gaz bi-arbre	4
Figure 2: différente section d'une turbine à gaz	5
Figure 3: section compresseur	6
Figure 4: section combustion	7
Figure 5: directrice fixe de premier étage	8
Figure 6: directrice de deuxième étage	9
Figure 7: rotor HP; rotor BP	10
Figure 8: les paliers d'une turbine à gaz	10
Figure 9: réducteur des auxiliaires	12
Figure 10: système d'admission	13
Figure 11: Système d'échappement	14
Figure 12: système de gaz combustible	16
Figure 13: système de refroidissement et d'étanchéité	17
Figure 14: système d'huile de graissage	19
Figure 15: Mark V	24
Figure 16: les différents types de maintenance	26
Figure 17: Schéma de neurone biologique	34
Figure 18: le model d'un neurone biologique	35
Figure 19: neurone artificiel	36
Figure 20: fonctionnement d'un neurone artificiel	37
Figure 21: quelques types de fonctions d'activations	37
Figure 22: le model de neurone formel	38
Figure 23: réseau perceptron multicouche	39
Figure 24: réseau multicouche à connexion local	39
Figure 25: réseau dynamique (feed-back)	40
Figure 26: réseau à connexion récurrente	41
Figure 27: réseau à connexion complète	41
Figure 28: Algorithme d'apprentissage rétro-propagation	43
Figure 29: Propagation avant (L'activation des neurones)	44
Figure 30: Propagation avant (L'activation des neurones)	45
Figure 31: Rétro-propagation (L'erreur quadratique des neurones)	46
Figure 32: Rétro-propagation (L'erreur quadratique des neurones)	46
Figure 33: Organigramme de surveillance de la turbine	49
Figure 34: Bloc alarme de sous-vitesse	50
Figure 35: Bloc séquence de démarrage	51
Figure 36: Bloc arrêt automatique	51
Figure 37: Bloc alarme en fonction de CTIM	52
Figure 38: Bloc alarme en fonction d'un seuil constant	52
Figure 39: alarme de sous-vitesse en simulink	53
Figure 40: Scope d'alarme de sous vitesse	54

<i>Figure 41:</i> évolution du seuil (TNHS) d'alarme en fonction CTIM.....	56
<i>Figure 42:</i> schéma global du RNA	56
<i>Figure 43:</i> Modèle neuronal artificiel	57
<i>Figure 44:</i> Performance du réseau de neurone artificiel	58
<i>Figure 45:</i> Résultat de teste pour le seuil (91.998 %).....	58
<i>Figure 46:</i> Résultat de teste pour le seuil (91.998 %).....	59
<i>Figure 47:</i> Résultat de teste pour le seuil (94.7372 %).....	59
<i>Figure 48:</i> Résultat de test en temps réel	60

Liste des tableaux

Tableau 1: Inspection typique de système de combustion	28
Tableau 2: Inspection typique de veine des gaz chauds.....	28
Tableau 3: Inspection typique de révision générale.....	29
Tableau 4: La base d'apprentissage du réseau	49
Tableau 5: base de données d'apprentissage	55
Tableau 6: tableau de l'erreur quadratique	57

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I: Etude descriptive de la turbine à gaz MS 5002b</i>	
<i>1. Introduction</i>	3
<i>2. Classification des turbines à gaz</i>	3
<i>2.1. Par le mode de construction:</i>	3
<i>2.2. Par le mode de travail:</i>	3
<i>2.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique:</i>	3
<i>3. Principes de fonctionnement</i>	3
<i>4. Sections de la turbine à gaz</i>	5
<i>4.1. Compression</i>	5
<i>4.2. Combustion</i>	6
<i>4.3. Turbine</i>	8
<i>5. Les paliers</i>	10
<i>6. Le compartiment des auxiliaires</i>	10
<i>6.1. Tableau des manomètres</i>	10
<i>6.2. Turbine de lancement</i>	10
<i>6.3. Convertisseur de couple</i>	10
<i>6.4. Embrayage de lancement</i>	11
<i>6.5. Réducteur des auxiliaires</i>	11
<i>6.6. Accouplement</i>	12
<i>6.7. Vireur hydraulique</i>	12
<i>7. Les systèmes de la turbine à gaz</i>	12
<i>7.1. Système d'admission</i>	12
<i>7.2. Système d'échappement</i>	13
<i>7.3. Système de démarrage</i>	14
<i>7.4. Système de gaz combustible</i>	14
<i>7.5. Système d'air de refroidissement et d'étanchéité</i>	16
<i>7.6. Système d'huile de graissage</i>	17

7.7.Système hydraulique	18
7.8.Système de protection de la turbine à gaz.....	20
7.9.Système d’extincteur au gaz carbonique CO_2	22
7.10.Système de déclenchement	23
8.Commande SPEEDTRONIC MARK V.....	23
8.1.Architecture de système	24
9.Conclusion	25
<i>chapitre II: Maintenance de la turbine à gaz</i>	
1.Introduction	26
2.Définition de la maintenance.....	26
3.Différents types de maintenance	26
3.1.Maintenance préventive.....	27
3.2.Maintenance corrective	27
4.Maintenance pour la turbine à gaz MS 5002b.....	27
4.1.Maintenance systématique	27
4.2.Maintenance conditionnelle.....	29
5.Surveillance	29
5.1.Définition	29
6.Méthodes de surveillance	30
6.1.Les méthodes de surveillance avec modèle	30
6.2.Les méthodes de surveillance sans modèle	31
7.Conclusion	33
<i>chapitre III: Notion de base des réseaux de neurones artificiels</i>	
1.Introduction	34
2.Neurones biologiques	34
2.1.Structure des neurones biologique.....	34
3.Les neurones artificiels	35
3.1.Le neurone formel	37
3.2.Les architectures des RNA	37
3.3.Apprentissage	41

3.4. Algorithme d'apprentissage de rétro-propagation	42
3.5. Domaines d'application.....	47
4. Conclusion	47
<i>chapitre IV: Surveillance et diagnostic de la turbine à gaz à l'aide du RNA</i>	
1. Introduction	48
2. Surveillance de la turbine à gaz pour un seuil constant.....	48
3. Principe de déclenchement d'Alarme de sous-vitesse sous MARK V avec un seuil variable .	50
3.1. Alarme de sous-vitesse sous MARK V	50
3.2. Simulation d'alarme de sous-vitesse	53
4. La conception du réseau de neurone artificiel.....	56
5. Conclusion	60
Conclusion générale.....	61
<i>Annexe</i>	
<i>Référence</i>	

Introduction générale

Le monde de l'industrie dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes, en particulier les turbines à gaz. Elles ont connu ces dernières années un développement considérable dans de nombreuses applications industrielles, et en particulier dans le domaine du transport et de réinjection du gaz, notamment en Algérie.

L'évolution de la turbine à gaz et son succès ont été conditionnés par l'amélioration de ces performances techniques. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation, la maîtrise de la disponibilité des équipements et l'amélioration de leur fiabilité donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements. Cela implique la mise en place impérieuse d'une maintenance préventive qui est l'une des méthodes actuelles les plus utilisées dans l'industrie. Cette dernière est devenue un vrai métier avec ses propres concepts et méthodologie. Parmi les facteurs qui ont favorisé ce type de maintenance, nous pouvons citer l'automatisation, le diagnostic et la surveillance industrielle.

Nous proposons dans ce mémoire un système de surveillance basé essentiellement sur l'intelligence artificiel (IA), où nous avons choisi les réseaux de neurones artificiels comme outil de base comme aide de décision, cette technique a largement été utilisée dans le domaine du diagnostic des machines tournantes. C'est une technique qui a été choisie pour son efficacité, sa fiabilité, ses performances, sa précision des calculs et sa capacité d'apprentissage, en comparaison avec d'autres techniques de surveillance.

Ce travail consiste à confirmer l'efficacité des réseaux de neurones artificiels dans la surveillance industrielle en détectant un défaut de sous-vitesse d'une turbine à gaz qui s'avère être très complexe par son seuil qui varie en fonction de la température d'air d'entrée du compresseur axial. Pour cela, nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage de fin d'étude dans une entreprise stratégique pour l'économie, à savoir le Centre Industriel Sud (CIS) appartenant à la SONATRACH et situé à Hassi Messaoud.

Le plan de rédaction de ce mémoire est de la manière suivante :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons une description générale sur la turbine à gaz MS 5002b ;
- Dans le deuxième chapitre, nous proposerons dans un premier temps une exposition de la thématique de la maintenance préventive et, dans un deuxième temps, nous présenterons les différentes méthodes de surveillance ;
- Dans le troisième chapitre, nous décrirons tous les concepts de base relatifs aux réseaux de neurones artificiels, afin d'explicitier aux lecteurs cette approche ;
- Le quatrième chapitre, nous étalerons les résultats de simulation relative à la surveillance et le diagnostic du défaut de sous-vitesse de la turbine par l'approche du réseau de neurone artificiel, en clarifiant le programme associé à ce défaut par le système de contrôle commande le MARK V de générale électrique ;

- Enfin, nous avons clôturé notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

Etude descriptive de la turbine à gaz MS 5002b

1. Introduction

Les turbines à gaz demeurent les moyens de production de puissance les plus révolutionnaires.

La turbine à gaz MS 5002b est une machine tournante à entraînement mécanique, appartenant à la famille des moteurs à combustion interne, dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure. Elle est conçue pour les services intensifs.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une étude descriptive des différentes sections et systèmes de l'installation de la turbine à gaz "MS 5002b".

2. Classification des turbines à gaz

On peut classer les turbines selon différents points:

a) Par le mode de construction:

- Turbines mono-arbre: elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité).
- Turbines bi-arbres : elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charge variable (pompe, compresseur...). [1]

b) Par le mode de travail:

- Turbine à action : la détente se fait uniquement dans les aubages fixes.
- Turbine à réaction : la détente est répartie entre les aubages fixes et mobiles. [7]

c) Par le mode de fonctionnement thermodynamique:

Il existe deux cycles thermodynamiques:

- Turbine à cycle fermé : dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.
- Turbine à cycle ouvert : c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère. Ce type est divisé en deux classes :
 - Cycle simple : c'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique ils sont perdus dans l'atmosphère à travers la cheminée.
 - Cycle régénéré : c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation. [2]

3. Principes de fonctionnement

Pour la turbine MS5002b et dans un premier temps, l'air est aspiré de l'atmosphère à l'aide d'un compresseur à flux axial, où cet air doit passer par plusieurs stades de compression avant d'être envoyé aux chambres de combustion. Lorsqu'il passe dans ces chambres, l'air est

chauffé par la combustion de mélange combustible-air à la température désirée. Les gaz chauds qui en résultent se détendent dans la directrice stationnaire du premier étage, puis dans les aubes de la turbine du premier étage (haute pression). En passant dans la directrice et en arrivant sur les aubes de la turbine, ces gaz font tourner l'ensemble compresseur-rotor haute pression et soumettent, par-là, les accessoires entraînés de la turbine à un couple de sortie. Ces gaz chauds continuent à se détendre et en passant par la directrice variable du deuxième étage pour arriver aux aubes du rotor de la turbine du deuxième étage (basse pression), qui entraîne le matériel de charge. Les produits de combustion sont relâchés dans l'atmosphère. [3], [4]

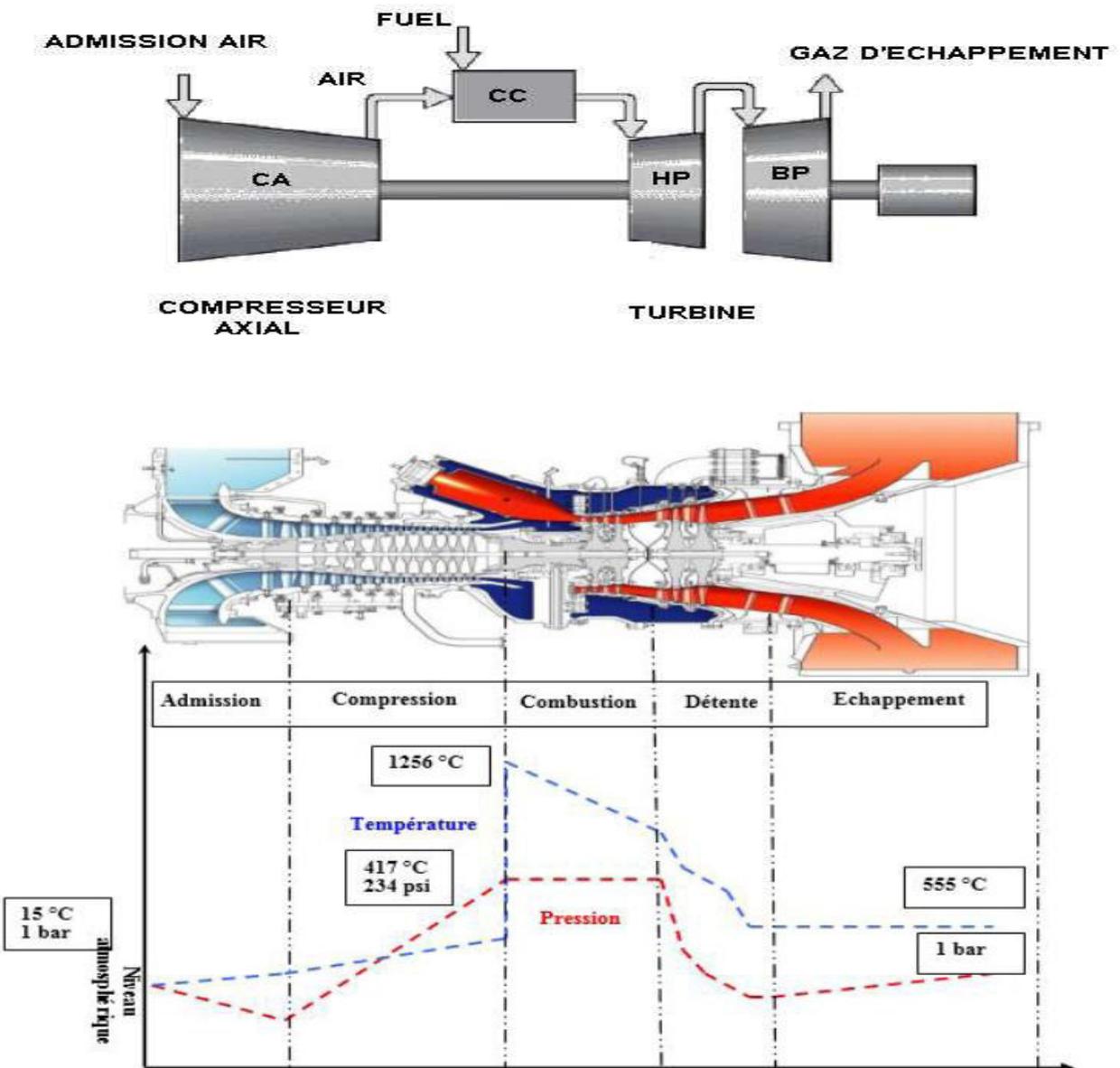


Figure 1: Principe d'une turbine à gaz bi-arbre

4. Sections de la turbine à gaz

La turbine à gaz se divise en trois sections principales :

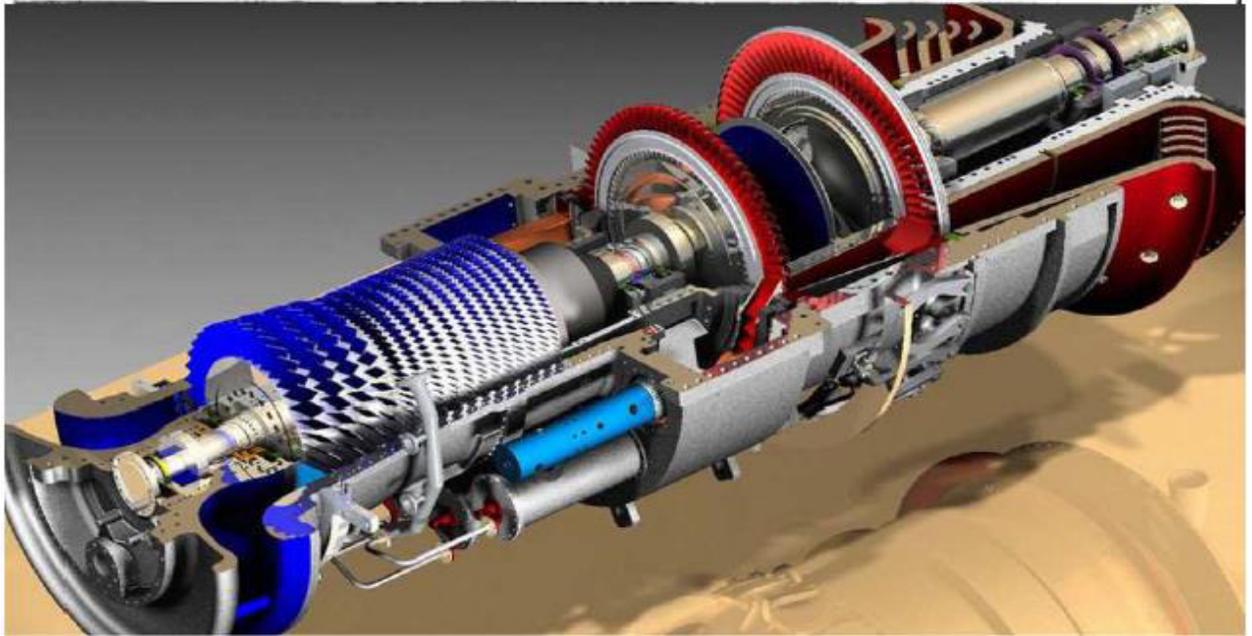


Figure 2 : différente section d'une turbine à gaz

4.1. Compression

Le compresseur à écoulement axial est formé de rotor de compresseur et d'un carter qui inclut des directrices de sortie.

Dans le compresseur, l'air est confiné dans l'espace entre le rotor et les aubages du stator où il est comprimé dans des étages par une série de rotations alternatives du rotor et des aubes stationnaires fixes du stator, les aubes motrices assurent la force nécessaire pour la compression d'air à chaque étage et les aubes fixes guident l'air de manière qu'il entre dans l'étage suivant du rotor à l'angle adéquat. L'air qui est comprimé de 6 à 7 bars sort par le carter de refoulement du compresseur entre le revêtement de combustion et les chambres de combustion. L'air est extrait du 10^{ème} étage du compresseur pour le refroidissement de la turbine et pour l'étanchement de l'huile de graissage du palier. [3], [4]

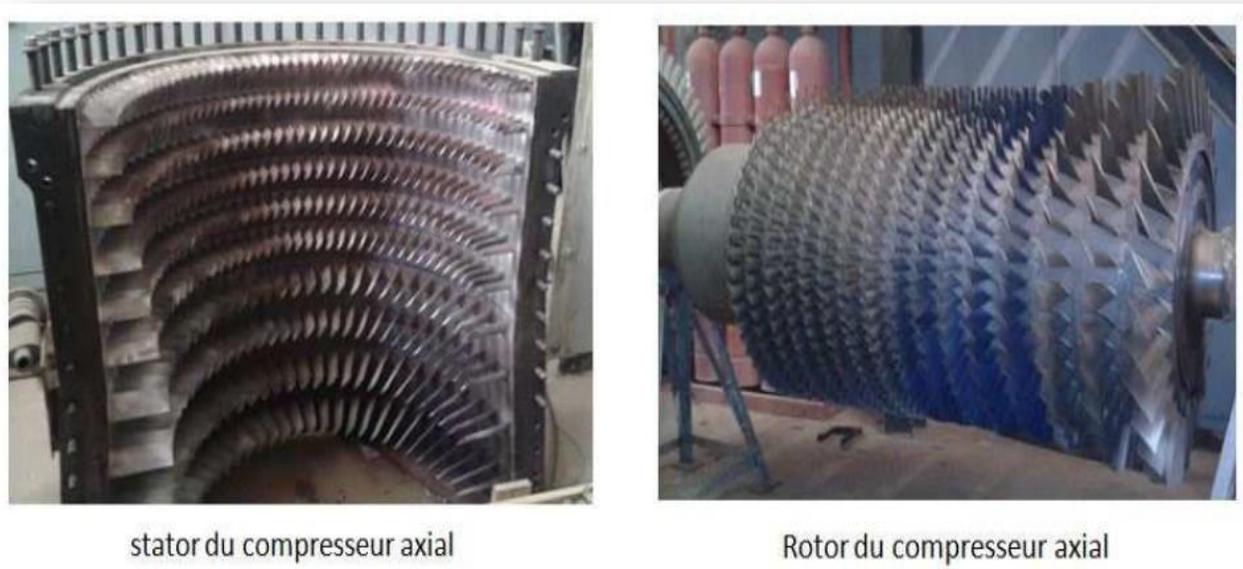


Figure 3 : section compresseur

4.2. Combustion

La section combustion se compose de l'enveloppe des chambres de combustion, douze carters externes de combustion, douze ensembles chapeau et chemise de combustion, douze ensembles de pièces de transmission, douze injecteurs de combustible, deux bougies d'allumage, quatre détecteurs de flamme, douze tubes d'interconnexion et divers joints et pièces de visserie.

L'enveloppe des chambres de combustion est un élément soudé qui entoure la partie arrière du carter de refoulement du compresseur et reçoit l'air de refoulement du compresseur à flux axial.

Le combustible est envoyé dans chaque chemise des chambres de combustion par un injecteur de combustible monté dans le couvercle de la chambre de combustion et pénétrant le chapeau du tube de flamme. La combustion du mélange air-gaz est déclenchée par les bougies. Lorsque l'allumage se produit dans l'une des deux chambres, les gaz chauds de combustion passent dans les tubes d'interconnexion et allument le mélange air-gaz des autres chambres.

Les tubes d'interconnexion relient les douze chambres de combustion entre elles et permettent à la flamme de la chambre allumée de se propager aux chambres non allumées qui se trouvent d'un côté ou de l'autre. [4]

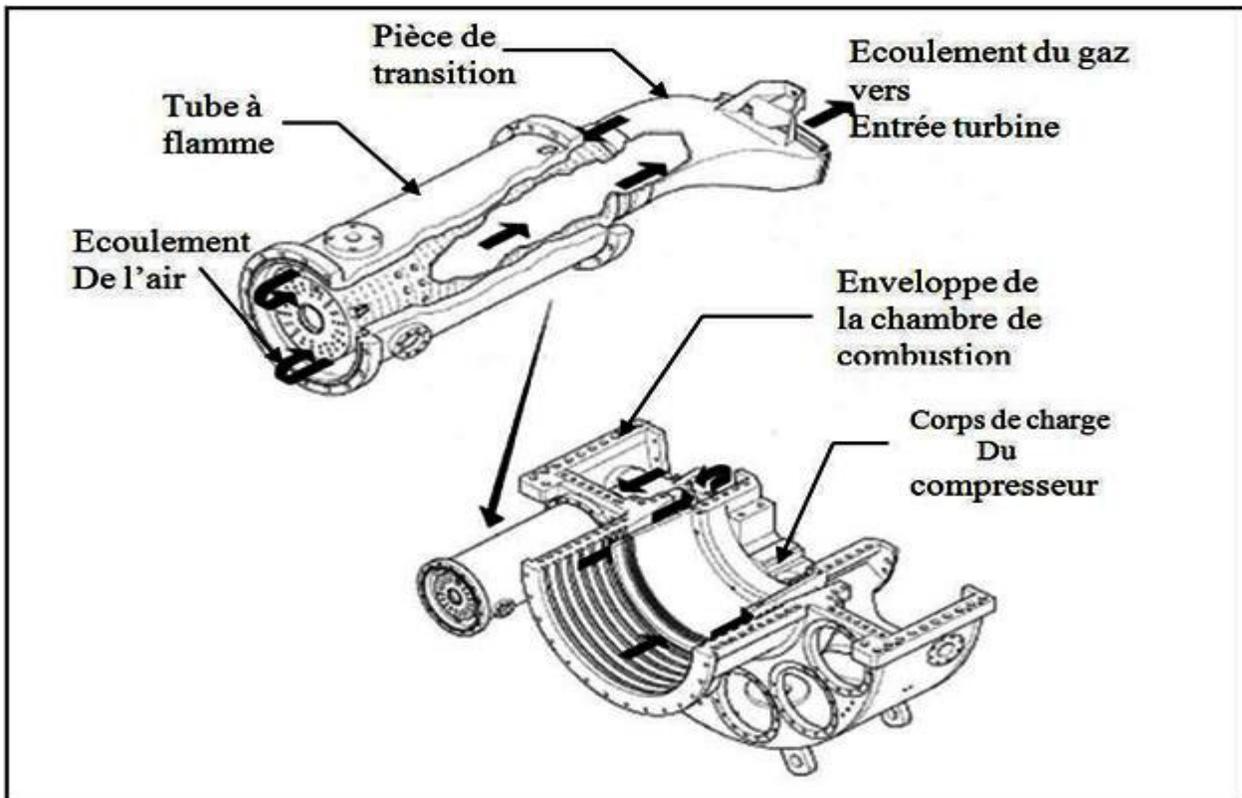


Figure 4: section combustion

4.3. Turbine

La section turbine est celle où les gaz à haute températures de la section combustion sont convertis en énergie mécanique (cheval vapeur de l'arbre). La section contient aussi les suivants composants : le corps de la turbine, la directrice fixe de premier étage, la roue HP de la turbine premier étage, la directrice à aubes variable (nozzle) de deuxième étage et la roue BP de la turbine deuxième étage. En plus la section inclut l'ensemble de diaphragme, étanchéité à air et les pièces de la voie des gaz entre étages. Toutes les pièces du stator ont été fabriquées de manière qu'elles puissent être divisées en deux moitiés horizontales pour faciliter l'entretien. [4]

4.3.1. Directrice fixe de premier étage

Elle se compose de segments montés dans une bague de retenue, soutenue dans la veine des gaz par un dispositif de fixation du carter de la turbine. L'air de refoulement du compresseur en provenance du carter des chambres de combustion passe autour de la bague de retenue, puis dans les parois percées de la directrice et sort enfin par les trous de purge de la veine des gaz d'échappement. Ce flux d'air sert à refroidir les profils de la directrice. [3]



Figure 5 : directrice fixe de premier étage

4.3.2. Directrice de deuxième étage

Elle se compose de séparations (déflecteurs) qui forment une directrice à angle variable avec la directrice d'écoulement des gaz dans la section annulaire juste avant le deuxième étage de la turbine BP. On peut donner une rotation grâce à des axes qui dépassent des manchons prévus dans le corps de la turbine. Les leviers clavetés à l'extrémité de ces axes et sont reliés par des biellettes à des points de la couronne de contrôle qui sont actionnés par un piston hydraulique. [2]

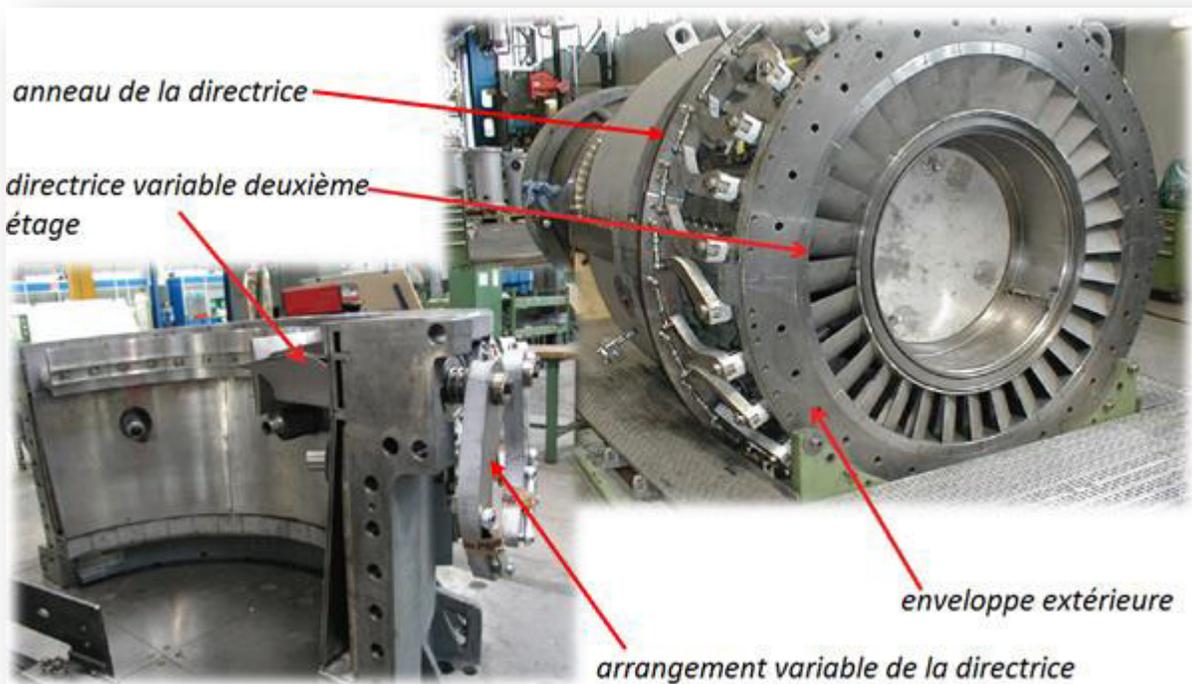


Figure 6 : directrice de deuxième étage

4.3.3. Rotor de la turbine

La turbine à gaz dispose de deux rotors séparés : celui de la turbine de première étage 'HP', qui entraîne le compresseur à flux axial, et le rotor de la turbine deuxième étage 'BP' qui entraîne la charge.



Figure 7: rotor HP; rotor BP

5. Les paliers

La turbine a quatre paliers principaux de type à patins oscillant et elliptique qui supportent le compresseur et les rotors de la turbine. Les paliers elliptiques 1 et 2 supportent le compresseur/rotor de la turbine à haute pression et les paliers à patin oscillant 3 et 4 supportent la basse pression/rotor.

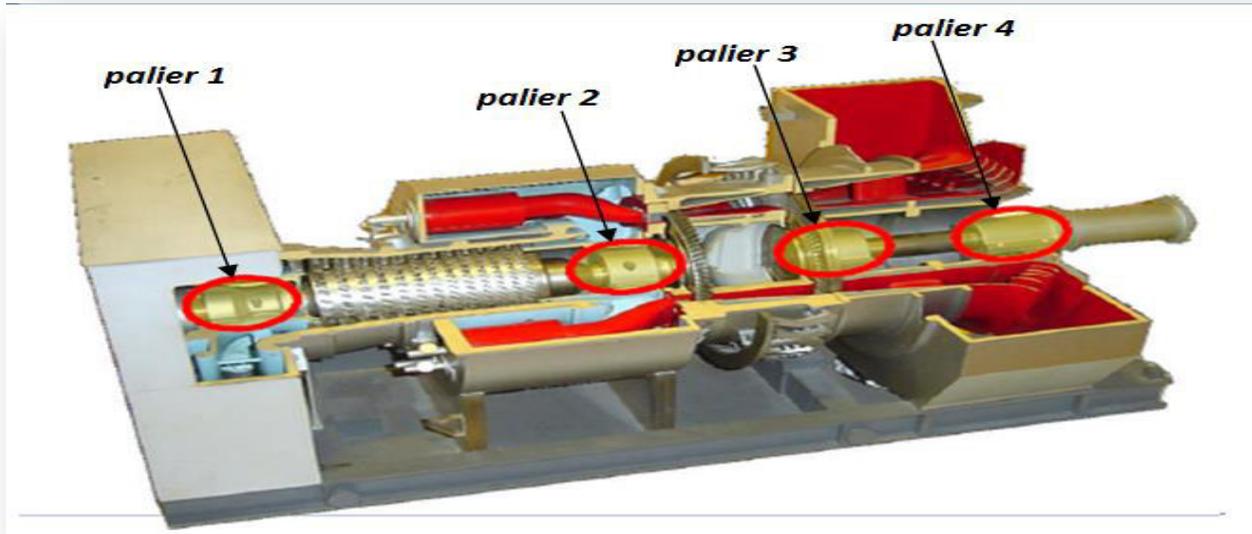


Figure 8 : les paliers d'une turbine à gaz

6. Le compartiment des auxiliaires

Il est situé à l'avant du caisson d'aspiration d'air, et comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant de la turbine :

6.1. Tableau des manomètres

C'est un panneau situé au bout de compartiment des auxiliaires et regroupe un certain nombre de manomètres permettant de contrôler la pression des fluides depuis le compartiment contrôle. [1]

6.2. Turbine de lancement

Il sert à entrainer l'engrenage des accessoires et le rotor haute pression de la turbine à une vitesse bien déterminée. [1]

6.3. Convertisseur de couple

C'est un élément couplé au dispositif de démarrage de la turbine ; cet appareil transfère et augmente le couple pour produire la rotation de l'arbre de la turbine. [3]

6.4. Embrayage de lancement

Un embrayage de démarrage connecte l'arbre de sortie de l'ensemble de convertisseur de couple à l'arbre principal de réducteur auxiliaire de vitesse. L'embrayage est engagé par les cylindres hydrauliques et il est désactivé par les ressorts de retour dans les cylindres. Le système est conçu pour maintenir l'embrayage dans la position active toutes les fois exceptant les fois où la turbine à gaz fonctionne. [1]

6.5. Réducteur des auxiliaires

C'est un ensemble de roues dentées actionnées directement par le rotor de la turbine et il est utilisé pour entraîner les divers auxiliaires. Le réducteur auxiliaire qui est placé sur le socle des auxiliaires, comprend le train d'engrenages nécessaires pour permettre une réduction de vitesse pour mener les systèmes auxiliaires aux vitesses désirées, à l'extérieur du corps du réducteur on trouve un déclencheur de survitesse de la turbine haute pression qui peut mécaniquement déverser l'huile dans le circuit de déclenchement, ce qui provoque l'arrêt de la turbine à gaz lorsque la vitesse du premier étage de la turbine excède les limites prescrites dans les spécifications de contrôle. Les accessoires entraînés par le réducteur auxiliaire, comprennent la pompe hydraulique principale, ainsi que la pompe à huile de graissage principal.

Pendant le démarrage, le réducteur transmet le couple communiqué par le moteur de lancement à expansion vers la turbine à gaz. [1]

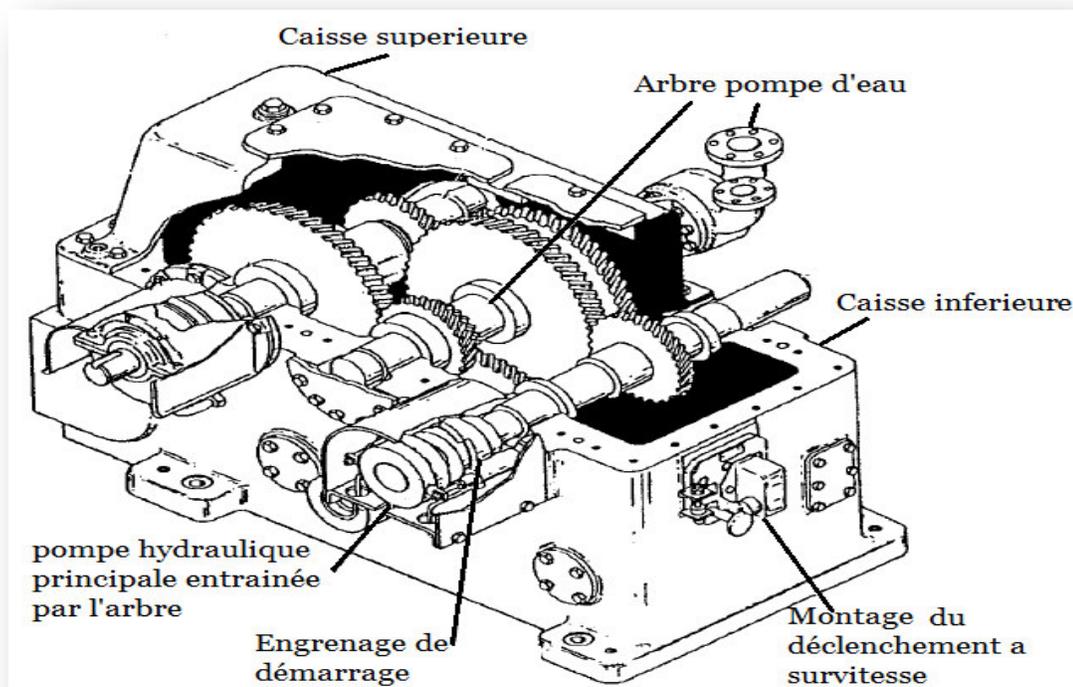


Figure 9 : réducteur des auxiliaires

6.6. Accouplement

Les accouplements sont élastiques à la flexion et la torsion dans le sens transversal et longitudinal. Les fonctions de base des accouplements utilisés sur cette turbine sont :

- de relier deux arbres en rotation, de manière à transmettre le couple de l'un à l'autre
- de compenser les trois types de désalignements (parallèles, angulaires et la combinaison des deux)
- de compenser tout mouvement axial des arbres, de manière qu'aucun des deux n'exerce une poussée excessive sur l'autre.

Les accouplements utilisés sur cette turbine sont destinés à accoupler le réducteur des auxiliaires à l'arbre de la turbine et l'arbre de la turbine à l'équipement de puissance. [4]

6.7. Vireur hydraulique

C'est une motopompe pour éviter le flèche de l'arbre turbine, il fait tourner l'ensemble de 1/8 de tour chaque 3 mn avant le lancement et après l'arrêt de la turbine. [1]

7. Les systèmes de la turbine à gaz

7.1. Système d'admission

Les turbines à gaz consomment une grande quantité d'air pour la combustion et le refroidissement des pièces internes. Le système d'admission d'air est formé d'un compartiment d'entrée d'air développé et une tuyauterie d'entrée doué des silencieuses et un système de filtration à aspiration autonettoyant qui atténue la haute fréquence de bruit connectées au compactage d'entrée de la turbine et aussi un séparateur d'air inerte qui enlève les particules étrangères avant que l'air entre dans la turbine. Ce système combine la fonction de filtrage et de silence d'air d'entée avec la fonction de diriger l'air dans le compresseur. [4]

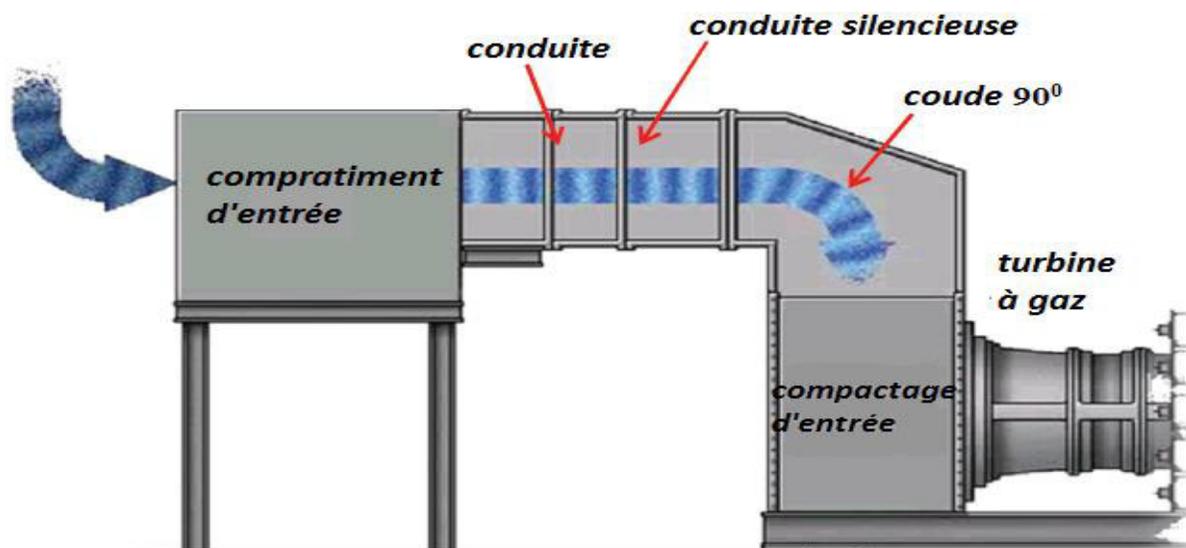


Figure 10 : système d'admission

7.2. Système d'échappement

La section échappement se compose essentiellement du cadre d'échappement et du caisson d'échappement. Lorsque la turbine marche les gaz d'échappement en provenance de la turbine sont déchargés dans le diffuseur et dans la section des déflecteurs du cadre d'échappement puis la cheminée d'échappement. [1], [4]

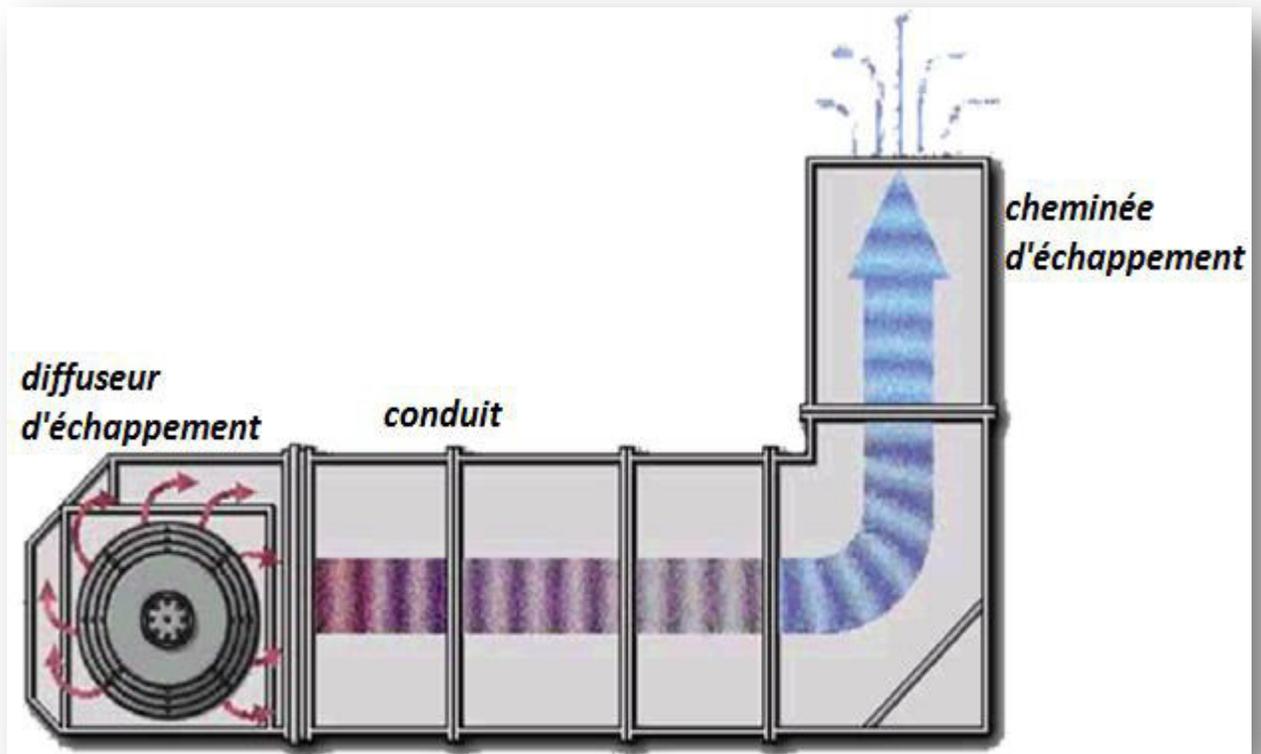


Figure 11 : Système d'échappement

7.3. Système de démarrage

Pendant la séquence de démarrage, la turbine à gaz est entraînée par une turbine à détente fait accélérer le rotor haute pression de la turbine depuis l'arrêt jusqu'à 22% de la vitesse nominale pendant trois minutes, à ce moment en assurant le cycle de purge de compresseur axiale. A 32% de la vitesse nominale en assurant l'allumage, puis contribue à l'accélération jusqu'au désaccouplement à 62% de sa vitesse nominale et elle devient autonome. [3]

7.4. Système de gaz combustible

Le système de gaz combustible est réalisé pour fournir le gaz combustible aux chambres de combustion à la pression suffisant pour être en conformité avec toutes les exigences de démarrage, d'accélération et de chargement lors du fonctionnement de la turbine à gaz.

Le gaz combustible est premièrement nettoyé en le passant par un filtre pendant qu'il circule dans la tuyauterie d'alimentation et dans la tuyauterie collectrice de gaz. Le gaz combustible est mesuré et contrôlé pour fournir le débit nécessaire au système de combustion de la turbine à gaz.

La vanne arrêt/détente SRV et la vanne de contrôle du combustible GCV sont des vannes indépendantes et assemblées dans une seule caisse. Ce sont des vannes à action unique, fonctionnent électro hydrauliquement.

La vanne arrêt / détente a la double fonction d'arrêter et de régler la pression du gaz en aval (cette vanne étant commandée par le système de protection de la turbine). A cette régulation il faut ajouter celle exercée par la vanne de contrôle du combustible (GCV) laquelle s'ouvre en fonction linéaire par rapport au signal qu'elle reçoit de l'armoire de commande et de contrôle. [1], [4], [5]

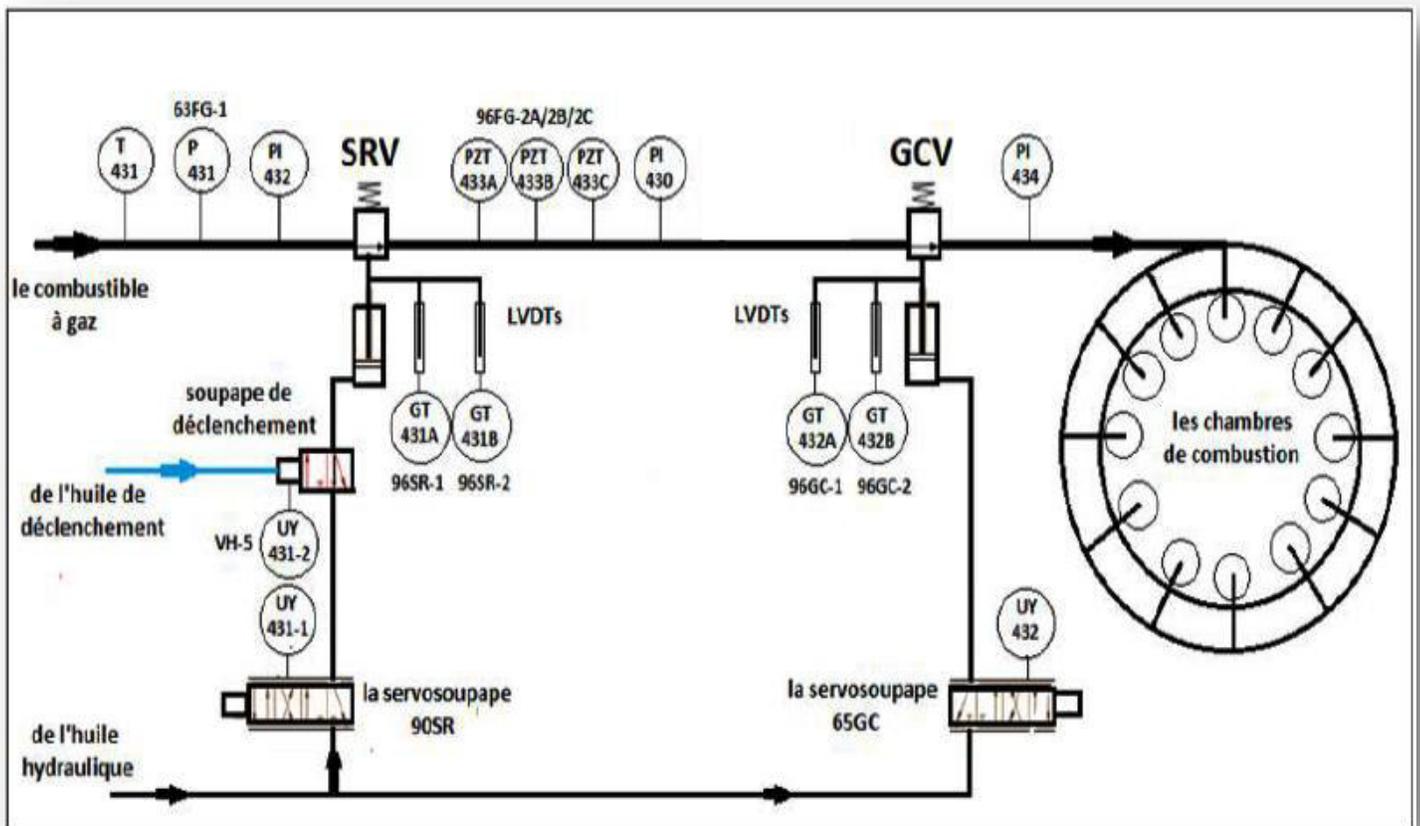
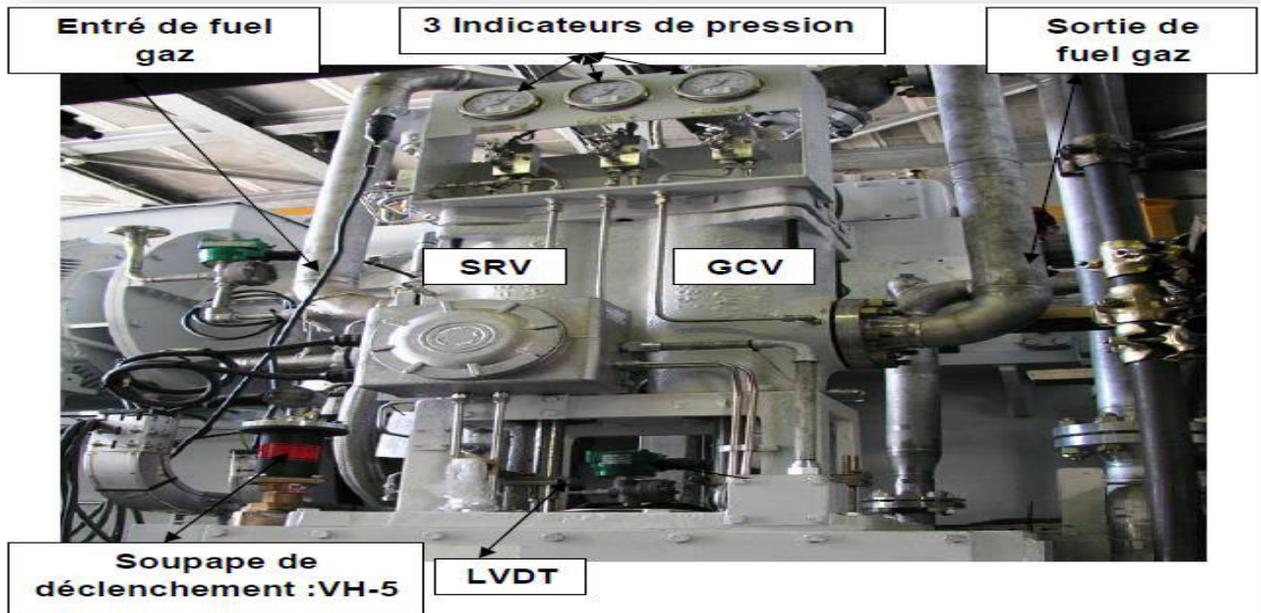


Figure 12 : système de gaz combustible

Equipements:

- Une soupape de déclenchement VH-5.
- Deux servosoupape de réglage 90SR et 65GC.
- Quatre LVDT (96SR-1,2/ 96GC-1,2) pour capter la position de SRV et GCV.
- Trois transmetteurs de pression (96FG-2A, 2B, 2C) pour capter la pression entre SRV et GCV.
- Trois manomètres (PI-8, 9, 10) pour lire la pression localement.
- Un pressostat (63FG-1 P) pour signaler la chute de pression au système de contrôle.
- Un capteur de température (63FG-1 T) pour capter la température de gaz. [6]

7.5. Système d'air de refroidissement et d'étanchéité

L'air ambiant et l'air d'extraction en provenance du compresseur à flux axial de la turbine servent à refroidir certaines pièces de la turbine et à pressuriser les étanchéités des paliers. L'air d'extraction se compose de l'air de fuite des joints d'air haute pression du compresseur, de l'air de refoulement du compresseur et de l'air d'extraction du dixième étage de compression.

Les éléments refroidis sont les suivants :

- Roues de premier et deuxième étage.
- Ensemble de la directrice de premier étage.
- Carter du rotor de la turbine.
- Support du cadre d'échappement.
- Les tubes de flamme des chambres de combustible. [4]

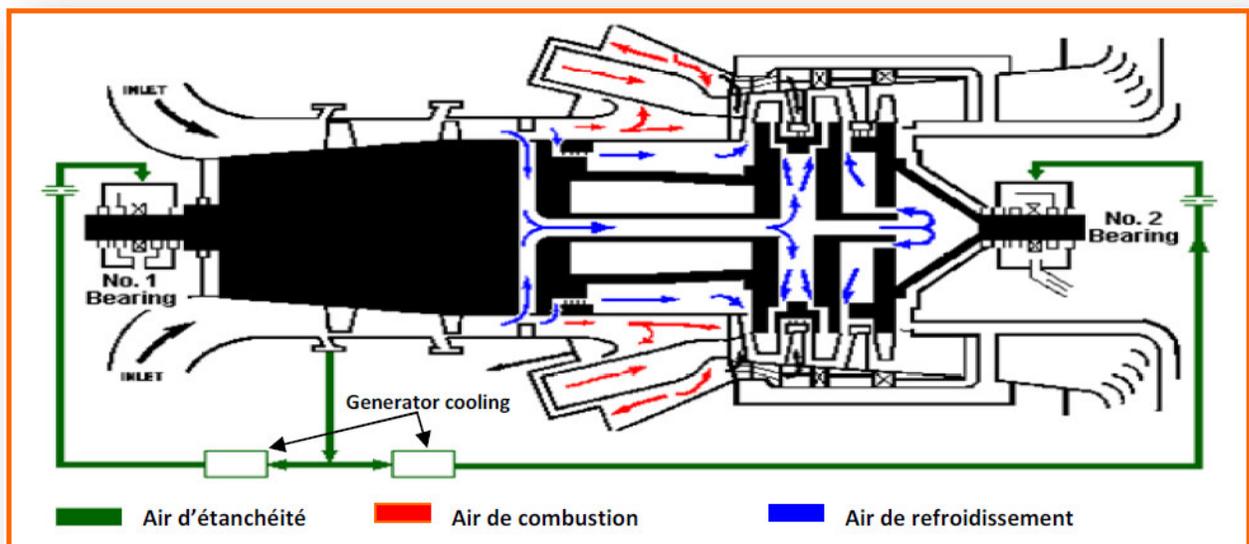


Figure 13 : système de refroidissement et d'étanchéité

7.6. Système d'huile de graissage

La lubrification de la turbine est assurée par un système d'huile sous pression en boucle fermée comprenant, un réservoir d'huile, des pompes, des régénérateurs (réfrigérateurs d'huile), des filtres, valves et des divers dispositifs qui assurent la commande et la protection du système.

L'huile de lubrification du système est envoyée aux quatre paliers principaux de la turbine, les accessoires de la turbine et l'équipement de charge entraîné. [3], [4]

Le système d'huile de graissage comporte trois pompes :

7.6.1. Pompe principale

C'est une pompe volumétrique, montée et entraînée par le réducteur auxiliaire. Elle pompe l'huile de graissage du réservoir vers les différents points de graissage de l'installation durant la marche normale. [5]

7.6.2. Pompe auxiliaire

La pompe auxiliaire pour l'huile de graissage est du type vertical à un seul étage et une seule aspiration, fonctionnant en centrifuge et entraînée par un moteur CA. Elle sert à fournir la pression d'huile lors du lancement et de la mise à l'arrêt de la turbine, alors que la pompe principale ne fournit pas une pression suffisante pour la sécurité du fonctionnement à des vitesses inférieures à 80 % de la vitesse nominale de la turbine. [3]

7.6.3. Pompe de secours

La pompe de secours pour l'huile de graissage est également une pompe du type verticale, submergée, à un seul étage et à une seule section, fonctionnant en centrifuge : toute fois, elle est entraînée par un moteur CC. [3]

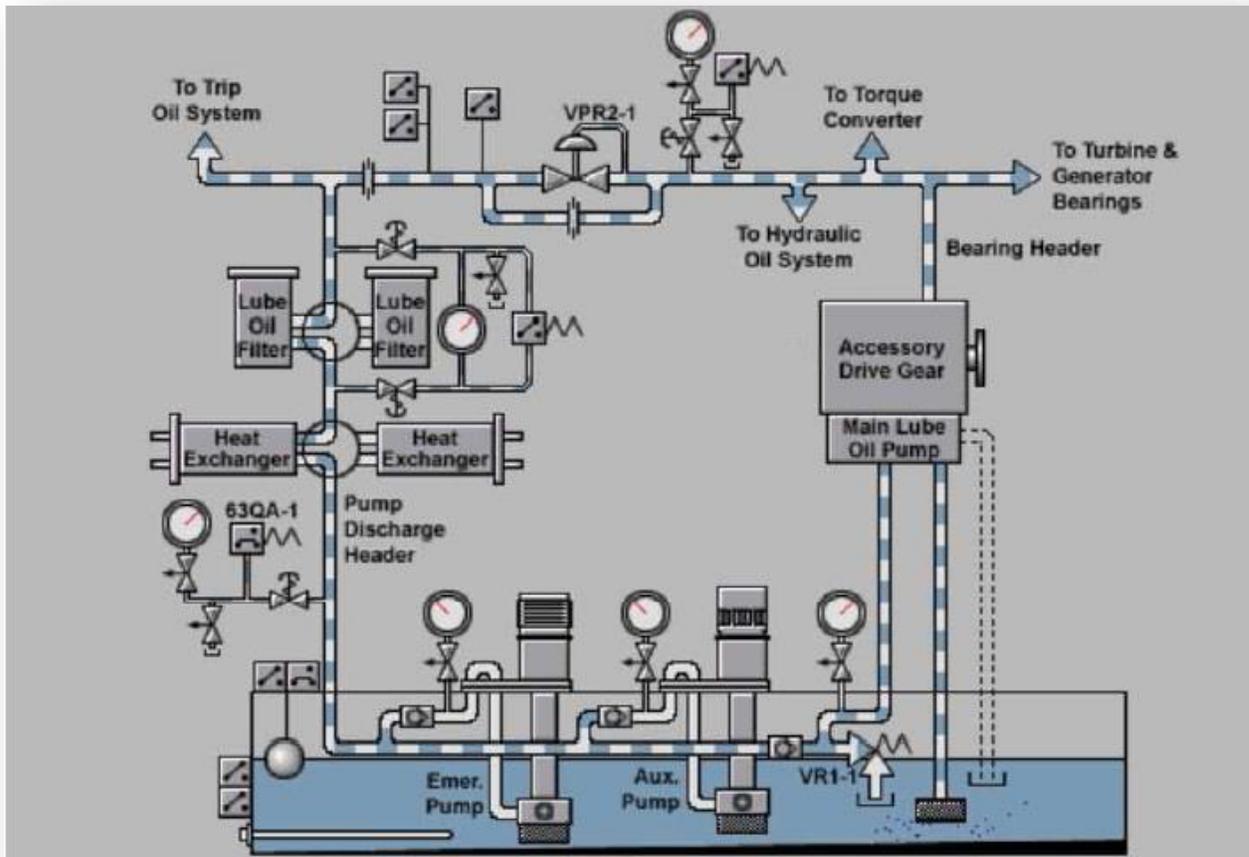


Figure 14 : système d'huile de graissage

7.7. Système hydraulique

Les fonctions principales de ce système est l'alimentation de fluide hydraulique pour la commande de position de la vanne de commande de combustible, de la vanne d'arrêt-rapport de vitesse, de la directrice du deuxième étage (nozzle), le fonctionnement du système de déclenchement de la turbine à gaz, et la mise en prise de l'embrayage de lancement. La description de ce système est divisée en trois parties: [3]

7.7.1. Système d'alimentation

Il fournit de l'huile haute pression au système hydraulique, il fait monter la pression de l'huile de graissage à environ 84 bar, avec filtration de l'huile utilisé par les vannes d'asservissement, il comprend également les dispositifs de protection de la turbine en cas de pression insuffisante dans le système hydraulique pour maintenir les fonctions de commande essentielles. [3]

7.7.2. Système de déclenchement hydraulique

Il forme l'interface primaire de protection entre le tableau de commande de la turbine et les composants installés sur la turbine admettant ou coupant l'arrivée du combustible à la turbine, ce système sert également à ouvrir les directrices lors des séquences normales de lancement et de mise la turbine à l'arrêt. [3]

7.7.3. Système d'huile de commande

Il remplit deux fonctions de commande: position des nozzle, et position de la vanne combinée de combustible gazeux et d'arrêt-rapport de vitesse. Les composants principaux de ce système sont les suivants : [3]

a) Déclenchements de survitesse

Ces déclenchements de type mécanique fonctionnent conjointement avec les masses de déclenchement de survitesse de l'arbre HP et BP. Quand ces mécanismes entrent en action, ils provoquent une chute rapide de pression dans le système d'huile de commande, produisant la fermeture de la vanne d'arrêt de combustible et l'ouverture des directrices. [3]

b) Vanne de décharge

La vanne actionnée par solénoïde avec ressort de rappel 20HD est utilisée pour commander le système d'huile de commande à partir d'un signal provenant du circuit principale de protection de commande, la vanne est sous tension quand la turbine est en marche. Elle produit le déclenchement de la turbine de façon semblable à qui a été décrit ci-dessus pour le déclenchement de survitesse. [3]

c) Orifice d'entrée

Elle est installée dans la tuyauterie allant du distributeur d'alimentation des paliers au système d'huile de commande. Son diamètre est choisi de façon à limiter le débit d'huile vers le système de l'huile de commande, assurant ainsi une capacité adéquate pour tous les dispositifs de déclenchement, tout en évitant un manque d'alimentation du système de graissage quand le système d'huile de commande déclenche. [3]

d) Contact manométrique

Il est prévu pour envoyer un signal électrique au système de commande SPEEDTRONIC et assurer le déclenchement de la turbine au cas où la pression deviendrait insuffisante dans le système d'huile de commande. [3]

7.8. Système de protection de la turbine à gaz

7.8.1. Protection de vitesse

Le mécanisme de déclenchement de survitesse est un dispositif qui conjointement avec l'ensemble de la masse de survitesse, donne un moyen mécanique pour mettre la turbine à l'arrêt automatiquement quand la vitesse de l'arbre atteint une vitesse de déclenchement spécifiée.

Le mécanisme de déclenchement de survitesse est un ensemble hydraulique. Il comprend une vanne hydraulique pilote, qui ouvre une lumière de décharge quand elle se trouve en position déclenchement, reliant ainsi le système de déclenchement hydraulique à la vidange, la vanne hydraulique pilote est munie d'un ressort de rappel, et elle est maintenue en position armée par une gâchette fermant la lumière de vidange. De cette façon, les autres dispositifs du système de déclenchement hydraulique peuvent contrôler la pression dans ce système. Quand la masse de survitesse se déplace, elle vient frapper la gâchette qui débloque la vanne hydraulique pilote, cette vanne se met en position de décharge très rapidement sous effet de son ressort. La pression du système de déclenchement hydraulique tombe rapidement ce qui fait que la vanne d'arrêt de combustible et les autres dispositifs du système de protection se ferme et mettent la turbine à l'arrêt.

Le contact électrique monté sur le mécanisme de déclenchement est également actionné quand la vanne hydraulique pilote se met en position de déclenchement. Ce contact met en route la mise à l'arrêt de la turbine par voie électrique au moyen du tableau de commande de la turbine tout en déchargeant simultanément la pression du système de déclenchement hydraulique au moyen d'électrovanne 20 HD. Cette décharge de pression du système par voie électrique est en redondance avec la décharge par voie mécanique à l'aide de la vanne pilote.

La masse de survitesse (plongeur) est réalisé de telle sorte que son centre de gravité soit décentré par rapport à l'axe de rotation. Elle est soumise à la force d'un ressort qui est supérieurs à la force centrifuge jusqu'à ce que la vitesse de consigne de déclenchement soit atteints, la force centrifuge agissent sur la masse devient supérieur à la force du ressort de rappel, ce déséquilibre provoque le déplacement très rapide de la masse sur toute sa course, elle vient frapper la gâchette du mécanisme de déclenchement de survitesse mettant en route la mise à l'arrêt de la turbine par survitesse.

Le groupe peut également être déclenché par voie électronique si une survitesse se produit. Des détecteurs constitués par des capteurs magnétiques à niveau de sortie élevé sont utilisés à cet effet. Ils sont réalisés avec un aimant permanent entouré d'une bobine et enfermé dans une gaine en acier avec un connecteur à l'arrière. Une roue dentée comportant 60 dents est incorporée à l'arbre de la turbine et forme le rotor d'un alternateur à induction. Cette roue dentée agit sur quatre capteurs indépendants. La variation de flux magnétique induit un courant alternatif dans la bobine, proportionnel au changement de flux déterminé par la vitesse de la turbine et dépendant de la distance entre le capteur et la roue dentée, il y a deux voies en redondance, chacune ayant sa propre redondance.

Un signal de déclenchement est émis si une des conditions se produit :

- Le point de consigne de déclenchement est atteint ou dépassé.
- Le signal CA du détecteur est trop élevé (capteur trop près de la roue).
- Capteurs en court-circuit ou en circuit ouvert.
- panne d'alimentation des cartes de circuit correspondances.

Quand le système électronique de survitesse détecte une condition de déclenchement, les circuits coupent l'alimentation de la vanne hydraulique de décharge, ce qui fait communiquer le circuit d'huile de déclenchement hydraulique et la décharge, provoquant la fermeture de la vanne d'arrêt de combustible. Avec son alimentation en combustion coupée, la machine s'arrête. [3]

7.8.2. Protection contre excès de température

Deux canaux de déclenchement d'excès de température sont installés indépendants l'un à l'autre, chacun comprenant un amplificateur de thermocouple et un circuit de déclenchement à seuil de niveau. Les amplificateurs reçoivent leurs signaux provenant de thermocouples installés dans le caisson d'échappement de la turbine. Le signal de sortie de l'amplificateur de thermocouple attaque un système détecteur de niveau dont le seuil de déclenchement est réglable, en vue de déclencher la turbine quand la température maximale admissible à l'échappement est atteinte. Quand le système d'excès de température détecte une condition de déclenchement, les circuits coupent l'alimentation de la vanne hydraulique de décharge, provoquant ainsi la fermeture de la vanne d'arrêt de combustible et mettant la turbine à l'arrêt de ce fait. [3]

7.8.3. Protection contre les vibrations

La protection contre les vibrations est généralement assurée par des capteurs de vitesse, deux sur la turbine à gaz, et un sur la charge entraînée. Les transmetteurs de ces capteurs produisent un signal proportionnel à la vitesse de la vibration. Le système de déclenchement est réglé par un point de consigne spécifié par les spécifications de la commande. Au cas où il se produirait un circuit ouvert, un court-circuit ou un point de masse dans l'un des trois canaux indépendant, une alarme est émise, mais le groupe peut rester en marche. Une carte d'étalonnage est fournie afin de régler et de vérifier chaque canal. [3]

7.8.4. Protection de flamme

Quatre détecteurs de flamme sont utilisés dans la séquence de lancement et pendant le fonctionnement normal de la turbine à gaz. Pendant le lancement, dès qu'un détecteur de chaque côté de la turbine détecte la flamme, la séquence de lancement poursuit. En cas de défaillance d'un détecteur, une alarme est émise, le groupe peut rester en marche. Les détecteurs de flamme sont de type sensible aux rayons ultra-violet. Ils sont constitués par deux électrodes de tungstène enfermés dans une enveloppe de quartz ou de borosilicate contenant de l'hydrogène sous basse

pression. La haute tension appliquée entre les électrodes produit une décharge d'effluves si un rayonnement ultra-violet est présent. Sinon, il ne se produit pas de décharge, et aucun courant ne passe dans le tube. Ce système permet de bloquer la séquence de lancement s'il n'y a pas de flamme, et de mettre la turbine à l'arrêt en cas de perte de flamme en cours de fonctionnement. [3]

7.8.5. Dispositif d'anti-pompage

Le pompage est marqué par la rupture complète de l'écoulement continu à travers le compresseur axial et résulte en larges oscillations de débit avec le temps ce qui ferait des endommagements importants sur les organes mécaniques

La protection contre le pompage est donc une nécessité. Deux modes de protection sont appliqués :

- a) Débit entrant réglable (variable) : En amont du compresseur axial est placé un étage d'aubes mobiles en rotation (variables) dites IGV, la fermeture de ces aubes permet de limiter le débit d'air admis et cela lors du démarrage, où la vitesse du rotor est encore faible, l'ouverture de ces aubes croît progressivement avec l'accélération de la turbine, jusqu'à atteindre une ouverture complète correspondante au maximum de débit et vitesse de rotation.
- b) Vanne anti-pompage (VAP): Un piquage au niveau du 10^{ème} étage du compresseur vers l'atmosphère, sert à évacuer une partie de l'air admis à l'atmosphère afin d'éviter la pulsation du débit (retour de l'écoulement). [5]

7.9. Système d'extincteur au gaz carbonique CO₂

Le système de protection contre l'incendie à dioxyde de carbone CO₂ de l'unité turbine à gaz éteint les incendies en diminuant le contenu d'oxygène de l'air dans le compartiment à 21 % au moins de 15 % normal atmosphérique, une concentration insuffisante pour supporter la combustion. Pour réduire le contenu d'oxygène, une quantité de dioxyde de carbone CO₂ égale ou plus haut que 34 % du volume de compartiment est refoulée dans le compartiment dans une minute et exposés à la haute température de métal assure un refoulement prolongé pour maintenir une concentration d'extinction pour une période de temps plus long pour minimiser la possibilité d'une condition d'allumage. La mise en action du système provoque également le déclenchement de la turbine. Le mécanisme de décharge ouvrant les bouteilles de gaz carbonique est installé avec le groupe des bouteilles. Il est actionné automatiquement par un signal électrique provenant de détecteurs d'incendie sensible à la chaleur et installés à des emplacements judicieux dans les divers compartiments du groupe. Le système peut également être actionné manuellement en cas de panne d'électricité. [3]

7.10. Système de déclenchement

Tous les signaux de déclenchement (TRIP) de la turbine sont regroupés en un seul signal (contact logique) appelé L4T. L'activation de n'importe quel signal de déclenchement va engendrer l'activation du contact L4T qui à son tour va donner l'ordre au système de contrôle pour ouvrir l'électrovanne 20HD qui va couper le fuel gaz à partir de la vanne SRV et arrêter la turbine.

Lors d'un déclenchement, l'alimentation en huile d'arrêt est mise à la vidange par l'électrovanne 20HD ou les survitesse mécaniques HP et BP ce qui provoque l'ouverture des aubes variables.

Les éléments qui permettent la décharge de l'huile d'arrêt sont :

- Electrovanne de décharge 20HD.
- Survitesse mécanique (HP/BP).
- Vanne de décharge manuelle.

Donc cette huile est la clé de déverrouillage de toutes les protections. [6]

8. Commande SPEEDTRONIC MARK V

Le système de contrôle **MARK V** représente la 2^{ème} génération des commandes à redondance triple basé sur microprocesseur dont la 1^{ère} génération fut réalisée en 1982 (MARK IV). Ce système de commande est la réalisation numérique des techniques automatiques apprises et affinées au cours des quarante dernières années. MARK V SPEEDTRONIC est un système de régulation dédié aux turbines à gaz et à vapeur. Il contient un certain nombre de systèmes, de commandes, protections et séquentiel conçus pour assurer un fonctionnement fiable et sûr de la turbine à gaz. [6]

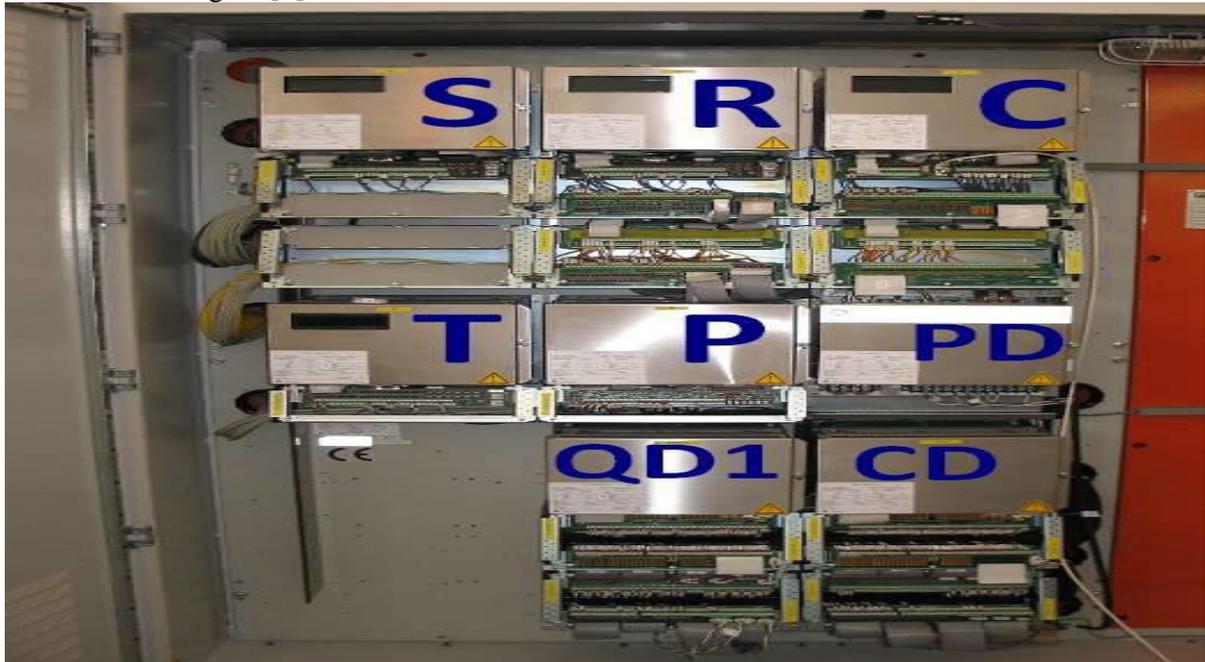


Figure 15 : Mark V

8.1. Architecture de système

Dans sa configuration la plus commune, le MARK V améliore encore la fiabilité de l'unité grâce à l'utilisation de trois processeurs de commande redondante <R>, <S> et <T>. Un tableau de commande MARK V (TMR) comprend :

8.1.1. Processeur de commande <R>, <S> et <T>

Trois processeurs de commande identique <R>, <S> et <T> (collectivement appelé <Q>). Ces trois processeurs traitent tous les signaux critiques venant des divers capteurs redondants de la turbine. Un tri de deux sur trois est effectué par chaque contrôleur indépendant, ceci assure que les trois contrôleurs utilisent les mêmes valeurs pour les calculs internes sur des données courantes, cette conception redondante modulaire triple (TMR) permet d'exploiter, commander et protéger de manière sûre une unité si l'un de ces processeurs de commande ou si l'un des composants du processeur de commande tombe en panne.

8.1.2. Processeur de communication <C>

Ce processeur recueille les données pour affichage, maintient les alarmes mémoires. Gère et garde les diagnostics des données et surveille aussi tous les signaux non critiques des entrées/sorties.

8.1.3. Un module de protective <P>

Ce contrôleur est conçu par trois cartes à base de microprocesseurs appelés <X>, <Y> et <Z>. Elles fournissent un signal de déclenchement pour arrêter la turbine.

8.1.4. Module entrée/sortie logique

- <CD> : Un module E/S numérique du processeur de communication. Il reçoit les entrées/sorties non critiques qui sont traitées par le processeur de communication <C>.
- <QD1> : Un module E/S numérique du processeur de commande. Il reçoit entrées/sorties critiques qui sont traitées par les processeurs <R>, <S> et <T>.

8.1.5. Module de distribution d'alimentation <PD>

Le module de distribution d'alimentation assure la distribution du 125VDC vers les cartes d'alimentations des contrôleurs <R>, <S>, <T>, <C> et <P>, il fournit aussi la tension de 125VAC pour le transformateur d'allumage des bougies.

8.1.6. Interface opérateur <I>

L'interface opérateur <I> (interface homme machine) est utilisée pour émettre des commandes de mise en marche/arrêt de l'unité, pour mettre sous charge/enlever la charge à l'unité, gérer et consigner les alarmes et surveiller le fonctionnement de l'unité. La communication entre l'interface <I> et les trois processeurs se fait par l'intermédiaire du processeur de communication <C>. [6]

9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une étude bien déterminée de la turbine à gaz MS-5002B, en expliquant le principe de fonctionnement et aussi en définissant les caractéristiques des différentes sections de la turbine, ainsi que les différents systèmes auxiliaires nécessaires au fonctionnement et la protection de la turbine.

Chapitre II

Maintenance de la turbine à gaz

1. Introduction

Les installations et les équipements ont tendance à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples (usure, déformations, corrosions...). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt définitif ou momentané qui influera sur les capacités de production, occasionnera des coûts de maintenance et mettra la sécurité du personnel en danger.

Pour améliorer la production et la bonne conduite des différents équipements, on se réfère à la maintenance préventive. Cette mutation où le passage d'une situation, où on subit les pannes et une autre où on maîtrise les pannes, nécessite quelques moyens technologiques, ainsi que la connaissance de techniques d'analyse appropriées. La fonction de surveillance en continu de l'évolution de l'équipement à travers des données quantifiables et qualifiables permet ainsi de prévenir un dysfonctionnement avant qu'il n'arrive et d'écarter les fausses alarmes qui peuvent ralentir la production.

Dans la littérature associée au domaine de la surveillance d'équipements industriels, on peut trouver plusieurs définitions parfois divergentes. C'est pour cette raison que nous considérons important d'affirmer notre point de vue en donnant des définitions de notions de base indispensables au positionnement de notre travail.

2. Définition de la maintenance

Selon la norme AFNOR X 60-010, la maintenance est définie comme suit:
« 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 ».

3. Différents types de maintenance

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

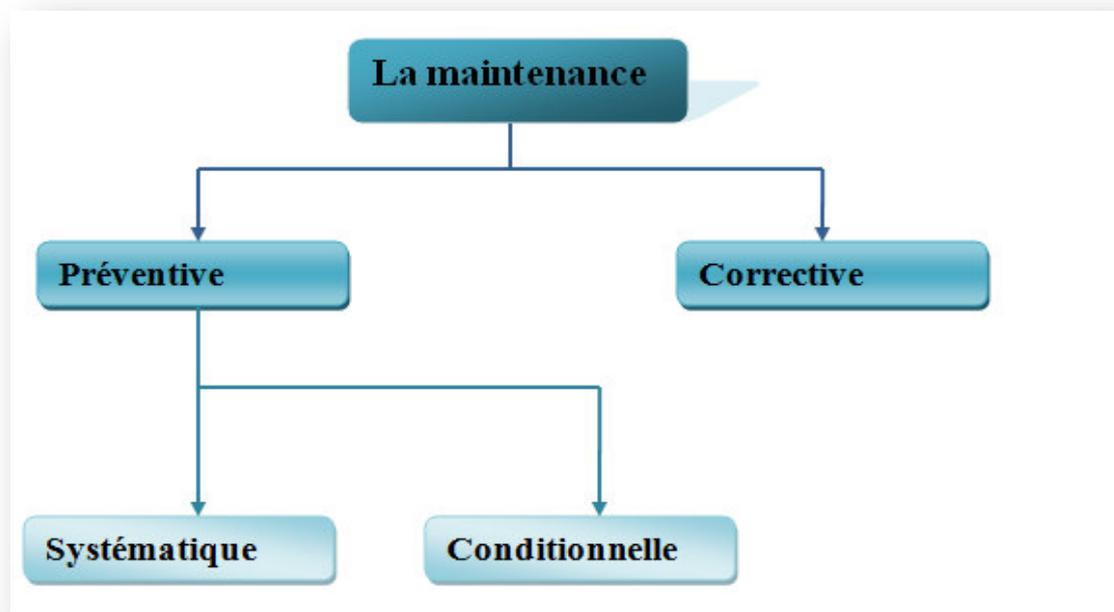


Figure 16 : les différents types de maintenance.

3.1. 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.

3.1.1. Maintenance préventive systématique

C'est la maintenance qui est effectuée selon un échéancier 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.

3.1.2. 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. [7]

3.2. Maintenance corrective

D'après la norme AFNOR X 60-010, c'est une opération de maintenance effectuée après défaillance.

4. Surveillance

4.1. Définition

La surveillance est un dispositif passif, informationnel qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et à classer les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières.

La surveillance se compose donc de deux fonctions principales qui sont la détection et le diagnostic.

4.1.1. La détection

Pour détecter les défaillances du système. Il faut être capable de placer les situations observables comme étant normales ou anormales.

4.1.2. Diagnostic industriel

C'est l'identification de la (les) cause (s) probable (s) de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

Une défaillance peut généralement être expliquée par plusieurs défauts qui conduisent à la même panne, ce qui complique l'opération inverse, en l'occurrence le diagnostic.

4.1.3. Localisation

La localisation permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant. [8]

5. Méthodes de surveillance

Les méthodologies de surveillance sont généralement divisées en deux groupes : méthodologie de surveillance avec modèle et sans modèle.

5.1. Les méthodes de surveillance avec modèle

Les méthodes de diagnostic à base de modèle connues aussi comme diagnostic à partir de principes premiers, sont appropriées quand l'information disponible sur le processus, permet d'utiliser les principes physiques de processus et leur compréhension. Ces méthodes comprennent des outils industriels comme l'arbre de défaillances (ADD), utilisé essentiellement pour le diagnostic. [16]

5.1.1. Les méthodes de diagnostic par la modélisation fonctionnelle et matérielle

Le principe de ces méthodes consiste à établir *a priori* et de la manière la plus complété possible, les liens entre les causes initiales des défaillances et leurs effets mesurables. Les méthodes les plus couramment rencontrées sont (AMDEC) et (ADD). [8]

5.1.2. Les méthodes de surveillance par modélisation physique

Les méthodes de surveillance avec modèle physique ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance. Les outils de théorie de décision sont ensuite utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux. [10]

5.2. Les méthodes de surveillance sans modèle

Nombreuses sont les applications industrielles dont le modèle est difficile, voire impossible à obtenir, suite à une complexité accrue ou à de nombreuses reconfigurations intervenants durant le processus de production. Pour ce type d'applications industrielles, les seules méthodes de surveillance opérationnelles sont celles sans modèle. Deux solutions existent dans ce cas : surveillance avec des tests statistiques du traitement du signal et surveillance par intelligence artificielle. [9]

5.2.1. Surveillance par utilisation des outils statistiques de traitement de signal

Les outils statistiques de détection de défaillances consistent à supposer que les signaux fournis par les capteurs possèdent certaines propriétés statistiques. On effectue alors quelques tests qui permettent de vérifier si ces propriétés sont présentes dans un échantillon des signaux mesurés. Une grande variété de tests, applicables sur un échantillon de mesure. Parmi les plus importants, nous mentionnons : le test de franchissement de seuils, le test de moyenne et le test de variance. [9]

5.2.2. *Surveillance par intelligence artificielle*

L'intelligence artificielle est une discipline scientifique recherchant des méthodes de résolution de problèmes à forte complexité logique ou algorithmique. Son utilisation permet de pallier la complexité des systèmes à diagnostiquer. La classification des méthodes en l'absence de modèle du procédé est quelque peu réductrice. On trouve dans la littérature des classifications trois méthodes principales :

Les méthodes à base de modèles comportementaux, méthodes de reconnaissance de forme et méthodes à base de modèles explicatifs.

Ces méthodes s'appuient largement sur les techniques de l'IA et font appel à des connaissances symboliques, familières ou du moins partageables par l'opérateur. L'IA peut se caractériser par sa capacité à traiter :

- Une grande quantité d'informations ;
- Des données non homogènes (numérique/symbolique) ;
- Des données dépendantes du contexte ;
- Des données incomplètes.

5.2.2.1. *Les méthodes à base de modèles comportementaux*

Habituellement, ces méthodes sont basées sur la simulation de comportement du fonctionnement du système, à partir d'une modélisation faite sur son comportement, le plus souvent une modélisation de bon fonctionnement qui, contrairement aux modèles numériques, n'est pas basée sur la physique du système, mais sur une considération en termes de mode de fonctionnement. [11]

5.2.2.2. *Les méthodes à base de modèles explicatifs*

Ce type regroupe les méthodes qui permettent de fournir une représentation de l'analyse causale des liens entre les défaillances, leurs causes et leurs effets observables. [11]

5.2.2.3. *Les méthodes de reconnaissance de forme*

L'approche de surveillance par reconnaissance des formes permet d'associer un ensemble de mesures (continues ou discrètes) effectuées sur le système à des états de fonctionnement connus. Cette fonction permet d'avoir une relation d'un espace caractéristique vers un espace de décision, de façon à minimiser le risque de mauvaise classification. Ces méthodes reposent sur l'utilisation des algorithmes de classification des formes et des mesures (continues ou discrètes). Le fonctionnement d'un système de diagnostic par reconnaissance des formes se déroule en trois phases :

- Une phase d'analyse qui consiste à déterminer et à réduire l'espace de représentation des données et à définir l'espace de décision permettant de spécifier l'ensemble des classes possible ;
- Une phase de choix d'une méthode de décision permettant de définir une règle de décision qui a pour fonction de placer les nouvelles observations dans les différentes classes de l'ensemble d'apprentissage ;
- Une phase d'exploitation qui détermine, en appliquant la règle de décision, le mode de

fonctionnement du système en fonction de chaque nouvelle observation recueillie sur le processus.

Parmi les techniques de reconnaissance des formes les plus importantes, nous pouvons citer la logique floue et les réseaux de neurone. Ces techniques ont l'avantage de ne pas se baser sur les connaissances *a priori* des états de fonctionnement, mais plutôt sur une phase d'apprentissage. [8]

a) Les réseaux de neurones artificiels

Ils imitent la structure neuronale d'un cerveau humain ; ils sont formés par un réseau complexe de blocs arithmétiques simples. Ils peuvent facilement représenter les systèmes non linéaires multi-entrées/multi-sorties. Cette technique a largement été utilisée dans le domaine du diagnostic des machines mécaniques selon plusieurs démarches et techniques :

- Apprentissage à partir de signaux temporels ou fréquentiels issus de simulation ou d'expérimentation ;
- Faculté d'apprentissage à partir d'exemples représentatifs qui nous évite la difficulté de représenter des systèmes complexes, l'apprentissage est automatique ;
- Diagnostic en temps réel et autonome ;
- Mise à jour dynamique de la structure de réseau ;
- Filtrage des transitoires, des perturbations et de bruit ;
- Détection des défauts dès leur naissance ;
- Capacité de représenter n'importe quelle fonction, linéaire ou pas, simple ou complexe ;
- Comportement moins mauvais en cas de faible quantité de données ;
- Simple à manier, beaucoup moins de travail personnel à fournir que dans d'autres méthodes ;
- Dans les complexités des statistiques multi-variables, l'idée d'apprentissage est plus simple à comprendre. [8]

Toutefois, il y a lieu de souligner:

- L'absence de méthode systématique permettant de définir la meilleure topologie du réseau et le nombre de neurones à placer dans la ou les couche(s) cachée(s) ;
- La connaissance acquise par un réseau de neurone est codée par les valeurs des poids qui sont inintelligibles pour l'utilisateur.

Elle présente par ailleurs des inconvénients très minimes par rapport à ces avantages.

b) La logique floue

- Traduit la perception humaine des valeurs, elle ne se limite pas à des valeurs <vrai, faux> comme la logique traditionnelle. Elle offre une large fourchette de valeurs intermédiaires. Les systèmes flous sont capables de traiter des variables naturelles via des conditions floues <si-alors >. Les systèmes flous adaptatifs exploitent les facultés d'apprentissage des réseaux de neurones ou la robustesse des algorithmes génétique dans le domaine de l'optimisation des paramètres du système à étudier, afin de prendre en considération les connaissances à priori et l'expertise humaine dans le domaine. Nous pouvons trouver dans la littérature plusieurs articles exploitant cette technique dans le domaine du diagnostic et de la surveillance des machines mécaniques, avec des objectifs variés :

- Détection d'un fonctionnement anormal et localisation de la défaillance.
- Evaluation des indices de performance.
- Construction de bases des données issues de l'expertise humaine, et formulation sous forme de règles conditionnelles < si-alors >.
- Conception de système adaptatif pour le diagnostic. [8]

6. Maintenance pour la turbine à gaz MS 5002b

6.1. maintenance systématique

Elle nécessite le démontage de la turbine à différents degrés:

6.1.1. Une inspection du système combustion (combustion inspection CI)

Chaque 8000 h de fonctionnement, une inspection du système de combustion réclame un temps d'arrêt relativement court de la turbine à gaz afin de vérifier l'état des éléments suivants :

- Brûleur.
- Chambre de combustion (chemise, chapeau, douille d'écoulement).
- Tubes d'interconnexion.
- Bougies d'allumage.
- Détecteurs de flammes.

<i>Elément</i>	<i>Objet de l'inspection</i>
<i>Chemise de combustion</i>	Corps étrangers
<i>Chapeau de combustion</i>	Usure anormale
<i>Brûleur</i>	Fissures
<i>Pièce de transition</i>	Trous refroidissement obstrués
<i>Tubes d'interconnexion</i>	Condition TBC
<i>Vanne de purge</i>	Oxydation/Corrosion/Erosion
<i>Clapets anti-retour</i>	Traces de température excessive locales
<i>Bougie d'allumage</i>	Perte de petites particules intérieures
<i>Détecteurs de flammes</i>	Jeux
<i>Conduits de combustible aux brûleurs</i>	Inspection au boroscope

Tableau 1 : Inspection typique de système de combustion

TBC : Revêtement de Protection Thermique. Protection extérieure des chambres de combustion et des pièces de transition.

Le boroscope : se compose d'un générateur de lumière, d'un conducteur de lumière flexible et d'un appareil optique rigide avec lentille haute qualité. [5]

6.1.2. Inspections de la veine des gaz chauds (hot gaz path inspection HPGI)

Chaque 16000 h de fonctionnement, le but de ce niveau d'inspection est d'examiner les pièces de la turbine les plus soumises aux contraintes par les températures élevées du système des gaz de combustion, cette visite comprend essentiellement :

- Directrices, tous les étages.
- Aubes du rotor, tous les étages.
- Anneaux de protection extérieure, tous les étages. [5]

<i>Elément</i>	<i>Objet d'inspection</i>
<i>Système de combustion</i>	voir le tableau 1
<i>Directrice, tous les étages</i>	Corps étrangers
<i>Aube, tous les étages</i>	Usure anormale
<i>Anneau de protection extérieure</i>	Fissures Les trous de refoulement sont obstrués
<i>Joint à labyrinthes</i>	Etat de revêtement
<i>Thermocouple de l'espace de roue</i>	Oxydation/Corrosion/Erosion
<i>Carter d'échappement de turbine</i>	Traces de la température excessive locale Perte de petites particules intérieures

Tableau 2 : Inspection typique de veine des gaz chauds

6.1.3. Révision générale (major inspection MI)

C'est une révision générale qui est faite chaque 32000 h de fonctionnement. Le but d'une révision générale est d'examiner toutes les pièces intérieures du stator et du rotor et de l'admission de la chambre des filtres jusqu'aux systèmes d'échappement y compris le réducteur de charge et la machine conduite. [5]

<i>Elément</i>	<i>Objet d'inspection</i>
<i>Système de combustion</i>	Voir tableau 1
<i>Veine des gaz chauds</i>	Voir tableau 2
<i>Aubes du compresseur</i>	Corps étrangers
<i>Roues de la turbine</i>	Usure anormale
<i>Queues d'aronde des aubes</i>	Fissures
<i>Zone supportée de l'arbre</i>	Trace de fuites intérieures
<i>Paliers</i>	Oxydation/Corrosion/Erosion
<i>Joints à labyrinthes</i>	Perte de petites particules intérieures
<i>Système d'admission</i> <i>Système d'échappement</i>	Distorsion et déformations
<i>Autre système auxiliaire</i>	Jeux

Tableau 3 : Inspection typique de révision générale

6.2. maintenance conditionnelle

Elle comprend la somme des observations faites durant le fonctionnement de l'unité. Des données en opération doivent être enregistrées pour permettre d'évaluer les performances de l'équipement, les besoins d'entretien et d'intervention, lorsque ces relevés indiquent des alarmes qui vont déclencher la turbine par la suite.

Les paramètres importants à contrôler sont les suivants :

- Vitesse de rotation de la turbine HP et BP.
- Température à l'échappement.
- Température à l'entrée de la turbine.
- Vibration au niveau des paliers.
- Risque de pompage.
- ΔP filtre à air.
- Température sortie du compresseur.
- Contrôle présence de la flamme.
- Haute température des paliers.
- Température d'huile de graissage. [5]

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité la maintenance appropriée pour les turbines à gaz et sur la thématique de surveillance et de diagnostic, et les différentes méthodes de surveillance pour pouvoir accéder aux systèmes automatique (réseau de neurone artificiel).

Chapitre III

Notion de base des réseaux de neurones artificiels

1. Introduction

Les réseaux de neurones artificiels constituent l'une des approches d'intelligence artificielle, leur principe s'inspire des neurones biologiques des humains. Nous présenterons dans ce chapitre la théorie de réseaux de neurones. D'abord, Nous allons nous intéresser au fonctionnement d'un neurone isolé, puis nous passerons en revue les principaux types de réseaux neuronaux, après avoir décrit les architectures neuronales les plus utilisées, à savoir les modèles statiques et dynamiques. Nous poursuivrons en exposant les différents types d'apprentissages, ainsi que les domaines d'applications.

2. Neurones biologiques

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. [12]

2.1. Structure des neurones biologique

Un neurone est constitué de trois parties : Le corps cellulaire (le soma), les dendrites et l'axone.

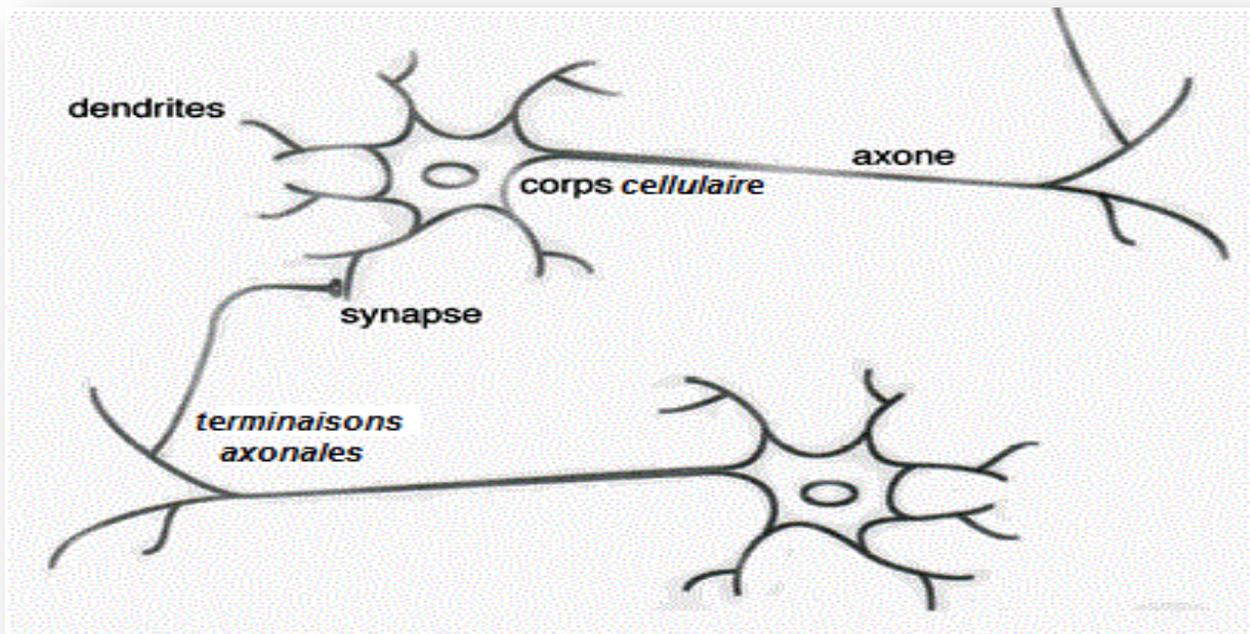


Figure 17: Schéma de neurone biologique

2.1.1. Les dendrites

Elles sont les récepteurs principaux du neurone pour capter les signaux qui lui parviennent des autres neurones par des points de contact appelés synapse. Certaines cellules peuvent compter jusqu'à 100 000 synapses. Ces signaux sont par la suite acheminés vers le corps cellulaire (soma).

2.1.2. Le corps cellulaire (soma)

L'arbre dendritique fait une convergence vers le soma, recueille et concentre les informations reçues et en fait une sommation dite "spatio-temporelle". Si le potentiel somatique dépasse un certain seuil, il y a émission d'un potentiel appelé 'Spike' qui correspond à une oscillation électrique brève.

2.1.3. L'axone

L'information traitée par le soma est transmise vers l'extérieur, le long de l'axone et répartie sur les synapses des neurones cibles grâce à les terminaisons axonales.

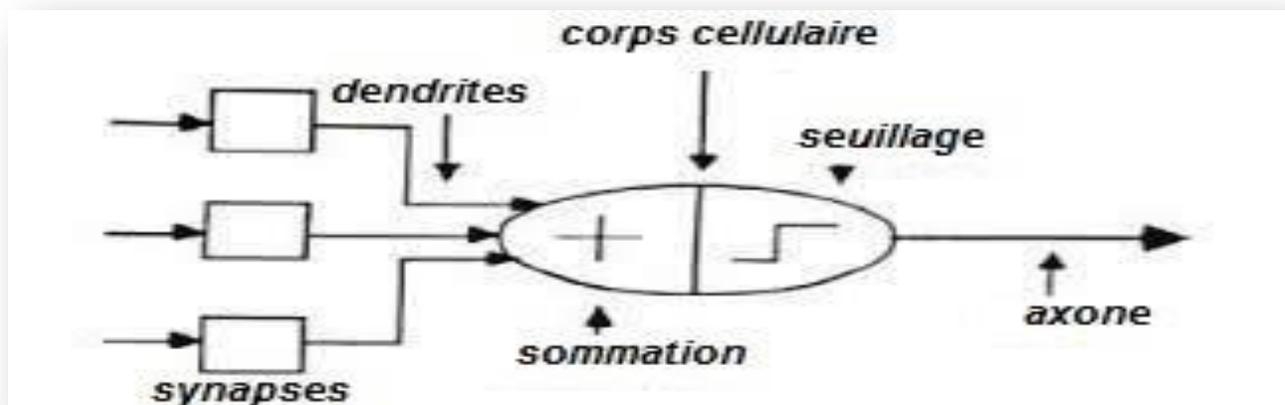


Figure 18 : le model d'un neurone biologique

3. Les neurones artificiels

Un neurone artificiel est considéré comme un élément principal de traitement de l'information, il reçoit des entrées et produit un résultat à la sortie.

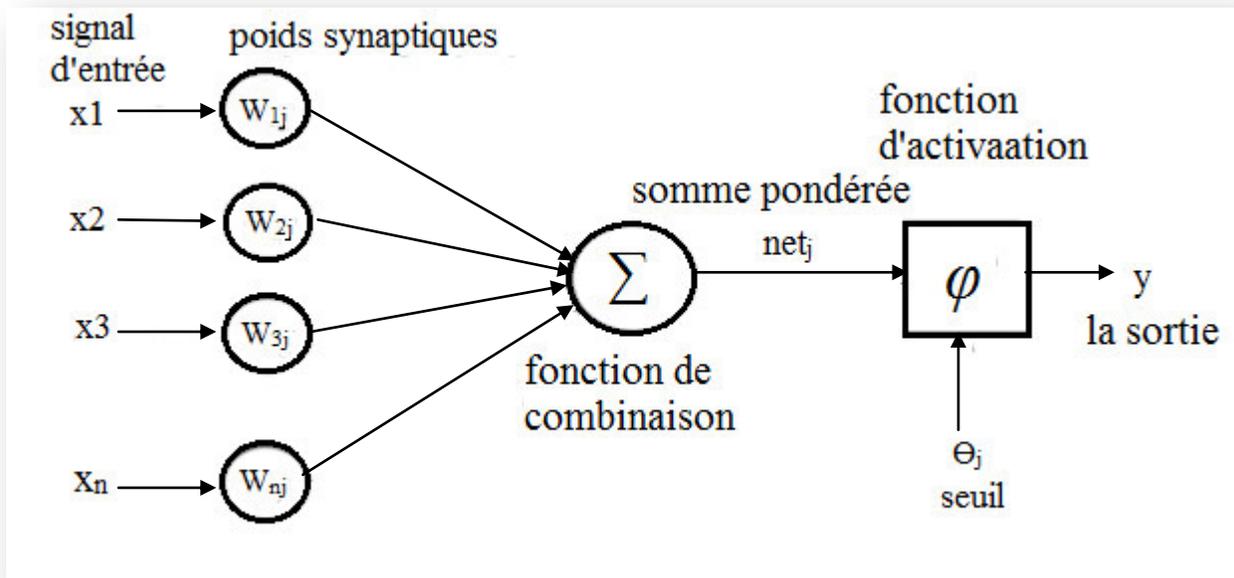


Figure 19 : neurone artificiel

$$net_j = \sum_{i=1}^n W_i X_i = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n$$

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

Exemple :

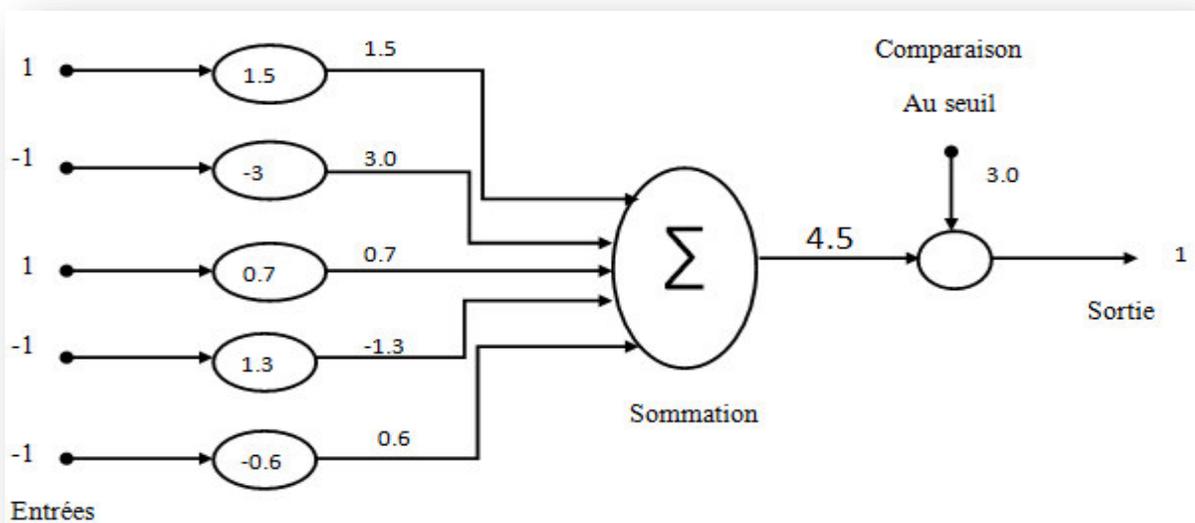


Figure 20 : fonctionnement d'un neurone artificiel

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

Différentes fonctions d'activation peuvent être utilisées [8]; le choix d'un type de fonction dépend de l'application, dont nous présentons certaines dans la figure suivante :

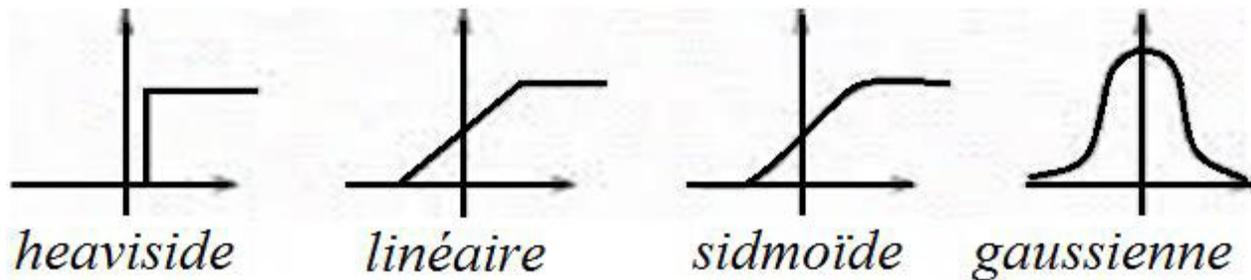


Figure 21 : quelques types de fonctions d'activations

3.1. Le neurone formel

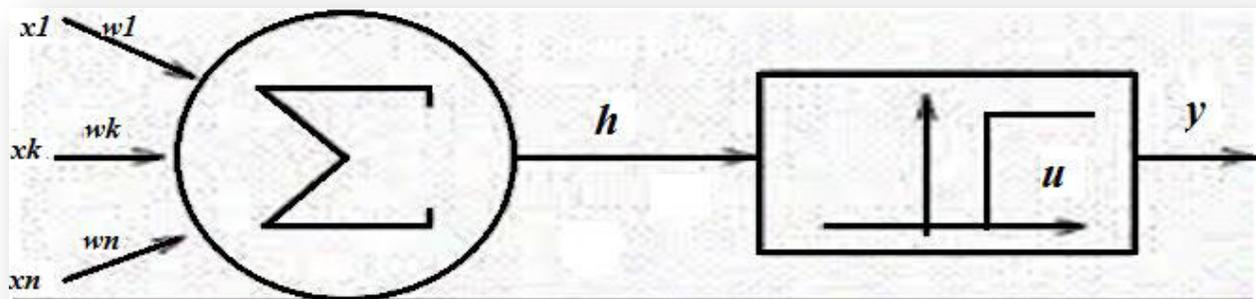


Figure 22 : le model de neurone formel

C'est un modèle mathématique réalisé par Mac-cullogh et pitts en 1943, qui calcule la somme pondérée de ses N entrée X_i , $i=1,2,\dots,N$. Le nœud est caractérisé par un seuil et il génère une sortie de « 1 » si cette somme est supérieure au seuil (u), et autrement une sortie de « 0 », mathématiquement :

$$\text{Si } \sum_{i=1}^n W_i X_i \geq u \quad y=1$$

$$\text{Si } \sum_{i=1}^n W_i X_i < u \quad y=0$$

3.2. Les architectures des RNA

Nous avons classé en deux grandes catégories d'après la connexion des neurones : réseaux non bouclé (feed -forward ou statique) et réseaux bouclés (feed-back, dynamique ou récurrente).

3.2.1. Réseaux statique ou non bouclé (feed-forward)

L'information circule des entrées vers les sorties sans retour en arrière. Ce type de réseaux est utilisé pour effectuer des tâches d'approximation de fonction non linéaire, de la modélisation de processus statique non linéaire ou de la classification.

3.2.1.1. Réseau perceptron multi couche PMC

C'est le réseau de neurones non bouclé le plus utilisé. Chaque neurone dans la couche cachée est connecté à tous les neurones de la couche précédente et à la couche suivante. Il n'y a pas de connexions entre les neurones d'une même couche.

Il peut résoudre des problèmes non linéaires et il suit un apprentissage avec la règle de correction de l'erreur.

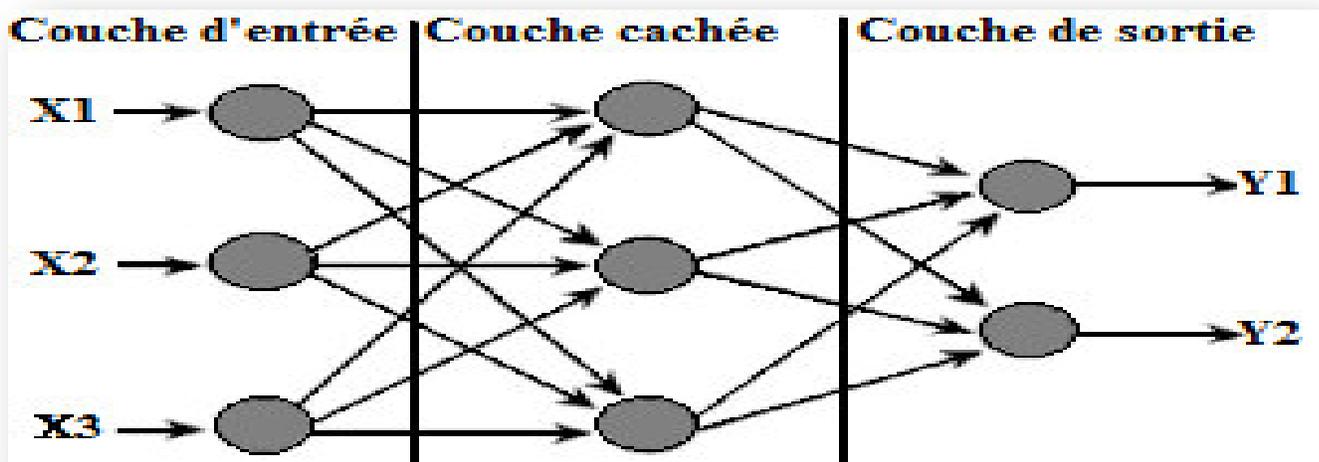


Figure 23 : réseau perceptron multicouche

3.2.1.2. Réseau multicouche à connexion locale

Il s'agit d'une structure multicouche, mais chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de couche aval. Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouches classique. [12]

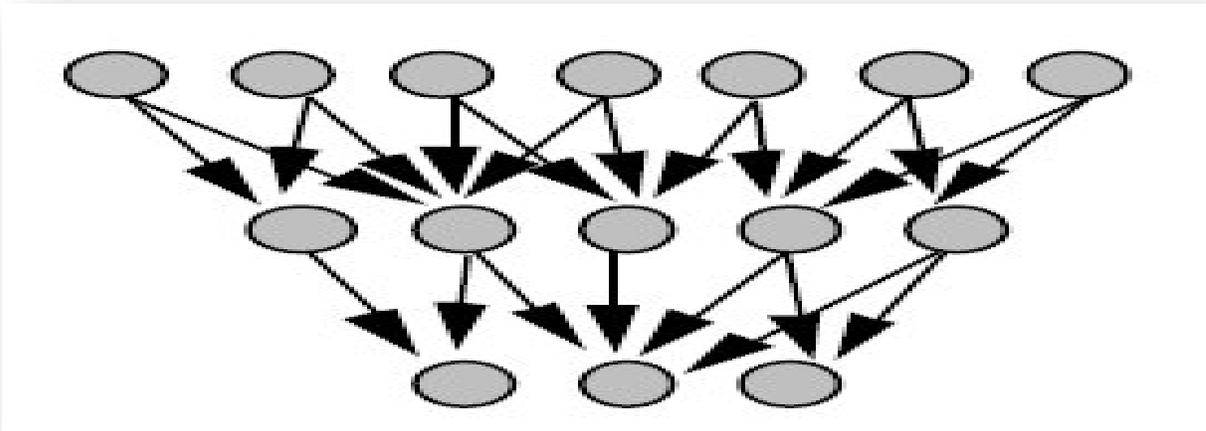


Figure 24 : réseau multicouche à connexion local

3.2.2. Réseau dynamique ou bouclé (feed-back)

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. [13]

$$x(k) = \phi [x(k-1), u(k-1)]$$

$$g(k) = \psi [x(k)]$$

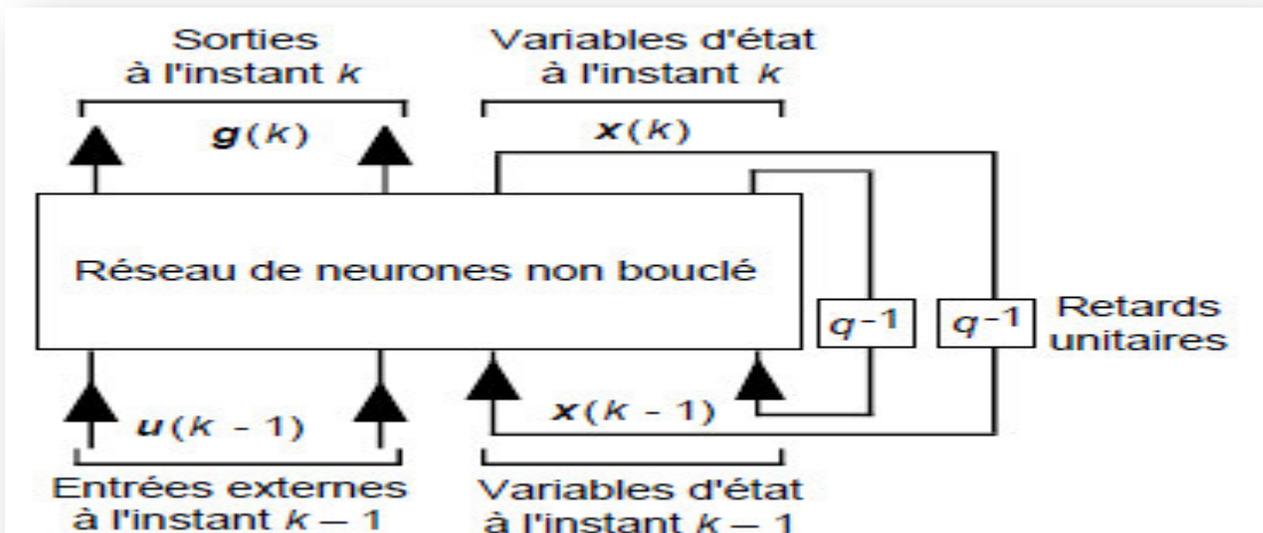


Figure 25 : réseau dynamique (feed-back)

3.2.2.1. Réseau à connexion récurrente

Les connexions récurrentes ramènent l'information en arrière par apport au sens de propagation dans un réseau multicouche. Ces connexions sont le plus souvent locales. [12]

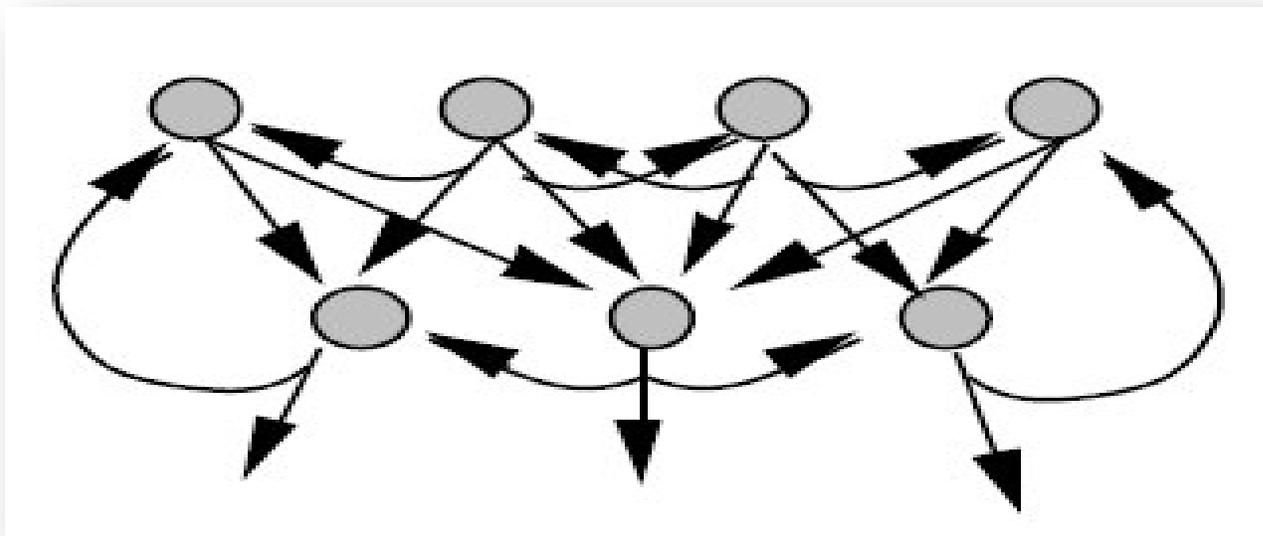


Figure 26 : réseau à connexion récurrente

3.2.2.2. Réseau à connexion complète

C'est la structure d'interconnexion la plus générale, chaque neurone est connecté à tous les neurones de réseau et à lui-même. [12]

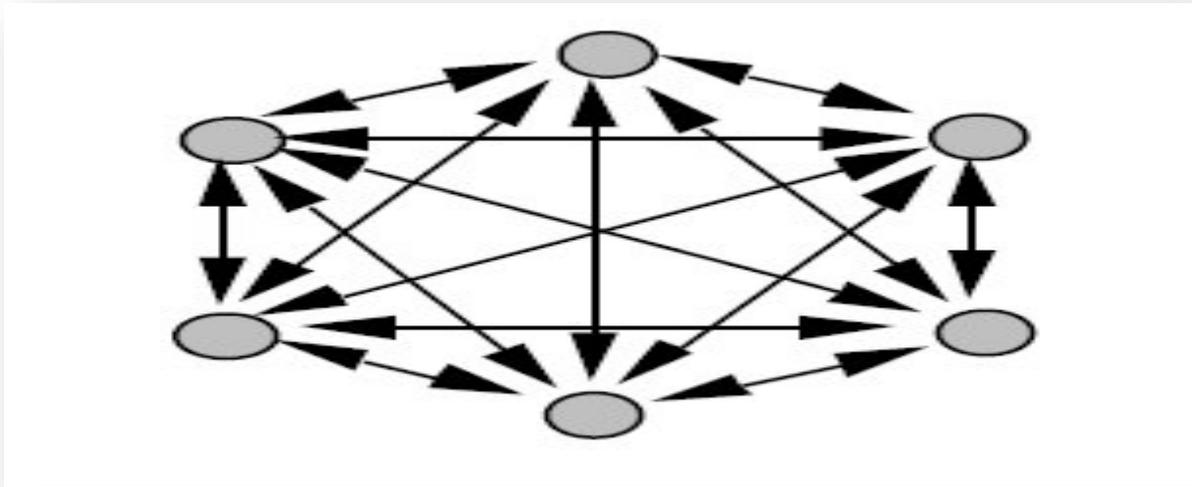


Figure 27 : réseau à connexion complète

3.3. Apprentissage

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 à priori des valeurs des poids des connexions d'un réseau pour une application donnée. Il y a deux types d'apprentissage :

- Supervisé.
- Non supervisé.

3.3.1. L'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 des

algorithmes d'apprentissage supervisé est l'algorithme de rétro-propagation du gradient d'erreur qui est appliqué aux réseaux multicouches.

3.3.2. *L'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.

3.4. *Algorithme d'apprentissage de rétro-propagation*

Dans notre travail, nous avons choisi l'architecture de perceptrons multicouches en utilisant un algorithme de rétro-propagation. Il consiste dans un premier temps, à circuler vers l'avant les données d'entrées jusqu'à l'obtention d'une sortie calculée par le réseau, puis dans un deuxième temps, on compare la sortie calculée à la sortie réelle connue. Les poids sont modifiés de telle sorte qu'à la prochaine itération, l'erreur commise entre la sortie calculée et la sortie réelle est minimisée, l'erreur est rétro-propagée vers l'arrière jusqu'à la couche d'entrée, tout en modifiant la pondération. Le processus est répété sur tous les exemples jusqu'à où l'on obtienne une erreur de sortie considérée comme négligeable. [15]

Voici l'algorithme d'apprentissage :

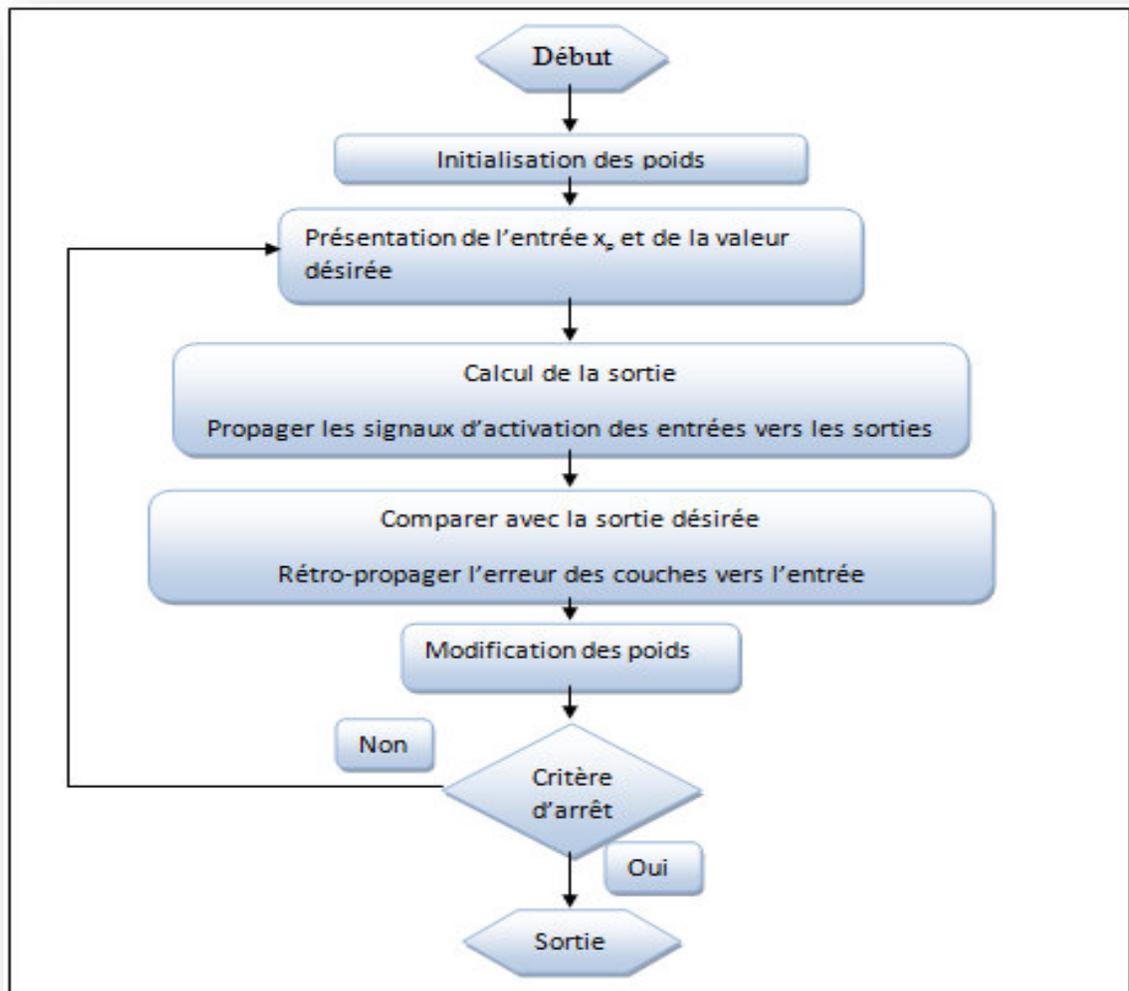


Figure 28 : Algorithme d'apprentissage rétro-propagation [15]

- Initialiser les poids w de la base d'apprentissage.
- Présenter une entrée X et une sortie Y .
- Calculer la valeur d'activation du neurone : $a_k = F \left(\sum_j (W_{j,k} * a_j) \right)$.
- Calculer l'erreur sur la sortie : $\Delta_s = Y - a_s$.
- Calculer l'erreur quadratique de chaque neurone: $\Delta(j) = a_k (1 - a_k) * \sum_k (w_{j,k} \Delta(k))$.
- Modifier les poids selon la relation : $w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} + \alpha * a_j * \Delta(j)$.

Avec :

- a_k : l'activation de chacun des neurones suivant.
- a_j : l'activation de neurone précédent.
- J : nombre des poids connecté aux neurones suivant.
- k : le neurone concerné.
- $\Delta(j)$: l'erreur du neurone suivant.
- $\Delta(k)$: l'erreur du neurone précédent connecté au suivant.
- a_s : l'activation de neurone de sortie.
- Δ_s : l'erreur de neurone de sortie.

3.4.1. Exemple d'une itération complète d'apprentissage de rétro-propagation

On prend la fonction sigmoïde comme une fonction d'activation pendant tous les calculs d'exemple. [14]

$$\text{Sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

On suppose : $X = [2, -1]$ le vecteur d'entré.

$Y = 1$ la sortie désirer.

3.4.1.1. La propagation avant

On va utiliser une seul formule générale pour calculer l'activation de tous les neurones.

$$a_k = \text{Sig} (\sum_j W_{j,k} * a_j)$$

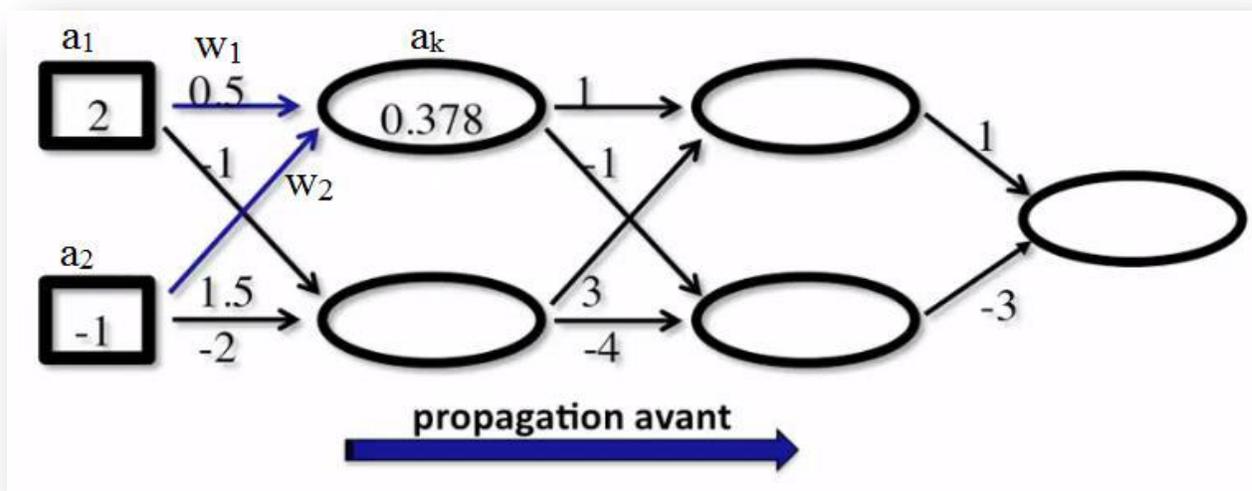


Figure 29 : Propagation avant (L'activation des neurones)

$$a_k = \text{Sig} (0.5*2 + 1.5* -1) = \text{Sig} (-0.5) = 0.378$$

On calcule de la même façon toutes les activations des neurones suivants :

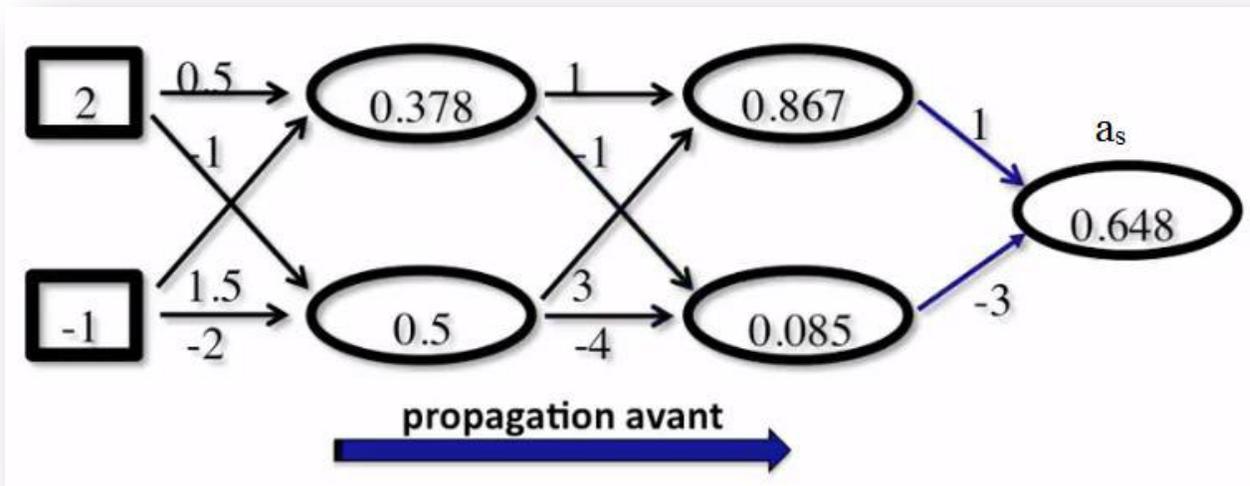


Figure 30 : Propagation avant (L'activation des neurones)

$$a_s = \text{Sig} (1*0.867 + -3*0.085) = \text{Sig} (0.612) = 0.648$$

3.4.1.2. La rétro-propagation

On va utiliser deux formules différentes, la première est $\Delta(j)$ pour calculé l'erreur quadratique du neurone, la deuxième est $w_{i,j}$, pour la mise à jour des poids.

$$a) \Delta (j) = a_k (1-a_k) * \sum_k(w_{j,k} \Delta (k))$$

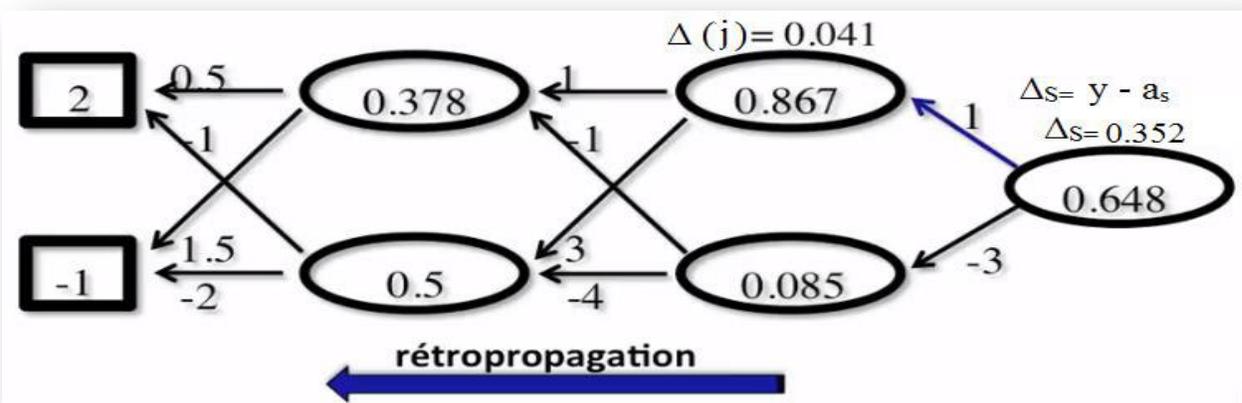


Figure 31 : Rétro-propagation (L'erreur quadratique des neurones)

$$\Delta (j) = 0.867 * (1-0.867) * 1 * 0.352 = 0.041$$

On calcule de la même façon toutes les erreurs des neurones suivants :

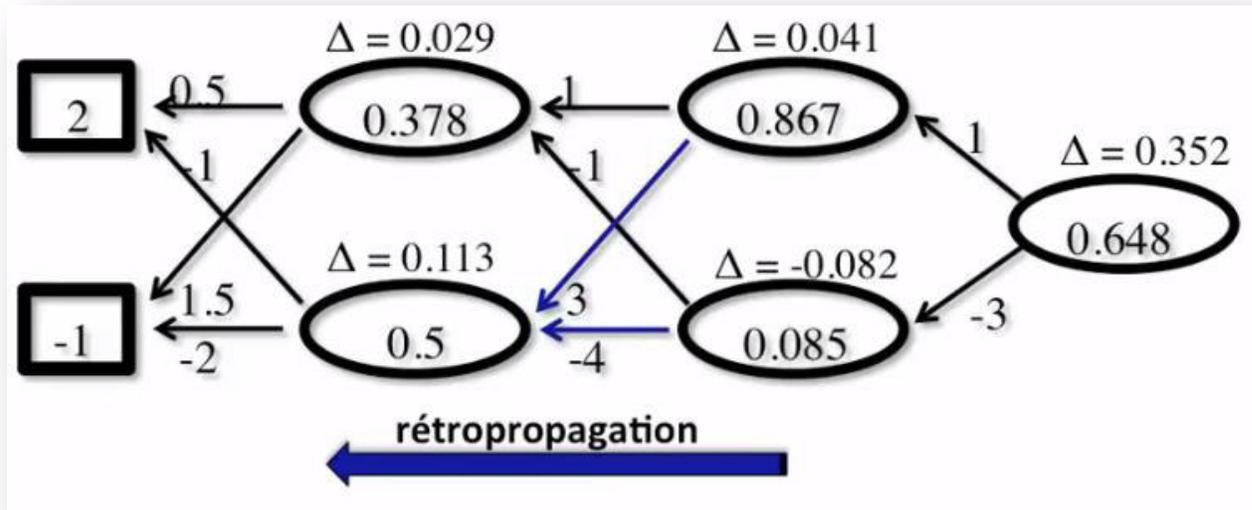


Figure 32 : Rétro-propagation (L'erreur quadratique des neurones)

$$b) \quad w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} + \alpha * a_j * \Delta (j)$$

Mise à jour des poids, jusqu'ou l'on obtienne une erreur de sortie considérée comme négligeable.

On prend $\alpha = 0.1$, le taux d'apprentissage.

$$w_{1,1} \leftarrow 0.5 + 0.1 * 2 * 0.029 = 0.506$$

$$w_{3,1} \leftarrow 1 + 0.1 * 0.378 * 0.041 = 1.002$$

$$w_{1,2} \leftarrow -1 + 0.1 * 2 * 0.113 = -0.977$$

$$w_{3,2} \leftarrow -1 + 0.1 * 0.378 * -0.082 = -1.003$$

$$w_{2,1} \leftarrow 1.5 + 0.1 * -1 * 0.029 = 1.497$$

$$w_{4,1} \leftarrow 3 + 0.1 * 0.5 * 0.041 = 3.002$$

$$w_{2,2} \leftarrow -2 + 0.1 * -1 * 0.113 = -2.011$$

$$w_{4,2} \leftarrow -4 + 0.1 * 0.5 * -0.082 = -4.004$$

$$w_{5,1} \leftarrow 1 + 0.1 * 0.867 * 0.352 = 1.031$$

$$w_{6,1} \leftarrow -3 + 0.1 * 0.085 * 0.352 = -2.997$$

3.5. Domaines d'application

Aujourd'hui, les réseaux de neurones artificiels ont de nombreuses applications dans des secteurs très variés :

- Traitement d'images : reconnaissance de caractères (Easy Reader) et de signatures (Thomson), compression d'images, reconnaissance de formes, cryptage, classification...etc. [21]
- Traitement de signal : classification, identification de sources, traitement de la parole, la reconnaissance de signature...etc. [18]
- Contrôle : commande de processus [17], Commande de véhicule (Sagem) [19] diagnostic [18]...etc.
- Optimisation : planification, gestion et finances,...etc. [20]

Encore plus loin, le Deep Learning, basée sur des réseaux de neurones artificiels révolutionne l'intelligence artificielle. Toutes les grandes entreprises technologique s'y mettent: Google, Facebook, IBM, Microsoft, Amazon, Adobe, Yandex ou encore Baidu y investissent des fortunes. Utilisé pour :

- Reconnaissance vocale et traitement du langage naturel par oral, utilisé comme application ONDROID et IOS.
- Reconnaître des visages (Open Face) réalisé par Google et le contenu des images.
- Reconnaître en temps réel les objets filmés par la webcam d'un simple ordinateur portable, réaliser par Yann Le Cun.

4. Conclusion

Ce chapitre a illustrée de manière modeste le formalisme des réseaux de neurones. Nous avons vu un aperçu général sur la présentation théorique des réseaux de neurones, en partant du neurone biologique, jusqu'à l'étude des différents types de réseaux, le principe d'apprentissage et son algorithme et enfin les différents domaines d'application des réseaux de neurones.

Chapitre IV

Surveillance et diagnostic de la turbine à gaz à l'aide du RNA

1. Introduction

Souvent, pour la surveillance de la turbine à gaz, le seuil du déclenchement d'alarme est fixé à une valeur constante. Nous pouvons citer à titre d'exemple le travail de I.HARROUZ Et K.YAHIA LAHSSENE [8]. Cependant, pour le cas de sous vitesse le seuil du déclenchement d'alarme est variable (en fonction de la température d'air d'entrée du compresseur), ce phénomène peut causer des fausses alarmes. Et c'est dans ce cas où les méthodes de surveillance conventionnelle trouvent ses limites.

L'objectif de notre travail est de proposer un système de surveillance qui permet d'estimer le seuil de déclenchement d'alarme pour chaque point de fonctionnement, la détection d'un problème de sous vitesse en comparant le seuil avec la vitesse HP de la turbine en temps réel et le déclenchement d'alarme.

Pour ce faire, dans un premier temps nous allons étudier le cas d'une surveillance où le seuil est constant, puis dans un deuxième temps, le principe de déclenchement d'alarme de sous vitesse sous MARK V, et enfin, on propose un système de surveillance intelligent dans le cas où le seuil variable à l'aide du réseau de neurone artificiel.

2. Surveillance de la turbine à gaz pour un seuil constant

Dans cette section, on présente l'approche donnée par I.HARROUZ Et K.YAHIA LAHSSENE [8]. Leur approche consiste à la surveillance à partir des données de la turbine à gaz donnée par Figure 33. Puis nous présentons notre approche basée sur les un modèle neuronal.

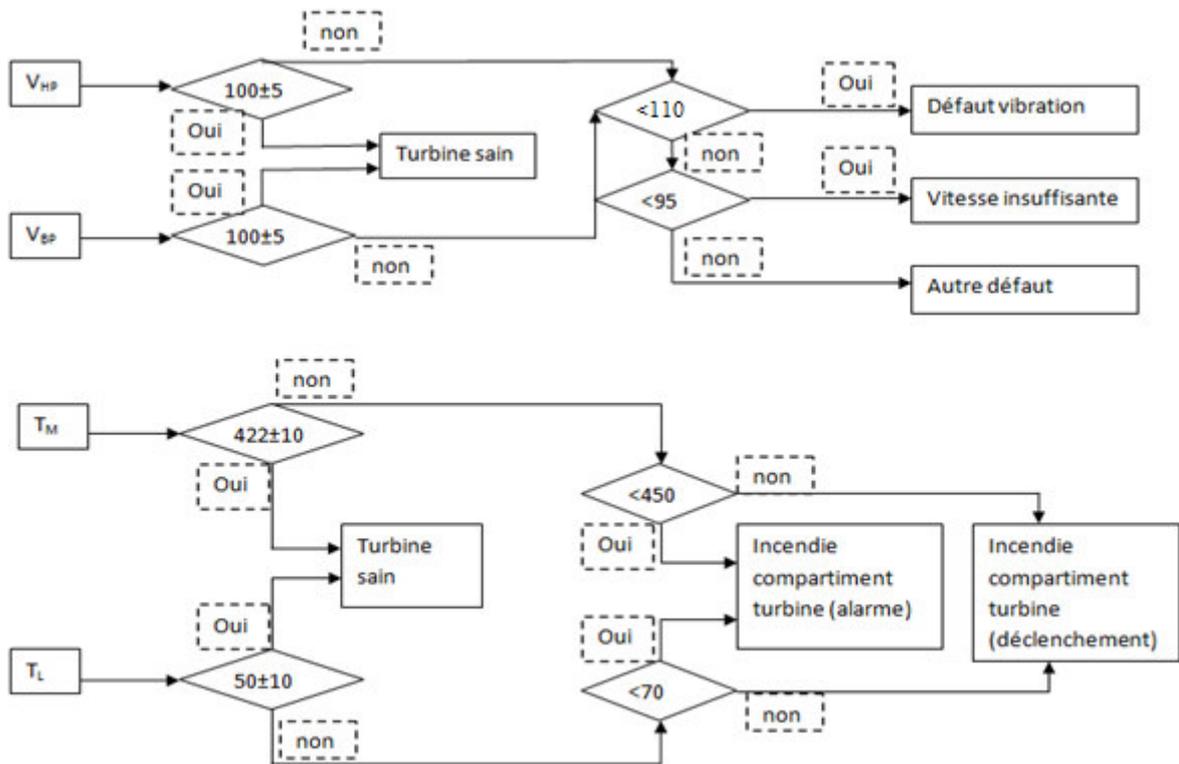


Figure 33 : Organigramme de surveillance de la turbine

D’après cet organigramme ; ils ont conclu que la surveillance de la turbine est basée sur quatre paramètres : vitesse de roue HP (V_{HP}), vitesse de roue BP (V_{BP}), température moyen (T_M), température de lubrification (T_L). La base d’apprentissage pour le RNA est donnée dans le tableau suivant :

Entrées du réseau				Sorties du réseau			Etat de fonctionnement
$V_{HP} (%)$	$V_{BP} (%)$	T_M	T_L	S1	S2	S3	
100 ± 5	100 ± 5	422 ± 10	50 ± 10	0	0	0	Turbine sain
$105 < V_{HP} < 110$	$105 < V_{BP} < 110$	422 ± 10	50 ± 10	1	0	0	Défaut de vibration (Alarme)
$110 < V_{HP} < +\infty$	$110 < V_{BP} < +\infty$	422 ± 10	50 ± 10	2	0	0	Défaut de vibration (Déclenchement)
100 ± 5	100 ± 5	$432 < T_M < 450$	$60 < T_L < 70$	0	1	0	Incendie compartiments turbine (Alarme)
100 ± 5	100 ± 5	$450 < T_M < +\infty$	$70 < T_L < +\infty$	0	2	0	Incendie compartiments turbine (Déclenchement)
$95 < V_{HP} < 100$	$95 < V_{BP} < 100$	422 ± 10	50 ± 10	0	0	1	Sous vitesse (Alarme)
$V_{HP} < 95$	$V_{BP} < 95$	422 ± 10	50 ± 10	0	0	2	Sous vitesse (Déclenchement)

Tableau 4 : La base d’apprentissage du réseau

- **Alarme de vibration :** Pour avoir une alarme de vibration il faut que le déplacement radial de rotor HP et BP soit supérieur à (12.5 mm/s) et pour un déclenchement (25mm/s). Ces causes sont plus souvent la température et la pression de l'huile de lubrification.
- **Alarme incendie compartiment :** pour avoir cette alarme ou déclenchement il faut avoir un signal provenant de détecteurs d'incendie sensible à la chaleur.
- **Alarmes de vitesses :** ils ont une logique complexe, pour avoir une alarme il faut que la vitesse soit supérieure ou inférieure à un seuil dynamique, qui change en fonction de la température de l'air à l'entrée du compresseur.

Cette alarme (alarmes de vitesse) est très répandu dans l'industrie et donne un aperçu sur la complexité de détection des défauts sur une turbine à gaz, ce défaut causé par :

- Déséquilibre du triangle de feu (air, fuel, étincelle), dû d'une dégradation de l'état des aubes du compresseur axiale (mauvaise compression d'air), ou défaillance mécanique au niveau des vannes du gaz.
- Mauvais équilibrage des vannes du gaz.
- Capteurs défaillant.

3. Principe de déclenchement d'Alarme de sous-vitesse sous MARK V avec un seuil variable

L'objectif de cette section est de démontrer que le seuil de déclenchement à partir d'une certaine valeur n'est plus constant, mais il varie en fonction de la température d'air d'entrée du compresseur.

3.1. Alarme de sous-vitesse sous MARK V

Cette alarme est programmée à base de ladder; elle se compose de plusieurs blocs. Les blocs sont des sous-programmes qui peuvent être connectés ensemble pour exécuter la surveillance, les entrées/sorties et les portes logiques sont associés à des codes qu'on a expliqué leurs signification dans l'annexe 2.

- **Alarme L3A :**

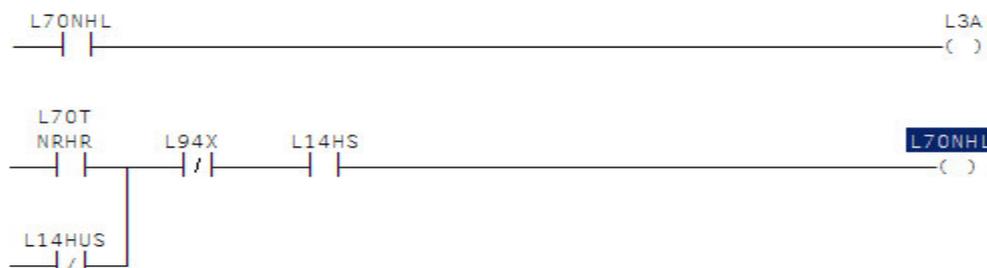


Figure 34 : Bloc alarme de sous-vitesse

Pour que l'alarme I3a soit activée il faut que :

L14HS=1 et L94X=0 et (L70TNRHR=1 ou L14HUS=0).

- **Bloc L14HS :**

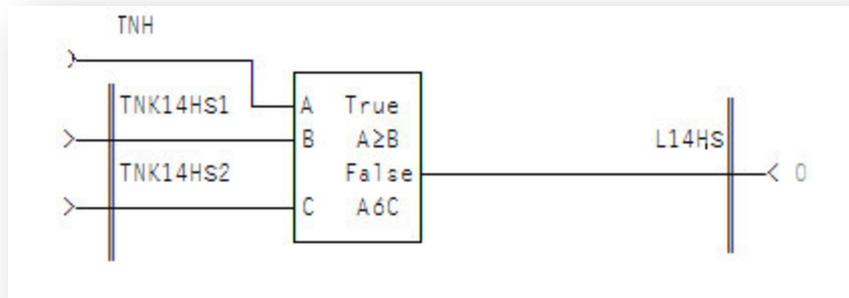


Figure 35 : Bloc séquence de démarrage

Deux blocs de comparaison sont combinés. La sortie est true si A est supérieur ou égal à B, et la sortie est false si A est inférieur ou égal à C.

Avec : $B > C$ ce qui fait une deadband.

A : est la vitesse de la roue HP (TNH) en temps réel.

B: un constant qui égal à 95% de la vitesse nominal de la roue HP.

C : un constant qui égal à 90% de la vitesse nominale de la roue HP.

Ce bloc a la fonction d'assurer que la turbine a dépassé la séquence de démarrage.

- **Bloc L94X :**



Figure 36 : Bloc arrêt automatique

Durant toute l'expérience, nous supposons que L94X=0, ce qui veut dire qu'il y a pas un arrêt automatique de la turbine (L94AX) dû à un autre défaut, un arrêt manuel (L1STOP_CPB) et un arrêt à partir de la salle de contrôle (CA1STPSEL) (L43R).

- **Bloc L70TNRHR :**

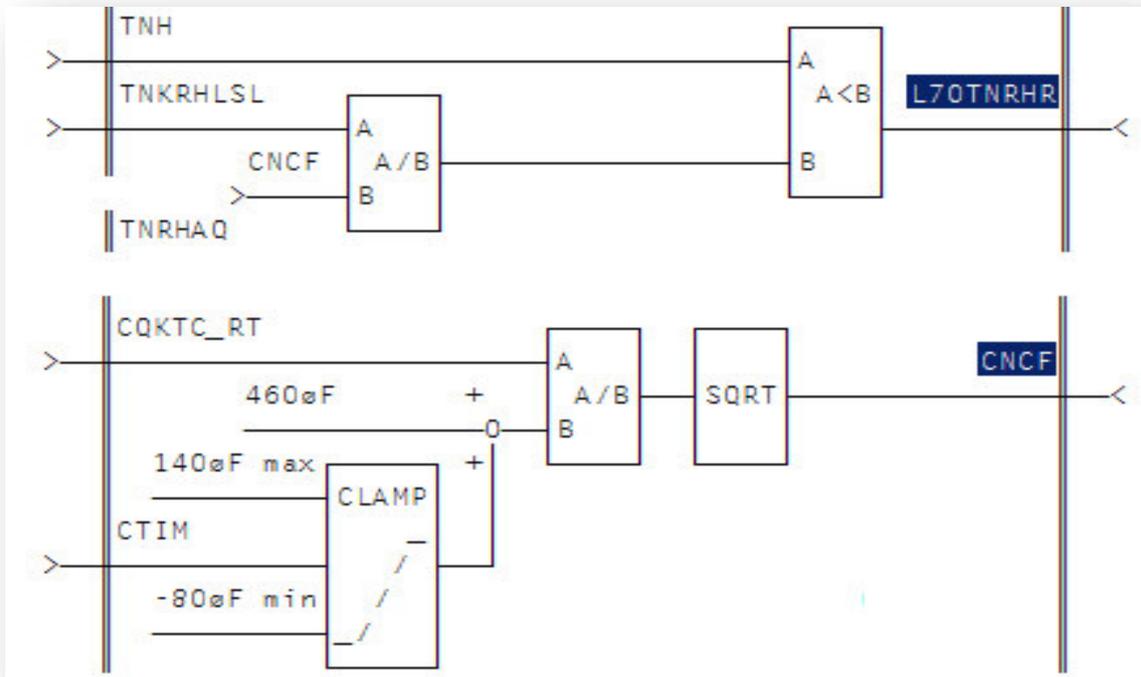


Figure 37 : Bloc alarme en fonction de CTIM

Pour que L70TNRHR=1.

Il faut que (TNH < B), avec B= TNKRHLSL / CNCF.

$$CNCF = \sqrt{\frac{CQKTC_RT}{460 + CTIM}}$$

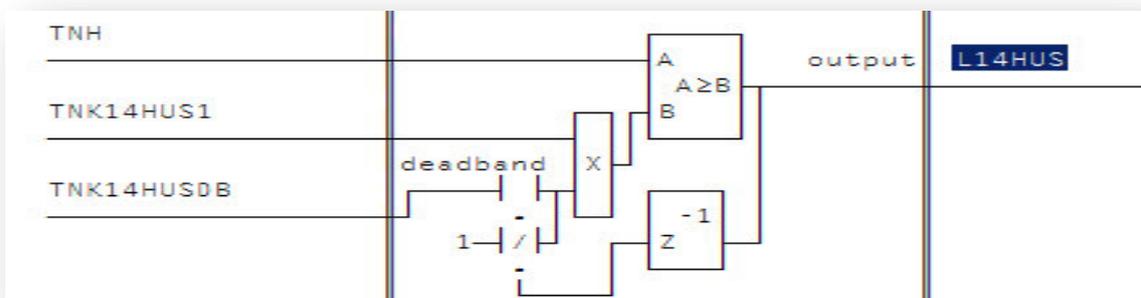


Figure 38: Bloc alarme en fonction d'un seuil constant

Bloc L14HUS :

Pour que $L14HUS=0$.

Il faut que $A \geq B$.

Pour une sortie initial égal à un.

$$B = TNK14HUS1 * TNK14HUSDB$$

Sinon:

$$B = TNK14HUS1 * 1$$

3.2. Simulation d'alarme de sous-vitesse

Le but de cette conversion de mark V à Matlab simulink est d'avoir un programme qu'on peut manipuler et simuler les cas où l'alarme de sous-vitesse est activée, et avoir une base de données d'apprentissage pour le réseau de neurone artificiel.

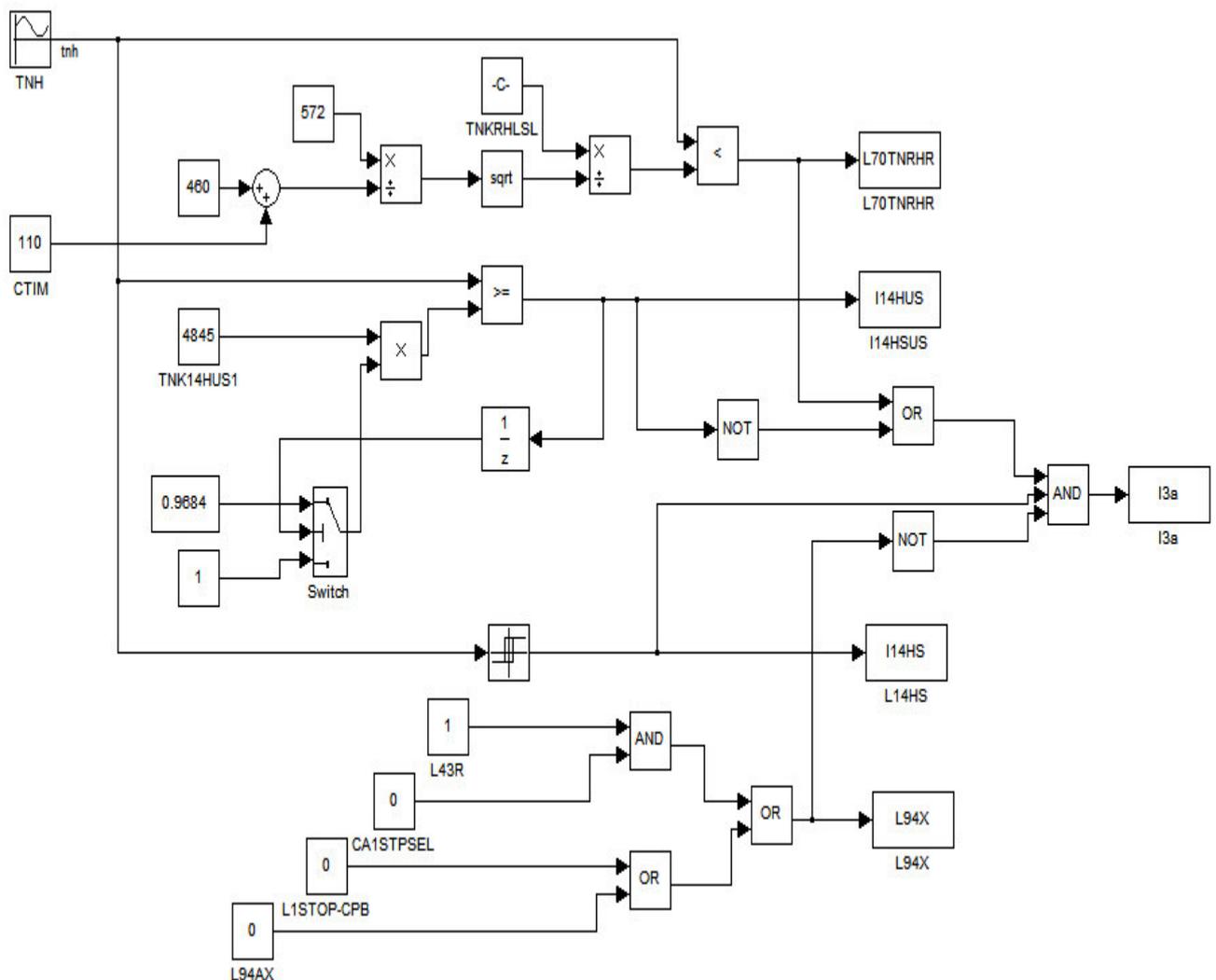


Figure 39 : alarme de sous-vitesse en simulink

Le graph ci-dessous représente un scope d'alarme de sous vitesse (L3A), lorsque la vitesse de la turbine (TNH) est inférieure au seuil ($TNH_s = 92.3375$) qui est déterminé par la température d'air d'entrée du compresseur axial (CTIM).

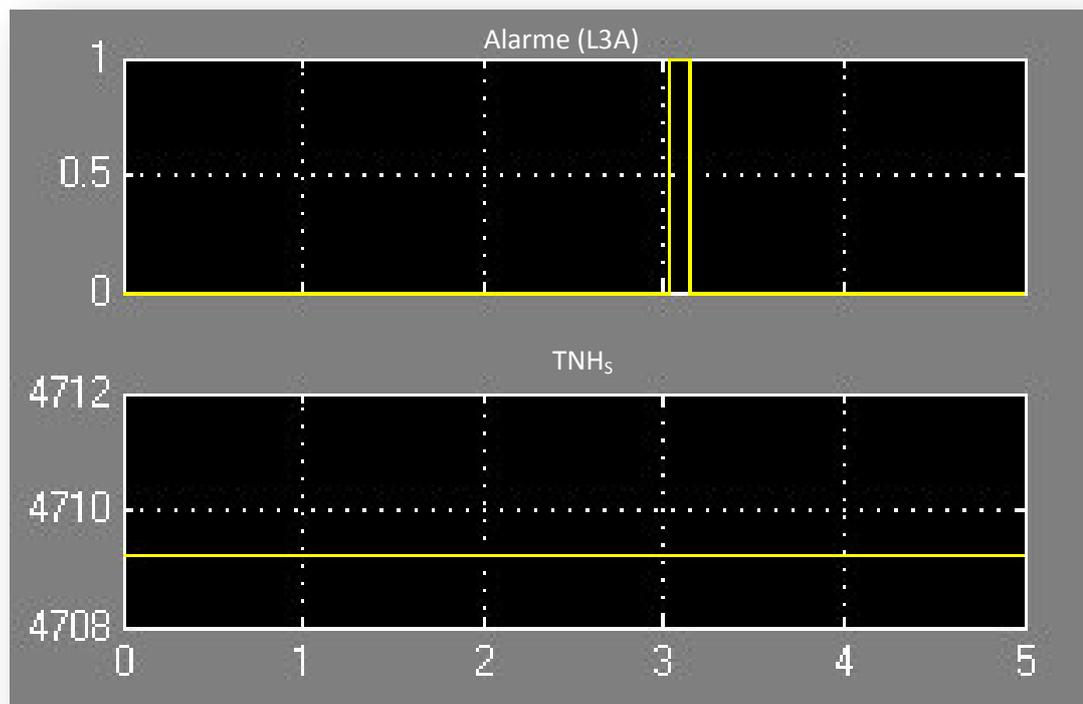


Figure 40 : Scope d'alarme de sous vitesse

Après plusieurs essais nous constatons que le seuil d'alarme change en fonction de CTIM (la température à l'entrée du compresseur). En changeant cette dernière, nous avons pu réaliser le tableau suivant qui est la base de données d'apprentissage que nous avons utilisé pour construire le réseau de neurone artificiel :

CTIM °F	Seuil (%)	TNH (%)	Alarme
-80	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
-60	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
-40	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
-20	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
0	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
20	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
40	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
60	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
80	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
100	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
105	91.998	[80 : 91.998 [[91.998 : 110]	1 0
110	92.3375	[80 : 92.3375 [[92.3375 : 110]	1 0
115	92.744	[80 : 92.744 [[92.744 : 110]	1 0
120	93.1437	[80 : 93.1437 [[93.1437 : 110]	1 0
125	93.544	[80 : 93.544 [[93.544 : 110]	1 0
130	93.944	[80 : 93.944 [[93.944 : 110]	1 0
135	94.3419	[80 : 94.3419 [[94.3419 : 110]	1 0
140	94.7372	[80 : 94.7372 [[94.7372 : 110]	1 0

Tableau 5 : base de données d'apprentissage

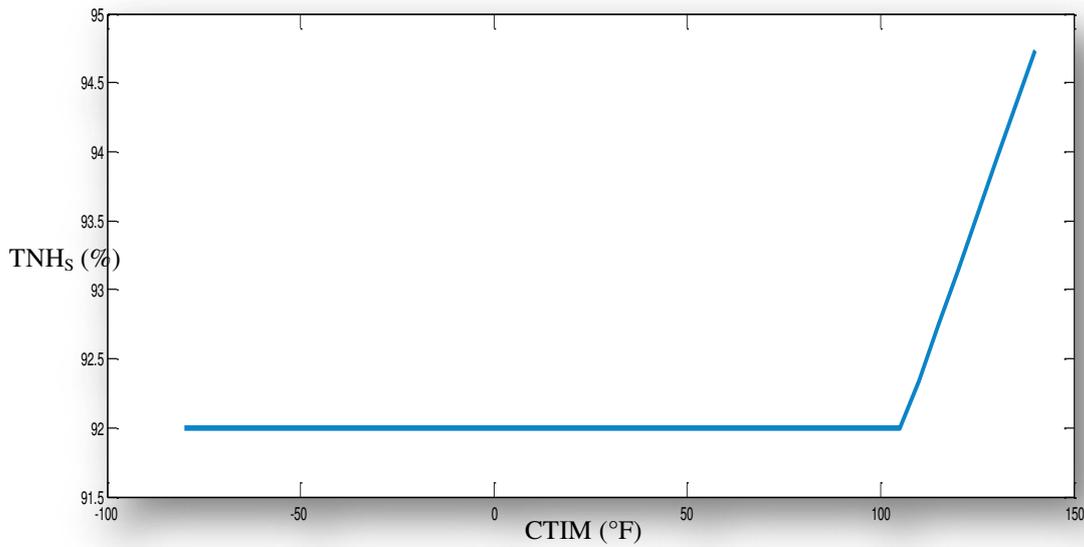


Figure 41: évolution du seuil (TNH_s) d'alarme en fonction CTIM

4. La conception du réseau de neurone artificiel

Les réseaux de neurone que nous avons testé, sont tous des réseaux perceptrons multicouches qui utilisent l'algorithme de rétro-propagation pour leur apprentissage. Dans notre réseau nous avons utilisé comme entrée, la vitesse de la roue HP (TNH) et la température d'air d'entrée du compresseur (CTIM). Nous avons utilisé aussi l'alarme de sous-vitesse (L3A) comme sortie du réseau.

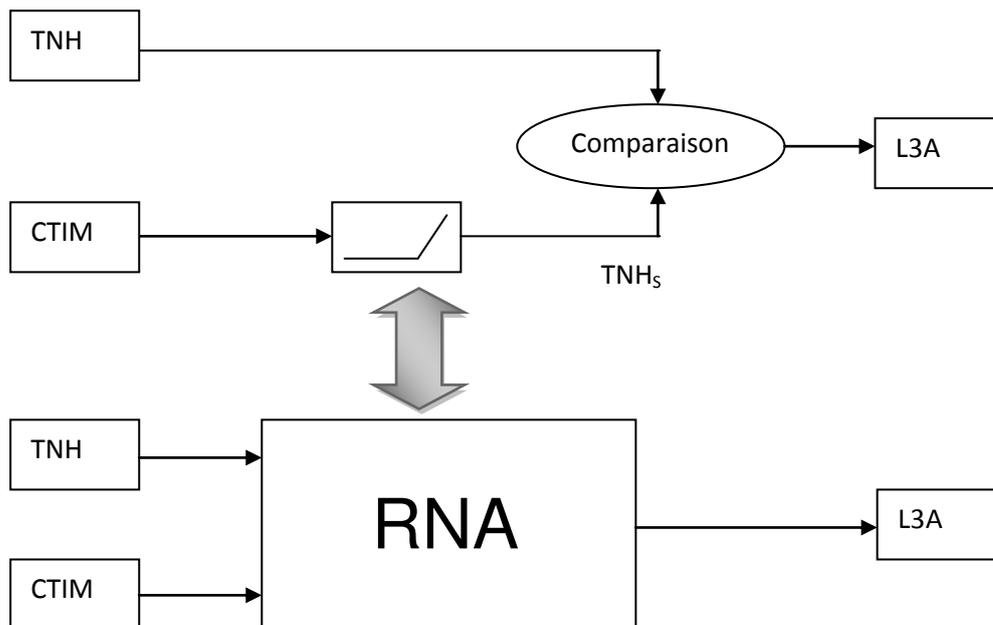


Figure 42 : schéma global du RNA

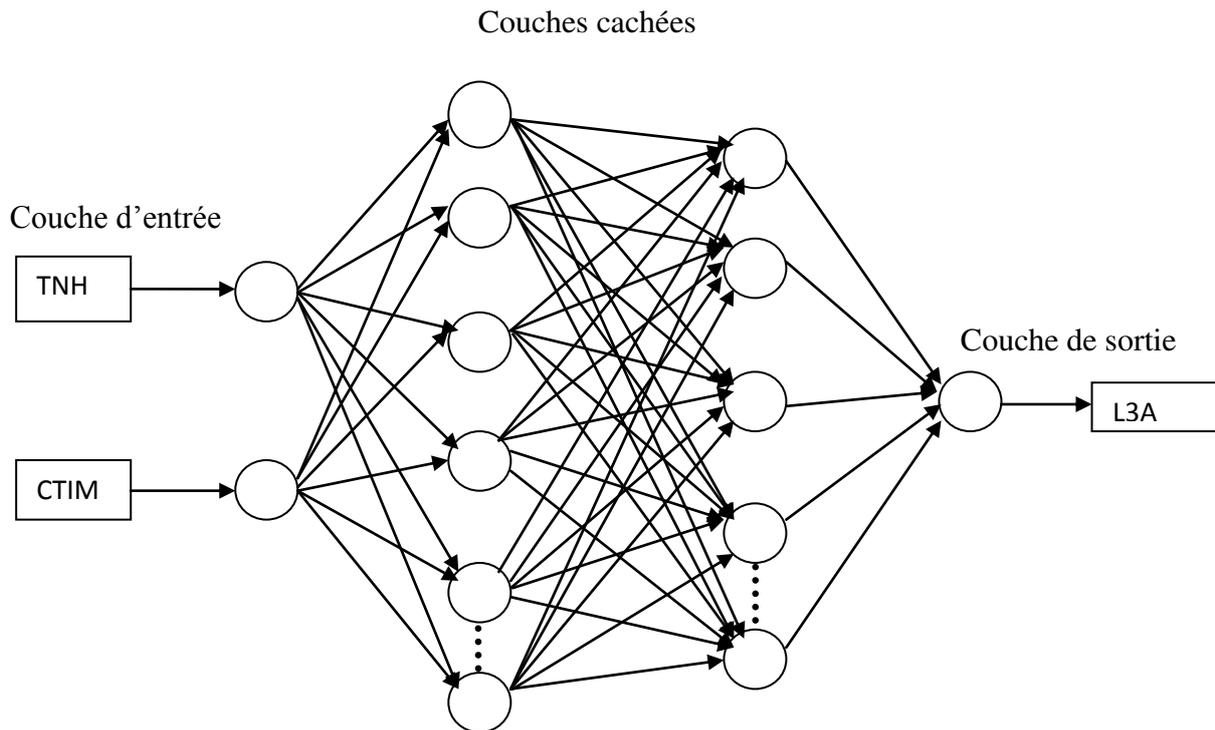


Figure 43 : Modèle neuronal artificiel

A l'aide de ce réseau on a pu détecter une alarme de sous-vitesse de façon précoce, malgré que le seuil de vitesse change en temps réel en fonction de CTIM, pour ça il fallait qu'il calcule le ce seuil et le comparer avec la vitesse de la roue HP (TNH) automatiquement et très rapidement.

D'après le programme (annexe 3) nous avons testé plusieurs réseaux noté dans le tableau suivant d'une manière ou on effectué un apprentissage jusqu'à ce qu'on obtient la plus petite erreur quadratique.

RNA	nombre de couche caché	Nombre de neurone dans chaque couche caché	Nombre d'itération	L'erreur quadratique
1	1	2	2000	0.0429
2	1	9	2000	0.00728
3	2	[2,4]	2000	0.0244
4	2	[4,9]	2000	$1.87 \cdot 10^{-8}$
5	2	[3,5]	2000	$2.34 \cdot 10^{-9}$
6	2	[11,11]	2000	0.0118
7	3	[6, 8, 10]	2000	$1.09 \cdot 10^{-10}$
8	2	[6, 15]	2000	$2.33 \cdot 10^{-11}$
9	3	[3, 5, 8]	2000	$3.009 \cdot 10^{-13}$

Tableau 6 : tableau de l'erreur quadratique

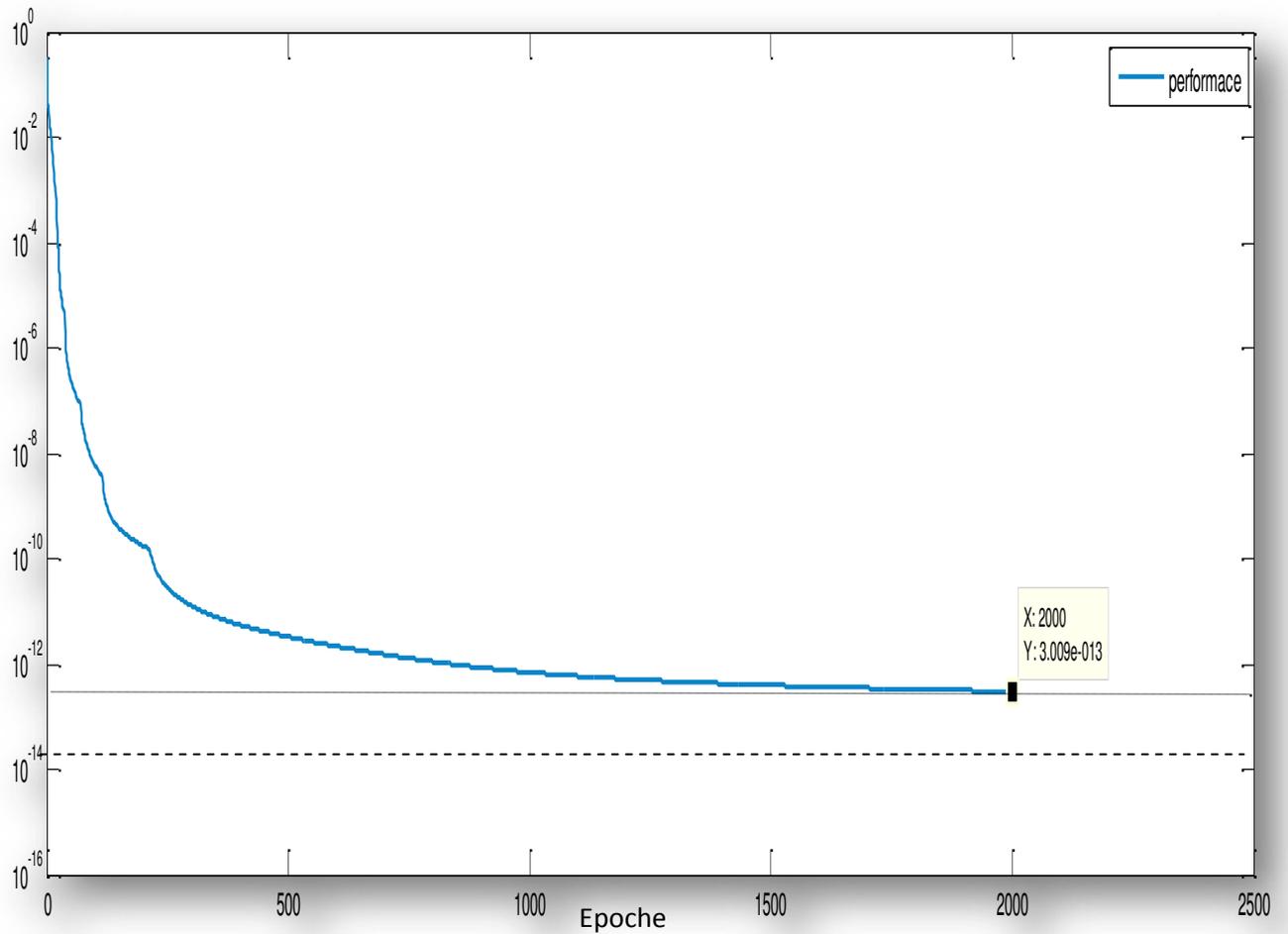


Figure 44 : Performance du réseau de neurone artificiel

Une fois le réseau de neurone est construit, et que son apprentissage à atteint des performances satisfaisantes, on passe à l'étape de test on changeant la vitesse HP et la température CTIM et noter le résultat.

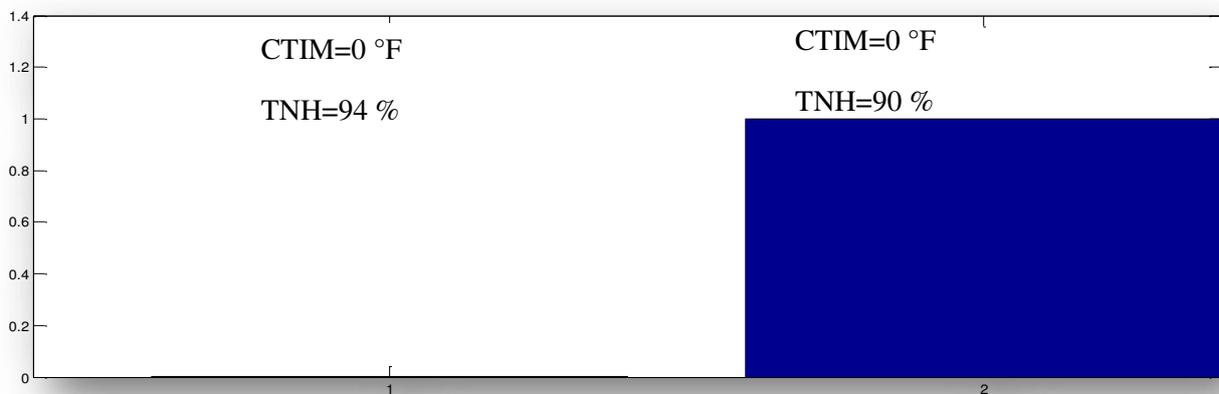


Figure 45: Résultat de teste pour le seuil (91.998 %)

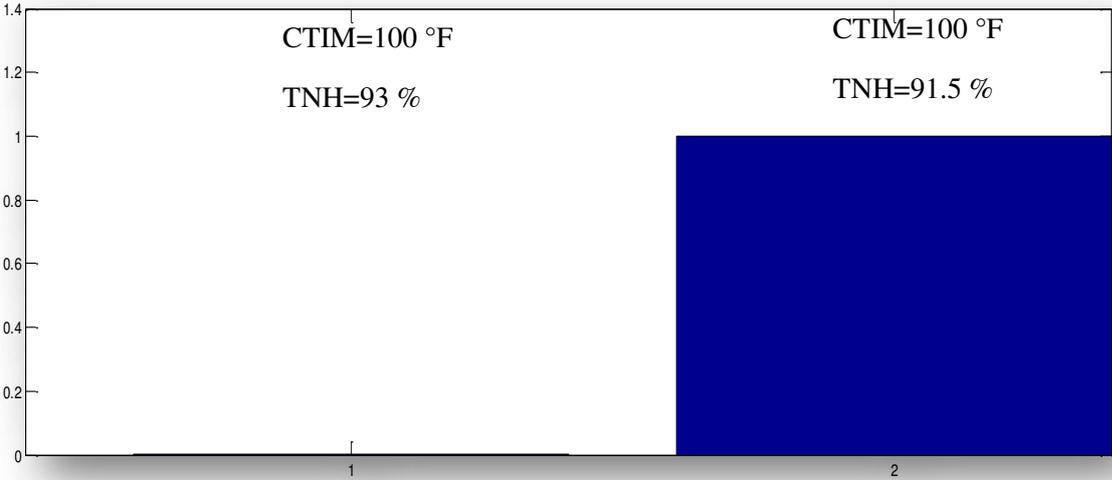


Figure 46: Résultat de teste pour le seuil (91.998 %)

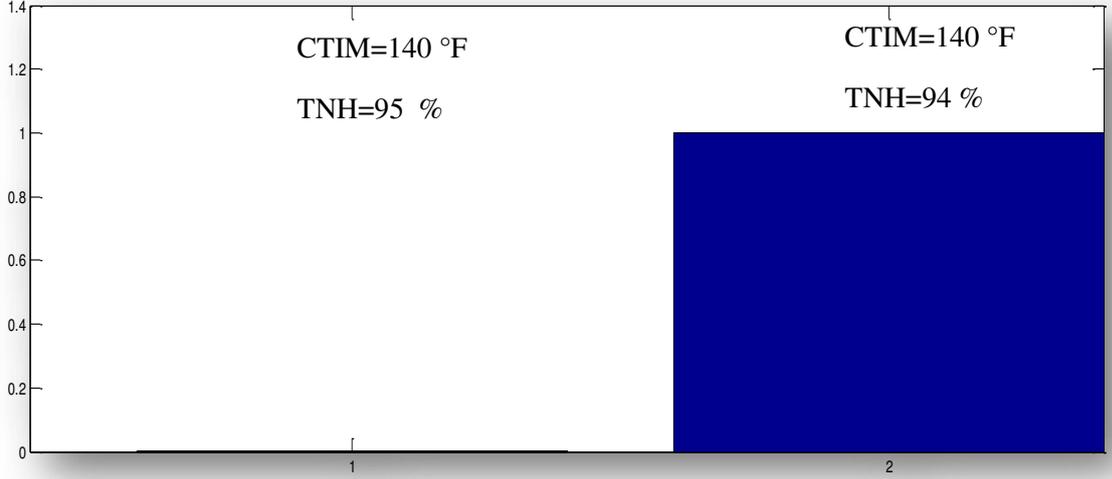


Figure 47: Résultat de teste pour le seuil (94.7372 %)

A partir des résultats précédents, nous avons choisi une température CTIM= 10 °F qui donne un seuil de 91.998 % et une vitesse TNH qui vari en temps réel, on commence avec une vitesse de 100 %. Cette figure nous montre que la turbine est sain, et en changeant brusquement la vitesse à 90% on remarque que le réseau réagi par une alarme, en remontant la vitesse à 95% la turbine revient à l'état sain.

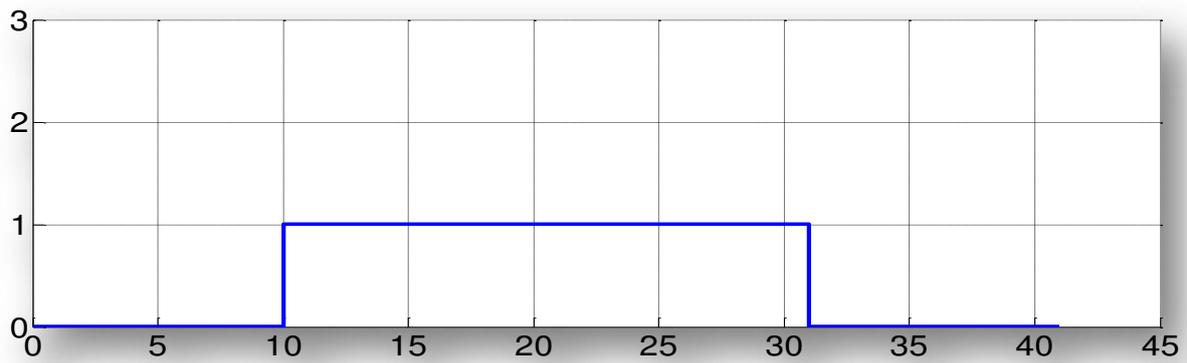


Figure 48 : Résultat de test en temps réel

5. Conclusion

D'après cette étude nous avons démontré l'efficacité du réseau de neurone artificiel dans le domaine de surveillance des défaillances des machines tournantes dans le domaine Pétrole & Gaz. Le traitement de la sous vitesse d'une turbine à gaz par cette méthode et les résultats obtenus montrent l'efficacité et la grande précision de calcul.

Conclusion générale

*L*e travail de recherche présenté dans ce mémoire basé sur l'étude des réseaux de neurones artificiels pour la surveillance et le diagnostic d'une turbine à gaz MS 5002b, a traité en particulier le défaut de sous vitesse qui s'avère complexe avec son seuil dynamique, et qui varie en fonction de la température d'air d'entrée du compresseur axial, c'est avec ce genre de systèmes où les méthodes conventionnelles trouvent ses limites.

Ce faisant, nous avons proposé un réseau de neurones artificiel multicouche avec deux entrées, la vitesse de la roue HP (TNH) et la température d'air d'entrée du compresseur axial (CTIM), et une alarme de sous vitesse comme sortie du réseau. Ce réseau se compose seulement de trois couches cachées qui effectuent des calculs arithmétiques simples pour avoir la sortie désirer avec une erreur quadratique considérée comme négligeable.

Contrairement au MARK V, pour effectuer une tache pareille il doit y avoir plusieurs blocs qui se composent de plusieurs sous-programmes très complexes qui prennent beaucoup de temps pour avoir une alarme de sous vitesse.

Une fois que l'apprentissage du réseau est terminé et devenu prêt, nous l'avons testé en changeant la vitesse de la roue HP et la température d'air d'entrée du compresseur axial. Les résultats ont montré que le réseau de neurones artificiel était à la hauteur avec une erreur quadratique négligeable.

Enfin, nous pouvons affirmer que nous avons atteint notre objectif, mais il reste beaucoup à faire dans le domaine de la surveillance industrielle et le diagnostic...

Référence

- [1] **B.MEHANI, Y.BELAID**; «Etude de système de commande de lancement et de système de commande de vitesse d'une turbine a gaz MS5002C », Mémoire de master, encadré par : Mr. N.BOUHEMAME, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2011.
- [2] **A.BELHADJ** ; « Simulation numérique de la combustion dans une chambre de combustion d'une turbine à gaz MS 5002C », Mémoire master, encadré par : Mr. N.HEBBIR, Université de biskra, 2014.
- [3] **General Electric Service**, « Installation & Service Engineering International Departement », Documentation interne SONATRACH.
- [4] **NUOVO PIGNONE**; « Manuel d'instruction, opération et d'entretien (volume 1) », Documentation interne SONATRACH.
- [5] **S.BRAHIMI, H.MOSLI, D.BENSEDDIK** ; « Etude d'une turbine à gaz MS 5002B » Mémoire master, encadré par : Mr. A.ZEROUATI, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2013.
- [6] **M.KAKI, A.BELAHCENE** ; « Etude des vannes de gaz de turbine à gaz MS5002C, Mémoire master, encadré par : Mr. M.BOULESBAA, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2016.
- [7] **M.BARIKI, B. BENAOUN** ; « Etude Thermodynamique et Maintenance de la Turbine à gaz SGT400 », Mémoire master, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2016.
- [8] **I.HARROUZ, K.YAHIA LAHSSENE**; « Surveillance et diagnostic automatisé de la turbine à gaz MS 5002B par l'approche des réseaux de neurones artificiel », Mémoire master, encadré par : Dr. CH.RAHMOUNE, Ecole National Supérieur de Technologie, 2016.
- [9] **S. BENAMMAR**; « Diagnostic des défaillances dans les systèmes industriels », Mémoire Magister, encadré par : Pr. D. BENAZZOUZ, Université M'hamed Bougara- Boumerdes, 2010.
- [10] **K. ATOUI, S.GUICHI** ; « Surveillance et diagnostic du système de freinage de la locomotive 30CDW Modélisation et simulation par réseaux de neurones », Mémoire master, 2011.
- [11] **M. ACHBI** ; « Commande tolérante aux défauts en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels et les Systèmes d'Inférence Floue », Mémoire magister, 2012.
- [12] **C. TOUZET** ; « introduction au connexionnisme cours, exercice et travaux pratiques »,1992.
- [13] **N. MERZOUKA** ; « Etude des performances des réseaux de neurones dynamiques à représenter des systèmes réels : une approche dans l'espace d'état », Magister, encadré par : Pr. D. CHIKOUCHE, Université de setif 1 2009.
- [14] **H.LAROCHELLE** ; « Apprentissage automatique », département informatique université de sherbrooke.

[15] **A.HANNOUNI, A.GACHOUCHE** ; « Automatisation de Diagnostic des Machines par l'Application de l'Approche de Réseaux de Neurones Artificiels », Master, encadré par : Dr. CH. RAHMOUNE, Ecole National Supérieur de Technologie, 2016.

[16] **T.KEMPOWSKY**; « Surveillance de Procédés à base de Méthodes de Classification : Conception d'un Outil d'aide pour la Détection et le diagnostic des Défaillances », thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2004.

[17] **Wiem Mouelhi-Chibani** ; « Apprentissage autonome de réseaux de neurones pour le pilotage en temps réel des systèmes de production basé sur l'optimisation via simulation », thèse doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont II, 2009.

[18] **A.BELLANGER** ; « Contribution à l'étude de structure neuronales pour la classification de signatures : application au diagnostic de pannes des systèmes industriels et à l'aide de diagnostic médical », thèse doctorat, Université Paris XII VAL DE MARNE, 2003.

[19] **I.REVALS** ; « Modélisation et commande de processus par réseaux de neurones ; application au pilotage d'un véhicule autonome », thèse doctorat, L'UNIVERSITÉ PARIS VI, 1995.

[20] **O.TREMOULIS** ; « Système de trading automatique et prédiction de cours à l'aide de réseaux de neurones », Mémoire Ingénieur, Conservatoire National Des Arts Et Métiers Paris, 2012.

[21] **F.DOUAK** ; « Reconstruction des images compressées en utilisant les réseaux de neurones artificiels et la DCT », Mémoire Magister, Université De Batna, Faculté Des Sciences De L'ingénieur, 2008.

ANNEXE 1**CARACTERISTIQUES DE LA TURBINE MS 5002b :**

Marque GENERALE ELECTRIQUE
Fabricant NUOVO PIGNONE
Série du model MS 5002b
Cycle Simple
Rotation de l'arbre sens inverse des aiguilles d'une montre
Type de fonctionnement Continu
Vitesse de l'arbre HP 5100 tr/min
Vitesse de l'arbre BP 4670 tr/min
Commande MARK V
Débit carburant 2 Kg/s
Système de démarrage Turbine à détente
Atténuation du bruit silencieux d'admission et d'échappement selon les exigences locales.

Annexe 2

L3A : Alarme sous-vitesse qui s'active en fonction de L70NHL (logique).

L70NHL : Alarme sous-vitesse (logique).

L14HS : Vitesse de fonctionnement minimum HP (logique).

L94X : Arrêt normal de la turbine à gaz.

L70TNRHR : Changement de seuil d'alarme en fonction de la température (logique).

L14HUS : Seuil minimum de l'alarme sous-vitesse (logique).

TNH: La vitesse HP (signal d'entrée).

TNK14HS1: 95% de la vitesse nominal HP (Un constant).

TNK14HS2: 90% de la vitesse nominal HP (Un constant).

L1STOP_CPB : Séquence d'arrêt normal (logique).

L94AX : Arrêt automatique (logique).

CA1STPSEL: Commandé l'arrêt à distance de la turbine par l'unité DCS (logique).

L43R : Unité MARK V accord l'arrêt à distance au DCS sélectionné (logique).

TNKRHLSL : 92.5% de la vitesse nominal HP (Un constant).

CNCF: Facteur de correction de vitesse.

CQKTC_RT: Rapport de température du compresseur.

CTIM : Température d'air à l'entrée du compresseur axial en degré fahrenheit (⁰F).

TNK14HUS1: 95% de la vitesse nominal HP (Un constant).

TNK14HUSDB: 0.9684 (Un constant).

```
clc; clear all; close all;
e1_1=-80:2:-60;
e1_2=-80:2:-60;
e1_3=-59.5:1.95:-40;
e1_4=-59.5:1.95:-40;
e1_5=-39.5:1.95:-20;
e1_6=-39.5:1.95:-20;
e1_7=-19.5:1.95:0;
e1_8=-19.5:1.95:0;
e1_9=0.5:1.95:20;
e1_10=0.5:1.95:20;
e1_11=20.5:1.95:40;
e1_12=20.5:1.95:40;
e1_13=40.5:1.95:60;
e1_14=40.5:1.95:60;
e1_15=60.5:1.95:80;
e1_16=60.5:1.95:80;
e1_17=80.5:1.95:100;
e1_18=80.5:1.95:100;
e1_19=100.5:0.45:105;
e1_20=100.5:0.45:105;
e1_21=105.5:0.45:110;
e1_22=105.5:0.45:110;
e1_23=110.5:0.45:115;
e1_24=110.5:0.45:115;
e1_25=115.5:0.45:120;
e1_26=115.5:0.45:120;
e1_27=120.5:0.45:125;
e1_28=120.5:0.45:125;
e1_29=125.5:0.45:130;
e1_30=125.5:0.45:130;
e1_31=130.5:0.45:135;
e1_32=130.5:0.45:135;
e1_33=135.5:0.45:140;
e1_34=135.5:0.45:140;

e1=[e1_1 e1_2 e1_3 e1_4 e1_5 e1_6 e1_7 e1_8 e1_9 e1_10 e1_11 e1_12 e1_13 e1_14 e1_15
e1_16 e1_17 e1_18 e1_19 e1_20 e1_21 e1_22 e1_23 e1_24 e1_25 e1_26 e1_27 e1_28 e1_29
e1_30 e1_31 e1_32 e1_33 e1_34];
%=====
e2_1=80:1.18:91.8;
e2_2=91.998:1.8002:110;
e2_3=80:1.18:91.8;
e2_4=91.998:1.8002:110;
e2_5=80:1.18:91.8;
e2_6=91.998:1.8002:110;
```

```

e2_7=80:1.18:91.8;
e2_8=91.998:1.8002:110;
e2_9=80:1.18:91.8;
e2_10=91.998:1.8002:110;
e2_11=80:1.18:91.8;
e2_12=91.998:1.8002:110;
e2_13=80:1.18:91.8;
e2_14=91.998:1.8002:110;
e2_15=80:1.18:91.8;
e2_16=91.998:1.8002:110;
e2_17=80:1.18:91.8;
e2_18=91.998:1.8002:110;
e2_19=80:1.18:91.8;
e2_20=91.998:1.8002:110;
e2_21=80:1.22:92.2;
e2_22=92.3375:1.76625:110;
e2_23=80:1.26:92.6;
e2_24=92.744:1.7256:110;
e2_25=80:1.3:93;
e2_26=93.1437:1.68563:110;
e2_27=80:1.34:93.4;
e2_28=93.544:1.6456:110;
e2_29=80:1.38:93.8;
e2_30=93.944:1.6056:110;
e2_31=80:1.42:94.2;
e2_32=94.3419:1.56581:110;
e2_33=80:1.45:94.5;
e2_34=94.7372:1.52628:110;

e2=[e2_1 e2_2 e2_3 e2_4 e2_5 e2_6 e2_7 e2_8 e2_9 e2_10 e2_11 e2_12 e2_13 e2_14 e2_15
e2_16 e2_17 e2_18 e2_19 e2_20 e2_21 e2_22 e2_23 e2_24 e2_25 e2_26 e2_27 e2_28 e2_29
e2_30 e2_31 e2_32 e2_33 e2_34];
%=====
s1_1=repmat(1,1,11); s1_2=repmat(0,1,11);s1_3=repmat(1,1,11);
s1_4=repmat(0,1,11);s1_5=repmat(1,1,11);s1_6=repmat(0,1,11);
s1_7=repmat(1,1,11); s1_8=repmat(0,1,11); s1_9=repmat(1,1,11);
s1_10=repmat(0,1,11);s1_11=repmat(1,1,11);s1_12=repmat(0,1,11);
s1_13=repmat(1,1,11);s1_14=repmat(0,1,11);s1_15=repmat(1,1,11);
s1_16=repmat(0,1,11);s1_17=repmat(1,1,11);s1_18=repmat(0,1,11);
s1_19=repmat(1,1,11);s1_20=repmat(0,1,11);s1_21=repmat(1,1,11);
s1_22=repmat(0,1,11);s1_23=repmat(1,1,11); s1_24=repmat(0,1,11);
s1_25=repmat(1,1,11); s1_26=repmat(0,1,11);s1_27=repmat(1,1,11);
s1_28=repmat(0,1,11);s1_29=repmat(1,1,11);s1_30=repmat(0,1,11);
s1_31=repmat(1,1,11); s1_32=repmat(0,1,11);s1_33=repmat(1,1,11);
s1_34=repmat(0,1,11);

```

```
s1=[s1_1 s1_2 s1_3 s1_4 s1_5 s1_6 s1_7 s1_8 s1_9 s1_10 s1_11 s1_12 s1_13 s1_14 s1_15  
s1_16 s1_17 s1_18 s1_19 s1_20 s1_21 s1_22 s1_23 s1_24 s1_25 s1_26 s1_27 s1_28 s1_29  
s1_30 s1_31 s1_32 s1_33 s1_34];
```

```
%=====
```

```
P=[e1;e2];  
T=s1;  
Pr=minmax(P);  
net=newff(Pr,[3,5,8,1],{'tansig','tansig','tansig','purelin'},'trainlm');  
net.trainparam.show=50;  
net.trainparam.lr=0.05;  
net.trainparam.epochs=2000;  
net.trainparam.goal=1e-14;  
net1=train(net,P,T);  
%[net,tr]=train(net,P,T);
```

Résumé

Ce mémoire présente une contribution au diagnostic de la turbine à gaz MS 5002b du Centre Industriel Sud (CIS) de Sonatrach en temps réel l'approche basée sur réseau de neurone artificiel (RNA). L'objectif est de détecter toute anomalie qui peut survenir dans la turbine. On a pris comme exemple un défaut de sous vitesse. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de la méthode proposée.

ملخص

من خلال هذه المذكرة نحاول اقتراح طريقة فعالة وناجعة من أجل مراقبة مراقبة التربينات ومن ثم تشخيص الأعطاب. الطريقة المقترحة تعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية. الهدف في النهاية هو التمكن من النتائج المتحصل عليها تظهر بوضوح نجاعة وفعالية الطريقة. تحديد وجود الاعطاب وفي ظرف قياسي. المقترحة