

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique**

**CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED**

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**LICENCE ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et technique

Filière : génie mécanique

Spécialité : énergétique

Présenté par : CHEKIMA Toufik  
MAAMRI Miloud  
DAOUDI Nadia

**Thème**

**Etude Thermodynamique D'un Compresseur  
Centrifuge De Contre Le Phénomène De Pompage**

Devant le jury composé de :

Mr. DJOUDI Tarek	MA (A)	Président
Mr. MENECEUR Redha	MA (A)	Rapporteur
Mr. MENECEUR Noureddine	MA (A)	Examineur

# REMERCIEMENTS

*Je remercie chaleureusement Monsieur MENECEUR Redha, Maîtres assistant chargé de cours à Centre Universitaire D'El-Cued,, pour m'avoir accueilli au sein de leurs équipes et pour m'avoir encadré et encouragé tout au long de ces travaux. Par leurs grandes compétences scientifiques et leurs remarquables qualités humaine.*

*Il serait dommage, dans ces remerciements, d'oublier mes proches et l'ensemble des enseignants du département de Génie mécanique de centre universitaire d' El-Cued*

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui  
m'ont toujours encours ,encouragé et ce au long de  
mes études*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute ma famille*

*A toute mes meilleurs amis*

*Chekima Toufik*

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui  
m'ont toujours encours ,encouragé et ce au long de  
mes études*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute ma famille*

*A toute mes meilleurs amis*

*Maamri Miloud*

**Dédicace**

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui  
m'ont toujours encours ,encouragé et ce au long de  
mes études*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute ma famille*

*A toute mes meilleurs amis*

*Daoudi Nadia*

# Sommaire

## Introduction générale

### Chapitre I : Notion et termes de la maintenance

<b>I. 1 Définition de la maintenance:</b> .....	01
<b>I.2 Objectifs et rôle de le maintenance:</b> .....	02
I.2.1 Objectifs:.....	02
I.2.2 Rôle de la fonction maintenance:.....	02
<b>I.3 Différents niveaux de maintenance:</b> .....	02
I.3.1 Niveaux N°1:.....	02
I.3.2 Niveaux N°2:.....	02
I.3.3 Niveaux N°3: .....	02
I.3.4 Niveaux N°4:.....	03
I.3.5 Niveaux N°5:.....	03
<b>I.4 Différents types de maintenance:</b> .....	03
I.4.1 Maintenance palliative:.....	03
I.4.2 Maintenance préventive : .....	04
I.4.3 Maintenance corrective: .....	05
I.4.3 Maintenance occasionnelle: .....	06
<b>I.5 les opérations de maintenance :</b> .....	06
I.5.1 Le dépannage:.....	06
I.5.2 La réparation: .....	07
I.5.3 Les inspections .....	07
I.5.4 Les visites:.....	07
I.5.5 Les contrôles: .....	08
I.5.6 Les révisions:.....	08
I.5.7 Les échanges standards: .....	08
<b>I.6 Position de la structure de la maintenance au sein de l'entreprise</b> .....	08
I.6.1 Position de division maintenance par rapport aux autres structures.....	09
<b>I.7 Conclusion:</b> .....	12

## Chapitre II : Généralités sur les compresseurs

<b>II.1 Notions générales.....</b>	<b>13</b>
II.1.1 Définition et classification.....	13
II.1.2 Domaine D'utilisation : .....	15
II.1.3 .Choix d'un compresseur centrifuge:.....	16
II.1.4 Rôle de Compresseur centrifuge au niveau de l'unité .....	16
<b>II.2 Construction du Compresseur centrifuges de type 3MCL.....</b>	<b>16</b>
II.2.1 Principe de fonctionnement.....	16
II.2 .2 Système de positionnement .....	17
II .2.3. Les principaux organes du compresseur centrifuge.....	18
II.2.3.2 Diaphragmes.....	19
II 2.3.3 Rotor.....	20
II .2.3.4 Piston d'équilibrage .....	21
II.2.3.5 l'arbre.....	21
II.2.3.6 Plier d'appui.....	21
II.2.4. Type de dispositif d'étanchéité.....	22
II.2.4.1 Etanchéité à huile.....	22
II 2.4.2 Dispositif D'étanchéité à labyrinthe.....	22
II.2.5 Garnitures mécaniques:.....	22
II.2.6 Le pompage du compresseur:.....	23
II.2.7 Dispositif anti-pompage du compresseur:.....	24
II.2.8 Réglage des compresseurs centrifuges:.....	24

## Chapitre III : Etude du comportement du compresseur

<b>III.1 Généralités:.....</b>	<b>26</b>
<b>III .2 Dossier historique:.....</b>	<b>27</b>
<b>III.3 Caractéristique technique du compresseur :.....</b>	<b>28</b>
III 3.1 Condition de fonctionnement :.....	28
III.3.2 Les données de bon fonctionnement .....	39
<b>III 4. Détermination des paramètres thermique du compresseur centrifuge:.....</b>	<b>30</b>
III. 4.1 La puissance nécessaire à la compression:.....	30
III.4.1.1 Méthode isentropique :.....	30
III.4.1.2 Méthode poly tropique :.....	34
<b>III 5 Etat de travail du compresseur centrifuge a des conditions divers de fonctionnement: .....</b>	<b>37</b>

**Chapitre IV : Modélisation d'un système RNA pour la surveillance en ligne du compresseur K603**

<b>IV.1. Introduction:</b> .....	42
<b>IV.2. Objectif fixé:</b> .....	42
<b>IV.3. Le neurone biologique :</b> .....	43
IV.3.1. Neurone formel :.....	44
IV.3.2 Modélisation d'un neurone formel (artificiel): .....	45
IV.3.2.1 Architecture des réseaux:.....	48
IV.3.2.2 Réseau monocouche:.....	48
IV.3.2.3 Réseau multicouche :.....	48
IV.3.2.3 Le modèle perceptron.....	49
IV.3.2.4 Réseau à connexion complète.....	50
<b>IV.4. Architecture générale du concept de surveillance mis en œuvre:...</b>	50
IV.4.1. Phase I : Acquisition de données:.....	50
IV.4.2. Phase II : Mise en œuvre d'un modèle de réseaux de neurones:.....	51
IV.4.2.1. Type de modèle de réseau de neurones proposé:.....	51
IV.4.2.2. Données d'entrées du réseau:.....	52
IV.4.2.3. Apprentissage du réseau : Algorithme de rétro-propagation:.....	52
<b>IV.5 Démarche adoptée pour le choix d'un réseau de neurones optimal:.</b>	57
IV.5.1 Préliminaires:.....	57
IV.5.2. Structure générale de l'algorithme développé:.....	59
IV.5.3 Détermination de la configuration du réseau de neurones:.....	59
IV.5.3.1 Choix d'une architecture optimale:.....	59
<b>IV.6 Simulation Des Paramètres Thermiques :</b> .....	61
<b>IV.7 Conclusion:</b> .....	66
<b>Conclusions générale</b>	
<b>Annex</b>	
<b>Bibliographies</b>	

## Listes des figures

### Chapitre II

<b>Figure (2.1)</b> : Classification des compresseurs.....	14
<b>Figure (2.2)</b> : cellule du compresseur centrifuge:.....	17
<b>Figure (2.3)</b> : Position par-rapport au sol:.....	17
<b>Figure (2.4)</b> : Positionnement du compresseur par rapport au So:.....	18
<b>Figure (2.5)</b> : schéma du compresseur centrifuge:.....	18
<b>Figure (2.6)</b> : roue du compresseur centrifuge:.....	19
<b>Figure (2.7)</b> : diaphragme de compresseur centrifuge:.....	20
<b>Figure (2.8)</b> : rotor du compresseur centrifuge:.....	20
<b>Figure (2.9)</b> : palier d'appui de compresseur centrifuge:.....	21
<b>Figure (2.10)</b> : Dispositif d'étanchéité à labyrinthe:.....	22
<b>Figure (2.11)</b> : clapet d'anti-pompage du compresseur centrifuge:.....	23
<b>Figure (2.12)</b> : Régulateur du débit crée par le compresseur centrifuge:.....	25

### Chapitre III

<b>figure (3.1)</b> : Les compressions isentropique et adiabatique irréversible:.....	31
<b>Figure (3.2)</b> : Les courbes caractéristique du fonctionnement du compresseur centrifuge:.....	37
<b>Figure (3.3)</b> : La puissance totale au fonction de débit d'aspiration 1ère étage:.....	39
<b>Figure (3.4)</b> : La puissance totale au fonction de débit d'aspiration 2ème étage:.....	39
<b>Figure (3.5)</b> : La puissance totale au fonction de pression d' aspiration 1iere étage.....	40
<b>Figure (3.6)</b> : La puissance totale au fonction de pression d' aspiration 2ème étage.....	40

### Chapitre IV

<b>Figure.(4.1)</b> : Le neurone biologique .....	43
<b>Figure (4 .2 )</b> : Neurone formel de Mc Culloch & Pitts .....	44

<b>Figure (4.3) :</b> Le neurone formel (explication) .....	45
<b>Figure(4.4) :</b> Fonctions Heaviside.....	46
<b>Figure (4.5) :</b> Fonctions signe.....	46
<b>Figure (4.6) :</b> Fonction linéaire.....	47
<b>Figure (4.7) :</b> Fonction sigmoïde .....	47
<b>Figure (4.8) :</b> Réseau Monocouche.....	48
<b>Figure (4.9):</b> Réseau Multicouche .....	49
<b>Figure (4.10):</b> Le modèle du perceptron .....	49
<b>Figure (4.11):</b> Réseau à connexion complète .....	50
<b>Figure( 4.12) :</b> MSEA en fonction de Nombre de neurones dans la couche caché .....	63
<b>Figure (4.13) :</b> MSEA et MSET en fonction de Nombre de neurones dans la couche caché .....	64
<b>Figure (4.14) :</b> l'erreur moyen quadratique en fonction de nombre d'itération.....	64

## Listes des tableaux

### Chapitre I

<b>Tableau(1.1):</b> systématique des méthodes de maintenance industrielle .....	10
--	----

### Chapitre IV

<b>Tableau (4.1) :</b> Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel .....	46
<b>Tableau (4.2) :</b> Choix de la bonne architecture.....	59
<b>Tableau (4.3) :</b> valeur de la pression de refoulement prédite Pref et des erreurs absolues pour la phase d'apprentissage.....	61
<b>Tableau (4.4) :</b> valeur de la pression de refoulement prédite Pref et des erreurs absolues pour la phase de TEST.....	62

## Notations et symboles

$\eta_s$  : Le rapport entre la puissance isentropique et la puissance réel .

$m_1$  : Débit massique du 1<sup>er</sup> étage.

$W$  : Puissance nécessaire au 1<sup>er</sup> étage .

$h_{12}$  : Enthalpie au point de refoulement au 1<sup>er</sup> étage .

$h_{11}$  : Enthalpie à l'absorption au 1<sup>er</sup> étage .

$C_{P12}$  : Chaleur massique a pression constante de l'air au refoulement .

$T_{12}$  : Température de l'air au refoulement.

$C_{P11}$  : Chaleur massique a pression constante de l'air a l'admission de la 1<sup>er</sup> étage.

$T_{11}$  : Température de l'air à l'admission du 1<sup>er</sup> étage.

$m_2$  : débit massique dans la 2<sup>ème</sup> étage .

$W_2$  :puissance nécessaire a la compresseur dans la 2<sup>ème</sup> étage .

$h_{22}$  : Enthalpie au point de refoulement.

$h_{21}$  : Enthalpie à l'aspiration de 2<sup>ème</sup> étage .

$T_{21}$  : température d'aspiration de 2<sup>ème</sup> étage .

$T_{22}$  : température de refoulement de 2<sup>ème</sup> étage .

$C'$  : est la constante de l'aspiration

$n$  : est le coefficient de l'aspiration

$\eta_p$  : est le rendement poly tropique ,il est compris entre

$W$  : Puissance nécessaire au 1<sup>er</sup> étage .

$W_p$  : la puissance de compression poly tropique .

$\mathcal{Y}$  :est une donné du problème.

$L$  : masse volumique  $\text{Kg} / \text{m}^3$ .

$r$  : constante de gaz pure  $\text{J} / \text{mol} .\text{K}$ .

$V$  : volume spécifique  $\text{m}^3 / \text{kg}$ .

$a_1$  : vitesse du son a l'entrée de roue .

$D_1$  : diamètre de la pesanteur.

$g$  : Accélération de la pesanteur.

$W_p$  : puissance nécessaire aune compression poly tropique .



## Introduction Générale

Actuellement, personne ne peut nier que la maintenance des installations est devenue ni un choix, ni un luxe mais un impératif. La maintenance s'est développée au rythme du développement industriel et technologique, d'une fonction accessoire, limitée aux opérations de nettoyage, graissage, et de dépannage, elle est devenue une fonction autonome dans chaque entreprise, jouant un rôle du premier plan dans l'amélioration de la productivité.

Les compresseurs centrifuges occupent dans les différents secteurs de l'industrie une place très importante, dans le but de contribuer à l'amélioration du fonctionnement et de l'efficacité de ce type d'appareils que nous abordons ce thème.

Ce présent mémoire est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre donne les notions et les termes fondamentales de la maintenance, ses objectifs et son rôle, ses différents niveaux et ses différents types, enfin le chapitre se termine par une description des opérations de maintenance.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur les compresseurs, il commence par des généralités, il aborde ensuite la construction des compresseurs centrifuges ensuite il décrit le phénomène de vibration dans les organes mobiles du compresseur centrifuge et se termine par le positionnement du problème.

Le troisième chapitre fait l'étude du comportement du compresseur, il débute par des généralités sur son fonctionnement, et puis une présentation de son dossier historique, ses caractéristiques techniques et enfin son comportement thermodynamique et vibratoire, ainsi que son état de travail à diverses conditions de fonctionnements.

Le quatrième chapitre fait l'étude de développement d'un système pour la surveillance en ligne du compresseur K603 DRESSER-RAND de type 25.08B6, en utilisant les réseaux de neurones artificiels de type perceptron multi-couches (MLP). Le but de notre travail est de proposer des rectifications sur le système Di-Tronics2 pour qu'il soit capable de préciser avec exactitude le type de panne qui peut survenir sur cet compresseur.

Notre travail, nous envisageons de développer et d'optimiser une configuration d'un système de surveillance de l'usure des outils de coupe, adapté aux opérations de tournage, et basé sur un réseau de neurones optimisé, alimenté à partir de données issues de signaux des forces de coupe.

A cet effet, nous avons organisé en trois parties :

Dans la première partie nous présentons un état de l'art détaillé sur les méthodes de détection de l'usure des outils de coupe, à savoir les méthodes basées sur la mesure de la force de coupe, l'émission acoustique, les vibrations, la température (méthodes indirectes) et autres méthodes moins utilisées (méthodes directes) ensuite quelques notions sur la fusion de sondes.

La deuxième partie intitulée "surveillance en ligne des outils de coupe à base de réseaux de neurones" est consacrée à la notion de système de surveillance, à la surveillance automatique de l'usure des outils de coupe, à l'application des réseaux de neurones dans le développement de tels systèmes, au traitement du signal et enfin aux diverses architectures de réseaux neuronaux les plus fréquemment utilisées dans ce domaine.

La troisième et dernière partie est dédiée au développement d'une approche méthodologique pour l'optimisation d'une configuration d'un réseau de neurones, adaptée à la surveillance automatique de l'usure des outils de coupe. Elle comprend plusieurs chapitres, de l'architecture générale à la présentation des deux phases du système élaboré en développant l'algorithme de rétro-propagation du gradient d'erreurs, utilisé pour l'apprentissage d'un réseau de neurones de type MLP (Multi Layer Perceptron), et en étudiant plusieurs paramètres afin de perfectionner ce dernier.

## Notion et termes de la maintenance

### I. 1 Définition de la maintenance

Le concept "maintenance" à pour origine le monde militaire et ceci est montrée par la définition donnée dans le dictionnaire "LAROUSSE".

#### **Définition N° 1 :**

La maintenance c'est l'action ayant pour objet de recompter en matériels et en personnels les unités éprouvées par le combat.

#### **Définition N° 2 :**

Par analogie au domaine industriel et technologique, la maintenance c'est l'accomplissement de toutes les opérations permettant de équipements dans leur états initiaux, ces opérations se résument par l'application d'un entretien préventif et curatif (correctifs) les plus stricts.

#### **Définition N° 3 :**

D'après la norme française \* AFN6R \* 60010 \* elle définit la maintenance comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé, bien maintenir c'est assurer ces opérations ou cout global optimal, plusieurs notions sont induites par définition :

- ✓ Maintenir : c'est effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration...etc.) qui permettent de conserves le potentiel du matériel pour assurer la continuité de la production.
- ✓ Rétablir : implique une action de correction de défauts suite à une pente de fonction.
- ✓ *Etat spécifié ou service spécifié* : suppose la prédétermination des objectifs à atteindre.

## **I.2 Objectifs et rôle de la maintenance**

### **I.2.1 Objectifs**

L'objectif assigné à la fonction maintenance est d'assurer à la production un taux de disponibilité, élevé avec un coût de maintenance et degré, de fiabilité optimale.

### **I.2.2 rôle de la fonction maintenance**

Elle est principalement pour rôle de :

- ✓ prolonger la vie de matériel par les actions d'entretien.
- ✓ mettre à la disposition de l'exploitation (production) un équipement fiable.
- ✓ répondre à toute demande émanant de l'exploitation pour intervenir à tout moment.
- ✓ veiller à l'utilisation rationnelle du matériel.

## **I.3 Différents niveaux de maintenance |**

On distingue généralement 05 niveaux de maintenance :

### **I.3.1 Niveaux N°1**

La maintenance de ces niveaux est très élémentaire, qui se pratique quotidiennement est qui n'est outre la vérification et le contrôle routines effectuer par l'opérateur au moment de sa prise de poste.

### **I.3.2 Niveaux N°2**

Il s'agit dans ce cas d'une maintenance simple effectuée avec des moyens appropriés (convenablement), c'est l'application des opérations d'entretien préventif (de 1er degré : nettoyage, lavage, graissage, lubrification, serrage des parties soumises à la vibration.....).

### **I.3.3 Niveaux N°3**

Ce type de maintenance est effectué avec des moyens élaborés (perfectionnés), il s'agit d'entretien préventif (de 2ème degré : changement de quelques pièces d'usure, changement d'organe standard).

### **I.3.4 Niveaux N°4**

Les opérations entreprises pour ce niveau sont plus complexes et nécessitent un degré de technicité exemple : grosse réparation, révision équipement et organes complexes.

### **I.3.5 Niveaux N°5**

Ce type de maintenance est un très haut degré de technicité existant dans les entreprises qui font de la rénovation complète des machines et la remise à neuf de tout organe récupérable dans le but de procéder à l'échange standard en cas de panne d'un châssis par exemple .

#### **N.B:**

Toutes entreprises qui atteignent certains niveaux de maintenance sont bien entendu en mesure de pratiquer tous les niveaux qui leur sont interdits.

## **I.4 Différents types de maintenance**

On distingue généralement 04 types de maintenance:

1. Maintenance palliative.
2. Maintenance préventive.
3. Maintenance corrective.
4. Maintenance occasionnelle.

### **I.4.1 Maintenance palliative**

Appelée aussi « MAINTENANCE REPARATIVE » elle est effectuée, après la surveillance des événements c-à-d on attend jusqu'à ce que la panne survienne pour qu'on intervienne. La défaillance dans ce cas peut être d'origine "humaine" (erreur, négligence, ou omission de la part des conducteurs) engendrant suite à l'usure prématurée accidentelle, elle peut être partielle (arrêt momentané), ou totale (arrêt prolongé).

Quand la défaillance est partielle l'intervention est dite du 1<sup>er</sup> degré et l'on dira qu'il y a lieu de procéder à un dépannage, pour les défaillances totales l'intervention peut être du 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> degré, et l'on dira qu'il y a lieu de procéder à une réparation, les consommations des pièces de rechange pour ce type de maintenance sont relativement réduites, mais parfois les défaillances peuvent être

catastrophiques et causent des pertes énormes en pièces de rechange et en production car un organe défectueux inaperçu influe négativement sur d'autres placées en amont ou en aval de celui-ci.

**Remarque :**

Sont dite interventions

- ✓ Du 1° celles qui dépassent pas 4 heures d'intervention.
- ✓ Du 2° celles comprises entre 4 heures/44heures d'intervention.
- ✓ Du 3° celles qui dépassent 44heures d'Intervention.

### **I.4.2 Maintenance préventive**

Elle doit permettre d'éviter des défaillances du matériel en cours d'utilisations. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elles permettent d'éviter.

**But de la maintenance préventive :**

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective coûteuse.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans les bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc....
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production (ambiance favorable etc....)
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

**Définition :**

La maintenance préventive est définie comme étant l'ensemble des actions effectuées selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité d'une défaillance d'un bien ou dégradation d'un service rendu.

- a) maintenance préventive systématique.
- b) maintenance préventive conditionnelle.

**a) maintenance préventive systématique.**

ce type de maintenance effectue selon un échéancier préétabli au vu des consignes préconisées par constructeur et des corrections éventuelles à porter par le bureau de méthodes d'entreprise en fonction des conditions d'exploitation locales .

Ce type de maintenance est effectuée pour prolonger la vie du matériel en précédant aux changements systématiques des pièces d'usures, en appliquant l'entretien préventif périodique (vidange, nettoyage, lavage,....).

On dit que la maintenance préventive systématique se définit sur la base de temps, cette méthode garantit la présentation des patrimoines matériels, mais peut, engendrer une consommation relativement exagérée en pièces de rechange et lubrifiants.

**b) maintenance préventive conditionnelle.**

Appelée maintenance préventive, elle est subordonnée à un événement prédéterminé, et révélateur des dégradations d'un bien, cet événement peut être prédéterminé :

- Lors d'un diagnostic d'inspection visuelle.
- Suite à l'analyse d'un échantillon (huile, eau, carburant, ou électronique des batteries).

Les informations sont confirmées par l'inspection du matériel suite à des visites périodiques.

L'avantage qu'on peut tirer éventuellement de cette méthode est une consommation rationnelle en pièces de recharges et lubrifiants.

**I.4.3 Maintenance corrective**

Appelée aussi maintenance améliorée, elle a pour but la recherche de l'amélioration répétitive sur la base des outils scientifiques, cette amélioration est exagérée en pièces de recharges.

## **Avantage de la méthode :**

Amélioration apportée éventuellement est plus bénéfique à l'entreprise ; car tout en étant en exploitation, ces études et ces analyses sont entreprises sur le matériel.

### **I. 4.3 Maintenance occasionnelle**

Ce type de maintenance est comme son nom l'implique, pratiquée occasionnellement lors de l'intervention principale, on y effectue les travaux latents (secondaire) et ce afin de redonner à la machine ses conditions normales de travail et d'utiliser rationnellement ces personnes s'effectue lors des arrêts annuels.

#### **Remarque :**

La maintenance occasionnelle est rentable à condition d'effectuer le renseignement de toutes les anomalies ("défauts" secondaire) afin de programmer et planifier les interventions à temps.

Voici par ailleurs quelques raisons pouvant améliorer la maintenance en Algérie ;

- ✓ maintenance préventive : 60 à 65 %.
- ✓ maintenance corrective : 15 à 20 %.
- ✓ maintenance palliative : le reste.

## **I.5 les opérations de maintenance**

### **I.5.1 Le dépannage**

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement, compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et des conditions de réalisation tous règles des procédures, de coût et de qualité, et dans ce cas suivi de la réparation.

#### **a) Condition d'application**

Le dépannage opération de maintenance corrective n'a pas de condition d'applications Particulières la connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes dures mais peuvent être Nombreuses, de ce fait les service de maintenance, soucieux

d'abaisser leurs dépenses tentent D'organiser les actions de dépannage, d'ailleurs certains indicateurs de maintenance, pour mesurer son efficacité, prend en compte le problème du dépannage.

### **b) Cas d'application**

Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en Continu dont les impératifs de productions interdisent toute visite ou intervention à arrêt.

### **I.5.2 La réparation**

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

#### **Condition d'application**

L'application de la réparation opération de maintenance corrective, peut être décider après décision soit immédiatement à la suite d'incident , ou d'une défaillance , soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

#### **Remarque :**

La réparation correspond à une action définitive, l'équipement réparé doit assurer les performances pour les quelles il a été conçu.

### **I.5.3 Les inspections**

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de t'outil de production ou des équipements

### **I.5.4 Les visites**

Ce sont des opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive Systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraînes des démontages d'organes et une immobilisation du matériel.

### **I.5.5 Les contrôles**

Ils correspondent à des vérifications et conformité par rapport à des données préétabli suivies d'un jugement.

Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision acceptation, rejet, ajournement, déboucher comme des visites sur les opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

### **I.5.6 Les révisions**

Ensemble des actions d'exams, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

### **I.5.7 Les échanges standards**

Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usage et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant ; le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

## **I.6 Position de la structure de la maintenance au sein de l'entreprise**

La fonction maintenance peut être assurée par une division indépendante appelée "DIVISION MAINTENANCE" ou par un service technique intégrant les fonctions de fabrication et de maintenance, la division maintenance occupe, déjà et continuera à occuper une place prépondérante dans l'entreprise du fait des objectifs qui lui sont assignés et qu'on peut formuler ainsi :

- Augmenter la disponibilité et la durée de vie des équipements et des installations.
- Diminuer les coûts de maintenance.

Il y a lieu de réfléchir à la structure maintenance, pour apprécier la position de division maintenance, et se poser la question de savoir si cette position est bien la meilleure ? il s'agit parfois d'une remise en cause qui être nécessaire, en fonction de l'évolution de l'entreprise.

Si la division maintenance doit être créée de toutes pièces, une conservation de toutes les divisions de l'entreprise apparaît comme une impérative, La position choisie par la division de maintenance doit permettre :

-D'obtenir la meilleure coopération possible avec les autres fonctions de l'entreprise.

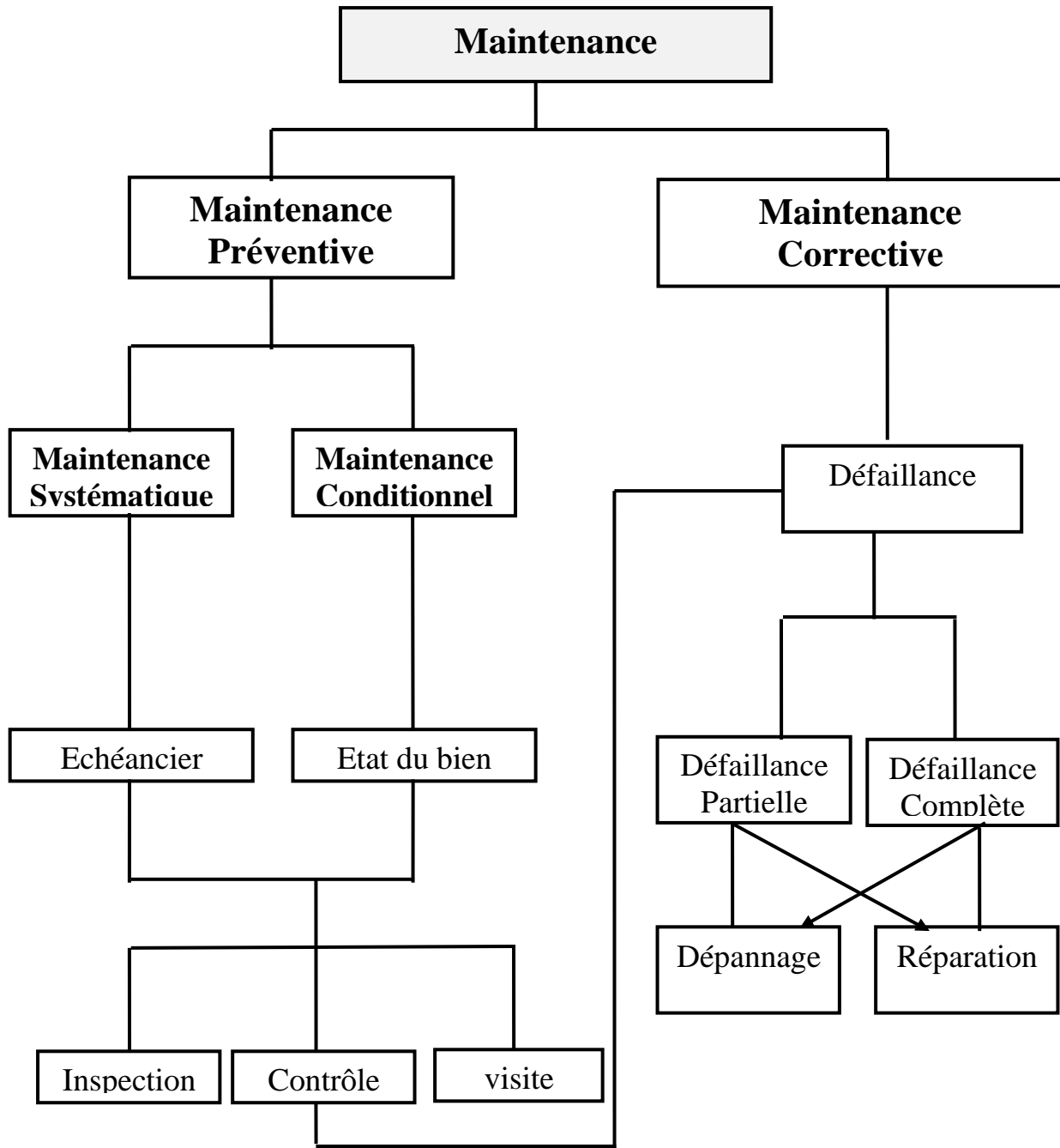
- ✓ D'obtenir la meilleure assistance technique possible.
- ✓ De créer davantage d'intérêt de la part de la direction.

### **I.6.1 Position de division maintenance par rapport aux autres structures**

Il existe deux tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise :

- ✓ La centralisation ; ou toute la maintenance est assurée par un service .
- ✓ La centralisation ; ou le service de maintenance est dépossédé de certaine responsabilité, c'est généralement la maintenance de fabrication qui passe sous le contrôle des services de production et de fabrication .

L'objet de décentralisation est de mieux cerner les frais réels de maintenance par poste de Travail, son inconvénient est de conduire à l'application de plusieurs politiques de maintenance, éventuellement contradictoires.



**Tableau(1.1):** systématique des méthodes de maintenance industrielle

- COUT GLOBALE OPTIMUM : implique que la maintenance doit disposer des moyens nécessaire à l'atteinte des objectifs poursuivie et gérer ses coûts de façon adéquate, en un mot, la maintenance ne doit plus être considéré comme un mal nécessaire, mais comme un facteur de production au même titre que les autres facteurs techniques de l'entreprise (production, étude....) .

En définitive ; la maintenance engendre la mise en œuvre : dans le cadre d'un nouvel état d'esprit, de méthodes et de systèmes ayant pour effet de maîtriser la panne au lieu de la subir.

- « la maîtrise de la fonction maintenance » et une discipline empirique dans le but de contrôler en permanence que les disponibilités technique ; financiers et humaines sont utilisées au mieux pour parvenir à un parfait équilibre entre le coût de produit fini et le coût de l'entretien de l'équipement.

## **I.7 Conclusion**

Notre chapitre a bien répondu à des questions déterminées sur les points suivants :

La fonction maintenance, proprement dite; son importance dans l'entreprise, sa position vis à vis des autres productifs...etc. ,ainsi, on peut affirmer que la maintenance sera appelée, par la force des choses ; jouer un rôle de plus en plus central dans les fonctions techniques de l'entreprise, et ne doit plus être considéré comme une contrainte, mais plutôt comme un moyen efficace pour l'amélioration de production, en quantité et en qualité , à des coûts optimaux dans les meilleures conditions de délais et de sécurité.

Effectivement, une bonne maintenance engendre des dépenses supplémentaires mais le nom maintenance ou la maintenance improvisées génère :

- L'indisponibilité des machines.
- la mauvaise qualité des produits.
- Le manque de sécurité.

La maintenance, vu sa place très importante dans l'environnement industriel , doit se structurer et se renforcer pour devenir la préoccupation permanente de tous dans les unités de production et dans les entreprises.

Logiquement, on pourrait penser que moyennant une meilleure maintenance, les entreprises qui font actuellement les bénéficiaires les augmenter, celles qui perdent auraient quelques chances de redresser la situation et celles qui se trouvent en situation incertaine pourraient être une marge bénéficiaire.

Une seule condition commencée par le commencement c'est à dire prendre en charge correctement les différentes fonctions de la maintenance.

En un mot toutes les énergies doivent être mobilisées pour que la maintenance devienne « une culture » d'entreprise et qu'elle puisse contribuer efficacement à relever les défis qui se posent à notre économie.

Par ce chapitre, on a donc décrit les principaux modules de la maintenance qui forment dans leur ensemble un recueil de connaissances générales sur l'aspect technique et économique de la maintenance, qui aide à un certain niveau à la maîtrise des nouvelles technologies et par conséquent, à surmonter les problèmes qui gênent l'efficacité de l'outil productif.

## Généralités sur les compresseurs

### II.1 Notions générales

Les compresseurs sont les appareils qui fournissent de pression au fluide. Cette énergie permet au fluide de s'écouler à des points de hauteur plus élevés.

Beaucoup de compresseurs fonctionnent pratiquement d'après le même principe, mais l'existence de certains facteurs et phénomènes physiques tels que la viscosité et la compressibilité changes parfois totalement ou partiellement le principe de fonctionnement de certains d'entre eux.

Selon le type d'énergie hydraulique fournie au fluide, on distingue trois types :

Un) Energie de position.

Deux) Energie de pression.

Trois) Energie cinétique spécifique.

Chaque mécanicien doit être en état de choisir des compresseurs selon les exigences technologiques , le principe de fonctionnement et les règles d'entretien.

#### II.1.1 Définition et classification

Les compresseurs sont des appareils destinés à réalisés un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux. Les gaz traversant le compresseur peuvent être de nature divers: gaz pur, mélange gazeux, vapeur surchauffé ou saturée.

L'équation d'état du gaz est donnée par:

$$P.V = R.T$$

Avec:

R: constante spécifique de gaz

P: la pression

V: le volume spécifique

T: la température absolue

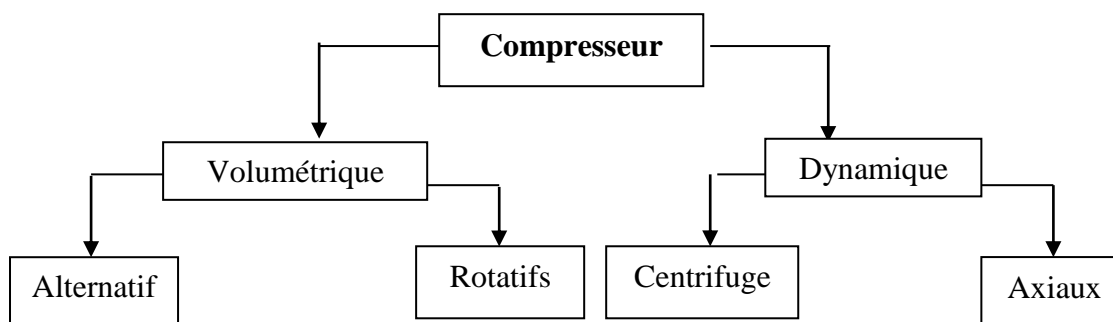
Si la température d'un gaz est maintenue constante, la pression est inversement proportionnelle au volume spécifique. Un accroissement de pression peut donc être obtenu au moyen d'une réduction de volume occupé par le gaz. Dans ce cas l'élévation de pression résulte d'une compression, c'est-à-dire d'une action directe sur le volume d'une masse gazeuse donnée. La diminution du volume de gaz conduit toujours à un accroissement de la pression.

Les appareils fonctionnant suivant ce principe sont des compresseurs volumétriques. Dans ces appareils, l'énergie nécessaire pour réduire l'élévation de pression est dépensée sous forme de travail fourni par un moteur d'entraînement (moteur électrique).

Dans les compresseurs dynamiques l'élévation de pression résulte précisément d'une action sur la vitesse du fluide. Ici encore l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est dépensée sous forme de travail, celui-ci est transformé en énergie cinétique du fluide à comprimer, et cette dernière à son tour est transformée en pression.

Du point de vue d'écoulement du gaz, les compresseurs dynamiques se divisent en appareils centrifuges et axiaux. Certains compresseurs dynamiques sont de type mixte, le gaz entre au sein de ces appareils suivant une direction parallèle à l'axe de rotation, et ensuite s'éloigne de l'axe vers la périphérie.

Finalement on a la classification suivante des compresseurs:



**Figure (2.1) :** Classification des compresseurs.

### II.1.2 Comparaison entre les machines centrifuges et axiales.

La machine centrifuge, dont l'encombrement diamétral limite l'emploi à des débits relativement faibles, a l'avantage de donner de forts taux de compression. Sur des machines conventionnelles, on obtient des taux de compression de 2 à 2.5 par étage en air. On peut même aller jusqu'à 4 sans que l'écoulement ne soit supersonique.

Utilisée initialement comme ventilateur, puis dans les turbocompresseurs avec un rendement voisin de 0.75.

On aboutit aujourd'hui à des compresseurs supersoniques ayant par étage, un taux de compression de 7 avec un rendement de 0.80.

La machine axiale, utilisée pour véhiculer des débits élevés caractérise par un faible taux de compression par étage.

Lorsque la vitesse du fluide reste partout subsonique, ce taux est inférieur à 1.25 mais avec des rendements de l'ordre de 0.90.

L'évolution des performances demandées aux réacteurs d'avion commerciaux a conduit à exiger l'avantage pour réduire le nombre d'étages : un turboréacteur (CFM 56 5GE) atteint à son maximum de puissance un rapport de compression de 29 pour 12 étages.

Ainsi doit-on retenir qu'à encombrement diamétral égal :

- ✚ Le débit d'un compresseur axial peut atteindre jusqu'à 6 fois celui d'un compresseur centrifuge
- ✚ le taux de compression d'un seul étage de compresseur centrifuge peut aller jusqu'à atteindre celui d'un compresseur axial à 6 étages.

### II.1.3 Domaine d'utilisation

Le tableau suivant illustre les différents domaines d'application des compresseurs

N°	Type de compresseur		Domaine d'application
02	Volumétriques	Rotatifs	Installation de refroidissement à haute pression de 50/100

		Alternatifs	Installation haute pression et de moyen débit
02	dynamiques	Axiaux	L'alimentation des hauts fourneaux
		<b>Centrifuge</b>	Installation de distribution à pression de refroidissement moyenne et de grand débit

#### II.1.4 Choix d'un compresseur centrifuge.

Il existe sur le marché une vaste gamme de compresseurs centrifuges et le chef du projet d'installation peut choisir la machine selon les exigences. Les compresseurs centrifuges se répartissent en deux grandes catégories:

1. Compresseur plusieurs étages ouvert horizontalement.
2. Compresseur à plusieurs étages type baril.

#### II.1.5 Rôle de compresseur centrifuge au niveau de l'unité

Les compresseurs représentent un moyen très utile pour faire transporter le gaz aux différents points de l'unité à travers la canalisation.

### II.2 Construction du Compresseur centrifuges de type 3MCL

#### II.2.1 Principe de fonctionnement

Les compresseurs centrifuges augmentent du gaz comprimé par la force centrifuge. Ce type de compresseur est caractérisé par un écoulement radial. Le gaz est introduit au centre de la roue mobile munie de pales centrifuges. Position par rapport au sol appelées impulseurs. Qui en tournant projettent le gaz vers la périphérie sous l'effet de la force centrifuge avant d'être dirigé vers le centre de la zone suivante le gaz passe dans un diffuseur où l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression.

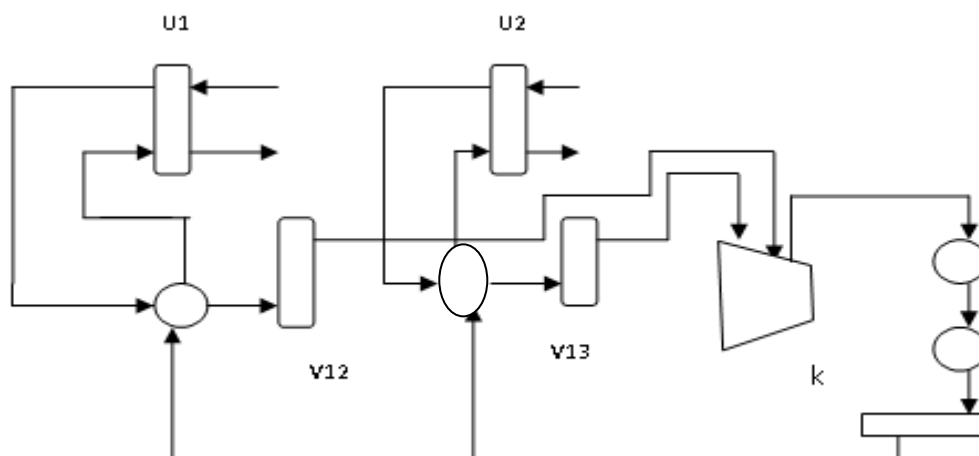


F1 Flasque avant  
F2 Flasque arrière

**Figure (2.2):** cellule du compresseur centrifuge

## II.2 .2 Système de positionnement

Concernant le système de positionnement du compresseur nous citerons deux cotés leur (1) position par rapport a l'unité: Ce compresseur travaillé dans un circuit fermé es représenté sur la figure comme suit:



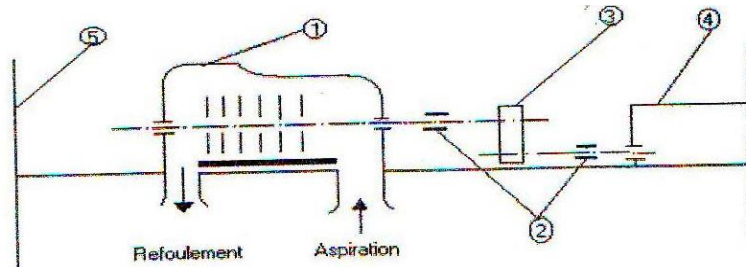
**Figure (2.3):** Position par-rapport au sol:

K : compresseur centrifuge.

U1.U2 : Les cristallisoirs.

V14.V12V13:Ballon

(2) Leur position à la hauteur de (4) à (5) mètres du sol sur une fondation bien déterminée pour faciliter la direction des deux tubes d'aspiration et refoulement ainsi que pour faciliter le système de graissage et surtout pour assurer un bon immobilier de notre appareil contre le vibration.

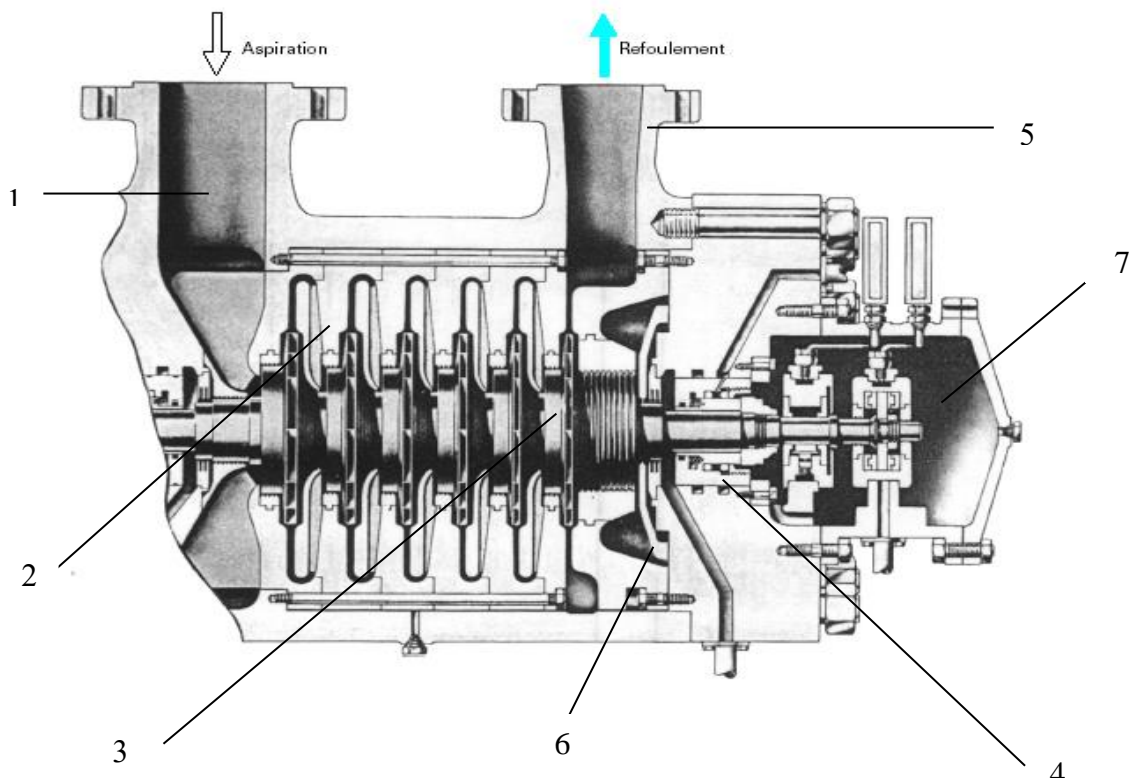


**Figure (2.4):** Positionnement du compresseur par rapport au sol

- 1- Compresseur.      2-Accouplement.      3-Multiplicateur  
4-Moteur électrique      5- Fondation.

### II .2.3. Les principaux organes du compresseur centrifuge

Ce type de compresseur est constitué principalement d'un groupe statique (Corps, diaphragmes, coussinets, étanchéité), et d'un groupe rotatif (arbres, roues, piston d'équilibres) voir figure (2.5)

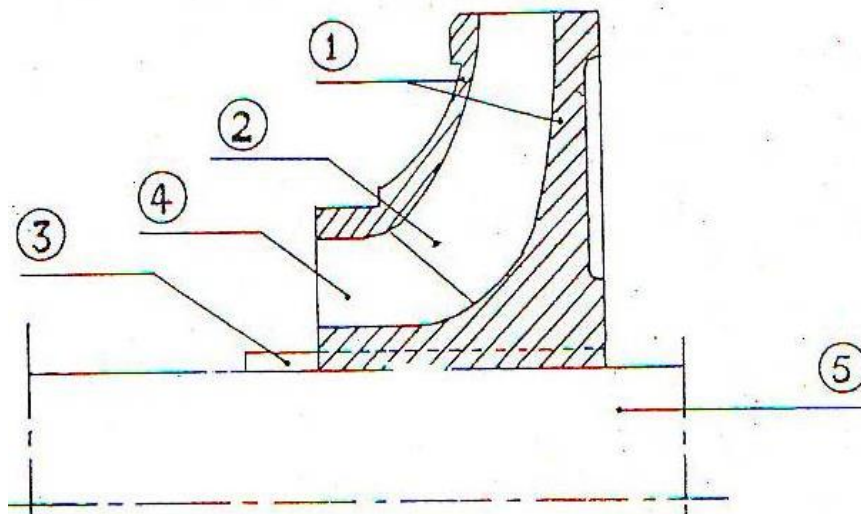


**Figure (2.5):** schéma du compresseur centrifuge

- 1**-tubulures d'aspiration      **2**-roues      **3**-arbre      **4**-paliers  
**5**-tubulure de refoulement      **6**- diaphragma      **7**-piston d'équilibres

On utilise dans les compresseur centrifuges les roues avec les aubes inclinées vers l'arrière cela permet d'obtenir le rendement maximal au régime normal et à la limite du pompage .

Les aubes sont fixées par rivetage par soudure ou peuvent être fraisées dans la masse, telles roues permettent d'obtenir des vitesses périphériques jusqu'à 350 m/s (voir figure2.6).



**Figure (2.6):** roue du compresseur centrifuge

### II.2.3.1 Matériaux

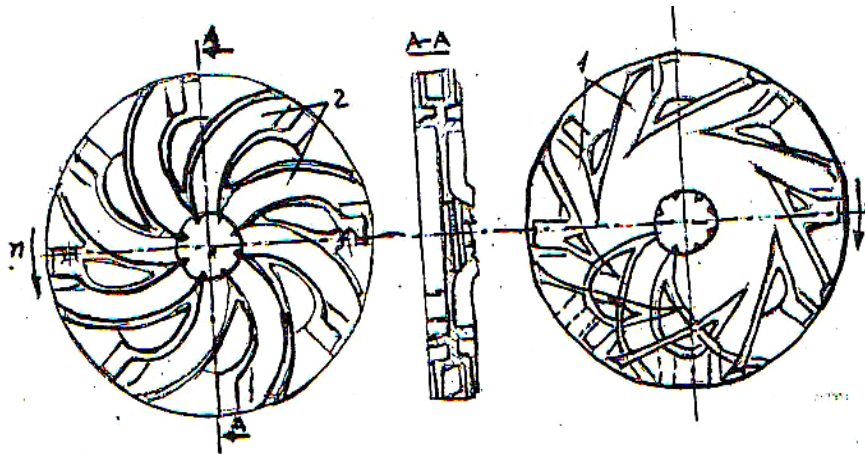
Les roues généralement en acier allié du type fermé.

### II.2.3.2 Diaphragmes

Les diaphragmes constituent la paroi de séparation entre un étage de compression et la suivante.

Les surfaces adjacentes des diaphragmes forment les chambres de diffusion où a lieu la conversion en pression de l'énergie cinétique que le gaz possède à sa sortie de la roue.

À l'intérieur des diaphragmes sont ménagées des canalisations de retour du gaz à l'orifice d'aspiration des roues suivantes ( voir figure 2.7).



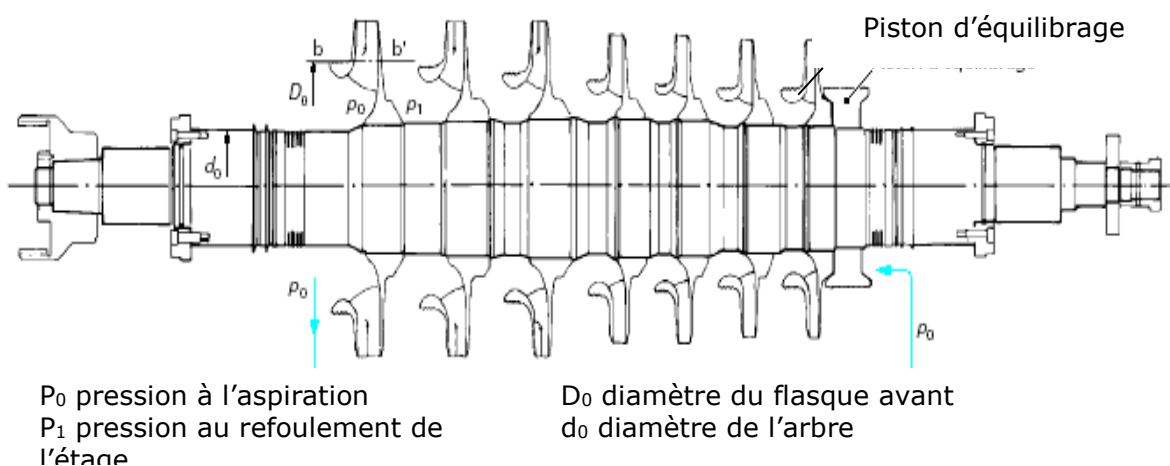
**Figure (2.7):** diaphragme de compresseur centrifuge

### II 2.3.3 Rotor

Il est constitué d'un arbre sur lequel sont montées les roues positionnées à l'aide d'anneaux de séparation.

Ces roues sont terminées par des aubes tournées vers l'arrière. Et montées à chaud sur l'arbre, elles sont ensuite clavetées sur l'arbre même.

Durant le fonctionnement du compresseur, la partie du rotor correspondant à chaque étage du compresseur est soumise à une poussée axiale, dirigée vers l'aspiration et produite par la différence de pression sur les faces des roues. (Figure : 2.8).



**Figure (2.8):** rotor du compresseur centrifuge

### II .2.3.4 Piston d'équilibrage

Dans le compresseur centrifuge la pression de gaz à la roue est supérieure à celle d'entrée , c'est pourquoi la roue l'ensemble du rotor Sont soumis à une poussée dynamique axiale dirigée contre le flux de gaz traversant le rotor , c'est - à - dire dans la direction d'aspiration, pour compenser de cette poussée , on a prévu le piston d'équilibrage. (Voir figure 3.9élément3).

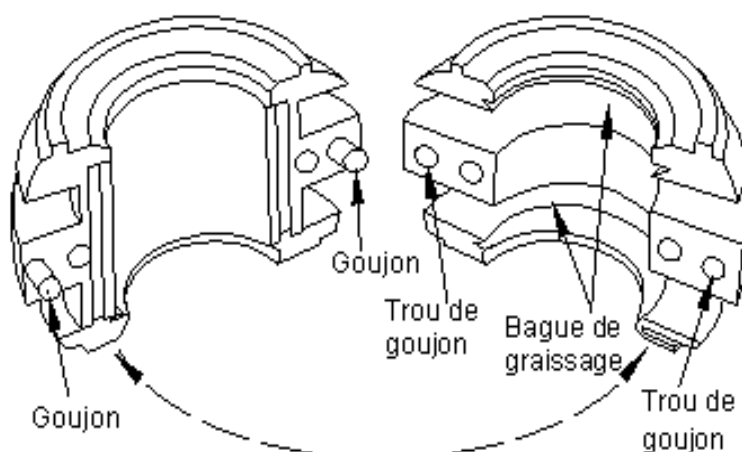
### II.2.3.5 l'arbre

L'arbre , généralement en acier forgé, est parfaitement usiné et rectifié aux points de contact avec les roues et les coussinets.

Les surfaces de l'arbre sont protégées , sur les tronçons demeures libres par des douilles - entretoises en acier afin d'empêcher tout contact direct du gaz avec l'arbre.

### II.2.3.6 Palier d'appui

Ce sont des paliers à lubrification forcée , il sont montés à l'extérieur de la carcasse et peuvent être contrôlés sans démontage du compresseur, ces paliers son en acier et revêtus intérieurement d'un métal blanc : ils sont divisés en deux parties, selon un plan horizontal . (Voir figure2.9).



**Figure (2.9):** palier d'appui de compresseur centrifuge

### II.2.4. Type de dispositif d'étanchéité

Les dispositifs d'étanchéité montés l'extrémité des arbre , afin d'empêcher que les gaz ne sortent du carter, peuvent être classes en deux types savoir

- 1) Dispositif d'étanchéité à huile.
- 2) Dispositif d'étanchéité à labyrinthe

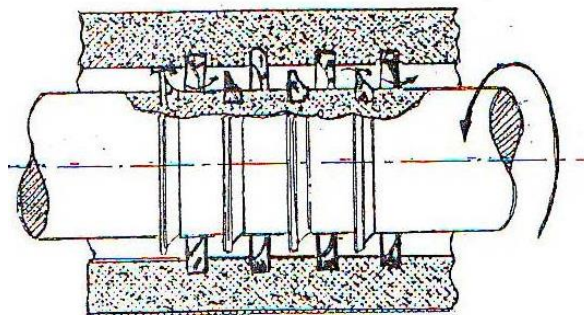
#### II.2.4.1 Etanchéité à huile

On monte sur les deux extrémités de l'arbre , le dispositif d'étanchéité qui empêche que le gaz ne s'échappe de l'enveloppe du compresseur de chaque cote l'étanchéité du gaz est assurés par La combinaison d'une sérié de pièces à labyrinthe et d'une pièces d'étanchéité à huile.

#### II 2.4.2 Dispositif D'étanchéité à labyrinthe

Le dispositif d'étanchéité à labyrinthe constitue la réalisation mécanique la plus simple pour minimiser la fuite du gaz comprimé, du carter dans l'atmosphère.

Le dispositif d'étanchéité est constitue de deux parties l'une Rotative et l'autre fixe. (Voir figure2.10)



**Figure (2.10) :** Dispositif d'étanchéité à labyrinthe

### II.2.5 Garnitures mécaniques

Les garnitures mécaniques sont utilisées pour assurer l'étanchéité entre l'arbre et corps du compresseur.

**Avantage des garnitures mécanique :**

1. Elles assurent l'étanchéité normale pour les hautes pressions.
2. Exploitation entretien simple, et contrôle périodique.
3. Durée de vie est de plusieurs milliers d'heures, parfois des De milliers d'heures.
4. Fuite très faible.

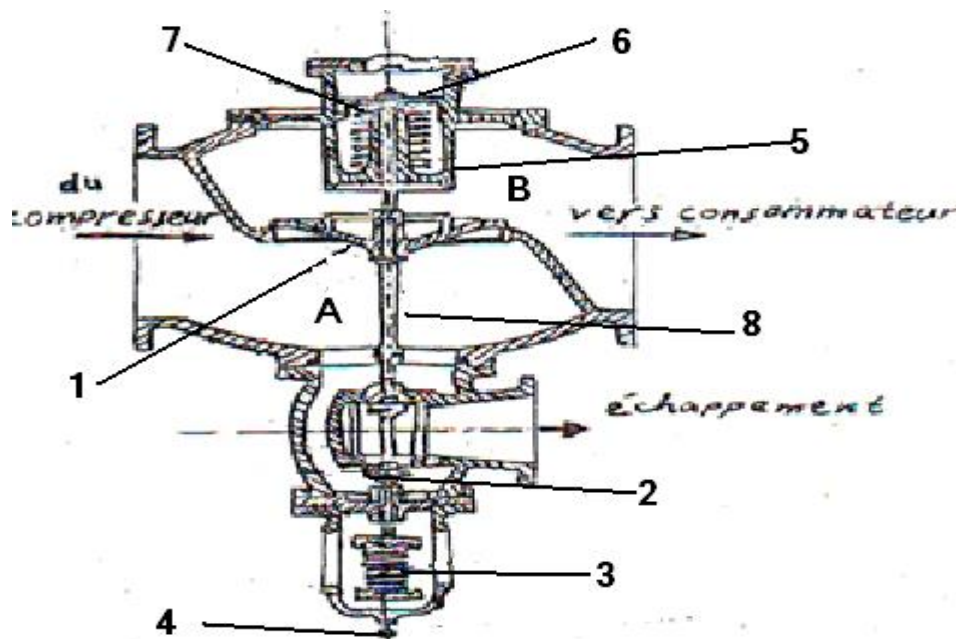
**Remarque:**

Il est important pour qu'une bonne étanchéité que le gaz , sous pression se trouve à la périphérie extérieure de la garniture a fin que l'effet de pompage centrifuge s'oppose à la fuite.

### II.2.6 Le pompage du compresseur

Pour tous les compresseurs, on constate qu'à vitesse constante, On réduit suffisamment le débit, on atteint une zone de fortes Oscillations de pression , plus ou moins importantes, ou même très spectaculaires , pouvant aller jusqu' à la détérioration de l'appareil.

Ce phénomène qui ne se produit que dans la zone située à gauche du maximum du rapport de pression est du à m 'instabilité du fonctionnement du compresseur et de son circuit récepteur (voire figure (2.11) .



**Figure (2.11):** clapet d'anti-pompage du compresseur centrifuge.

1-Soupape mono siège.    2-Soupape à double siège.

- 3**- Ressort du réglage.      **4**-Vis de réglage.      **5**-Ressort amortisseur.  
**6**-Piston.                      **7**-Cylindre .                      **8**-Tige.

### II.2.7 Dispositif anti-pompage du compresseur:

On utilise le dispositif anti-pompage contre le travail du compresseur au régime installer après le compresseur, par Exemple un clapet anti-pompage qui est fixe sur le conduit de refoulement (figure2.11).

Considérons régime stable, de fonctionnement du comprimé. Arrive du compresseur vers la chambre (A) , ensuite il traverse la soupape 1 (dans ce cas la soupape 1 est montée) passe dans la chambre (B) et se dirige vers les consommateurs. Dans ce cas le ressort 3 ferme la soupape 2 et le gaz comprimé. Ne peut bar sortir de le chambre (A) dans l'atmosphère.

Le réglage de la force de compresseur du ressort 3 peut-être effectué à l'aide de la vis 4. La soupape 1 se ferme si la consommation du gaz comprimé. Diminue. dans ces cas la pression dans la chambre B. Sera plu haute que la pression dans la chambre A. La soupape 2 s'ouvre à l'aide de la tige 8 sur laquelle est fixe la soupape 1 et le gaz comprimé crée par le compresseur sort dans l'atmosphère.

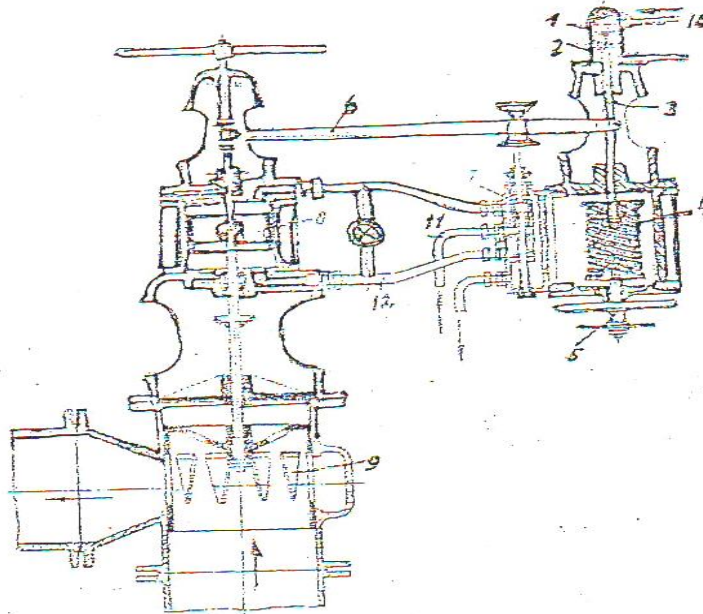
### II.2.8 Réglage des compresseurs centrifuges

Les conditions d'exploitation d'un compresseur centrifuge sont très différentes c'est pourquoi le réglage du régime est nécessaire pour le fonctionnement du compresseur centrifuge.

On utilise pour cela les procédés de réglage suivant :

Le laminage à l'aspiration, le manage à refoulement, a variation De la vitesse rotation, la mise en rotation d'écoulement de gaz à Laide des aubages directeurs d'entrée par tout ou rien faisant Alternen des marches à vide.

Le laminage à refoulement permet changer la caractéristique du réseau extérieur, c'est - à-dire le régime de fonctionnement, Le laminage obtenu par vanne intercalée dans le conduit de Refoulement, Ce moyen est beaucoup moins économique à cause des pertes de charge dans les vannes e laminage à l'aspiration permet de décaler la courbe. Caractéristique pression -débit vers le bas. ( voire figure 2.12)



**Figure (2.12):** Régulateur du débit crée par le compresseur centrifuge.

- |   |                                   |                      |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| <b>1-</b> Cylindre .  | <b>2-</b> Piston de la commande . | <b>3-</b> Tige .     |
| <b>4-</b> Ressort.  | <b>5-</b> Volant à main.          | <b>6-</b> Levier.    |
| <b>7-</b> Tiroir.   | <b>8-</b> Piston principal.       | <b>9-</b> laminage . |
| <b>10-</b> Tube accroché vers le réseau extérieur du compresseur. |                                   |                      |
| <b>11-</b> Tube accroché vers la pompe de l'huile.                |                                   |                      |
| <b>12-</b> tube accouplé le tiroir et le cylindre principal.      |                                   |                      |

## Etude du comportement du compresseur

### III.1 Généralités

Le compresseur centrifuge est machine qui à pour fonction d'augmenter la pression qui la traverse.

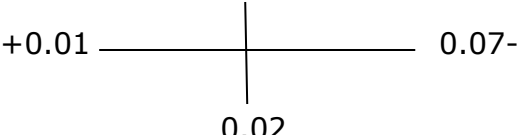
Grâce à sa couronne mobile, une certaine quantité d'énergie est communiquée au fluide qui entre durant la phase d'aspiration. Les couronnes mobiles reçoivent leur mouvement de l'arbre moteur.

Une certaine quantité de cette énergie se transforme forme en une augmentation de pression, directement dans les couronnes mobile, et la partie restante dans les diffuseurs.

Le compresseur centrifuge, est formé d'une carcasse externe qui renferme l'en\_semble des diaphragmes, c'est-à-dire des diverses couronnes montées, elles aussi, sur l'arbre.

### III.2 Dossier historique

Ce tableau représente les pannes du compresseur des sont installations jusqu'à maintenant.

Panne N°	Date de panne	Intervention
01	Le 24/02/1992	Entretien préventif du compresseur est vibration élevée à l'arme affichée sur Hxr302 (dans le tableau de contrôle), supérieur à 75 microns. ❶ Démontage pour entretien et contrôle des accouplements 1(entre moteur et multiplicateur) ❷ Contrôle des paliers porteurs : coté accouplement ; arrachement du métal blanc. Palier coté extérieure le jeu dépassant la normal. ❸ Contrôle d'alignement avant la correction ❹ Changement des deux paliers coté accouplement. ❺ réglage du déplacement axial avec paliers neufs. Correction d'alignement : radial 
02	Le 02/11/1993	❶ Mise en conservation du rotor ancien du compresseur. ❷ Sablage du rotor avec le coussinet. ❸ Contrôle l'état des portées des coussinets et relevé des jeux du rotor.
03	Le 21/05/1995	Changement les anneaux BP de compresseur ❶ Démontage pour le changement des anneaux, d'étanchéité BP (02) ❷ Changement des paliers <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Joint oring (02): 585010292.</li> <li>◆ Joint oring (01mt) :77301210.</li> <li>◆ Joint de boulons (01j): 586010214.</li> </ul>

04	Le 20/01/2000	<p>Ouverture du compresseur pour entretien et inspection avec l'assistance du technicien(N) hautes vibrations du compresseur.</p> <p>❶ Démontage du compresseur.</p> <p>❷ Equilibrage du rotor</p> <p>❸ Contrôle des jeux des labyrinthes.</p> <p>❹ Remontage de la demi-carresse de compresseur.</p> <p>❺ Remontage de l'étanchéité, après contrôles (02): 585010224. Renforcement de la portée d'origine, des boites d'étanchéité avec un joint téflon. Relevés des jeux et tolérances du compresseur.</p>
----	------------------	--

### III. 3 Caractéristique technique du compresseur

#### III. 3.1 Condition de fonctionnement

Gaz comprimé	Ethylène
Débit 1 <sup>er</sup> étage Kg/h	7.300
Débit 2 <sup>eme</sup> étage Kg/h	8.800

#### Condition du gaz à l'aspiration

Poids moléculaire	28.5
CP/CV	Suivant diagramme antalgique
Compressibilité	Suivant diagramme antalgique
Pression (atmosphère)	2.44
Température (C°)	-37.2

#### Condition du gaz au refoulement

Pression (atmosphère)	27.75
Température ( C°)	+120
Puissance sur l'arbre C <sub>v</sub>	1.883
Vitesse t/mn	13.600
Sens du rotation (vu de cote actionnement)	Horne

### III.3.2 Les données de bon fonctionnement

Ce tableau représente les données de la marche du compresseur

Description des relevés	Unité de mesure	Donnée de
Pourcentage de la charge	Tr/min	100
Vitesse de rotation	atm	13.600
Pression admission 1 <sup>er</sup> étage	atm	2.44
Pression admission 2 <sup>eme</sup> étage	atm	5.60
Pression de refoulement de gaz	C°	27.75
Température d'aspiration 1 <sup>er</sup> étage	C°	-37.2
Température d'aspiration 2 <sup>eme</sup> étage	C°	-4
Température de refoulement de gaz	Kg / h	120
Débit Gaz 1 <sup>er</sup> étage	Kg / h	7300
Débit Gaz 2 <sup>eme</sup> étage	Kg / h	8800
Rapport de compression 1 <sup>er</sup> étage	Kg / h	2.3
Rapport de compression 2 <sup>eme</sup> étage	Kg / h	4.9
Poids moléculaire	Kg / h	28.5
Déplacement axial du rotor	Mm	0
Vibration coussinet porteur (cote aspiration)	Mm	0
Vibration coussinet porteur (cote refoulement)	Mm	0
Température Butée	C°	50
Température palier cote aspiration	C°	50
Température palier cote refoulement	C°	50
Température de Huile Entrée refoulement	C°	60
Température de Huile Sortie refoulement	C°	50
Température d'Huile Declarge coussinet aspiration	C°	60
Température d'Huile Declarge coussinet refoulement	C°	60
Pression d'Huile refoulement lubrifiant	Kg / cm <sup>2</sup>	12
Pression d'Huile collecteur étanchéité	Kg / cm <sup>2</sup>	9
Pression Diffère filtre Huile	Kg / cm <sup>2</sup>	0.35
Pression d'Huile coussinet cote aspiration	Kg / cm <sup>2</sup>	1.2
Pression d'Huile coussinet cote refoulement	Kg / cm <sup>2</sup>	1.2
Pression du Gaz de référence	Kg / cm <sup>2</sup>	1.9
Puissance absorbée	KW	1841
Pression d'Huile aux étanchéité	Kg / cm <sup>3</sup>	2.3/ 6

Il se produit par conséquence une augmentation de la perte de par de pression par frottement et tout naturellement le compresseur ne peut travailler d'une manière optimale et économique le fonctionnement sur cette partie de courbe est dit «Fonctionnement étranglé»

### III .4 Détermination des paramètres thermique du compresseur centrifuge

#### III. 4.1 La puissance nécessaire à la compression

Il existe deux méthodes pour calcule la puissance nécessaire à la compression :

- ✚ **Méthode isentropique .**
- ✚ **Méthode poly tropique .**

##### III.4.1.1 Méthode isentropique

La puissance nécessaire est donnée la formule suivante :

$$W_1 = m.(h_{2_s} - h_1) \dots\dots\dots(III.1).$$

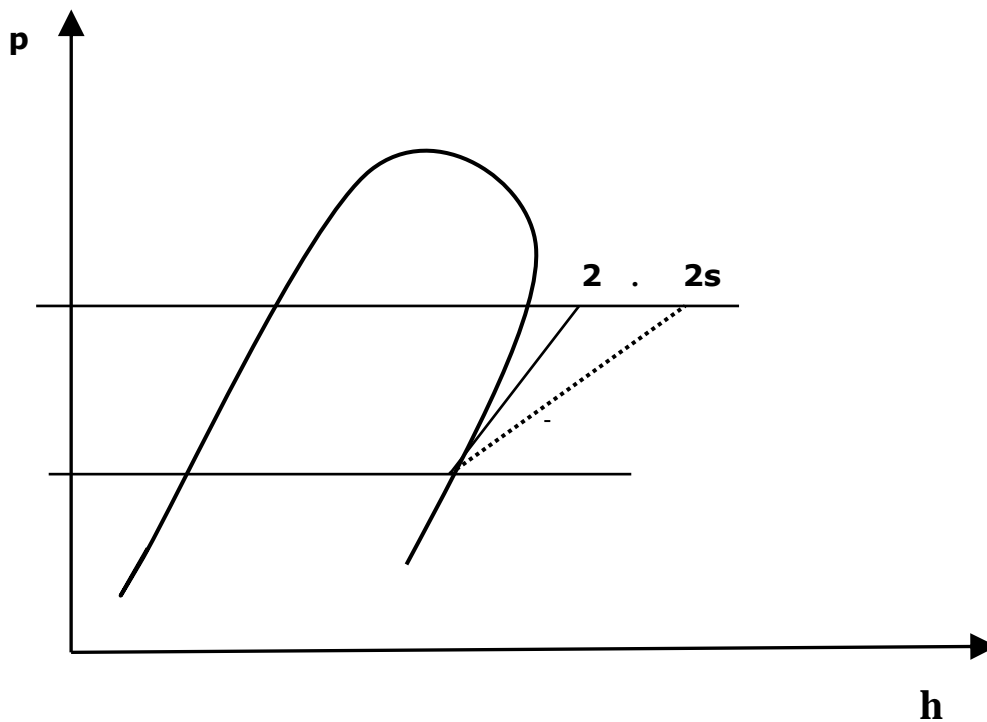
L'indice (s) signifie une compression isentropique ( Adiabatique réversible), et les indices (1 et 2) signifient respectivement l'entrée et la du compresseur , m est le débit massique nécessaire et du fait qu'une compression réversible est impossible à réaliser.

Donc la puissance réelle nécessaire à l'opération de la compression adiabatique irréversible est donnée par :

$$\begin{aligned} W_1 &= m.(h_2 - h_1) \\ &= \frac{1}{\eta_s} .m.(h_{2_s} - h_1) \dots\dots\dots(III.2). \end{aligned}$$

$\eta_s$  : Le rapport entre la puissance isentropique et la puissance réel (valeur entre «0.62et 0.83»).

La figure (3.1) suivante se représente la compression isentropique et la compression adiabatique inversible dans la courbe de pression.



**figure (3.1)** : Les compressions isentropique et adiabatique irréversible

L'endroit 1-2<sub>s</sub> : représente la compression isentropique.

L'endroit 1-2: représente la compression adiabatique irréversible.

**a)- La puissance nécessaire à la compression dans la première étage**

$$W_1 = m_1 \cdot (h_{12} - h_{11}) \dots \dots \dots (III.3)$$

Avec :

$m_1$  : Débit massique du 1<sup>er</sup> étage.

$W$ : Puissance nécessaire au 1<sup>er</sup> étage .

$h_{12}$  : Enthalpie au point de refoulement au 1<sup>er</sup> étage .

$h_{11}$  : Enthalpie à l'absorption au 1<sup>er</sup> étage .

$m_1$  : Est une du problème.

$$h_{12} = cp_{12} \cdot T_{12} \dots \dots \dots (III.4)$$

$$h_{11} = cp_{11} \cdot T_{11} \dots \dots \dots (III.5)$$

Avec :

$C_{p12}$ : Chaleur massique a pression constante de l'air au refoulement .

$T_{12}$ : Température de l'air au refoulement.

$C_{p11}$ : Chaleur massique a pression constante de l'air a l'admission de la 1<sup>er</sup> étage.

$T_{11}$  : Température de l'air à l'admission du 1<sup>er</sup> étage.

**Pour notre problème :**

$T_{11} = -37.2 \text{ C}^\circ$  égale 235.8 K

$T_{12} = 120 \text{ C}^\circ$  égale 393 K

$$cp_{11} = a_1 + b_1 T_{11} + C_1 T_{11}^2 + d_1 T_{11}^3 \dots\dots\dots(III.6).$$

Avec :

$a_1 \quad b_1 \quad c_1 \quad d_1$  (constantes de chaleur spécifique).

$a_1 = 0.13845$	J / Kg. K
$b_1 = 0.005478$	J / Kg. K
$c_1 = 0.2923 \cdot 10^{-5}$	J / Kg. K
$d_1 = 0.6189 \cdot 10^{-9}$	J / Kg. K

$$cp_{12} = a_2 + b_2 T_r + T_r^2 C_2 + d_2 T_r^3 \dots\dots\dots(III.7).$$

Avec :

$a_2 \quad b_2 \quad c_2 \quad d_2$  (constantes de chaleur spécifique).

$a_2 = 0.13845$	J / Kg. K
$b_2 = 0.5478 \cdot 10^{-2}$	J / Kg. K
$c_2 = -0.02923 \cdot 10^{-5}$	J / Kg. K
$d_2 = 0.6189 \cdot 10^{-9}$	J / Kg. K

on pose :

$$\begin{aligned} a_1 &= a_2 \\ b_1 &= b_2 \\ c_1 &= c_2 \\ d_1 &= d_2 \end{aligned}$$

Donc'

$$h_{11} = cp_{11} \cdot T_{11} \dots \dots \dots (III.8).$$

$$h_{12} = cp_{12} \cdot T_{12} \dots \dots \dots (III.9).$$

Donc:

la puissance nécessaire compression dans le première étage:

$$W_1 = m_1 (h_{12} - h_{21})$$

Telle que

$$m_1 = 2.0277 \text{ K g/s.}$$

### b) La puissance nécessaire à la compression dans la 2<sup>ème</sup> étage

$$W_2 = m_2 (h_{22} - h_{21}) \dots \dots \dots (III.10).$$

Telle que

$$m_2 = 2.444 \text{ Kgls.}$$

Avec :

$m_2$ : débit massique dans la 2<sup>ème</sup> étage .

$W_2$ : puissance nécessaire a la compresseur dans la 2<sup>ème</sup> étage .

$h_{22}$ : Enthalpie au point de refoulement.

$h_{21}$ : Enthalpie à l'aspiration de 2<sup>ème</sup> étage .

$$h_{22} = h_{12} \dots \dots \dots (III.11).$$

$$cp_{21} = a_1 + b_1 T_{21} + C_1 T_{21}^2 + d_1 T_{21}^3 \dots \dots \dots (III.12).$$

Avec :

$T_{21}$ : température d'aspiration de 2<sup>ème</sup> étage .

$T_{22}$ : température de refoulement de 2<sup>ème</sup> étage .

$$h_{21} = cp_{21} \cdot T_{21} \dots \dots \dots (III.13).$$

$$cp_{22} = a_1 + b_1 T_{22} + C_1 T_{22}^2 + d_1 T_{22}^3 \dots \dots \dots (III.14).$$

donc :

$$W_2 = m_2 \cdot (h_{22} - h_{21}) \dots \dots \dots (III.15).$$

**c) La puissance totale nécessaire à la compression dans les deux étages du compresseur**

$$W = W_1 + W_2 \dots\dots\dots(III.16).$$

**III.4.1.2 Méthode poly tropique :**

Dans la deuxième méthode de calcul de la puissance de compression, on suppose que l'opération est poly tropique réversible entre l'état (A) d'entrée, et l'état (8) de sortie, cette opération suivante :

$$Pv^n = cst = c' \dots\dots\dots(III.17).$$

Avec:

- C': est la constante de l'aspiration
- n: est le coefficient de l'aspiration

**a)- la puissance de compression :**

Poly tropique est donnée par :

$$W_P = m \left( \frac{n}{n-1} \right) \cdot P_1 \cdot V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(III.18).$$

Si l'opération est déviée du chemin Poly tropique pour des raisons pratiques, la puissance de compression réelle est donnée par:

$$W = \left( \frac{1}{\eta_P} \right) \cdot W_P = \frac{m}{\eta_P} \cdot \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \dots\dots(III.19)$$

Avec :

$\eta_p$  : est le rendement poly tropique ,il, est compris entre 0.7.....0.76

Et  $n = \gamma$

Au lieu d'utiliser la valeur moyenne du coefficient  $\gamma$  entre l'état (1) et (2)

Pour cela la puissance de compression est donnée par :

$$W = \frac{m}{\eta_P} \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \dots\dots\dots(III.20)$$

Le fortement fait généralement accroître cette puissance ,et le rendement mécanique  $\eta_{:m}$  est compris entre 90 % et 99% ,et  $\eta_{:m}$  est égale à 97% pour des raisons de compression .

Et la puissance nécessaire du moteur est donnée par :

$$W_m = \frac{1}{\eta_m} . W \dots\dots\dots(III.21)$$

### b)- La puissance nécessaire à la compression réelle

$$W = \frac{1}{\eta_p} . W_p \dots\dots\dots(III.22)$$

Avec :

$W$  : Puissance nécessaire au 1<sup>er</sup> étage .

$W_p$  : la puissance de compression poly tropique .

$\eta_p$  : le rendement poly tropique de l'aspiration poly tropique (0.70....0.76).

$\gamma$  :est une donné du problème.

Calcul du coefficient adiabatique à l'aspiration

$$\gamma = \frac{c_{p_{11}}}{c_{p_{11}} - R} \dots\dots\dots(III.23)$$

Donc :  $n = \gamma$

### Détermination du volume :

$$PV = n.R.T \dots\dots\dots(III.24).$$

$$PV = (P/M).R.T \dots\dots\dots(III.25).$$

$$P = (P/M).T = L.r.T \dots\dots\dots(III.26).$$

$$R = 8.341 \text{ J/ Kg .K .}$$

Avec :

$L$  : masse volumique Kg / m<sup>3</sup>

$r$  : constante de gaz pure J / mol .K

$$P = L.r.\left(\frac{1}{V}\right).r.T \dots\dots\dots(III.27).$$

$$\dots\dots\dots(III.28). V = r.\frac{T}{P}$$

V : volume spécifique  $\text{m}^3 / \text{kg}$

**a) la puissance nécessaire à la compression dans la première étage**

$$W_{P1} = m_1 \left( \frac{n}{n-1} \right) . P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \dots\dots\dots(III.29).$$

**la puissance nécessaire à la compression réelle:**

$$W_1 = \frac{1}{\eta_P} . W_{P1} \dots\dots\dots(III.30).$$

**b) la puissance nécessaire à la compression dans la 2<sup>ème</sup> étage:**

$$W_{P2} = m_2 \left( \frac{n}{n-1} \right) . P_2 V_2 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \dots\dots\dots(III.31).$$

**La puissance nécessaire à la compression réelle :**

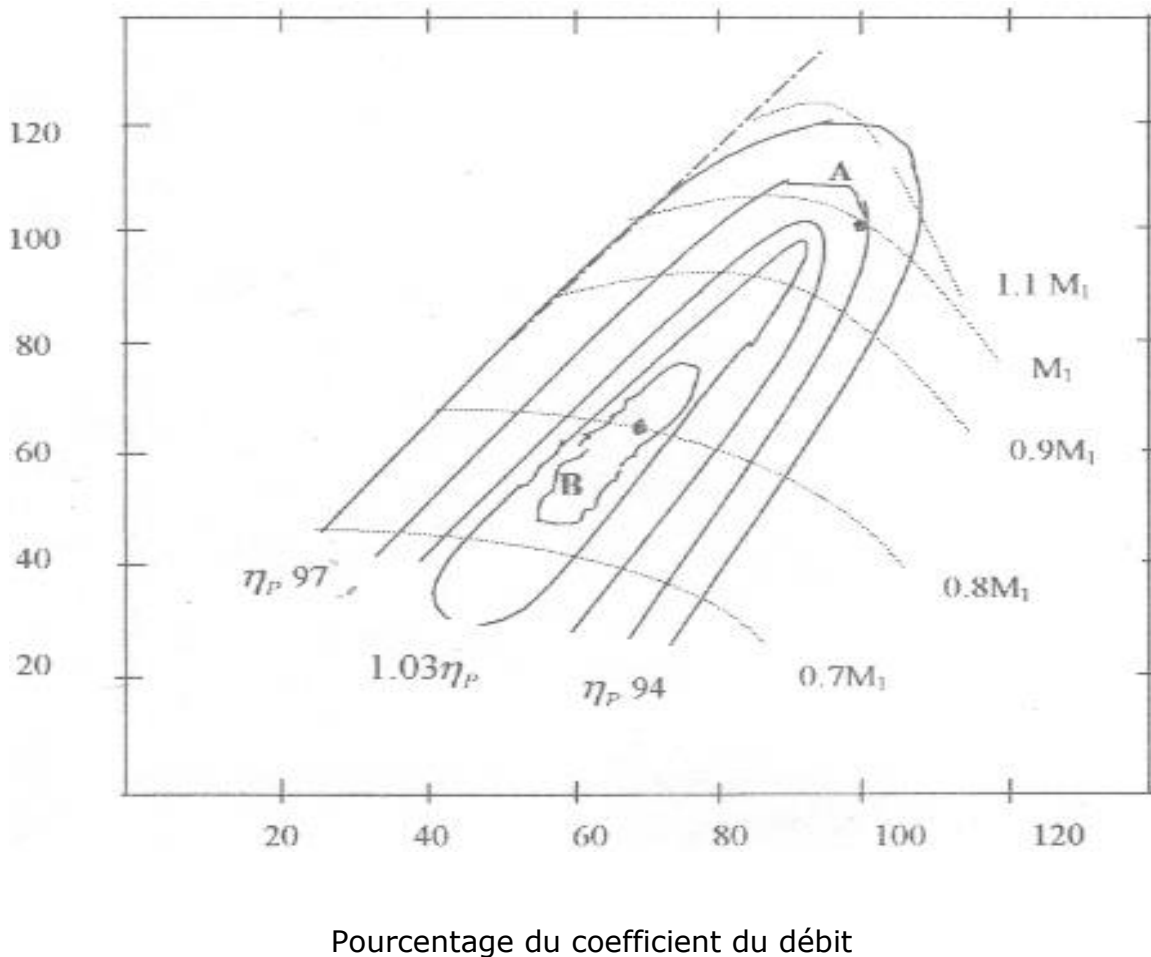
$$W_2 = \frac{1}{\eta_P} . W_{P2} \dots\dots\dots(III.32).$$

**c) La puissance totale nécessaire à la compression dans les deux étage**

$$W' = W_1 + W_2 \dots\dots\dots(III.33)$$

### III 5 Etat de travail du compresseur centrifuge a des conditions divers de fonctionnement

La figure 4.12 montre les courbes caractéristiques du fonctionnement du compresseur centrifuge, l'axe horizontal présente le pourcentage du coefficient du débit d'écoulement du gaz, ce pourcentage est égale au débit réel du gaz  $\theta$  sur celui correspondant au. Fonctionnement optimal du compresseur, l'axe verticale présente le pourcentage du coefficient de la puissance nécessaire au fonctionnement du compresseur  $\Omega$  dans les conditions réelles du fonctionnement optimal.



**Figure (3. 2):** Les courbes caractéristique du fonctionnement du compresseur centrifuge

Le coefficient du débit et de la puissance sont définis respectivement par :

$$\theta = \frac{(mv_0)_1}{a_1 D_1^2} \dots\dots\dots(III.34).$$

$$\Omega = \frac{g w_p}{m \cdot a_1^2} \dots\dots\dots(III.35).$$

Avec :

$a_1$  : vitesse du son a l'entrée de roue .

$D_1$  : diamètre de la pesanteur .

$g$  : Accélération de la pesanteur .

$w_p$  : puissance nécessaire aune compression poly tropique.

Les courbes représentant la variation du coefficient de la puissance en fonction du débit pour différentes vitesse de rotation .

Le bon fonctionnement du compresseur correspond à un rendement élevé, le cote gauche de courbe représente un fonctionnement instable Caractérise par des vibrations.

Le point A représente l'état optimal du fonctionnement du compresseur, caractérise par des Coefficients du débit et de puissance égaux a 100%, et nombre de Mach est égal a  $M_1$ .

Si les conditions de travail changent, le fonctionnement du compresseur suit les courbes présentes sur cette Figure (3. 2).

Pour économiser l'énergie le point B est recommandé pour un fonctionnement touchant une puissance maximale, a ce point le nombre de Mach cettenit 70 % de sa valeur de référence  $M_1$  avec un coefficient du débit égale 60% de la valeur de référence, et un coefficient de la puissance égale à 67% de la valeur de référence  $\Omega$ .

L'application des méthodes de calcul de la puissance (polytropique, isentropique) nous a permis de tracer les graphes suivants:

**Figure (3.3) :** La puissance totale au fonction de débit d'aspiration 1ère étage

**Figure (3.4) :** La puissance totale au fonction de débit d'aspiration 2ème étage

**Figure(3.5)** : La puissance totale au fonction de pression d' aspiration 1iere étage

**Figure (3.6)** : La puissance totale au fonction de pression d' aspiration 2éme étage

Les deux figures (3.3) et (3.4) montrent qu'il existe une dépendance linéaire entre débit d'aspiration du premier étage et celui du 2<sup>ème</sup> étage augmentent la puissance totale augmente elle aussi du point de vue pratique cette dépendance risque de provoquer des phénomènes de vibration et l'usure au sein du compresseur centrifuge la figure (3.5) et (3.6) montre inverse proportionnelle entre la puissance totale du compresseur et la température de refoulement si la température à ce point diminue la pression va diminuer par conséquent ce qui provoque du point de vue purement pratique un phénomène dit le phénomène de pompage.

## MODELISATION D'UN SYSTEME RNA POUR LA SURVEILLANCE EN LIGNE DU COMPRESSEUR

### IV.1. Introduction

Les systèmes de surveillance dans les industries pétrolières ont une grande importance dans la chaîne de production et sa continuité.

Un bon système de surveillance en plus de sa fiabilité de mesure des différents paramètres de fonctionnement des appareils à contrôler est connue par sa capacité de détection des anomalies et des pannes ce qui est par la suite minimise le temps et le coût de la réparation et d'entretien.

Au centre de traitement de gaz "GELLALA" de HBK, le système de contrôle dans toute la processe est le Di-Tronic2. Malgré sa fiabilité en mesure, il ne peut pas faire des diagnostics des différentes machines et appareils. Dans le cas des mauvais fonctionnements, ce système est adapté à déclencher une alarme ou à arrêter l'appareil complètement. Dans ce cas là, le service maintenance mécanique intervient pour réparer la machine (déplacement, démenottage, analyse, solution puis remontage), qui, par fois peut prendre des jours.

### IV.2. Objectif fixé

Notre objectif consiste à proposer et implémenter sous Matlab une approche pour le développement d'un système pour la surveillance en ligne du compresseur K603 DRESSER-RAND de type 25.08B6 , en utilisant les réseaux de neurones artificiels de type perceptron multi- couches ( MLP). Le but de notre travail est de proposer des rectifications sur le système Di-Tronics2 pour qu'il soit capable de préciser avec exactitude le type de panne qui peut survenir sur cet compresseur.

Les paramètres de fonctionnement du compresseur (la pression d'aspiration, la température d'entrée ,le débit d'aspiration, la puissance du compresseur, la vitesse de rotation du rotor ) , les deux composantes de vibration radiale et axiale des deux extrémités du rotor ainsi que le taux de compression et le nombre des étages sont exploités et utilisés comme données d'entrée afin d'alimenter un réseau de neurones de type MLP en utilisant l'algorithme de rétro- propagation du gradient d'erreur avec mementum .

Le schéma ci-dessous (figure 4.1) illustre le système de surveillance du compresseur proposé.

### IV.3. Le neurone biologique

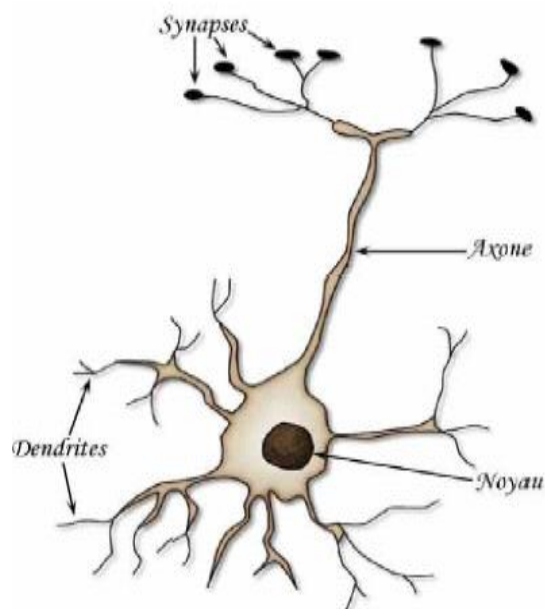
Le neurone biologique est une cellule vivante spécialisée dans le traitement des signaux électriques.

Les neurones sont reliés entre eux par des liaisons appelées axones. Ces axones vont eux-mêmes jouer un rôle important dans le comportement logique de l'ensemble. Ces axones conduisent les signaux électriques de la sortie d'un neurone vers l'entrée (synapse) d'un autre neurone.

Les neurones font une sommation des signaux reçus en entrée et en fonction du résultat obtenu vont fournir un courant en sortie. (figure 4.1)

La structure d'un neurone se compose de trois parties :

- ✚ La soma: ou cellule d'activité nerveuse, au centre du neurone.
- ✚ L'axone: attaché au soma qui est électriquement actif, ce dernier conduit l'impulsion conduite par le neurone.
- ✚ Dendrites: électriquement passives, elles reçoivent les impulsions d'autres neurones.



**Figure.4.1** : Le neurone biologique

### IV.3.1. Neurone formel

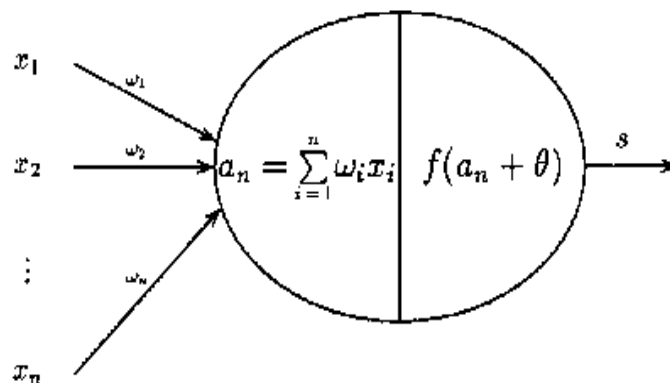
Le passage des observations neurophysiologiques et anatomiques au neurone formel(artificiel).

a été proposé en 1943 par Mc Culloch & Pitts (Cullogh and Pitts, 1943) . Cette étude tente de comprendre le fonctionnement du système nerveux à partir d'éléments formels . Ce modèle n'est qu'une approximation des fonctions remplies par le neurone réel. Le neurone formel (figure 4.2 ) est un automate reproduisant les deux fonctions suivantes:

(i) sommation pondérée des entrées. La valeur obtenue est appelée activité du neurone.

(ii) émission d'un signal dans l'axone si son activité est supérieure à une valeur seuil.

Malgré la simplicité de cette modélisation, le neurone formel dit de "Mc Culloch & Pitts" reste encore aujourd'hui un élément de base des réseaux de neurones artificiels.

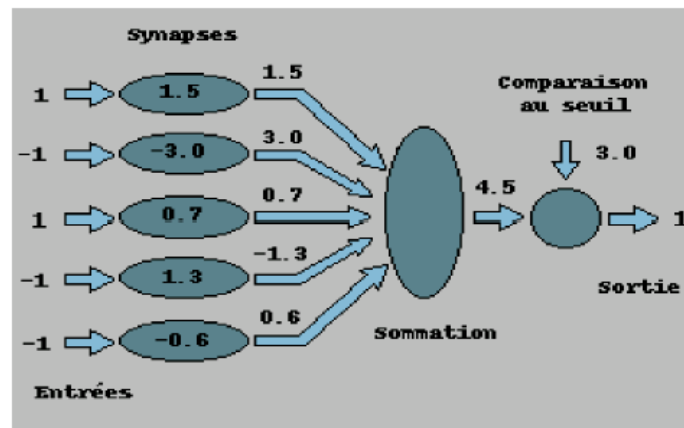


**Figure 4 .2 :** Neurone formel de Mc Culloch & Pitts

Le neurone artificiel (ou cellule) est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones appartenant à un niveau situé en amont (on parlera de neurones "amonts"). A chacune des entrées est associé un poids  $w$  représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie

ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones appartenant à un niveau situé en aval (on parlera de neurones "avals"). A chaque connexion est associée un poids. (figure 4.3).

Les réseaux de neurones ont d'abord été développés pour résoudre des problèmes de contrôle, de reconnaissance de formes ou de mots, de décision, de prédiction, de mémorisation comme une alternative à l'intelligence artificielle, ils sont utilisés dans divers domaines (l'air-dynamique, la mécanique énergétique, le robotique, optimisation de la géométrie des aubes...etc) .....



**Figure 4.3 :** Le neurone formel (explication)

### IV.3.2 Modélisation d'un neurone formel (artificiel)

La modélisation consiste à mettre en ouvre un système de réseau neuronal sous un aspect non pas biologique mais artificiel, cela suppose que d'après le principe biologique on aura une correspondance pour chaque élément composant le neurone biologique, donc une modélisation pour chacun d'entre eux. On pourra résumer cette modélisation par le **tableau 1**, qui nous permettra de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel.

Neurone biologique	Neurone artificiel
Synapses	Poids de connexions
Axones	Signal de sortie
Dendrite	Signal d'entrée
Somma	Fonction d'activation

**Tableau(4.1)** Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel

### 1) Les entrées

peuvent être :

- 🌿 Booléennes.
- 🌿 Binaires (0, 1) ou bipolaires (-1, 1).
- 🌿 Réelles.

### 2) Fonction d'activation

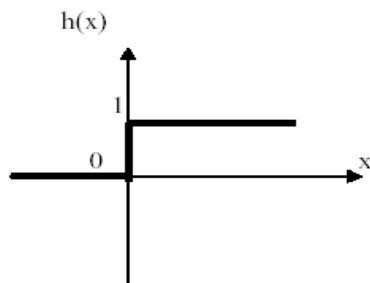
Cette fonction permet de définir l'état interne du neurone en fonction de son entrée totale, citons à titre d'exemple quelques fonctions souvent utilisées :

#### 2.a) Fonction binaire a seuil

exemple :

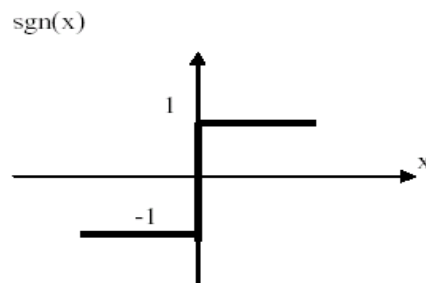
- Fonction Heaviside définie par

$$h(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x \geq 0 \\ 0 & \text{Si } x < 0 \end{cases}$$



**Figure4.4 :** Fonctions Heaviside

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{Si } x \geq 0 \\ -1 & \text{Si } x < 0 \end{cases}$$



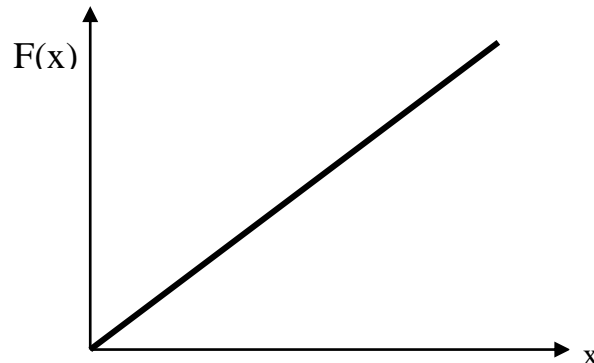
**Figure 4.5 :** Fonctions signe

Le seuil introduit une non linéarité dans le comportement du neurone, cependant il limite la gamme des réponses possibles à deux valeurs.

### 2.b) Fonction linéaire

C'est l'une des fonctions d'activations les plus simples, sa fonction est définie par :

$$F(x)=x$$

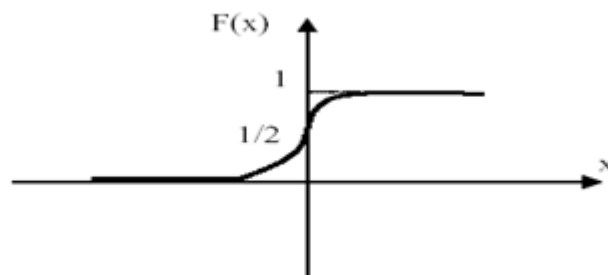


**Figure 4.6 :** Fonction linéaire

### 2.d) Fonction sigmoïde

Elle est l'équivalent continu de la fonction linéaire. Etant continu, elle est dérivable, d'autant plus que sa dérivée est simple à calculer, (figure 4.7) elle est définie par :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$



**Figure (4.7) :** Fonction sigmoïde

### 3) Fonction de sortie

Elle calcule la sortie d'un neurone en fonction de son état d'activation. En général, cette fonction est considérée comme la fonction identité. Elle peut être :

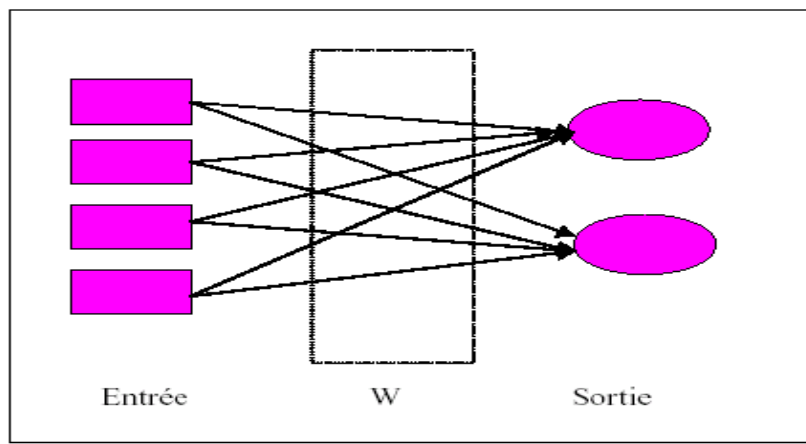
- 🌿 Binaire (0, 1) ou bipolaire (-1, 1 )
- 🌿 Réelle.

### IV.3.2.1 Architecture des réseaux

Les connexions entre les neurones qui composent le réseau décrivent la topologie du modèle. Elle peut être quelconque, mais le plus souvent il est possible de distinguer une certaine régularité (réseau à connexion complète).

### IV.3.2.2 Réseau monocouche

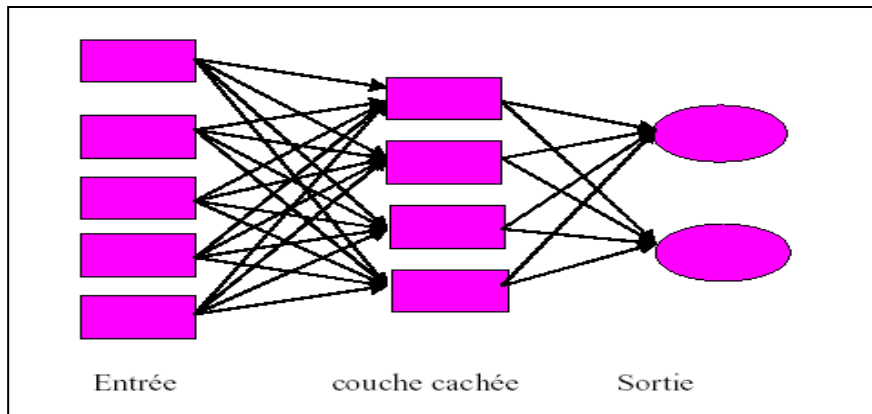
La structure d'un réseau monocouche est telle que des neurones organisés en entrée soient entièrement connectés à d'autres neurones organisés en sortie par une couche modifiable de poids (figure 4.8).



**Figure 4.8 :** Réseau Monocouche

### IV.3.2.3 Réseau multicouche

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche, et les connexions ne se font qu'avec les neurones de couches avales. Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées. (figure 4.9).



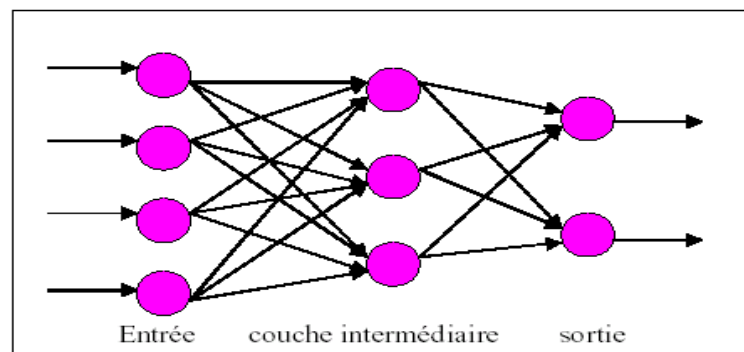
**Figure (4.9):** Réseau Multicouche

### IV.3.2.3 Le modèle perceptron

Le mécanisme perceptron fut inventé par le psychologue **FRANK Rosenblat** à la fin des années 50. Il représentait sa tentative d'illustrer certaines propriétés fondamentales des systèmes intelligents en général.

Le réseau dans ce modèle est formé de trois couches : Une couche d'entrée (la rétine),

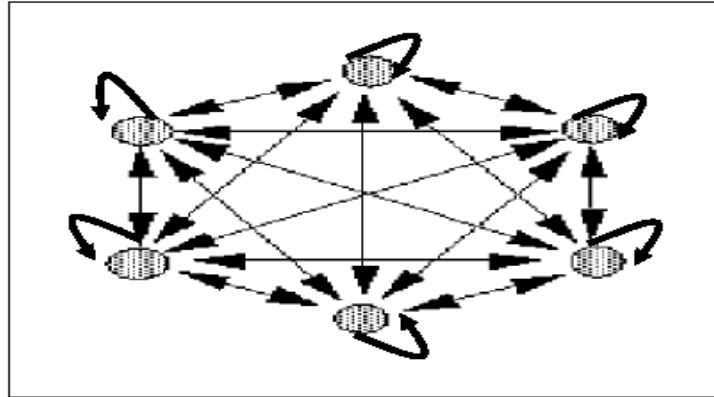
fournissant des données à une couche intermédiaire (couche cachée), chargée des calculs, cela en fournissant la somme des impulsions qui lui viennent des cellules auxquelles elle est connectée, et elle répond généralement suivant une loi définie avec un seuil, elle-même connectée à la couche de sortie (couche de décision), représentant les exemples à mémoriser. Seule cette dernière couche renvoie des signaux à la couche intermédiaire, jusqu'à ce que leurs connexions se stabilisent (figure 4.10).



**Figure (4.10).** Le modèle du perceptron

#### IV.3.2.4 Réseau à connexion complète

C'est la structure d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même)



**Figure (4.11).** Réseau à connexion complète

### IV.4. Architecture générale du concept de surveillance mis en œuvre:

Ce système comporte deux phases principales : la première phase est la phase d'acquisition de données, elle permet d'acquérir des données à partir du compresseur. Ces données sont sous forme des signaux, mesurés au cours de fonctionnement du K603. Tandis que la seconde phase « phase de décision » est traitée au niveau des réseaux de neurones.

Nous proposerons dans ce qui suit de développer en détail ces deux phases qui constituent notre système de surveillance.

#### IV.4.1. Phase I : Acquisition de données

Le compresseur K603-A comme toutes les machines de l'unité, contient des sondes sensibles pour mesurer les différentes grandeurs dont voici quelques unes :

- ✓ les détecteurs de température ou les thermocouple
- ✓ les sondes de pression (aspiration et refoulement)
- ✓ les sondes de proximité axiale et radiale (sondes des vibrations du rotor)

Ces sondes sont transmises du compresseur vers la salle de contrôle par des câbles spéciaux. La carte d'acquisition installée sur le PC a le rôle de traduire ces signaux en valeurs affichable.

Toutes les données de ce travail sont alors des données réelles prises de la salle de contrôle.

#### **IV.4.2. Phase II : Mise en œuvre d'un modèle de réseaux de neurones**

Cette phase est l'étape de décision. À travers le résultat obtenu par le réseau, nous déterminerons l'état du compresseur, à savoir :

- ✓ Pression de refoulement dans les normes : fonctionnement normal du compresseur ;
- ✓ Pression de refoulement hors les normes: fonctionnement anormal (déclenchement d'une alarme, diagnostic du problème rencontré, arrêt ...)

La surveillance de notre compresseur par réseaux de neurones implique trois étapes majeures :

↳ L'apprentissage du réseau de neurones, afin d'apprendre le processus (compression du gaz) par l'accouplement (association) des entrées et des sorties désirées.

Cette étape n'exclut pas le choix des paramètres propres au réseau de neurones lui-même.

Choisir adéquatement ces paramètres, c'est permettre au réseau de converger rapidement (temps d'apprentissage minime) et d'avoir une bonne estimation de la pression refoulée par le compresseur.

↳ Le test du réseau de neurones (évaluation) afin d'estimer l'exactitude du modèle proposé pour des événements qui n'ont pas été présentés lors de la phase d'apprentissage.

↳ Mettre en application le réseau pour la surveillance en ligne du processus de compression (prédiction de la pression refoulée).

##### **IV.4.2.1. Type de modèle de réseau de neurones proposé**

Le réseau de neurones à étudier est un réseau feed-forward multicouches, comportant une couche d'entrée, une couche cachée et une couche de sortie. Le choix de ce type d'architecture (3 couches) est arbitraire, la couche cachée est

utilisée afin d'extraire plus d'informations à partir des données d'entrée du réseau. En outre, l'emploi de cette couche permet de donner une forme non-linéaire entre les modèles d'entrée et de sortie. Par contre, le type de réseau de neurones MLP (Multi Layer Perceptron) avec rétro-propagation de gradient a été choisi pour sa simplicité, son emploi très vaste dans les

systèmes de supervision en ligne des processus de compression et pour les résultats satisfaisants obtenus avec ce modèle .

#### IV.4.2.2. Données d'entrées du réseau

Les tabla -----(4.1).

Les tabla-----normalisé

#### IV.4.2.3. Apprentissage du réseau : Algorithme de rétro-propagation de gradient avec momentum

L'algorithme utilisé pour l'apprentissage du réseau de neurones est l'algorithme de rétropropagation du gradient d'erreur avec un terme supplémentaire appelé "momentum"

### Partie I Configuration et Programmation d'un réseau de neurones multicouches

Le principe fondamental du réseau de neurones choisi est le suivant : le réseau est "entraîné" pour associer un modèle d'entrées "vecteur d'entrées" à un modèle de sortie "vecteur de sortie". Pendant la phase d'apprentissage, les deux modèles d'entrée et de sortie sont présentés au réseau de neurones afin de lui permettre d'apprendre et de mémoriser l'allure de ces deux vecteurs.

Les principales étapes de l'apprentissage du réseau de neurones proposé pour la conception de notre système de surveillance figurant sur la figure 4.3 sont :

#### Etape 1 : Initialisation des poids

L'initialisation des poids se fait d'une manière aléatoire, ils sont initialisés aléatoirement mais dans un intervalle prédéfini, les valeurs des poids et des biais sont comprises entre

$[-1, +1]$ . Cette technique est utilisée afin de permettre une convergence rapide au réseau. Soit donc :

$$w_{ij}^1, j = 1, 2, \dots, l \text{ et } i = 1, 2, \dots, 12$$

Où l'indice supérieur (1) signifie qu'il s'agit de la matrice de poids de la couche d'entrée,

l'indice ( $j$ ) signifie l'arrivée (indice du neurone dans la couche cachée). Dans notre cas, il varie de 1 jusqu'à  $l$ , nombre de neurones dans la couche cachée, l'indice ( $i$ ) indique la couche de départ, il varie de 1 jusqu'à 12, nombre de neurones dans la couche d'entrée.

$$w^2_{kj}, k=1, j = 1, 2, \dots, l$$

Où l'indice supérieur (2) signifie qu'il s'agit de la matrice de poids de la couche cachée, ( $k$ ) est l'indice correspondant au nombre de neurones de la couche de sortie, il est égal à 1 (une seule sortie), ( $j$ ) est l'indice correspondant au nombre de neurones de la couche cachée.

$b^1_j$   $j = 1, 2, \dots, l$  et  $b^2_k$  ,  $k = 1$  , sont les valeurs des biais correspondant aux couches cachée et de sortie respectivement. Leurs valeurs sont égales à l'unité (1).

### **Etape 2 :** Lecture du vecteur d'entrée et de la sortie désirée

Le vecteur d'entrée se compose du pression d'aspiration  $P1$ , de la température d'admission  $T1$ , du débit d'aspiration  $Qasp$ , de la puissance du compresseur  $Puis$  de la vitesse de rotation du rotor  $Vr$  , du nombre des étages  $N_{et}$ , du taux de compression  $Tau_c$  , les deux composants de vibration du rotor proximité aspiration (axial et radial) ( $Dx$  ,  $Dy$ ) et que les deux composantes de vibration du rotor proximité refoulement (axial et radial) ( $Fx, Fy$ ) ainsi que le vibration axial du rotor ( $Dax$ )

La valeur de pression  $P2$  mesurée représente la sortie désirée du réseau (ou cible).

### **Etape 3 :** Normalisation du vecteur d'entrée

Pendant la phase d'apprentissage du réseau, les valeurs du vecteur d'entrée doivent être normalisées dans l'intervalle  $[0.1, 0.9]$  afin de permettre un traitement efficace par le réseau. La fonction (fonction linéaire) utilisée pour la normalisation du vecteur d'entrées est donnée par la relation suivante :

$$X_N = (X - X_{min}) \frac{(X_{Nmax} - X_{Nmin})}{(X_{max} - X_{min})} + X_{Nmin}$$

Où :

$X_N$ : Valeur normalisée correspondant aux éléments du vecteur d'entrées  
( P1,T1,Qasp,...etc),

$X$  : Valeur réelle d'un élément du vecteur d'entrées,

$X_{min}$  : Valeur minimum d'un élément du vecteur d'entrées,

$X_{max}$  : Valeur maximum d'un élément du vecteur d'entrées,

$X_{Nmin}$ : Valeur minimum du vecteur de normalisation [0.1, 0.9] elle égale à 0.1,

$X_{Nmax}$  : Valeur maximum du vecteur de normalisation [0.1, 0.9] elle égale à 0.9.

Le réseau sera alimenté après avoir normalisé les éléments du vecteur d'entrées pour les associer avec les sorties désirées.

#### **Etape 4** : Propagation en avant ou " feed-forward "

Le réseau étant organisé en couches successives, les neurones d'une couche sont reliés à ceux d'une autre couche (suivante) comme le montre la figure III.4. Le calcul de chaque sortie se fait en avant c'est-à-dire de la couche d'entrée vers la couche cachée ensuite de la couche cachée vers la couche de sortie.

- La sortie de chaque neurone d'entrée prend tout simplement les valeurs du vecteur d'entrées (*input patterns*).

$y_i^0$  : sortie de la couche d'entrée (couche 0),

$y_1^0 = P1, y_2^0 = T1, \dots, y_{12}^0 = Fy$

- Le calcul de la sortie de la couche d'entrée vers la couche cachée et la sortie de la couche cachée vers la couche de sortie se fait suivant la relation III.2 :

$y_j^1 (j= 1,2,\dots,l)$  = : sortie de la couche cachée (couche 1)

$y_k^2$  : sortie de la dernière couche (couche2), elle exprime la valeur de la pression P2 prédite.

L'entrée de la couche cachée est donnée par :

$$h_j^1 = w_{j1}T1 + w_{j2}P1 + w_{j3}Qasp + \dots + w_{j12}Fy \dots\dots\dots$$

ou bien :

$$h_j^1 = w_{j1}y_1^0 + w_{j2}y_2^0 + w_{j3}y_3^0 + \dots + w_{j12}y_{12}^0 \dots\dots\dots$$

Qui s'écrit:

$$h_j^1 = \sum_{i=1}^n w_{ji}^1 y_i^0 + b_j^1, j = (1, 2, \dots, l); n = 12$$

La sortie de cette couche cachée est donnée par :

$$y_j^1 = f(h_j^1); j = (1, 2, \dots, l)$$

Où  $f(.)$  est la fonction d'activation. C'est une fonction sigmoïde de type logistique, qui vaut :

$$f(som) = \frac{1}{1 + \exp(-som)}$$

La variable  $som$  étant la somme :

$$som_j = \sum_{i=1}^n w_{ji}^1 x_i + b_j^1, j = (1, 2, \dots, l); n = 12$$

L'entrée de la couche de sortie (dernière couche) est exprimée par :

$$h_k^2 = w_{k1} y_1^1 + w_{k2} y_2^1 + \dots + w_{k12} y_{12}^1$$

La sortie de cette dernière couche s'écrit comme suit :

$$y_k^2 = f(h_k^2); k = 1$$

#### **Etape 5 :** Calcul d'erreurs

L'erreur dans une couche donnée est exprimée par la relation notée :

l'erreur sur la couche de sortie est :

$$\delta_k^2 = (d - y_k^2) f'(h_k^2); k = 1$$

l'erreur sur la couche cachée est :

$$\delta_j^1 = \left( \sum_{k=1}^m \delta_k^2 w_{kj}^2 \right) f'(h_j^1); m = 1$$

Où  $n$  est le nombre d'entrées présentées au réseau,  $m$  est le nombre de neurones dans la couche de sortie (qui est égale à 1),  $d$  est la sortie désirée (valeurs de la pression mesurée), et  $y$  est la sortie calculée par le réseau.

**Etape 6 : Adaptation du réseau et calcul des sorties**

Cette étape consiste à adapter les poids et les biais des différentes interconnexions du réseau (mise à jour de la matrice de poids  $w_{ji}$  et du vecteur biais  $b_j$ ).

La mise à jour se fait suivant l'algorithme de rétro-propagation du gradient d'erreur (figure III.3) avec un terme supplémentaire : "momentum". L'erreur est donc rétro-propagée à travers le réseau par une quantité  $\Delta w$  et  $\Delta b$  . .

$$\begin{cases} (\Delta w_{kj}^2)_{\text{nouveau}} = \eta \delta_k^2 y_j^1 + \alpha (\Delta w_{kj}^2)_{\text{ancien}} \\ (\Delta w_{j1}^1)_{\text{nouveau}} = \eta \delta_j^1 y_i^0 + \alpha (\Delta w_{j1}^1)_{\text{ancien}} \\ (\Delta b_k^2)_{\text{nouveau}} = \eta \delta_k^2 + \alpha (\Delta b_k^2)_{\text{ancien}} \\ (\Delta b_j^1)_{\text{nouveau}} = \eta \delta_j^1 + \alpha (\Delta b_j^1)_{\text{ancien}} \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, 12 \\ j = 1, 2, \dots, l \\ k = 1 \end{cases}$$

Les poids et les biais sont incrémentés suivant la relation :

$$\Delta w_{ji}(I) = \eta \frac{\partial e_k}{\partial w_{ki}} + \alpha \Delta w_{ji}(I-1)$$

Ce qui donne:

$$\begin{cases} w_{ji}^1 = w_{ji}^1 + \Delta w_{ji}^1 \\ w_{kj}^2 = w_{kj}^2 + \Delta w_{kj}^2 \\ b_j^1 = b_j^1 + \Delta b_j^1 \\ b_k^2 = b_k^2 + \Delta b_k^2 \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, 12 \\ j = 1, 2, \dots, l \\ k = 1 \end{cases}$$

Où  $\eta$  étant un paramètre propre au réseau de neurones appelé "taux d'apprentissage" et  $\alpha$  étant un facteur appelé "momentum". Ce paramètre permet de prendre en considération l'évolution de l'apprentissage au cours du temps. En d'autres termes, il permet de pondérer l'influence de

la variation précédente sur la variation actuelle (nous parlons ici de la variation ou mise à jour des poids et des biais).

**Etape 7 : Calcul de l'erreur MSE**

Dans cette étape nous calculons l'erreur moyenne quadratique  $MSE$  (appelée aussi performance du réseau). Nous essayons de s'approcher au maximum d'une

tolérance imposée pour un nombre d'itérations donné. La maîtrise de ces deux facteurs (tolérance et nombre d'itérations) assure avec le bon choix des deux paramètres la convergence rapide et précise vers la valeur ciblée (prédite P2)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (d - y_i)^2 \quad , \text{ avec } n \text{ étant le nombre d'exemples}$$

L'algorithme de rétro-propagation du gradient continue à être exécuté pour un nombre d'itérations prédéfini jusqu'à atteindre une erreur acceptable à travers le processus d'apprentissage. Une fois les quantités de mise à jour des poids et des biais sont calculées, nous calculons de nouveau les sorties du réseau (propagation en avant) suivant les relations présentées plus haut dans l'étape 4.

Dans les réseaux de neurones multicouches, un nombre important d'itérations est exigé afin de satisfaire l'erreur imposée. Ceci dans le but d'avoir un degré élevé de fiabilité d'un tel système de surveillance.

## **IV.5 Démarche adoptée pour le choix d'un réseau de neurones optimal**

### **IV.5.1 Préliminaires**

Notre stratégie consiste à implémenter un réseau de neurones avec différents nombres de neurones dans la couche cachée (nombre de neurones cachés variables), et donc plusieurs architectures dans le but de faire une optimisation sur ces différentes architectures.

L'architecture générale du réseau est de «12-i-1 » (figure 4.3) avec  $i=1,2,\dots,30$  (nombre de neurones cachés). Nous choisissons par la suite l'architecture optimale qui donne une erreur de test acceptable par rapport à celle imposée pour un nombre d'itérations donné. Les deux paramètres (taux d'apprentissage et momentum respectivement) ont été choisis

comme étant constants (fixes),  $\eta = 0,5$ , et  $\alpha = 0,7$  ces valeurs ont été choisies aléatoirement. Si le choix d'une architecture optimale n'est pas fait, nous allons faire une optimisation sur les deux paramètres du réseau, à savoir,  $\eta = 0,5$  et  $\alpha = 0,7$  qui ont une influence sur ce dernier, en fixant l'un et variant l'autre et vis versa.

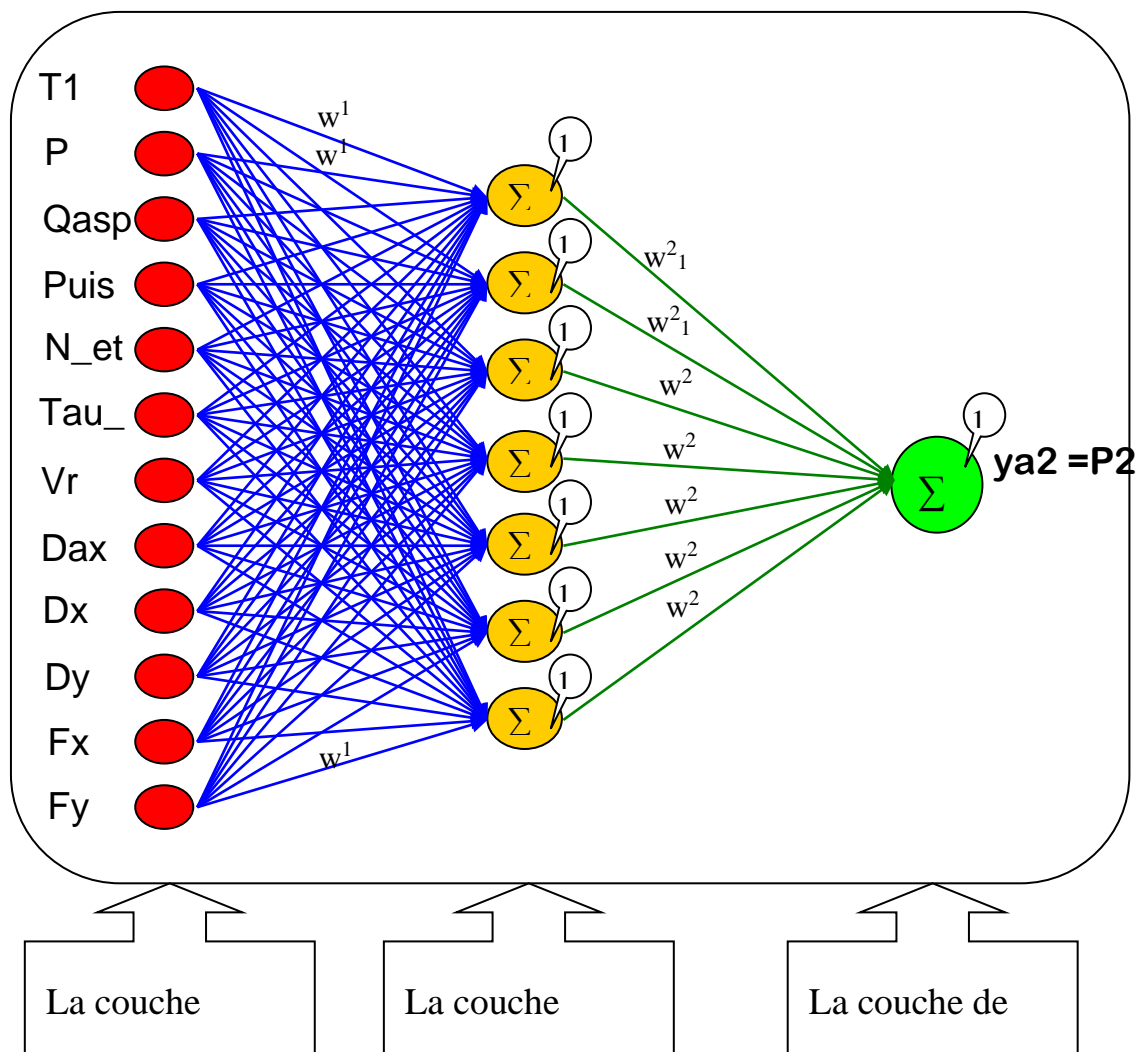
Notre réseau étant donc paramétré comme suit :

Les poids sont initialisés entre -1 et +1. La fonction de coût utilisée pour les différentes architectures est l'erreur moyenne quadratique *MSE*. Nous avons opté pour une erreur de test  $MSET=5E-09$ , et un nombre d'itérations  $NB=10000$  itérations, la fonction d'activation dans la couche cachée est une fonction sigmoïde de type logistique:

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

afin de limiter l'amplitude des sorties entre 0 et 1 et une fonction linéaire dans la couche de sortie  $f(som) = som$ .

Nous avons utilisé la combinaison d'apprentissage/test, (30/13). Il existe pas des règles générales pour le choix du combinaisons de la base de donnée (apprentissage /test), le bon choix est donc le choix correspond à la plus petite valeur de l'erreur MSET en faisant plusieurs essais.



## IV.5.2. Structure générale de l'algorithme développé

L'algorithme proposé (figure 4.6) comprend deux parties essentielles, la première consiste à apprendre le réseau en associant les 30 exemples d'entrée/sortie, la deuxième s'intéresse au test de celui-ci en utilisant des exemples (4.3 exemples) autres que ceux utilisés pour l'apprentissage.

Nous noterons qu'un réseau de neurones est jugé "bon" lorsque il généralise bien, en d'autres termes il doit avoir un pouvoir de généralisation élevé, c'est-à-dire lors que nous passons à la phase de test, l'erreur doit être acceptable avec un bon taux de réussite. Les valeurs utilisées pour le test sont différentes à celles présentées au réseau pour la phase d'apprentissage afin de vérifier le pouvoir de généralisation.

## IV.5.3 Détermination de la configuration du réseau de neurones

### IV.5.3.1 Choix d'une architecture optimale

Différentes architectures (30 architectures au total) ont été étudiées afin de choisir

l'architecture pour laquelle l'erreur de test est la plus faible (erreur acceptable par rapport a la tolérance fixée). Le nombre de neurones dans la couche cachée étant variable, chaque

architecture a été entraînée pour des poids et de biais aléatoires (différentes valeurs d'initialisation), les poids obtenus après la phase d'apprentissage ont été utilisés pour tester le réseau. L'erreur minimale de tous le processus de test de ces différentes architectures servira comme critère de choix d'une première optimisation. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.3.

<b>Nbr_ Neur</b>	<b>MSEA</b>	<b>MSET</b>
<b>12-01-1</b>	2.77E-17	4.21E-14
<b>12-02-1</b>	6.08E-17	4.22E-09
<b>12-03-1</b>	8.81E-18	3.41E-08
<b>12-04-1</b>	1.26E-17	1.33E-08
<b>12-05-1</b>	2.37E-16	7.25E-15

<b>12-06-1</b>	3.21E-17	3.25E-10
<b>12-07-1</b>	2.96E-18	5.32E-16
<b>12-08-1</b>	1.14E-17	3.98E-14
<b>12-09-1</b>	2.47E-16	5.16E-12
<b>12-10-1</b>	3.02E-17	1.78E-15
<b>12-11-1</b>	2.11E-16	5.93E-15
<b>12-12-1</b>	3.10E-16	8.29E-15

**Tableau (4.2) :** Choix de la bonne architecture

D'après les résultats du tableau (4.2) l'analyse des différentes architectures en se basant sur les erreurs moyennes quadratiques nous a permis de constater plusieurs phénomènes. Ces phénomènes sont dus principalement à la nature des réseaux de neurones eux mêmes, les erreurs varient aléatoirement avec les différentes architectures.

Les erreurs d'apprentissage variaient entre un minimum de 2.96E-18 et un maximum de 3.50E-15, tandis que les erreurs de test présentaient un minimum de 5.32E-16 et un maximum de 4.21E-14.

L'erreur de test minimale ***MSET***= **5.32E-16** correspond l'architecture **12-07-1**.

L'erreur d'apprentissage *MSEA* et l'erreur de test *MSET* sont représentées sur les figures 4.9, 4.10 en fonction du nombre de neurones dans la couche cachée.

## IV.6 Simulation Des Paramètres Thermiques Et Optimisation du Système De Surveillance En Utilisant Les RNA Pour Le Compresseur

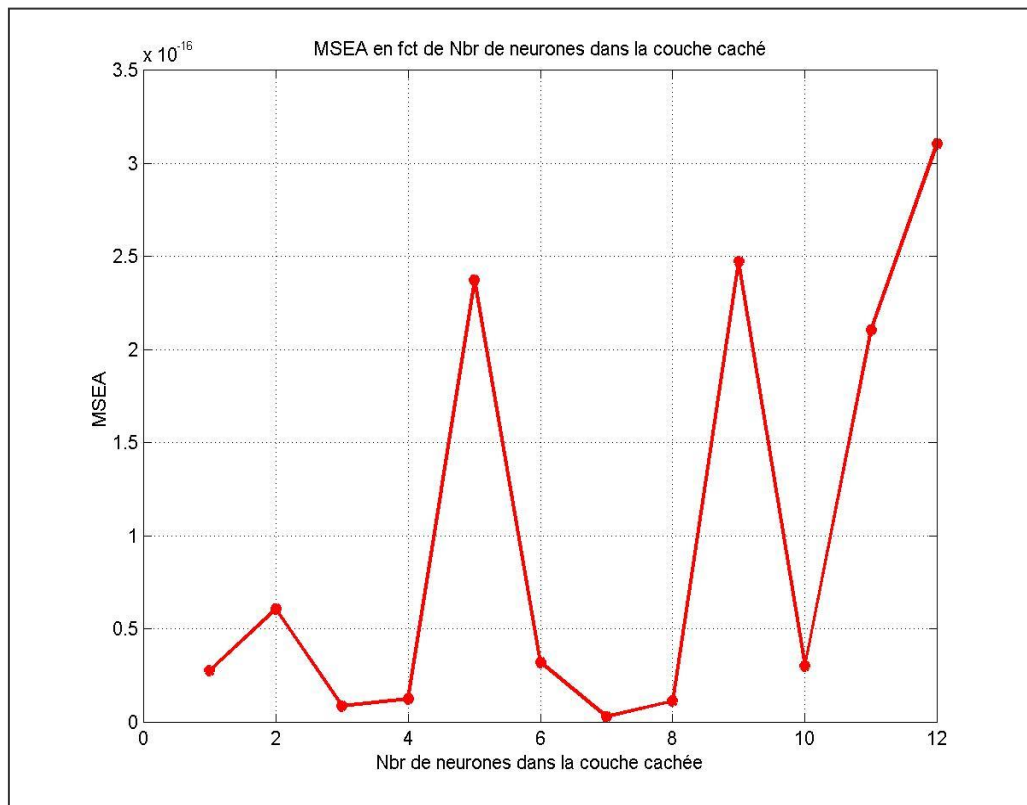
N° d' Pref Exemple (bar)	Pref _m _mesurée normalisée(bar)	Pref _p_ prédite normalisée(bar)	Erreur Absolue( $\Delta P_2$ ) (Pref_p-Pref_m)(bar)
01	1.00E-01	1.0006e-001	5.8830e-005
02	1.00E-01	1.0013e-001	1.3441e-004
03	1.00E-01	1.0006e-001	6.1065e-005
04	1.00E-01	9.9982e-002	1.7606e-005
05	1.00E-01	1.0011e-001	1.0603e-004
06	1.00E-01	9.9997e-002	2.9416e-006
07	1.00E-01	1.0014e-001	1.4374e-004
08	1.00E-01	9.9982e-002	1.8229e-005
09	1.00E-01	1.0001e-001	6.2357e-006
10	1.00E-01	9.9995e-002	5.1448e-006
11	1.00E-01	1.0001e-001	1.1491e-005
12	1.00E-01	9.9985e-002	1.5095e-005
13	1.00E-01	9.9979e-002	2.0927e-005
14	1.00E-01	9.9971e-002	2.9165e-005
15	1.00E-01	1.0003e-001	2.9714e-005
16	1.00E-01	1.0011e-001	1.0972e-004
17	1.00E-01	9.9966e-002	3.3954e-005
18	1.00E-01	1.0004e-001	3.6778e-005
19	1.00E-01	9.9969e-002	3.1355e-005
20	1.00E-01	1.0001e-001	1.0324e-005
21	1.00E-01	1.0002e-001	2.0167e-005
22	1.00E-01	1.0002e-001	2.0506e-005
23	1.00E-01	1.0009e-001	8.7617e-005
24	1.00E-01	1.0010e-001	9.7300e-005
25	1.00E-01	9.9979e-002	2.0522e-005
26	1.00E-01	9.9996e-002	4.0624e-006
27	1.00E-01	9.9965e-002	3.4734e-005
28	1.00E-01	1.0021e-001	2.1141e-004
29	1.00E-01	9.9983e-002	1.7442e-005
30	1.00E-01	1.0003e-001	3.4825e-005

**Tableau (4.3 ):** valeur de la pression de refoulement prédite Pref\_p et des erreurs absolues pour la phase d'apprentissage avec l'architecture 12-7-1  
Ir=0.5 et mC=0.7

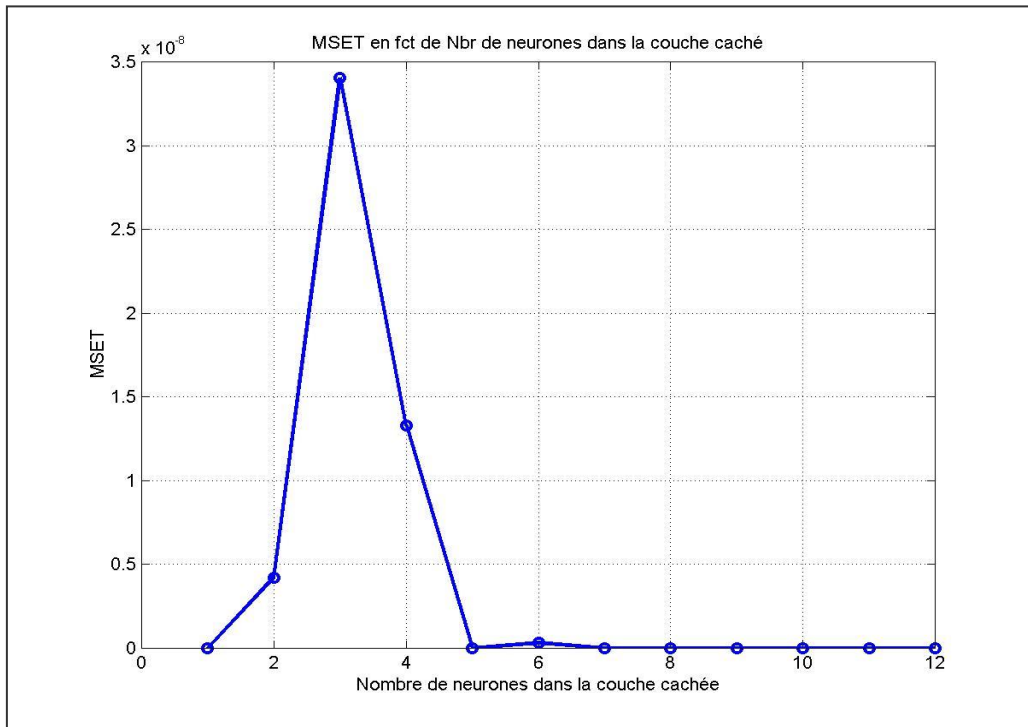
Exemple Pref N° (bar)	Pref_m_mesurée normalisée(bar)	Pref_p_prédite normalisée(bar)	Erreur Absolue( $\Delta P_2$ ) (Pref_p-Pref_m)(bar)
1	1.00E-01	1.0007e-001	6.5535e-005
2	1.00E-01	1.0016e-001	1.5668e-004
3	1.00E-01	1.0008e-001	7.5414e-005
4	1.00E-01	9.9964e-002	3.6438e-005
5	1.00E-01	1.0013e-001	1.2707e-004
6	1.00E-01	9.9983e-002	1.6977e-005
7	1.00E-01	1.0017e-001	1.6575e-004
8	1.00E-01	9.9964e-002	3.6429e-005
9	1.00E-01	9.9998e-002	1.9443e-006
10	1.00E-01	9.9980e-002	2.0177e-005
11	1.00E-01	1.0000e-001	1.2185e-006
12	1.00E-01	9.9965e-002	3.4961e-005
13	1.00E-01	9.9961e-002	3.8863e-005

**Tableau (4.4):** valeur de la pression de refoulement prédite Pref et des erreurs absolues pour la phase de TEST avec l'architecture 12-7-1  
Ir=0.5 et mC=0.7

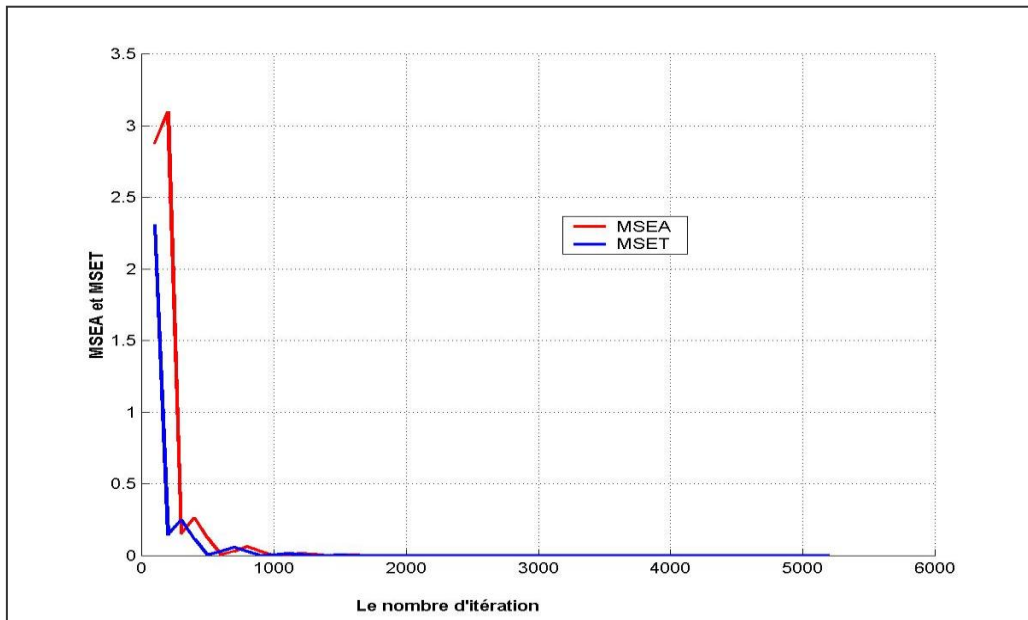
L'application de la méthode de calcul de la pression de refoulement prédite et des erreurs absolues pour la phase de TEST, nous a permis de tracer les graphes suivants :



**Figure (4.12)** : MSEA en fonction de Nombre de neurones dans la couche cachée



**Figure (4.13) :** MSEA et MSET en fonction de Nombre de neurones dans la couche caché



**Figure (4.14) :** l'erreur moyen quadratique en fonction de nombre d'itération

## **Interprétations des courbes**

Afin de quantifier la qualité des prédictions, et donc le taux de réussite du réseau conçu, en plus de l'erreur moyenne quadratique  $MSE$  (performance du réseau), différentes évaluations statistiques (erreurs) ont été utilisées, la racine moyenne quadratique  $RMS$  de l'erreur entre la valeur mesurée et la valeur prédite de l'usure est calculée par l'utilisation de la relation suivante :

Où  $N$  est le nombre de prédictions.

Un taux de réussite de 97.31% ( $Erreur\ RMS = 2.6848e-002$ ), et un rapport  $R = 0.99749$  pour l'apprentissage ont été obtenus. Tandis que pour le test, le taux de réussite était de 92.83% ( $Erreur\ RMS = 7.1707e-002$ ), et le rapport était de  $R = 0.99635$ .

Nous remarquons clairement que ce rapport s'approche de l'unité et que le taux de réussite pour le test a atteint un pourcentage très satisfaisant, ce qui reflète la performance de notre réseau.

Pour montrer la corrélation entre l'usure mesurée  $VBm$  et l'usure prédite  $VBp$  des deux phases d'apprentissage et de test (valeurs normalisées), nous avons représenté ces dernières sur les figures 4.14 et 4.15 respectivement.

problèmes qui gênent l'efficacité de l'outil productif.

## IV.7 Conclusion

Notre travail, nous envisageons de développer et d'optimiser une configuration d'un système de surveillance de l'usure des outils de coupe, adapté aux opérations de tournage, et basé sur un réseau de neurones optimisé, alimenté à partir de données issues de signaux des forces de coupe.

A cet effet, nous avons organisé en trois parties :

Dans la première partie nous présentons un état de l'art détaillé sur les méthodes de détection de l'usure des outils de coupe, à savoir les méthodes basées sur la mesure de la force de coupe, l'émission acoustique, les vibrations, la température (méthodes indirectes) et autres méthodes moins utilisées (méthodes directes) ensuite quelques notions sur la fusion de sondes.

La deuxième partie intitulée "surveillance en ligne des outils de coupe à base de réseaux de neurones" est consacrée à la notion de système de surveillance, à la surveillance automatique de l'usure des outils de coupe, à l'application des réseaux de neurones dans le développement de tels systèmes, au traitement du signal et enfin aux diverses architectures de réseaux neuronaux les plus fréquemment utilisées dans ce domaine.

La troisième et dernière partie est dédiée au développement d'une approche méthodologique pour l'optimisation d'une configuration d'un réseau de neurones, adaptée à la surveillance automatique de l'usure des outils de coupe. Elle comprend plusieurs chapitres, de l'architecture générale à la présentation des deux phases du système élaboré en développant l'algorithme de rétro-propagation du gradient d'erreurs, utilisé pour l'apprentissage d'un réseau de neurones de type MLP (Multi Layer Perceptron), et en étudiant plusieurs paramètres afin de perfectionner ce dernier.

## Conclusion Générale

L'étude présentée dans ce mémoire nous a permis de constater que la maintenance préventive joue un rôle primordial pour assurer un bon fonctionnement et une excellente efficacité du compresseur centrifuge, objet de notre étude. Comme il est connu, ce type de maintenance sert à prédire tous les types de problèmes avant qu'ils se passent, ce qui offre un moyen très utile pour augmenter la durée de vie de nos appareils et une excellente efficacité du compresseur centrifuge, objet de notre étude. Comme il est connu, ce type de maintenance sert à prédire tous les types de problèmes avant qu'ils se passent, ce qui offre un moyen très utile pour augmenter la durée de vie de nos appareils.

L'examen attentif de l'historique de notre compresseur centrifuge, nous a permis de remarquer clairement que parmi les problèmes qui risquent de réduire énormément l'efficacité et le bon fonctionnement du compresseur, les phénomènes de l'usure et de vibration sont la cause de ce problème. Les causes sont diverses ; telles que le mauvais graissage des pièces mobiles, l'incompatibilité entre la vitesse du moteur électrique et celle de l'arbre du compresseur.

Notre étude descriptive des causes de vibration et de l'usure, en causes physiques, conservant l'augmentation brutale de la pression au sein du compresseur.

Une conclusion générale et des perspectives d'amélioration de ce présent travail sont présentées à la fin de ce mémoire.

## ANNEXE

Voici les programmes utilisé :

**Programme I** : pour le choix de l'architecture du RNA

```

%début du programme
%LES DONNEES DU PROBLEME.....>>>>
% 1) DONNEES D'APPRENTISSAGE:
T1=[16 16 14 15 16 17 18 18 17 20 19 18 18 18 21 23 24 22 20 16 20 19 18 16 17
18 20 17 15 18];
P1=[21.95 21.92 22 22 22 22 22 21.95 21.98 21.90 21.96 21.92 21.96 22.03 21.90
21.90 22 21.73 21.73 21.96 22 22 21.90 21.96 22 22 22 22 22];
Qasp=[32000 32000 32100 32100 32200 32500 32300 32300 32100 32500 32500 32300
32400 32400 32300 32100 32100 32000 32100 32100 32200 32100 31900 32200 32100
32100 32200 31900 31900 32100];
Puis=[2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325
2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325
2325];
N_etg=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
Tau_c=[0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931 0.931 0.931 0.931];
Vr=[17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708 17708 17708 17708];
P2=[71.95 72.3 72.09 71.45 72.08 72.15 71.55 72.50 71.95 72.06 72.18 72.35 72
72.09 72.2 71.75 71.87 72.12 72 72.1 72.64 72.09 71.95 71.37 72.04 72 72.17
71.06 72 72.28]; Dax=-[86 92 72 85 74 69 91 81 77 82 86 94 68 88 90 92 71 83
73 90 66 86 77 91 73 85 66 71 84 90];
Dx=[8 10 5 9 6 7 7 8 9 9 6 9 7 8 7 7 8 9 9 7 6 6 8 7 9 8 7 6 8 6];
Dy=[8 4 5 6 6 7 5 8 6 4 6 8 7 8 7 5 8 6 7 7 6 6 4 7 5 8 7 4 8 6];
Fx=[5 7 9 9 6 5 5 7 7 8 6 7 7 9 7 5 8 6 9 9 6 8 6 5 9 6 8 5 8 9];
Fy=[7 6 6 9 5 8 6 8 7 8 9 9 8 8 6 7 6 8 9 7 6 7 8 7 8 8 9 6 9 6];
TN1=0.1+(T1-min(T1))*(0.9-0.1)/(max(T1)-min(T1));
PN1=0.1+(P1-min(P1))*(0.9-0.1)/(max(P1)-min(P1));
QaspN=0.1+(Qasp-min(Qasp))*(0.9-0.1)/(max(Qasp)-min(Qasp));
PuisN=0.1+Puis*0;
N_etgN=0.1+N_etg*0;
Tau_cN=0.1+Tau_c*0;
VrN=0.1+Vr*0;
PN2=0.1+P2*0;
DaxN=0.1+(Dax-min(Dax))*(0.9-0.1)/(max(Dax)-min(Dax));
DxN=0.1+(Dx-min(Dx))*(0.9-0.1)/(max(Dx)-min(Dx));
DyN=0.1+(Dy-min(Dy))*(0.9-0.1)/(max(Dy)-min(Dy));
FxN=0.1+(Fx-min(Fx))*(0.9-0.1)/(max(Fx)-min(Fx));
FyN=0.1+(Fy-min(Fy))*(0.9-0.1)/(max(Fy)-min(Fy));
ya0=[TN1' PN1' QaspN' PuisN' N_etgN' Tau_cN' VrN' DaxN' DxN' DyN' FxN' FyN'];
% 2) DONNES DU TEST:
T1t=[14 17 18 17 18 15 16 16 19 17 18 17 20];
P1t=[22 21.8 21.75 22 21.92 21.95 22 22 22 21.92 21.95 21.98 21.90];

```

```

Qaspt=[32100 32100 32100 32100 32100 32200 32100 32300 32400 32200 32300 32100
32300];
Puist=[2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325];
N_etgt=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
Tau_ct=[0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931];
Vrt=[17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708];
P2t=[72.2 72.1 71.98 72.56 71.98 72.05 72.35 71.75 72.14 71.85 72 72.09
72.46]; Daxt=-[75 80 95 76 82 92 75 94 79 81 71 67 92];
Dxt=[5 9 7 9 7 8 6 8 6 9 8 7 8];
Dyt=[6 7 8 9 6 4 7 8 8 6 9 5 7];
Fxt=[7 4 9 6 8 8 7 9 6 5 8 7 9];
Fyt=[4 6 8 6 5 7 8 9 7 7 6 8 9];
TN1t=0.1+(T1t-min(T1t))*(0.9-0.1)/(max(T1t)-min(T1t));
PN1t=0.1+(P1t-min(P1t))*(0.9-0.1)/(max(P1t)-min(P1t));
QaspNt=0.1+(Qaspt-min(Qaspt))*(0.9-0.1)/(max(Qaspt)-min(Qaspt));
PuisNt=0.1+Puist*0;
N_etgNt=0.1+N_etgt*0;
Tau_cNt=0.1+Tau_ct*0;
VrNt=0.1+Vrt*0;
PN2t=0.1+P2t*0;
DaxNt=0.1+(Daxt-min(Daxt))*(0.9-0.1)/(max(Daxt)-min(Daxt));
DxNt=0.1+(Dxt-min(Dxt))*(0.9-0.1)/(max(Dxt)-min(Dxt));
DyNt=0.1+(Dyt-min(Dyt))*(0.9-0.1)/(max(Dyt)-min(Dyt));
FxNt=0.1+(Fxt-min(Fxt))*(0.9-0.1)/(max(Fxt)-min(Fxt));
FyNt=0.1+(Fyt-min(Fyt))*(0.9-0.1)/(max(Fyt)-min(Fyt));
yt0=[TN1t' PN1t' QaspNt' PuisNt' N_etgNt' Tau_cNt' VrNt' DaxNt' DxNt' DyNt'
FxNt' FyNt'];
j=1;
% j est le nombre de neurone variable dans la couche caché
while j<=12
    % intialisation des poids et biais
    w1=-rand(j,12)+0.1;w2=rand(1,j);
    b1=ones(30,j);b2=ones(1,30);
    dw1=zeros(j,12);dw2=zeros(1,j);db1=zeros(30,j);db2=zeros(1,30);
    %-----%
    %les valeurs de taux d'apprentissage et momentum%
    ir=0.5;mc=0.7;
    %-----%
    %*** l'algorithme d'apprentissage ***%
    ERRk=-(ya2-PN2');
    GradW2=ya1'*ERRk;
    ERRj =(ERRk*w2).*dlogsig(ha1,ya1);
    GradW1=ERRj'*ya0;
    dw2=ir*GradW2'+mc*dw2;
    dw1=ir*GradW1'+mc*dw1;
    db2=ir*ERRk'+mc*db2;
    db1=ir*ERRj'+mc*db1;
    w1=w1+dw1;
    w2=w2+dw2;
    b1=b1+db1;
    b2=b2+db2;
    %Phase de teste
    ht1 = yt0*w1'+b1(1:13,:);
    yt1=logsig(ht1);
    ht2 = yt1*w2'+b2(:,1:13)';

```

```

yt2=ht2;
MSET=(1/13)*sum((PN2t'-yt2).^2);
Nit=Nit+100;
end
ereur(2,j)=MSEA;
ereur(3,j)=MSET;
ereur(1,j)=j; j=j+1;
end
format short e
ereur=ereur'
x=ereur(:,1);y1=ereur(:,2);y2=ereur(:,3);plot(x,y1);grid;hold
on;plot(x,y1,'r*');hold on; plot(x,y2);hold on;plot(x,y2,'o');
title('MSEA et MSET en fct de Nbr de neurones dans la couche
caché');xlabel('Nbr de neurones');ylabel('MSEA et MSET');
%***** fin de programme *****%
Programme II : l'erreur moyen quadratique en fonction de nombre
d'itération
%LES DONNEES DU PROBLEME.....>>>>
% 1)DONNEES D'APPRENTISSAGE:
l=7;%ou l est le nombre de neurones dans la couche caché
T1=[16 16 14 15 16 17 18 18 17 20 19 18 18 18 21 23 24 22 20 16 20 19 18 16 17
18 20 17 15 18];
P1=[21.95 21.92 22 22 22 22 22 21.95 21.98 21.90 21.96 21.92 21.96 22.03 21.90
21.90 22 21.73 21.73 21.96 22 22 21.90 21.96 22 22 22 22 22];
Qasp=[32000 32000 32100 32100 32200 32500 32300 32300 32100 32500 32500 32300
32400 32400 32300 32100 32100 32000 32100 32100 32200 32100 31900 32200 32100
32100 32200 31900 31900 32100];
Puis=[2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325
2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325
2325];
N_etg=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
Tau_c=[0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931 0.931 0.931];
Vr=[17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708 17708 17708 17708];
P2=[71.95 72.3 72.09 71.45 72.08 72.15 71.55 72.50 71.95 72.06 72.18 72.35 72
72.09 72.2 71.75 71.87 72.12 72 72.1 72.64 72.09 71.95 71.37 72.04 72 72.17
71.06 72 72.28];
Dax--[86 92 72 85 74 69 91 81 77 82 86 94 68 88 90 92 71 83 73 90 66 86 77 91
73 85 66 71 84 90];
Dx=[8 10 5 9 6 7 7 8 9 9 6 9 7 8 7 7 8 9 9 7 6 6 8 7 9 8 7 6 8 6];
Dy=[8 4 5 6 6 7 5 8 6 4 6 8 7 8 7 5 8 6 7 7 6 6 4 7 5 8 7 4 8 6];
Fx=[5 7 9 9 6 5 5 7 7 8 6 7 7 9 7 5 8 6 9 9 6 8 6 5 9 6 8 5 8 9];
Fy=[7 6 6 9 5 8 6 8 7 8 9 9 8 8 6 7 6 8 9 7 6 7 8 7 8 8 9 6 9 6];
TN1=0.1+(T1-min(T1))*(0.9-0.1)/(max(T1)-min(T1));
PN1=0.1+(P1-min(P1))*(0.9-0.1)/(max(P1)-min(P1));
QaspN=0.1+(Qasp-min(Qasp))*(0.9-0.1)/(max(Qasp)-min(Qasp));
PuisN=0.1+Puis*0;
N_etgN=0.1+N_etg*0;
Tau_cN=0.1+Tau_c*0;
VrN=0.1+Vr*0;
PN2=0.1+P2*0;
DaxN=0.1+(Dax-min(Dax))*(0.9-0.1)/(max(Dax)-min(Dax));
DxN=0.1+(Dx-min(Dx))*(0.9-0.1)/(max(Dx)-min(Dx));
DyN=0.1+(Dy-min(Dy))*(0.9-0.1)/(max(Dy)-min(Dy));

```

```

FxN=0.1+(Fx-min(Fx))*(0.9-0.1)/(max(Fx)-min(Fx));
FyN=0.1+(Fy-min(Fy))*(0.9-0.1)/(max(Fy)-min(Fy));
ya0=[TN1' PN1' QaspN' PuisN' N_etgN' Tau_cN' VrN' DaxN' DxN' DyN' FxN' FyN'];
% 2) DONNES DU TEST:
T1t=[14 17 18 17 18 15 16 16 19 17 18 17 20];
P1t=[22 21.8 21.75 22 21.92 21.95 22 22 22 21.92 21.95 21.98 21.90];
Qaspt=[32100 32100 32100 32100 32100 32200 32100 32300 32400 32200 32300 32100
32300];
Puist=[2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325 2325];
N_etgt=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
Tau_ct=[0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931 0.931
0.931 0.931];
Vrt=[17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708 17708
17708];
P2t=[72.2 72.1 71.98 72.56 71.98 72.05 72.35 71.75 72.14 71.85 72 72.09
72.46];
Daxt=-[75 80 95 76 82 92 75 94 79 81 71 67 92];
Dxt=[5 9 7 9 7 8 6 8 6 9 8 7 8];
Dyt=[6 7 8 9 6 4 7 8 8 6 9 5 7];
Fxt=[7 4 9 6 8 8 7 9 6 5 8 7 9];
Fyt=[4 6 8 6 5 7 8 9 7 7 6 8 9];
TN1t=0.1+(T1t-min(T1t))*(0.9-0.1)/(max(T1t)-min(T1t));
PN1t=0.1+(P1t-min(P1t))*(0.9-0.1)/(max(P1t)-min(P1t));
QaspNt=0.1+(Qaspt-min(Qaspt))*(0.9-0.1)/(max(Qaspt)-min(Qaspt));
PuisNt=0.1+Puist*0;
N_etgNt=0.1+N_etgt*0;
Tau_cNt=0.1+Tau_ct*0;
VrNt=0.1+Vrt*0;
PN2t=0.1+P2t*0;
DaxNt=0.1+(Daxt-min(Daxt))*(0.9-0.1)/(max(Daxt)-min(Daxt));
DxNt=0.1+(Dxt-min(Dxt))*(0.9-0.1)/(max(Dxt)-min(Dxt));
DyNt=0.1+(Dyt-min(Dyt))*(0.9-0.1)/(max(Dyt)-min(Dyt));
FxNt=0.1+(Fxt-min(Fxt))*(0.9-0.1)/(max(Fxt)-min(Fxt));
FyNt=0.1+(Fyt-min(Fyt))*(0.9-0.1)/(max(Fyt)-min(Fyt));

yt0=[TN1t' PN1t' QaspNt' PuisNt' N_etgNt' Tau_cNt' VrNt' DaxNt' DxNt' DyNt'
FxNt' FyNt']; %-----%
-----%
%INITIALISATION DES POIDS ET BIAIS:
w1=-rand(1,12)+0.1;w2=rand(1,1);
b1=ones(30,1);b2=ones(1,30);
dw1=zeros(1,12);dw2=zeros(1,1);
db1=zeros(30,1);db2=zeros(1,30);
%LE TAUX D'APPRENTISSAGE ET LE MOMENTUM SUCSESSIVEMENT:
ir=0.5;mc=0.7;
j=1;
MSET=0;
    Nit=100;
    while Nit<=5200
        %phase d'apprentissage
        ha1 = ya0*w1'+b1;
        ya1=logsig(ha1);
        ha2 = ya1*w2'+b2';
        ya2=ha2;
        MSEA=(1/30)*sum((PN2'-ya2).^2);
        ERRk=-(ya2-PN2'); GradW2=ya1'*ERRk;
        ERRj =(ERRk*w2).*dlogsig(ha1,ya1);

```

```
GradW1=ERRj'*ya0;
dw2=ir*GradW2'+mc*dw2;
w1=w1+dw1;
w2=w2+dw2;
b1=b1+db1;
b2=b2+db2;
%Phase de teste
ht1 = yt0*w1'+b1(1:13,:);
yt1=logsig(ht1);
ht2 = yt1*w2'+b2(:,1:13)';
yt2=ht2;
MSET=(1/13)*sum((PN2t'-yt2).^2);
ereur(2,j)=MSEA;
ereur(3,j)=MSET;
ereur(1,j)=Nit;
Nit=Nit+100; j=j+1; end
format short e
ereur=ereur'
x=ereur(:,1);y1=ereur(:,2);y2=ereur(:,3);hold on
h1=plot(x,y1);set(h1,'LineWidth',2);grid;hold on;
h2=plot(x,y2);set(h2,'LineWidth',1);
title('MSEA et MSET en fct Nb_it');xlabel('NB_itér');ylabel('MSEA et MSET');
format short;
RMSA=(1/27)*(sqrt(sum(((PN2'-ya2)./PN2').^2)))
Taux_rA=(1-RMSA)*100
RMST=(1/15)*(sqrt(sum(((PN2t'-yt2)./PN2t').^2)))
Taux_rT=(1-RMST)*100
```

**Références bibliographiques.**

- [1] Michel PLUVIOSE . Ingénierie des turbomachines Ellipses 2003
- [2] Francis CAZALET « Maintenance moderne des turbines à gaz », *Séminaire GL4Z du 7 au 9 décembre 1987 ARZEW Algérie*
- [3] A BOULENGER C PACHAUD Diagnostic vibratoire en maintenance préventive ED Dunod 1998
- [4] Lucien VIVIER. Turbines à vapeur et à gaz Albin Michel 1965
- [5] Anthal THUMA Machines hydrauliques OPU 1993
- [6] LEMASSON . Machines transformatrices d'énergie Aubin 1988
- [7] Techniques de l'ingénieur. Vapeur et gaz à pression moyenne Ventilateurs soufflantes Compresseurs.
- [8] SOLOMATINE Turbines à gaz UMBB 1997
- [9] NUEVO-PIGNONE, G.E , Manuels d'exploitation
- [10] Marcel SEDILLE Turbomachines hydrauliques et thermiques
- [11] D. Bougeard : Cours turbomachines Ecole doctorale. UMBB 2006
- [12] J. M. Bisseaud « Planers : think gas turbines !The building block of power plants» *Large turbine Generator Division Alstom*. AGTR 8806 Belfort. France.
- [14] CISTA A. BELFADHEL. H. Suivi et diagnostic des machines tournantes par l'analyse vibratoire Mémoire de fin d'études UMBB Juin 2007.
- [15]. G. Didier., 2004, Modélisation et diagnostic de la machine tournante en présence de défaillance, Thèse de doctorat. Nancy.

## Résumé

*Dans ce mémoire nous à permet de constater que la maintenance préventive joue un rôle primordiale pour assure un bon fonctionnement et une excellente efficacité du compresseur centrifuge. objet de notre étude. Comme il est connu, ce type de maintenance sert à prédire tons les type de problèmes avant quels se passants, ce qui offre un moyen très utile pour augmenter la durée de vis de nos appareils*

*Notre objectif consiste à proposer et implémenter sous Matlab une approche pour le développement d'un système pour la surveillance en ligne du compresseur K603, en utilisant les réseaux de neurones artificiels de type perceptron multi- couches ( MLP). Le but de notre travail est de proposer des rectifications sur le système Di-Tronics2 pour qu'il soit capable de préciser avec exactitude le type de panne qui peut survenir sur cet compresseur.*