الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE
MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Electrique
Et de l'informatique



Mémoire de Fin D'Etude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de
Master en Génie Electrique

Option : Systèmes intetlligentes et Communicants

Thème

Télésurveillance des systèmes industriels
(application aux machines tournantes)

Proposé et dirigé par,

Mr.Sekkal Mohammed Chakib

Préparé et présenté par,

Melle. **Ghernaout Fatma Zohra**

Melle. **Elouchefoune Imene**

Année Universitaire 2014-2015



بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله

رب العالمين والصلاة والسلام

على نبينا محمد صلى الله عليه و سلم.

سبحان الله الذي وهبنا نعمة العقل، سبحان

الذي يستحق الشكر على نعمته وحده لا

شريك له، سبحان الذي جعل لنا العلم نورا

وهدانا سبيل الرشاد.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail.

A la mémoire de ma chère grande mère qui restera à jamais dans mes pensées et au fond de mon cœur.

A mes chers parents qui ont été à mes côtés dans tous les moments difficiles, par leur amour inestimable,
Leur soutien et leur encouragement, que DIEU vous protège pour nous.

A mes chères frères: AHCEN, BALKACEM et HICHEM
et ma seule sœur SALIMA et son époux : HALIM
Et surtout pour ma petite princesse HADIL.

A ma binôme « Elouchefoune Imene » et sa famille.

A tous mes ami(e)s, tous ceux que j'aime, tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui me sont chers.

Fatma Zohra

Dédicace

Au Nom de Dieu clément et miséricordieux,

Louange à Dieu pour sa Grâce et sa miséricorde,

Louange à Dieu pour la science qui nous a offerte,

Du fond du cœur;

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents,

A mon frère Fayçal et à ma sœur Radjae et tous les

Membres de la famille,

Ma binôme «Ghernaout Fatma Zohra» et sa famille,

A tous mes amis,

Sans oublier mon promoteur et mes professeurs.

A toutes personnes

Ayant contribué de loin ou de près

À accomplir ce travail.

Imene

Remerciement

*Je remercie, tout d'abord, **Dieu** tout puissant de m'avoir donné*
Le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur «**Sekkal Mohammed Chakib**», Mon encadreur, pour sa présence scientifique et humaine, et l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer.*

*Un grand merci pour mon cher collègue « **Yahia Rai** » pour son aide et soutien depuis le début de ce travail.*

*Mes remerciements sincères pleins de reconnaissance vont également à Mlle : « **Sihem Abbestorki** », qui m'a soutenue et aidée depuis le début de ce travail.*

*Mes respects et ma gratitude vont également aux membres du **jury** qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail et qui par leur disponibilité, leurs observations et leurs rapports m'ont permis d'enrichir mon travail.*

Je remercie toutes les personnes qui ont participé de manière directe ou indirecte à la concrétisation de ce travail.

♥ Fatima zohra Ghernaout ♥

♥ Imene Elouchefoune ♥

ملخص

إن الهدف من هذا المشروع هو المراقبة عن بعد لأنظمة صناعية تحتوي على آلة دوارة و هذا استنادا إلى تطبيق خدمة العملاء حتى لا تتعطل المعدات.

في المرحلة الأولى قمنا بإنجاز برنامج باستعمال برنامج الحساب العلمي MATLAB لاستخراج منحنيات مستقلة تماما عن بعضها البعض، ثم نطبق الصيانة المشروطة على الآلات الدوارة من اجل حساب التحليل الاهتزاز ي للاستشعار.

ثانيا قمنا بتقدير الحالة الصحية للنظام باستعمال الشبكات العصبية RN

وأخيرا تطبيق ملقم العميل لمعرفة حالة النظام الصحي (جيدة، تدهورت، أو سيئة) باستقبال رسالة نصية على الهاتف المحمول للعميل.

الكلمات المفتاحية:

المراقبة عن بعد، الصيانة المشروطة،تحليل الاهتزاز،الاستشعار،المدحرج،آلة دوارة،الشبكات العصبية، خدمة العملاء.

Abstract

The purpose of this work is the monitoring of rotating machinery through a client-server application, as part of a condition monitoring of industrial systems .To detect the degradation of bearings and avoid equipment failure, a MATLAB program begins by selecting the completely independent features by applying vibration analysis of bearings. In the second stage, the program estimates the health status with neural networks. Finally a client-server application communicates the system health status (healthy, degraded, or bad) as a message on the mobile phone of the customer.

Keyword:

sensor, rolling, Remote monitoring, conditional maintenance, vibration analysis, rotating machine, Neural Networks, client-server.

Résumé

Le but de ce travail est la télésurveillance des machines tournantes grâce à une application client-serveur, dans le cadre d'une maintenance conditionnelle des systèmes industriels. Pour détecter la dégradation de roulement afin d'éviter les pannes des équipements, un programme MATLAB commence par sélectionner les descripteurs complètement indépendants en appliquant une analyse vibratoire des roulements. Dans la deuxième étape, le programme fait une estimation de l'état de santé par réseaux de neurones. Finalement une application client-serveur communique

l'état de santé du système (bonne santé, dégradée, ou bien mauvaise) sous forme d’un message sur le téléphone portable du client.

Mot clé:

Télésurveillance, maintenance conditionnelle, analyse vibratoire, capteur, roulement, machine tournante, réseaux de neurones, client-serveur.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale....1

Chapitre I

Préalable....3

Partie 01

I. Introduction....3

II. La maintenance conditionnelle....3

II.1 Définition....3

II.2 Les différents types de maintenance....4

II.2.1 Maintenance corrective....5

II.2.2 Maintenance préventive....5

II.3 Organisation de la maintenance conditionnelle....7

II.4 Architecture d'un Système de maintenance Conditionnelle....8

III. Défauts, panne et Défaillance....9

III.1 Le Défaut....10

III.2 La panne....10

III.3 La défaillance....10

IV. Conclusion....11

Partie 02

I. Introduction....12

II. Analyse vibratoire....12

II.1 Définition d'une vibration....12

II.2 Les pré-requis de l'analyse vibratoire....13

II.3 Les vibrations dans les machines tournantes....14

II.3.1 Sources des vibrations dans les machines tournantes....15

II.3.2 Les roulements comme éléments critiques des machines tournantes....15

III. Les roulements....16

III.1 Les Composant d'un Roulement....16

III.2 Défauts des roulements....17

III.3 La dégradation....18

III.4 Causes potentielle des vibrations lors d'une dégradation d'un roulement....18

Sommaire

III.5 Surveillance et analyse vibratoire 19
III.6 Techniques de surveillance de l'état des roulements 21
IV. Conclusion 23

Chapitre II

Préalable 24

Partie 01

I. Introduction 24
II. Sélection des variables 24
II.1 Matrice de corrélation 25
II.1.1 L'espérance 25
II.1.2 La covariance 25
II.1.3 La variance 25
II.1.4 Coefficient de corrélation 25
III. Estimation de l'état de santé du système industriel 26
IV. Conclusion 26

Partie 02

I. Introduction 27
II. Définition d'un Neurone 27
II.1 Caractéristique d'un neurone 28
II.2 Modèle biologique 28
II.3 Approches formelles 29
II.4 Modèle formel 29
II.5 Les fonctions d'activations 31
II.6 Principes de fonctionnement 31
II.7 Modélisation générale 32
II.8 Neurone formel vers neurone biologique 32
III. Les réseaux de neurones 33
IV. L'information dans les réseaux de neurones 35
V. L'apprentissage 35
VI. Différentes architectures des réseaux de neurones 39
VI.1 Les réseaux feedforward 39
VI.1.1 Les perceptrons 39

Sommaire

VI.1.2 Les réseaux à fonction radiale 40
VI.2 Les réseaux *feed-back* 40
VI.2.1 Les cartes auto-organisatrices de *Kohonen* 40
VI.2.2 Les réseaux de *Hopfield* 40
VI.2.3 ART (Adaptive Résonance Théorie) 41
VI.3 Récapitulation 41
VII. Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones 42
VII.1 Avantages des réseaux de neurones 42
VII.2 Inconvénients des réseaux de neurones 42
VIII. Utilisation des réseaux de neurones 43
IX. Conclusion 43

Chapitre III

I. Introduction 45
II. La télésurveillance 45
II.1 Définition 45
II.2 Les domaines d'application et usage 45
II.3 Le principe de système télésurveillance 46
III. Architecture deux tiers 47
IV. Application client serveur 48
IV.1 Site Serveur 48
IV.2 Site Client 48
IV.3 Présentation de l'architecture client serveur 49
IV.4 Avantages de l'architecture client -serveur 49
V. Conclusion 50

Chapitre IV

I. Introduction 51
II. Collection des données 51
III. Les outils utilisés 51
III.1 Matlab 52
III.2 Android 52

Sommaire

III.3 Le langage Java 53
III.4 Eclipse 53
III.5 NetBeans 53
IV. Architecture générale du banc d'essai 54
V. Composants de l'application 54
VI. Diagramme d'activité 55
VII. Architecture générale de l'application 57
VIII. Fonctionnement de l'application 59
VIII.1 Etapes 1 59
VIII.1.1 Stockage des données 59
VIII.1.2 Extraire les caractéristiques des données capturées 60
VIII.1.3 Appliquer la méthode de corrélation 61
VIII.1.4 Affichage des indices des vecteurs supprimés 63
VIII.1.5 Application de réseaux de neurone sur les données Sélectionnées 64
VIII.2 Etapes 2 81
VIII.2.1 Architecture du client-serveur 81
VIII.2.2 Explication de l'architecture 81
Conclusion générale 83

Liste Des Acronymes

Liste des acronymes

ADSL Asymetric Digital Subscriber Line

ART Adaptive Resonance Theory

AV Analyse Vibratoire

BCU Body Control Module

BP Back Propagation

CBM Condition Based Maintenance

Corr Correlation

COV Covariance

C/S Client-Serveur

FC Facteur Crête

FD Facteur de Défaut

FFT Fast Fourier Transform

GSM Global System for Mobile Communications

Max Maximum

MC Maintenance Conditionnelle

NB Nombre de neurone dans la couche cachée

OSA Open System Architecture

PMC Le Perceptron Multicouche

RBF Radial Basic Functions

RMS Root Mean Square

RNA Réseaux de Neurone Artificiel

RTC Réseau téléphonique commuté

RUL Remaining Useful Life

SI Système Industriel

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

VAR Variance

Liste Des Figures

Liste des figures

Chapitre I

Partie 01

Figure I.1. Formes de Maintenance [4].....4
Figure I.2. Stratégies de maintenance selon les événements [8].....6
Figure I.3. Organisation de la maintenance conditionnelle. 7
Figure I.4. OSA / CBM architecture séquentiel [1]. 9
Figure I.5. OSA / CBM architecture distribuée [10]. 9

Partie 02

Figure I.6. Signale vibratoire. 12
Figure I.7. Acquisition et visualisation du signal. 13
Figure I.8. Machine tournante.....15
Figure I.9. Répartition de défaillance des moteurs de puissance supérieure à 200 hp.16
Figure I.10. Constitution générale d'un roulement [19]. 17
Figure I.11. Dégradation d'un roulement. 18
Figure I.12. Déroulement d'une analyse vibratoire. 20

Chapitre II

Partie 02

Figure II.1. Simplification d'un neurone biologique.....28
Figure II.2. Représentation d'un neurone formel.....29
Figure II.3. Schéma d'un neurone artificiel 30
Figure II.4. Structure général d'un neurone formel.....32
Figure II.5. Un réseau de neurones non bouclé avec multicouches cachées.....34
Figure II.6. Un réseau de neurones non bouclé avec monocouche cachée.....34
Figure II.7. Un réseau de neurones bouclé.....34
Figure II.8. Architecture d'un réseau à apprentissage supervisé 36
Figure II.9. Architecture de règle de *Hebb*.....36
Figure II.10. Architecture d'un réseau à apprentissage non supervisé. 37
Figure II.11. Architecture de réseau de *kohonen* 38
Figure II.12. Classement des différents réseaux de neurones 41

Liste des figures

Chapitre III

Figure III.1. Schéma générale de l'architecture deux tiers.....48

Figure III.2. Schéma générale du modèle C/S.....49

Chapitre IV

Figure IV.1. Architecture générale du banc d'essai.....54

Figure IV.2. Diagramme d'activité qui illustre la consultation par un client de l'état du système.....55

Figure IV.3. Architecture générale de l'application.....57

Figure IV.4. Présentation de dispositif de test et capteur placement portant clarification.....59

Figure IV.5. Descripteurs temporels.....60

Figure IV.6. Affichage d'une matrice 6*2156.....60

Figure IV.7. Affichage des signaux d'une matrice des descripteurs temporels.....61

Figure IV.8. La corrélation et les matrices réduites.....62

Figure IV.9. Affichage des signaux indépendants d'une matrice de dimension 3*2156.....63

Figure IV.10. Affichage des indices des vecteurs supprimés.....63

Figure IV.11. Affichage d'une matrice 3*2156.....64

Figure IV.12. Architecture de Réseau de neurone.....65

Figure IV.13. Classification et codage du RN.....65

Figure IV.14: Architecture d'algorithme de Back-Propagation.....66

Figure IV.15. Affichage de la fenêtre nftool.....72

Figure IV.16. Chargement des entrées et des sorties de programme.....73

Figure IV.17. Chargement des pourcentages.....73

Figure IV.18. Choix du nombre de neurones dans la couche cachée.....74

Figure IV.19. Démarrage de l'apprentissage.....74

Figure IV.20. Résultat de l'apprentissage.....74

Figure IV.21. Affichage des graphes de performance (MSE).....75

Figure IV.22. Nommer et sauvegarder le RN.....75

Liste des figures

Figure IV.23. Exemple de l'affichage de la sortie "Yd".....75
Figure IV.24. Exemple de l'affichage du "Yr".....76
Figure IV.25. Affichage d'exemple de l'erreur.....76
Figure IV.26. Choix de RN et sauvegarde l'état dans un fichier texte.....79
Figure IV.27. Résultats des tests de classification datée dans un fichier texte.....80
Figure IV.28. Architecture de l'application client-serveur.....81
Figure IV.29. Affichage du message (l'état du système) sur le téléphone mobile.....82

Liste Des Tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Techniques de surveillances des roulements.....21

Chapitre II

Tableau II.1. Les types de fonction d'activation.....31
Tableau II.2. Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.....33

Chapitre IV

Tableau IV.1. Organisation des données collectées.....59
Tableau IV.2. Exemple d'une matrice de corrélation (6*6)... 62
Tableau IV.3. Exemple d'une matrice de corrélation (3*3).....63
Tableau IV.4. Codage de la sortie.....66
Tableau IV.5. Choix de codage de la sortie Pour M1.....67
Tableau IV.6. Choix de codage de la sortie Pour M2.....67
Tableau IV.7. Choix de codage de la sortie Pour M3.....67
Tableau IV.8. Choix de codage de la sortie Pour M4.....68
Tableau IV.9. Choix de codage de la sortie Pour M5.....68
Tableau IV.10. Choix de codage de la sortie Pour M6.....68
Tableau IV.11. Choix de codage de la sortie Pour M7.....68
Tableau IV.12. Choix de codage de la sortie Pour M8.....69
Tableau IV.13. Classification de RN pour les matrices de dimension 3*2156.....69
Tableau IV.14. Choix de codage de la sortie pour M5 divisé (M1).....77
Tableau IV.15. Choix de codage de la sortie pour M5 divisé (M2).....77
Tableau IV.16. Choix de codage de la sortie pour M8 divisé (M1).....77
Tableau IV.17. Choix de codage de la sortie pour M8 divisé (M2).....77

Introduction générale

Introduction générale

La maintenance traditionnelle pose plusieurs problèmes de coût et de performance. Elle est plus couteuse que la Maintenance Conditionnelle (MC) et de nombreuses pannes du Système Industriel (SI) peuvent se produire entre deux échéances du calendrier de maintenances. Donc on peut dire que le choix de la (MC) assurée par une télésurveillance des (SI) optimiste et efficace dans les usines peut éviter l'arrêt total des équipements. Dans ce cadre et afin de pallier aux problèmes de maintenance traditionnelle, la MC permet de garantir et d'augmenter la sureté et l'efficacité de fonctionnement du SI et de connaitre à tout moment l'état de système.

La surveillance est l'étape de MC la plus importante pour un SI. On l'utilise pour connaitre l'état de santé du système. Grace à développement des systèmes de télécommunication, cette étape peut être faite à distance, et ainsi se libéré de la contrainte de présence physique du maintenancier sur le site industriel.

Dans ce travail, on s'intéresse à un type particulier de SI qui est la machine tournante, dont l'élément critique est le roulement.

L'analyse vibratoire est la méthode la plus utilisée pour extraire les descripteurs de l'état de santé d'un roulement qui est classifié en suite en bon, dégradé ou mauvais grâce aux réseaux de Neurones (RN).

En fin, la télésurveillance est assurée par une application client-serveur qui permet de communiquer l'état de santé du système au client.

Tout au long de notre travail on a été amené a utilisé plusieurs logiciel qui sont: Matlab, Android et Java, sur les plateformes Eclipse et NetBeans.

Notre travail est organisé en quatre chapitres répartis comme suit :

Dans le 1^{ier} chapitre :

Pour la 1^{iere} partie, présentation de la maintenance conditionnelle des systèmes industriels.

Et pour la2^{ième}partie, rappels sur les principes de base de l'analyse vibratoire des roulements appliquée à la maintenance conditionnelle ainsi que la surveillance de l'état de santé des machines tournantes.

Introduction générale

Dans Le2^{ième}chapitre :

Pour la 1^{iere} partie, rappels mathématiques sur la sélection des données par la méthode de corrélation ainsi que l'estimation de l'état de santé du système.

Et pour la2^{ième}partie, présentation des généralités sur les RN.

Dans le 3^{ième}chapitre :

Présentation de la télésurveillance ainsi que ces principes et les domaines d'utilité, rappels sur l'application client-serveur qui se réalise par l'architecture 2-tiers.

Dans le 4^{ième}chapitre :

Conception et réalisation de l'application de télésurveillance d'une machine tournante. On présente les résultats de l'extraction et la sélection de descripteurs statistique temporelle dans l'analyse vibratoire des roulements, la classification des RN, les tests, l'architecture générale de l'application et leur fonctionnement.

Chapitre I

Maintenance conditionnelle des systèmes industriels et analyse vibratoire des roulements

Préalable

Nous divisons ce chapitre en deux parties. Dans la première partie, nous parlons de la maintenance conditionnelle des systèmes industriels. Après nous détaillons l'analyse vibratoire utilisée pour détecter les défauts de roulements comme élément de base de la maintenance conditionnelle des machines tournantes.

Partie 01 : La maintenance conditionnelle des systèmes industriels

I. Introduction

L'un des enjeux les plus importants de l'industrie concerne aujourd'hui la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels et la recherche de l'augmentation de leur disponibilité à moindre à coût. Aussi, l'activité de maintenance prend une part croissante dans les entreprises et tend à évoluer pour des besoins de réactivité et de coût notamment. Une évolution particulière porte sur la manière d'appréhender les phénomènes de défaillance : peu à peu les industriels tendent, non seulement à les anticiper afin de recourir à des actions préventives, mais en plus à le faire de manière la plus juste possible dans un objectif de réduction des coûts et des risques [1].

Cette évolution a donné une part grandissante au processus de surveillance et d'évaluation de l'état de santé des machines qui est aujourd'hui considéré comme un des principaux leviers d'action dans la recherche d'une performance globale.

De manière plus ciblée, les différents types de maintenance sont présentés. Cela permet de montrer la diversité des approches envisageables dans une politique de maintenance et de définir un cadre de travail plus restreint pour ce projet.

II. La maintenance conditionnelle

II.1 Définition

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état

dans Lequel il peut accomplir la fonction requise. Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action de rétablir, considérée à court terme [2].

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types **:**

- **Objectifs financiers**
  - Réduire au minimum les dépenses de maintenance ;
  - Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.
- **Objectifs opérationnels**
  - Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles ;
  - Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum ;
  - Augmenter la durée de vie des équipements ;
  - Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées ;
  - Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment [3].

II.2 Les différents types de maintenance

L'arbre de la maintenance comprend deux grands embranchements principaux: la maintenance corrective ou préventive et la maintenance préventive, qui se subdivise en maintenance systématique et maintenance conditionnelle ou prévisionnelle (*Figure I.1*).

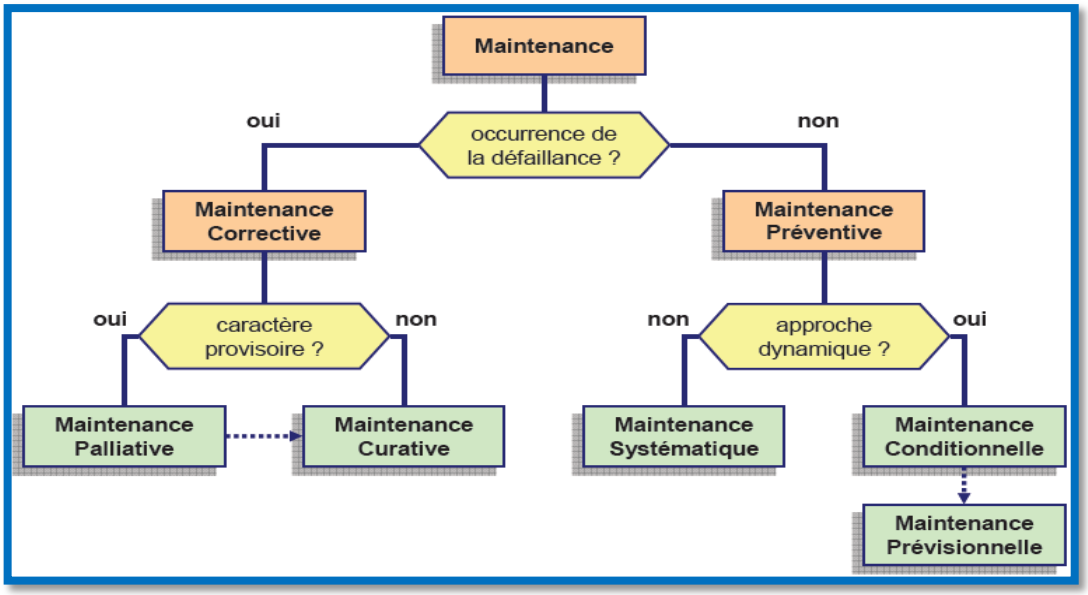


Figure I.1. Formes de Maintenance [4].

II.2.1 Maintenance corrective

La maintenance corrective regroupe l'ensemble des activités réalisées après la défaillance (totale ou partielle) d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. La maintenance corrective peut être :

- Palliative ;
- Curative [5].

A. Maintenance palliative

La maintenance palliative regroupe les activités de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Ces activités du type dépannage qui présentent un caractère provisoire devront être suivies d'activités curatives.

B. Maintenance curative

La maintenance curative regroupe les activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

II.2.2 Maintenance préventive

Type de maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de la défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Autrement dit, La maintenance préventive permet de réduire les risques et probabilité de dysfonctionnement des systèmes de production. La maintenance préventive peut être :

- Systématique ;
- Conditionnelle ;
- Prévisionnelle [5].

A. Maintenance préventive systématique

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de la maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un calendrier [6].

B. Maintenance préventive conditionnelle

Lorsque l'opération de maintenance préventive est subordonnée à l'analyse de l'évolution de paramètres significatifs (température, pression,…etc.) de la dégradation ou de basse de performance, elle est conditionnelle.

- **Objectif**

  - Améliorer la fiabilité du matériel ;
  - Garantir la qualité des produits ;
  - Assurer la sécurité humaine ;
  - Améliorer la gestion des stocks de pièces de rechange [7].

C. Maintenance prévisionnelle

Consiste à prédire la date à laquelle une action de maintenance doit s'effectuer selon un modèle de dégradation théorique des composants mécaniques de la machine.

Elle est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct avant l'observation de l'évènement redouté on parle de maintenance prévisionnelle (*figure I.2*).

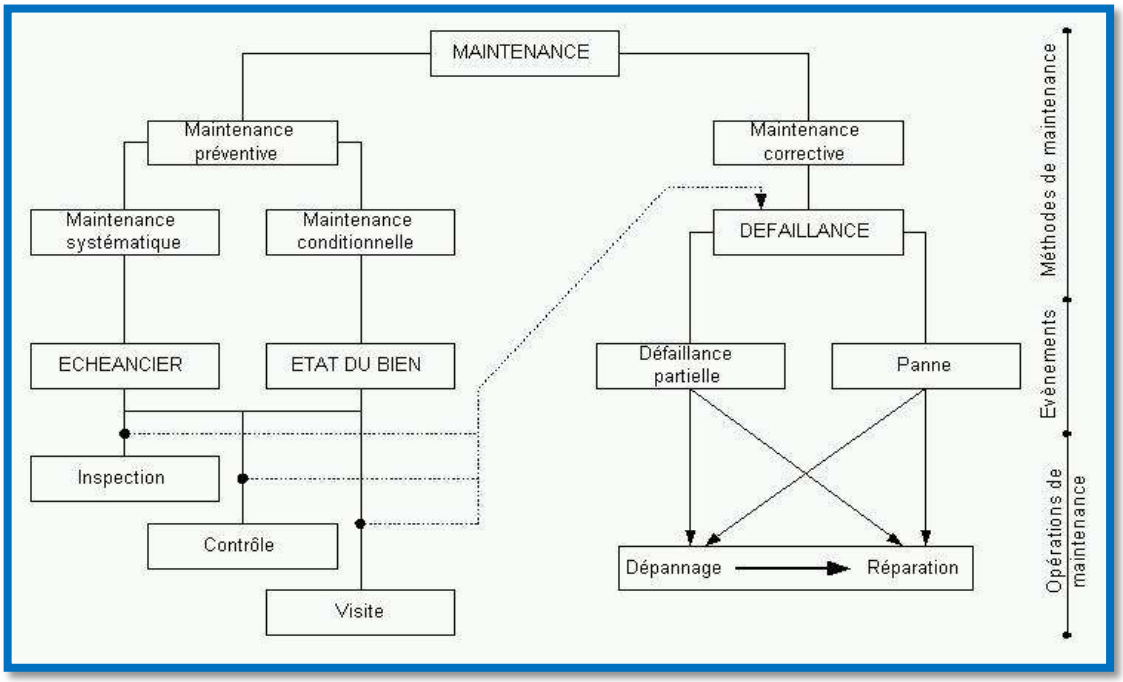


Figure I.2. Stratégies de maintenance selon les événements [8].

II.3 Organisation de la maintenance conditionnelle

On définit l'organisation de la maintenance conditionnelle par l'organigramme suivant (*Figure I.3*) :

1. Cette étape comprend la codification des équipements, l'inventaire et la sélection du type d'entretien appliqué à chaque équipement ;

2. Cette étape comprend le choix de la technique de mesure, leur périodicité, leur endroit et repérage, la création d'une route et des dossiers de suivi ;

3. Cette étape s'occupe de la détermination des alarmes ;

4. Cette étape comprend la prise de mesure, l'enregistrement et la gestion des données vibratoires ;

5. Vérification du seuil d'alarme ;

6. Déterminer l'élément défaillant ;

7. Changer ou corriger l'élément défaillant [9].

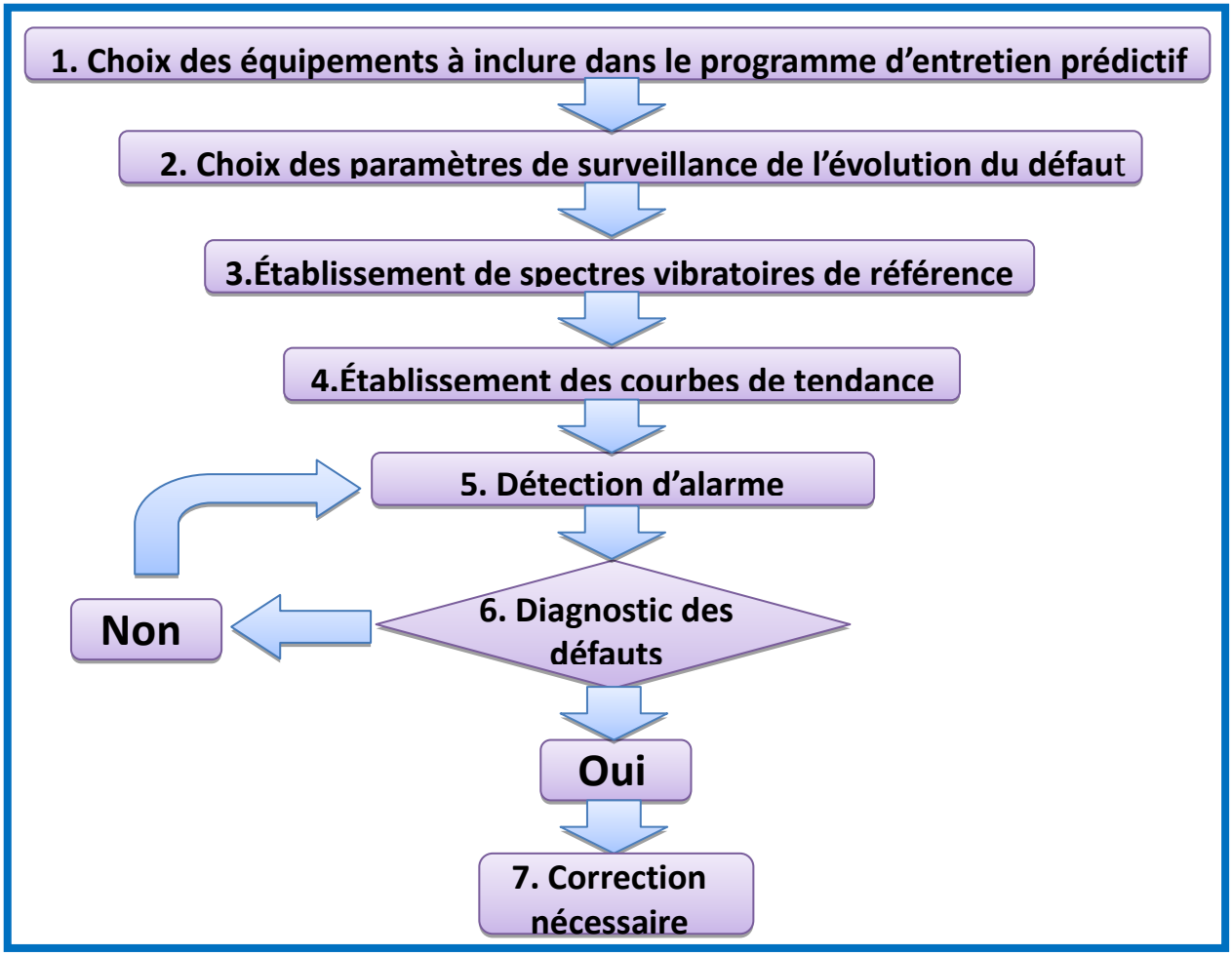


Figure I.3. Organisation de la maintenance conditionnelle.

II.4 Architecture d'un Système de maintenance Conditionnelle

La nécessité d'une maintenance prévisionnelle forme désormais l'unanimité. Elle a fait l'objet d'un intérêt grandissant dans la communauté scientifique, et durant les quinze dernières années, un grand nombre de travaux sont apparus pour proposer des architectures de maintenance prévisionnelle complètes, intégrant les activités traditionnelles de maintenance telles que la surveillance, le diagnostic et la logistique de maintenance [10], [11], [12].

Dans ces travaux, les différences n'apparaissent qu'à un niveau de détail relativement petit, et portent essentiellement sur la forme des architectures logicielles à mettre en œuvre (locale, distribuée, par modules, etc.).Dans l'ensemble, l'architecture proposée par [10] et diffusée par le groupe *MIMOSA* s'avère fédératrice. Il s'agit de la *OSA/CBM* (*Open System Architecture for Condition Based Maintenance*).

Cette architecture est constituée de 7 couches fonctionnelles pouvant être considérées comme séquentielles (Figure I.4) ou distribuées dans un réseau (Figure I.5).

Couche 1: Module capteurs. Ce module fournit au système des données numériques issues de capteurs ou de transducteurs.

Couche 2: Module traitement du signal. Ce module reçoit les données à partir des capteurs ou transducteurs ou d'autres processeurs de signaux et réalise des transformations de signaux et des extractions de caractéristiques ou de descripteurs.

Couche 3: Module de surveillance. Le module de surveillance compare les données en ligne avec certaines valeurs attendues ou connues ; il doit également être capable de générer des alertes en fonction de seuils préalablement fixés.

Couche 4: Module de diagnostic. Ce module détermine si l'état du système, sous-système ou composant surveillé est dégradé ou non et suggère les défaillances probables.

Couche 5: Module de pronostic. Ce module prédit l'état futur du système, sous-système ou composant surveillé. Le module s'appuie sur les données issues des modules précédents.

Couche 6: Module d'aide à la décision. Sa fonction principale est de recommander des actions de maintenance ou d'autres alternatives pour continuer à faire fonctionner le système jusqu'à l'accomplissement de sa mission.

Couche 7: Module de présentation. Ce module reçoit les informations de tous les modules précédents. Il peut être construit sous forme d'une *IHM* (*Interface Homme-Machine*).

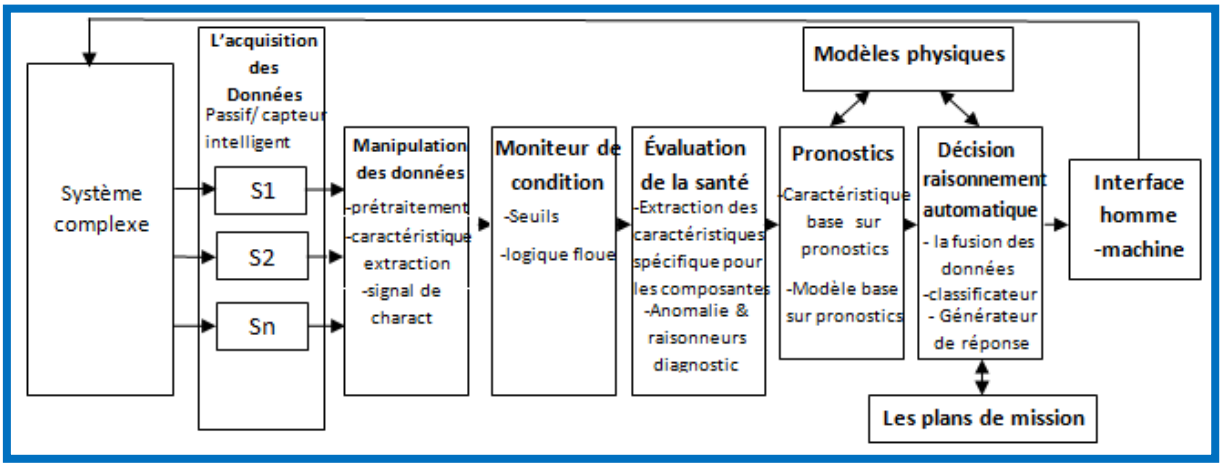


Figure I.4. OSA / CBM architecture séquentiel [1].

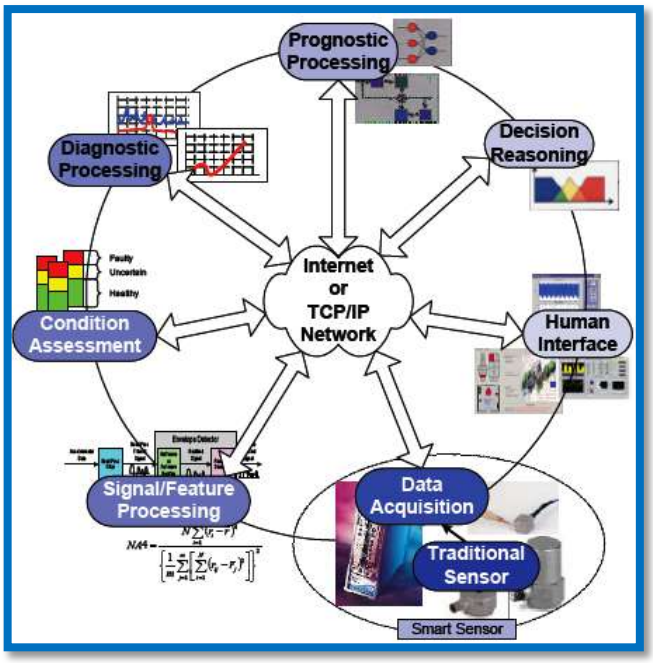


Figure I.5. OSA / CBM architecture distribuée [10].

III. Défauts, panne et Défaillance

La maintenance conditionnelle est utilisée pour détecter et diagnostiquer des défauts sur leurs machines. Elle effectuée selon des critères prédéterminés, dont l'objectif est de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien. Afin d'éviter les pannes qui est la cause principale de la corruption des machines. Bien que les différences entre ces concepts soient souvent très subtiles et quelquefois subjectives.

III.1 Le Défaut

Un défaut dans le système n'affecte pas en général l'aptitude du système à accomplir une fonction requise. Par conséquent, on peut constater que le défaut ne conduit pas toujours à une défaillance. De ce fait, le défaut est vu comme une opinion sur le bon fonctionnement. Par contre une défaillance conduit systématiquement à un défaut.

III.2 La panne

La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise.

Il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, on déclarera le dispositif en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance [3].

III.3 La défaillance

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. Les défaillances peuvent être classées selon différents critères:

- Défaillance progressive ou soudaine, selon la rapidité de leur manifestation.
- Défaillance partielle ou complète ou intermédiaire, selon l'amplitude (la fonction est dégradée ou absente).
- Défaillance précoce, à taux constant ou d'usure, selon le moment d'apparition dans le cycle de vie du matériel.
- Défaillance mineure, significative, critique ou catastrophique, selon leur effet sur le système, l'environnement et l'homme.
- Défaillance première, seconde et de commande, selon les causes des défaillances [13].

En général, une maintenance conditionnelle vise à agir dès les premiers signes de défaillance et non pas à réparer une panne.

IV. Conclusion

Une maintenance conditionnelle efficace offre à l'opérateur de nombreux avantages parmi lesquels une réduction des coûts totaux. Des économies sont en effet réalisées sur les coûts d'exploitation par le biais d'une détection précoce des défauts qui permet d'optimiser les plannings de maintenance. De plus, la maintenance conditionnelle accroît la fiabilité des machines et permet d'optimiser la logistique des pièces de rechange.

La surveillance et l'évaluation de l'état de santé des machines est totalement intégré dans l'architecture *CBM* telle quelle est présentée dans ce chapitre. L'anticipation des défaillances nécessaire pour une stratégie de maintenance prévisionnelle ne peut se faire que si les phénomènes de dégradation sont correctement appréhendés (acquisition de données, extraction de descripteurs, détection/surveillance, diagnostic). Aussi, la surveillance et l'évaluation de l'état de santé des machines n'est pas une fin en soi. Il doit en revanche permettre de mettre en œuvre des politiques de réaction adéquates (aide à la décision).

Dans la pratique, un système de surveillance complet englobe la surveillance d'une série d'équipements comme les roues, les roulements de boîte d'essieu, la boîte de vitesses et le moteur de traction…

Ou bien se base sur l'évaluation de l'état de santé du composant le plus critique. Et c'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant avec le roulement, considéré comme l'élément le plus critique des machines tournantes.

La maintenance conditionnelle de machine tournante ce fait en générale grâce à l'analyse vibratoire du roulement qu'est leur élément critique. Cette AV est le sujet de la deuxième partie.

Partie 02 : Analyse vibratoire des roulements et surveillance de l'état de santé des machines tournantes

I. Introduction

Cette partie rappelle les principes de base de l'Analyse vibratoire des roulements appliquée à la maintenance conditionnelle ainsi que la surveillance de l'état de santé des machines tournantes.

L'analyse vibratoire joue un rôle important dans la maintenance des machines tournante qui permet de détecter les défauts de roulement qu'est l'élément critique de ces machines.

Donc l'analyse vibratoire est la plus usitée en maintenance conditionnelle. Les vibrations sont caractéristiques de l'état de l'équipement et constituent sa signature vibratoire.

Présentation de l'émergence pour la surveillance évaluation de l'état des machines, à décrire en quoi elle vient servir les activités traditionnelles de maintenance, et à décrire les bénéfices pouvant être attendus de la mise en œuvre de systèmes de surveillance de l'état des machines dans l'industrie.

II. Analyse vibratoire

II.1 Définition d'une vibration

Une vibration est un mouvement d'oscillation autour d'une position d'équilibre stable ou d'une trajectoire moyenne. La vibration d'un système peut être libre ou forcée (*Figure I.6*).

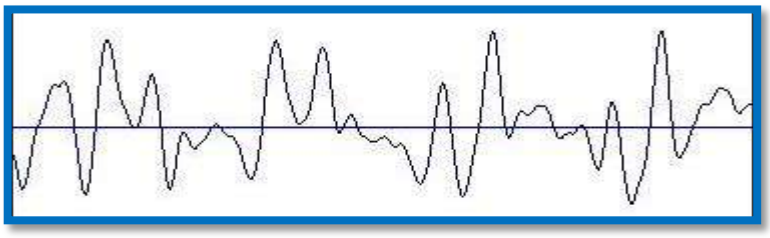


Figure I.6. Signale vibratoire.

Toute machine en fonctionnement produit un degré de vibration généré par ses mouvements rotatifs ou linéaires. Des petits niveaux de vibration ambiante sont parfaitement acceptables. Cependant des plus hauts niveaux et une tendance croissante sont symptomatiques d'une anomalie de fonctionnement [14].

II.2 Les pré-requis de l'analyse vibratoire

II.2.1 La chaine d'acquisition

Cette chaîne de mesure est le maillon indispensable de l'analyse vibratoire pour l'acquisition des signaux à étudier.

Le capteur d'accélération a pour rôle de transformer les vibrations Mécaniques en signaux électriques.

L'amplificateur va ensuite augmenter son intensité afin de pouvoir traiter le signal.

Les limitations dans la plage de fréquences sont réalisées grâce à des Filtres « passe haut » et « passe bas » (*figure I.7*) [15].

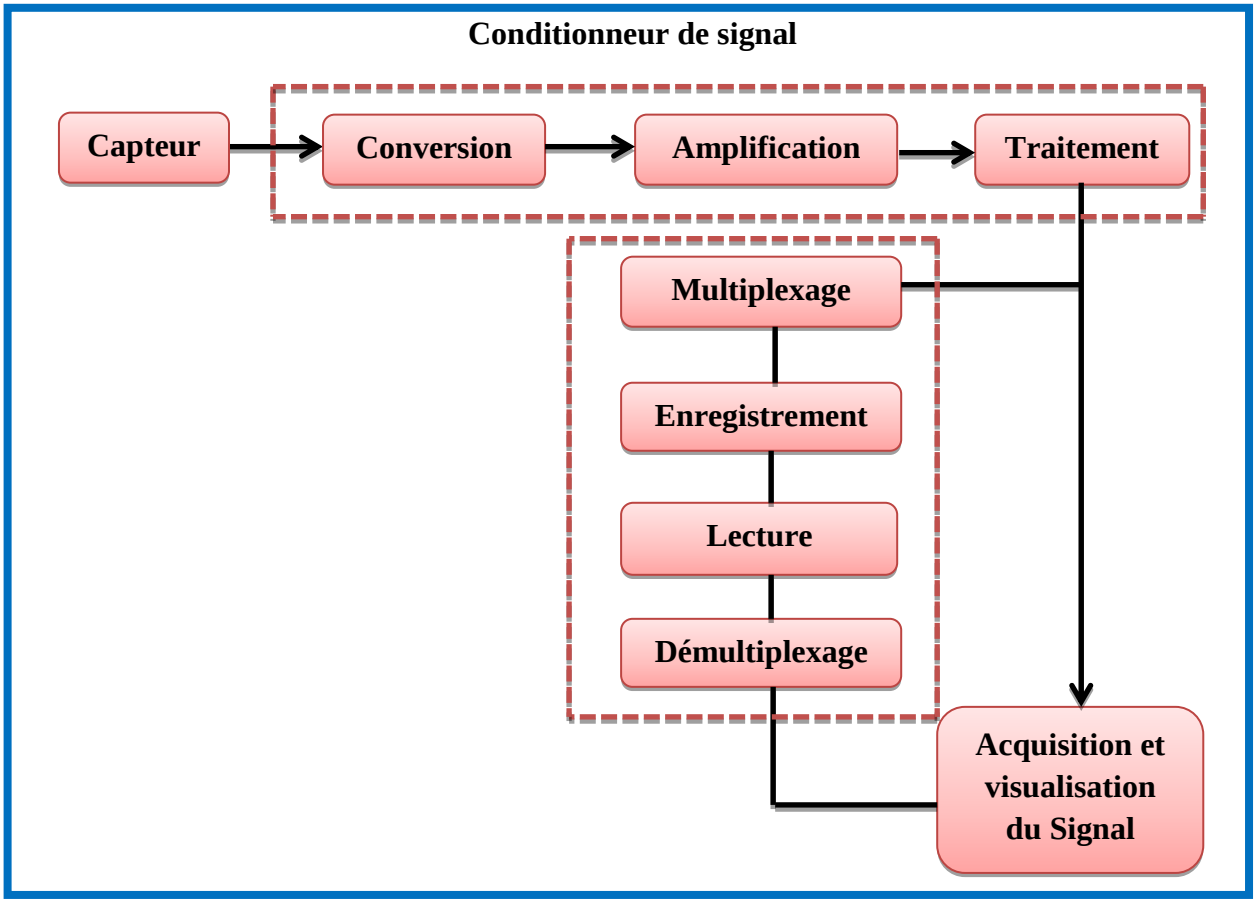


Figure I.7. Acquisition et visualisation du signal.

II.2.2 Capteur

A. Définition

C’est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique.

B. Le capteur de vibration

Le capteur de vibrations est le premier maillon de la chaîne d’acquisition.
C’est un transducteur capable de convertir en signal électrique le niveau de vibrations qu’il subit à une instante donne. Le plus largement utilisé est l'accéléromètre ou capteur piézoélectrique.

Le principe de tous ces accéléromètres est de générer un signal électrique proportionnel au niveau de vibration. La façon d'utiliser l'accéléromètre joue un rôle essentiel dans la prise de mesure. En effet, L'emplacement du capteur se veut important étant donné que la prise de mesure est fournie pour une direction donnée.

Actuellement, le capteur est placé au plus près du défaut potentiel pour éviter les contributions extérieures.

La surveillance d'un composant particulier peut être perturbée par la présence d'autres sources vibratoires [16].

II.3 Les vibrations dans les machines tournantes

Dans l’industrie pétrolière par exemple, les machines de forage, les pompes qui sont utilisées aussi en dehors du pompage lui-même (dont la pompe moineau), Les compresseurs pour le gaz, Les agitateurs de type Jansen, machines pour la génération d'électricité pour l'offshore,…sont des machines tournantes [17].

C'est-à-dire des systèmes ayant une partie fixe, et une partie mobile tournant dans la partie fixe. Elles comportent au moins (*Figure I.8*):

- Un rotor ;
- Une structure ;
- Des liaisons.

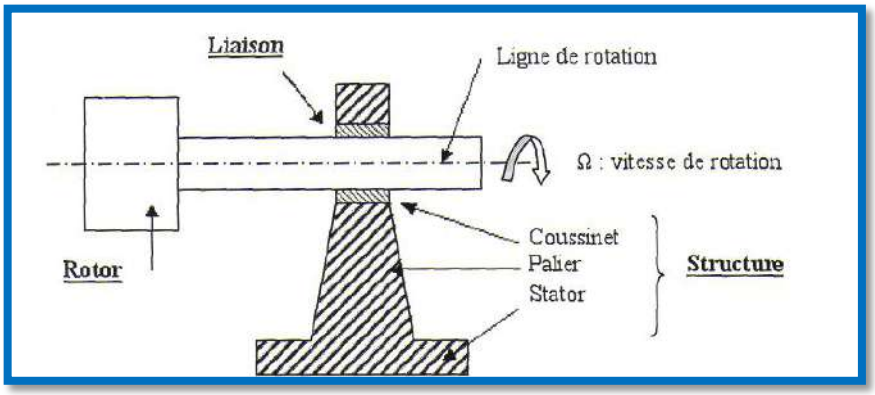


Figure I.8. Machine tournante.

Le rotor tourne autour d'une ligne de rotation par l'intermédiaire de liaisons ayant pour support la structure de la machine.

La rotation du rotor engendre des forces qui dépendent de l'état des machines. Ces efforts vont se répercuter sur tous les éléments de la machine.

II.3.1 Sources des vibrations dans les machines tournantes

Les défauts vibratoires des machines tournantes sont tellement complexes, qu'il est très difficile de faire un diagnostic sans connaître les symptômes vibratoires associés à chaque défaut. Ainsi, pour maîtriser les pannes, il faut savoir les identifier et mesurer leur incidence. IL convient ensuite de les analyser et rechercher sur un effet constaté, la cause initiale d'une défaillance.

La mesure des vibrations est effectuée à l'aide d'accéléromètres instrumentés sur les paliers de la machine.

L'augmentation du niveau global vitesse en fonction du temps peut signifier une détérioration de la machine. Ceci est un indicateur qui donne une approximation de l'état vibratoire de la machine mais qui peut ne pas être suffisant dans le cas de vibrations hautes fréquences.

II.3.2 Les roulements comme éléments critiques des machines tournantes

L'estimation de l'état de santé des machines et l'évaluation du temps résiduel avant défaillance (*RUL* en anglais pour *Remaining Useful Life*) des équipements industriels peut être réalisée par l'estimation de l'état de santé de leurs composants le plus critiques et l'évaluation de son RUL. Sur la base de cette hypothèse, l'élément critique identifié doit être surveillé pour suivre son état de santé lors de son fonctionnement. Ensuite, les données

acquises sont traitées pour extraire des caractéristiques pertinentes, qui sont utilisées pour l'estimation RUL (*Medjaher et al. 2012*).

Les défauts de roulement sont la principale cause de dégradation dans les machines tournantes (*Figure I.9*). Chaque type de panne (bague extérieure, bague intérieure, défauts de billes et de la cage) provoque une signature distincte en fréquence de vibration et l'analyse des vibrations est considérée comme la méthode la plus fiable dans la détection des défauts de roulements. Cependant, il est souvent difficile d'extraire la signature échec à cause du bruit dans les données, notamment dans les stades précoces de défaillance [18].

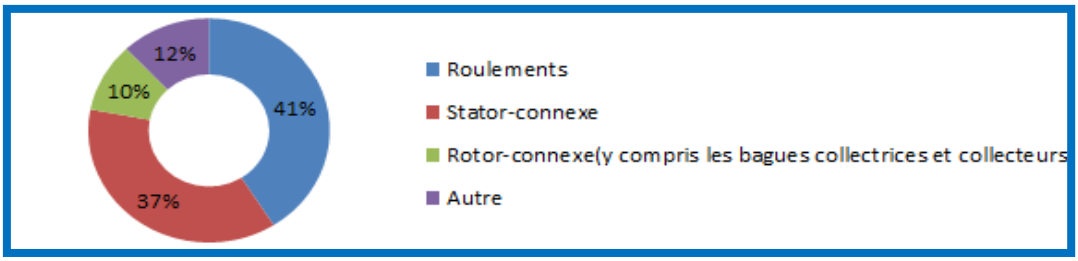


Figure I.9. Répartition de défaillance des moteurs de puissance supérieure à 200 hp.

III. Les roulements

On appelle roulement, une pièce mécanique composé de plusieurs éléments entre deux organes, un mobile et l'autre immobile, destiné à remplir un glissement par roulement à fin de réduire le frottement, il est défini par deux critères qui sont : le type et les dimensions.

Donc, le roulement est un organe mécanique, sa fonction est de permettre la transmission des charges (efforts) entre deux pièces en rotation relative l'une par rapport à l'autre avec un frottement très réduit. Il supporte et assure le guidage d'une charge tournante [15].

III.1 Les Composant d'un Roulement

Un roulement est un composant comportant :

- Une bague intérieure ;
- Des éléments roulants (billes, rouleaux, tonneaux) ;
- Une cage (maintien en position relative des éléments) ;
- Une bague extérieure (*Figure I.10*).

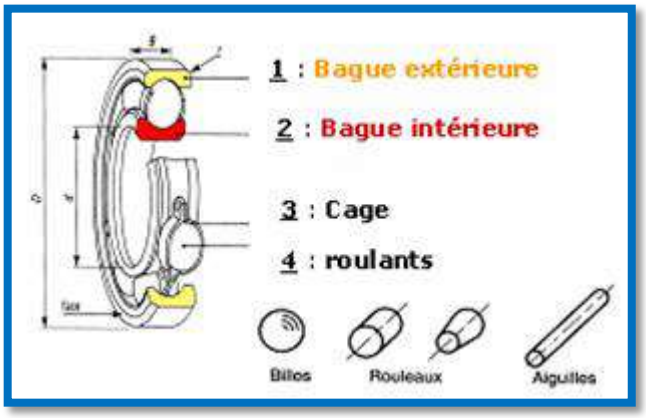


Figure I.10. Constitution générale d'un roulement [19].

III.2 Défauts des roulements

L'écaillage d'une piste de roulements provoque des chocs et une résonance du palier qu'il est facile d'identifier avec un appareil à mesure d'ondes de chocs.

En analyse spectrale, ce phénomène apparaît aux hautes fréquences par une densité spectrale qui augmente au fur et à mesure que les roulements se détériorent.

Si l'avarie du roulement ne comportait qu'un seul point, on pourrait voir apparaître un pic à une fréquence liée à la vitesse du rotor et aux dimensions du roulement (diamètre de pistes Intérieures et extérieures, nombre de billes) [3].

Un défaut localisé se manifestera par un choc dur sur un des éléments :

-Défaut sur bague externe.

-Défaut sur bague interne.

-Défaut sur élément roulant.

III.2.1 Détection des défauts du roulement

L'expérience a montré, que parmi les différents phénomènes physiques utilisés pour mettre en évidence des défauts de fonctionnement ou de dégradation d'une machine tournante, et donnant une meilleure mesure de son état, est la vibration. Les vibrations fournissent des paramètres fondamentaux permettant la détection précoce des causes de défaillance et ainsi définir l'organe défectueux sans démontage de la machine.

Par conséquent, la correction éventuelle et la programmation des opérations de maintenance seront limitées aux seuls Maillons et organes défaillants. Toutes les machines vibrent et au fur et à mesure que l'état de La machine se détériore (balourd, usure de roulements, usure d'engrenages, défaut d'alignement, défaut de graissage, desserrage, jeu,

fissures, etc.), la signature vibratoire change. C'est la première manifestation physique d'une anomalie, cause potentielle de dégradation et de panne [20].

III.3 La dégradation

Une dégradation représente une perte graduelle de performances d'une des fonctions assurées par un équipement [21] :

- Une perte de performances d'une des fonctions assurées par l'ensemble (si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini dans les spécifications fonctionnelles, il n'y a plus dégradation mais défaillance).
- Un sous-ensemble lui-même dégradé voire défaillant (avec conséquence fonctionnelle sur l'ensemble) (*Figure I.11*).

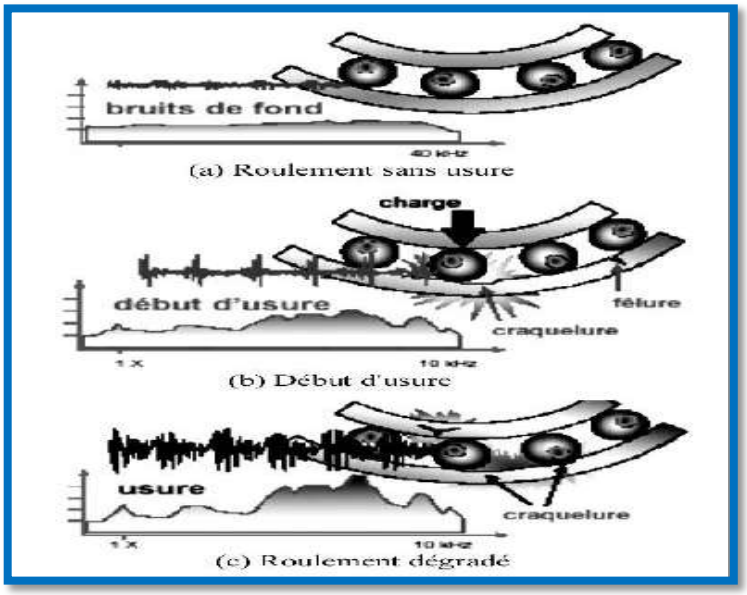


Figure I.11. Dégradation d'un roulement.

III.4 Causes potentielle des vibrations lors d'une dégradation d'un roulement

Les causes de dysfonctionnement des roulements sont très nombreuses. Le plus souvent, ce sont l'écaillage, le grippage et la corrosion. Tous ces défauts ont en commun le fait qu'ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal, qu'on appelle l'écaillage.

L'écaillage se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage ou les pistes du roulement. Ces chocs provoquent une vibration du type impulsionnel qui se propage sur la bague, puis sur la cage externe du roulement : Impulsion.

Ces impulsions deviennent la source de modulation d'amplitude du signal aléatoire de vibrations. Elles sont caractérisées par une montée très raide et par une durée très courte et par conséquent, il se produira une augmentation de la valeur efficace du signal vibratoire et de son facteur de crête.

La reconnaissance de la nature des vibrations est un élément précieux pour la détermination de l'origine d'une anomalie. En mettant en évidence la répétition de cette impulsion, on peut définir les fréquences caractéristiques des défauts de chaque élément du roulement.

III.5 Surveillance et analyse vibratoire

Il existe deux technologies permettant de réaliser une surveillance vibratoire :

- **Mesure directe du déplacement des parties tournantes (arbres de machines)**

Réalisées à l'aide de capteurs à courants de Foucault, ces mesures, leur interprétation et leurs applications ne sont pas traitées ici.

La technologie mise en œuvre est lourde. Une application courante est la surveillance des machines à paliers hydrauliques.

Cette surveillance est presque toujours réalisée on line c'est-à-dire en temps réel. Les capteurs mesurent en permanence les déplacements des arbres et autorisent ainsi le déclenchement immédiat d'alarmes en cas de dysfonctionnement.

- **Mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine**

Les moyens mis en œuvre sont, dans ce cas, beaucoup plus accessibles aux petites structures. À l'aide d'un accéléromètre relié à un collecteur de données, le technicien recueille les vibrations subies par les composants.

Cette technique se prête aussi bien à la surveillance on line qu'à la surveillance périodique effectuée lors de rondes selon un calendrier préétabli [22].

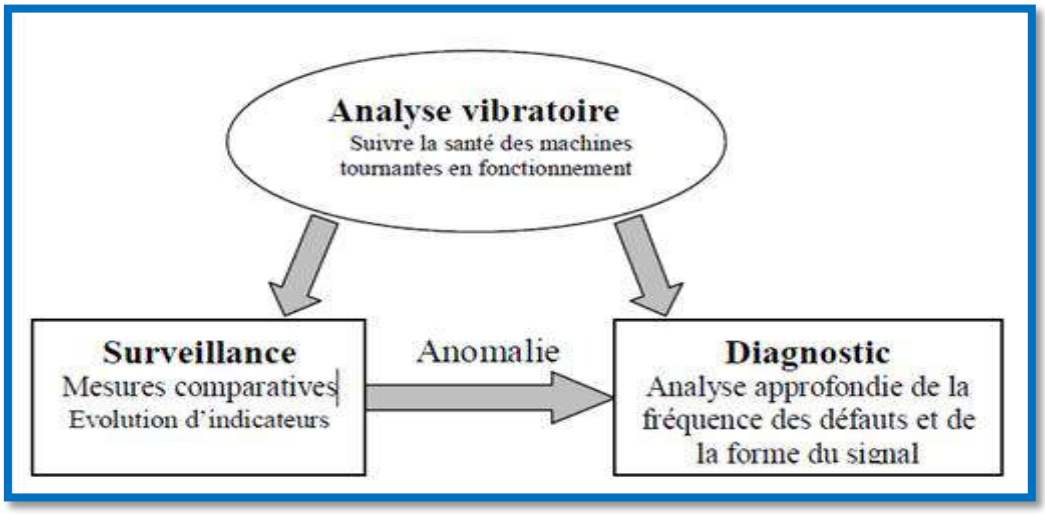


Figure I.12. Déroulement d'une analyse vibratoire.

Le schéma (*figure I.12*) présente, de façon simplifiée, l'analyse vibratoire réalisée à partir de mesures effectuées sur les parties fixes des machines surveillées. On distingue communément deux principales activités :

- **La surveillance**

Le but est de suivre l'évolution d'une machine par comparaison des relevés successifs de ses vibrations.

Une tendance à la hausse de certains indicateurs par rapport à des valeurs de référence constituant la signature alerte généralement le technicien sur un dysfonctionnement probable. Idéalement, la signature est établie à partir d'une première campagne de mesures sur la machine neuve ou révisée.

- **Le diagnostic**

Il met en œuvre des outils mathématiquement plus élaborés. Il permet de désigner l'élément de la machine défectueux suite à une évolution anormale des vibrations constatée lors de la surveillance.

Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire.

La surveillance peut être confiée à du personnel peu qualifié. Le diagnostic demande de solides connaissances mécaniques et une formation plus pointue en analyse du signal [22].

III.6 Techniques de surveillance de l'état des roulements

Les techniques et les méthodes mises en œuvre pour caractériser et surveiller l'état des roulements dans une machine tournante sont nombreuses et très diverses et consistent à analyser le signal fourni par un accéléromètre. Chacune de ces méthodes correspond à des niveaux différents de connaissances du phénomène et à l'utilisation de matériels d'analyse. Ces techniques peuvent être regroupées en trois grandes familles, (*tableau I.1*). Il faut signaler que les méthodes et les résultats dans le domaine de l'analyse vibratoire intéressent directement la production industrielle [23].

Tableau I.1. Techniques de surveillances des roulements.

Méthodes fréquentielles	**Méthode statiques temporelles**	**Méthodes de filtrage (de bruitage)**
FFT, analyse d'enveloppe, analyse cepstrale.	Valeur efficace (RMS), valeur crête, facteur crête, kurtosis, recettes de constructeur (BCU, Fd).	passe haut et passe bande

- **Méthodes statistiques temporelles**

Dans le domaine temporel, les descripteurs statistiques : RMS, Moyenne, Kurtosis, Facteur de crête, Facteur défaut et Skewness peuvent être utilisés pour comparer leurs efficacités pour la surveillance de l'état des roulements [24].

- **Moyenne**

La moyenne est donné par:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X}{N} \tag{I.1}$$

- **Valeur efficace(RMS)**

La valeur efficace donnée par l'expression suivante :

$$RMS = \sqrt{1/N \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} \tag{I.2}$$

Permet de contrôler rapidement l'état de la machine et d'indiquer si les conditions de fonctionnement ont évoluées de manière inquiétante depuis la dernière mesure.

- **Le kurtosis**

Le kurtosis donnée par l'expression suivante :

$$Kurtosis = \frac{\frac{1}{N}\sum_i^N (x_i - \bar{x})^4}{RMS^4} \quad \text{(I.3)}$$

Est un indicateur adimensionnel permettant de caractériser le degré d'aplatissement d'une distribution d'un signal vibratoire.

Il a l'avantage d'être indépendant des variations des vitesses de rotation et des charges de la machine.

- **Facteur crête**

$$\boldsymbol{Facteur\ crête = \frac{Valeur\ Max}{RMS}} \quad \text{(I.4)}$$

- **Facteur de défaut**

$$FD = Valeur\ Max * RMS \quad \text{(I.5)}$$

- **Skewness**

$$Skewness = \frac{\frac{1}{N}\sum_i^N (x_i - \bar{x})^3}{RMS^3} \quad \text{(I.6)}$$

IV. Conclusion

Le suivi de l'état de santé des équipements industriels se fait par le suivi et l'évaluation de l'état de santé de son composant le plus critique.

Pour les machines tournantes, ce suivi s'appuie sur l'analyse vibratoire des roulements. Cette analyse est la plus utilisé dans la maintenance de ce genre de machines à causes de la capacité des données vibratoires à caractériser les défauts.

En maintenance conditionnelle, la surveillance du composant critique n'est pas une fin en soi et ne se limite pas juste à détecter la présence d'un défaut, mais elle doit servir à réaliser un diagnostic approfondi pour localiser précisément la défaillance et quantifier sa sévérité.

Une bonne technique de suivi peut rendre ce diagnostic infaillible. C'est ce qu'on se propose de développer dans le chapitre suivant.

Chapitre II:

Estimation de l'état de santé du système industriel Et les réseaux de neurones

Préalable

Nous divisons ce chapitre en deux parties, dans la première, nous citons les principales méthodes d'analyse de données et de réduction de paramètres. Après nous utilisons les résultats de ces méthodes comme des entrées pour les réseaux de neurones dans la deuxième étape pour l'estimation de l'état de santé d'un système physique.

Partie 01 : Estimation de l'état de santé d'un système industriel

I. Introduction

La sélection du nombre de composantes d'un vecteur x est utilisée lorsque les composantes sont trop nombreuses pour être exploitées, ou bien lorsqu'on suppose qu'elles ne sont pas mutuellement indépendantes. Sous cette hypothèse, leur sélection permet de simplifier l'analyse des données. On obtient ainsi une plus grande robustesse par rapport à la variabilité des données, et une moindre sensibilité au sur-ajustement dû à un nombre excessif de paramètres.

Pour explorer la structure des données multidimensionnelles, l'analyse repose sur l'observation de la répartition des **descripteurs** dans l'espace des facteurs. Lorsque ce nombre de facteurs est trop important pour une analyse visuelle ou un traitement numérique, il est nécessaire d'en réduire le nombre.

En statistique, La matrice de corrélation ainsi que plusieurs autres sont utilisées pour réduire le nombre de facteurs, elles permettent une représentation plus synthétique des données et en facilitent l'analyse [25].

II. Sélection des variables

Cette partie présente la méthode de réduction des paramètres utilisées qui est: la matrice de corrélation.

II.1 Matrice de corrélation

D'abord, on va citer quelques définitions sur la notion de base statistique concernant la corrélation.

II.1.1 L'espérance

C'est la moyenne pondérée par la probabilité, de toutes les valeurs des événements de l'espace échantillonné. Pour la calculer, on fait le produit de la valeur de chaque résultat possible par sa probabilité d'apparition et on fait la somme de tous les produits ainsi obtenus [25].

$$E(x) = \sum x_i \cdot P(x_i) = \sum x_i \cdot p_i \tag{II.1}$$

II.1.2 La covariance

C'est une mesure de la force du lien entre deux variables aléatoires (numériques). Elle est définie par:

$$Cov(X_1, X_2) = E(X_1, X_2) - E(X_2)E(X_1) = E\left[(X_1 - E(X_1)) \cdot (X_2 - E(X_2))\right] \tag{II.2}$$

L'inconvénient de la covariance est que sa valeur dépend des unités dans lesquelles sont exprimées les variables $X1$ et $X2$, alors qu'une mesure de la force du lien entre deux variables ne devrait certainement pas en dépendre.

On note aussi que $Cov(X, X) = Var\left[X\right]$ c'est-à-dire la covariance d'une variable avec elle-même est égale à la variance [25].

II.1.3 La variance

C'est le carré moyen de l'écart entre X et sa moyenne [25].

$$Var(X) = E\left[(X - E(X)^2\right] \tag{II.3}$$

II.1.4 Coefficient de corrélation

C'est défini alors comme suit:

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X).Var(Y)}} \tag{II.4}$$

La corrélation est une mesure du degré d'association entre deux variables aléatoires X et Y. Plus précisément, nous devrons parler d'association linéaire, parce que nous avons dès le départ utilisé des prédicateurs linéaires en X et en Y [25].

- **Propriétés:**
  - Les valeurs extrêmes **ρ** = 1 ne sont atteintes que lorsque la relation entre X et Y est parfaitement linéaire.
  - Notons également que, puisque la covariance entre des variables indépendantes est nulle, nous pouvons conclure que, si X, Y sont indépendantes, leurs corrélation est nulle.
  - Aussi nous disons qu'il y a une relation moyennement linéaire entre X, Y si la valeur de corrélation est entre 0.3 et 0.5.
  - Si la valeur est supérieure à 0.5 alors il y a une relation frottement linéaire.
  - Sinon, si la corrélation est inférieure à 0.3 alors X, Y ne sont pas corrélés.

III. Estimation de l'état de santé du système industriel

Nous avons construit une interface sous MATLAB qui fonctionne à des données de capteurs de vibration placée sur les roulements et issus des donnée de Nasa.

Ensuite, on a appliqué sur cette matrice quelques calcules statistiques pour extraire les caractéristiques des données (RMS, Moyenne, Skwness, Kurtosis, Facteur de crête, Facteur de défaut) qu'ils sont appelés les paramètres statistiques temporelles. Puis, on a obtenu huit matrices de dimension 6*2156.

A la fin, on a appliqué la matrice de corrélations aux ces six descripteurs statistiques du signal vibratoire de chaque roulement. Pour garder juste les vecteurs qui sont moins décorrélées, dont il nous reste que deux vecteurs pour chacun, ça veut dire huit matrices de dimension 3*2156.

IV. Conclusion

Dans cette partie nous présentons la méthode principal pour séparer les trois vecteurs indépendants dont les matrices réduites sont les entrées du réseaux de neurones qui nous résultent la classification par les trois classes (c1, c2, c3) pour connaitre l'état de santé de notre système physique (bonne santé, dégradation de la santé, ou santé défectueuse) qui sera présenter dans la partie suivante.

Partie 02 : Réseaux de neurones

I. Introduction

Les réseaux de neurones, fabriqués de structures cellulaires artificielles, constituent une approche permettant d'aborder sous des angles nouveaux les problèmes de perception, de mémoire, d'apprentissage et de raisonnement. Ils s'avèrent aussi des alternatives très prometteuses pour contourner certaines des limitations des ordinateurs classiques. Grâce à leur traitement parallèle de l'information et à leurs mécanismes inspirés des cellules nerveuses (neurones), ils infèrent des propriétés émergentes permettant de solutionner des problèmes jadis qualifiés de complexes [26].

Dans ce chapitre de présentation des réseaux de neurones formels, nous commençons par donner quelques définitions relatives aux réseaux de neurones. Et en s'intéressant aux réseaux non bouclés (ou statiques).

En effet, c'est ce type de réseaux que nous avons utilisé dans le cadre de la résolution de problème de classification présentés dans ce rapport. Nous présentons l'architecture de réseaux non bouclé la plus générale (les réseaux complètement connectés) et l'architecture bouclé, puis une autre disposition dite à couche, notamment les réseaux à une seule couche cachée. Ensuite, nous justifions l'utilisation de cette dernière architecture en énonçant et commentant la propriété fondamentale de tels réseaux de neurones.

II. Définition d'un Neurone

Les neurones sont considérés comme le support physique de l'intelligence. Ils fascinent puisque comprendre et savoir utiliser l'intelligence permet de réaliser des buts inimaginables.

Depuis quelque année, on recherche à copier les réseaux de neurones pour faire des lois de commandes intelligentes.

Comme les réseaux de neurones mis au point par les informaticiens sont largement inspirés de ce que la biologie nous apprend sur ceux que l'on trouve chez les êtres vivants il convient d'abord de décrire brièvement le modèle biologique qui représente dans la (*Figure II.1*) [26].

II.1 Caractéristique d'un neurone

- **Seuil d'extraction:** C'est l'intensité juste pour obtenir une réponse.
- **Loi du tout ou rien:** Un potentielle d'action engendre par une entrée juste assez pour être efficace est exactement semblable à un potentiel engendre par une entrée 10 ou 100 fois ou plus.
- **Somation des potentiels:** Deux stimulus d'entrées qui séparément n'auraient par exciter le neurone peuvent sommier leurs valeurs et exciter le neurone.
- **Le message serveur** est transmis selon un code (codage de l'information) [27].

II.2 Modèle biologique

Le neurone est un type de cellule différenciée, composant avec les cellules gliales, le tissu nerveux. Ce sont les neurones qui constituent l'unité fonctionnelle du système nerveux, les cellules gliales assurant le soutien et la nutrition des neurones, et jouant comme on l'a découvert au début du vingt unième siècle un rôle facilitant l'établissement de nouvelles connexions.

Il y a environ neuf fois plus de cellules gliales que de neurones dans le cerveau. Le fait fut découvert au début du vingtième siècle, et donna par déformations journalistiques successives, naissance au mythe que « nous n'utiliserions que 10 % de notre cerveau pour penser » [28].

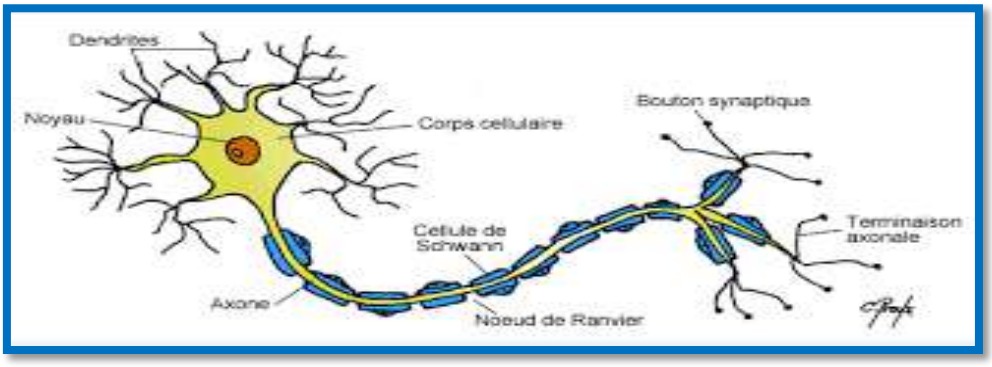


Figure II.1. Simplification d'un neurone biologique.

Chez les êtres vivants, les neurones sont les cellules nerveuses. Un neurone est doté de ramification que l'on nomme les dendrites par les quelles transite l'information (sous la formes de courants électroniques) venue de l'extérieur vers le corps cellulaire. Le neurone traite cette information et renvoie le résultat au travers de son axone.

Ce signal émis par le neurone peut ensuite être transmis, au travers d'une synapse, à un autre neurone, ou encore à un muscle ou à une glande. [28]

II.3 Approches formelles

Dès 1943, *Mac Culloch* et *Pitts* ont proposé des neurones formels mimant les neurones biologiques et capables de mémoriser des fonctions booléennes simples.

Les réseaux de neurones artificiels réalisés à partir de ce type de neurones sont ainsi inspirés du système nerveux. Ils sont conçus pour reproduire certaines caractéristiques des mémoires biologiques par le fait qu'ils sont:

- Massivement en parallèle.
- Capables d'apprendre.
- Capables de mémoriser l'information dans les connexions entre les neurones.
- Capables de traiter des informations incomplètes [26].

II.4 Modèle formel

Le neurone formel est un modèle mathématique simplifié du neurone biologique (*Figure II.4*), il présente un certain nombre d'entrées, les dendrites, un corps traitant les entrées suivant la méthode du tout ou rien, et un axone véhiculant la réponse du neurone (*Figure II.2*) [28].

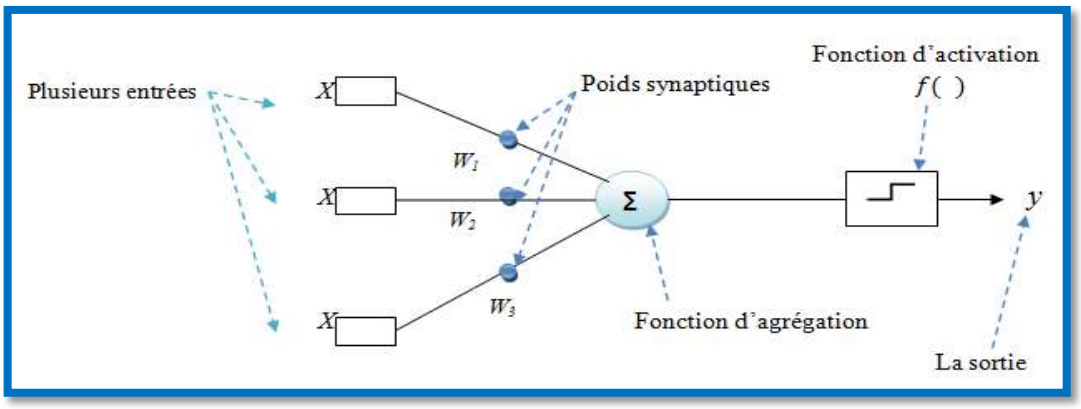


Figure II.2. Représentation d'un neurone formel.

Les neurones formels (*Figure II.2*) sont dotés de caractéristiques inspirées de celles des neurones biologiques que nous avons passées en revue dans la section précédente :

- **Le potentiel d'action des cellules nerveuses:** Il s'agit ici (pour le neurone formel) d'une valeur numérique, qui peut être transmise à des neurones en aval. Un neurone formel ne peut transmettre qu'une valeur unique qui correspond à son état d'activation.
- **Les dendrites:** Des neurones biologiques leur permettent de recevoir différents signaux de l'extérieur. De la même manière, un neurone formel peut recevoir des signaux x_i de plusieurs neurones. Ces signaux sont combinés en un signal d'entrée unique E :

$$E=\sum w_i x_i \qquad \text{(II.1)}$$

Où w_i sont les poids affectés aux signaux extérieurs qui peuvent être:

  - Binaire (0,1) ou bipolaire (-1,1)
  - Réelles.

- **Les synapses :** Les nombres w_i pondèrent les signaux émis par les différents neurones situés en amont. On retrouve ici l'analogue des synapses qui, rappelons-le, peuvent être inhibitrices ($w_i<0$), ou excitatrices ($w_i>0$).
- **La fonction d'activation :** Chaque neurone collecte les informations fournies par les neurones de la couche précédente avec lesquels il se trouve en relation et calcul alors son potentiel d'activation. Celui-ci est ensuite transformé par une fonction pour déterminer l'impulsion envoyée aux neurones de la couche suivante (potentiel de sortie), comme cela se trouve schématisé dans la (*figure II.3*).

L'activation d'un neurone est donnée par la somme des potentiels de sortie de ses prédécesseurs, pondérer par les poids synaptiques. Ce potentiel d'activation est ensuite transformé par une fonction afin de déterminer le potentiel de sortie. [28]

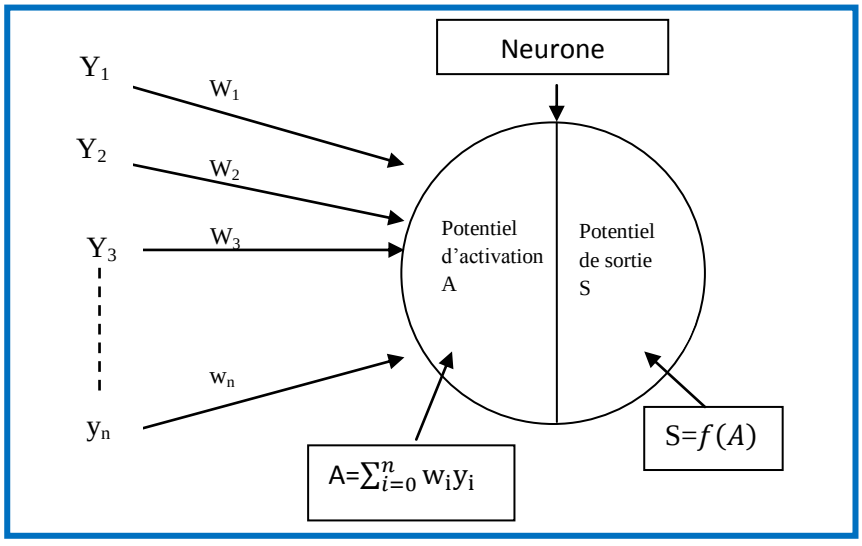
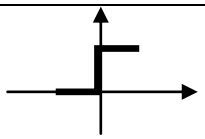
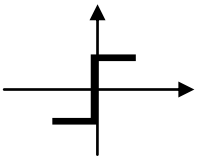
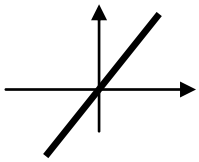
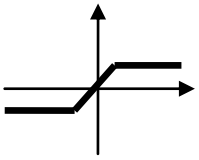
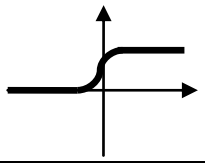


Figure II.3. Schéma d'un neurone artificiel.

II.5 Les fonctions d'activations

Citons à titre d'exemple quelques fonctions souvent utilisées: [29]

Tableau II.1. Les types de fonction d'activation

Nom de la fonction		**Expression**	**Représentation graphique**
Fonction binaire à seuil	Fonction Heaviside	$h(x)=\begin{cases}1 & six \geq 0\\ 0 & sinon\end{cases}$	
	Fonction Signe	$Sgn(x)=\begin{cases}+1 & six \geq 0\\ -1 & sinon\end{cases}$	
Fonction linéaire		F(x)=x	
Fonction linéaire à seuil ou multi-seuils		$F(x)=\begin{cases}xx \in [u,v]\\ vsix \geq v\\ usix \leq u\end{cases}$	
Fonction sigmoïde		$F(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}$	

II.6 Principes de fonctionnement

Chaque entrée est affectée d'un poids. Le passage des entrées dans le corps du neurone se fait en deux étapes.

La première étape consiste à faire une somme pondérée des entrées par les poids respectifs des connexions sur lesquelles ces entrées se propagent.

La seconde étape consiste à calculer l'image de cette somme pondérée par une fonction de transfert binaire.

Le résultat obtenu provoque ou non le déclenchement d'un potentiel d'action suivant le dépassement d'un seuil, et sert à son tour d'entrée à d'autres neurones (*Figure II.3*) [30].

II.7 Modélisation générale

Un neurone formel peut être défini par les cinq éléments suivants :

- la nature de ses entrées.
- la fonction d'entrée totale **H** définissant le prétraitement effectué sur les entrées.
- la fonction d'activation, ou d'état, **F** définissant l'état interne du neurone en fonction de son entrée totale.
- la fonction de sortie **G** calculant la sortie du neurone en fonction de son état d'activation.
- la nature de la sortie du neurone.

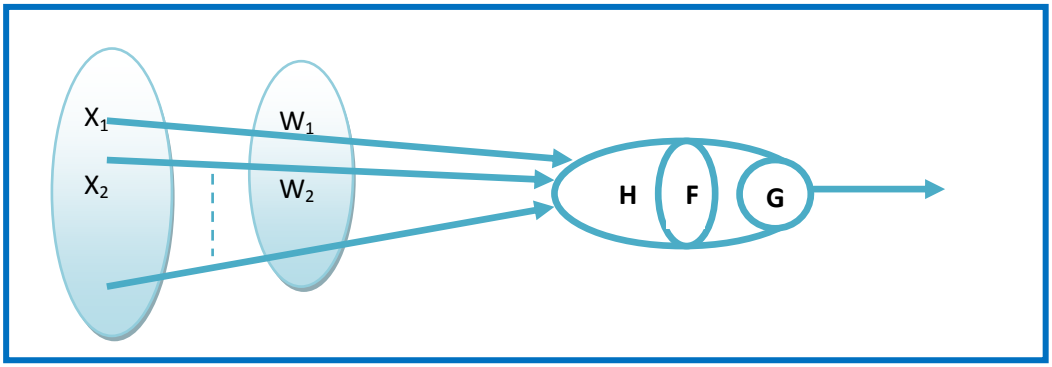


Figure II.4. Structure général d'un neurone formel [27].

Les entrées et les sorties peuvent être bipolaires (-1, +1), binaires (0,1) ou réelles. La fonction d'entrée totale peut être booléenne, linéaire

$$\sum_{i=1,\dots,n} w_i . e_i \qquad \text{(II.2)}$$

Ou affin

$$\sum_{i=1,\dots,n} w_i . e_i - a \qquad \text{(II.3)}$$

Polynomiale de degré supérieur à deux.

La fonction de sortie est en général considérée comme la fonction identité, la sortie du neurone est généralement considérée comme l'activation [27].

II.8 Neurone formel vers neurone biologique

On pourra résumer cette modélisation par le (*Tableau II.2*), qui nous permettra de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel [29].

Tableau II.2. Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel [29].

Neurone biologique	Neurone artificiel
Arborisation terminale	Poids synaptiques
Axones	La sortie
Dendrite	Les entrées
Somma	Fonction d'activation

III. Les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

Dans un réseau, chaque sous-groupe fait un traitement indépendant des autres et transmet le résultat de son analyse au sous-groupe suivant. L'information donnée au réseau va donc se propager couche par couche, de la couche d'entrée à la couche de sortie, en passant soit par aucune, une ou plusieurs couches intermédiaires (dites couches cachées). Il est à noter qu'en fonction de l'algorithme d'apprentissage, il est aussi possible d'avoir une propagation de l'information à reculons ("*back propagation*"). Habituellement (excepté pour les couches d'entrée et de sortie), chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante [31].

III.1 Types des réseaux de neurones

III.1.1 Les réseaux de neurones non bouclés

Un réseau de neurones non bouclés est un assemblage de neurones organisés en couches : chaque neurone d'une couche peut avoir des connexions à des neurones de la couche inférieure et de la couche supérieure, mais pas aux autre neurones (pas même ceux de la même couche).

La première couche constitue les neurones d'entrée (c'est la couche d'entrée, ou couche sensorielle), et la dernière couche est la couche de sortie. S'il n'y a que la couche d'entrée et

celle de sortie, on parle de réseau monocouche (*Figure II.6*), sinon de réseau multicouche (*Figure II.5*), et les couches intermédiaires sont dites couches cachées [32].

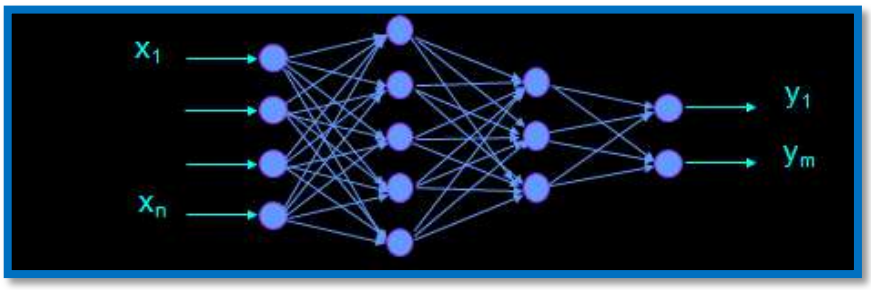


Figure II.5. Un réseau de neurones non bouclé avec multicouches cachées [33].

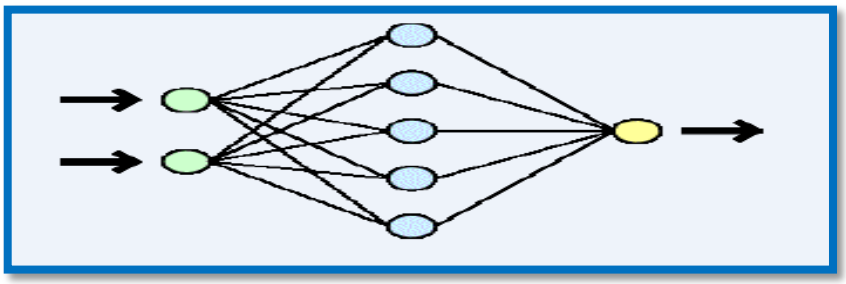


Figure II.6. Un réseau de neurones non bouclé avec monocouche cachée.

III.1.2 Les réseaux de neurones bouclés

Le réseau bouclé (ou réentrant, ou encore concurrent) : celui-ci peut contenir des boucles et retour en arrière. La sortie des neurones peut être rebouclée vers des neurones précédemment parcourus, ainsi le fonctionnement asynchrone de ce réseau, bien que plus lent à cause de la réentrance, permet, à nombre égal de neurones, des capacités énormément plus vastes [32].

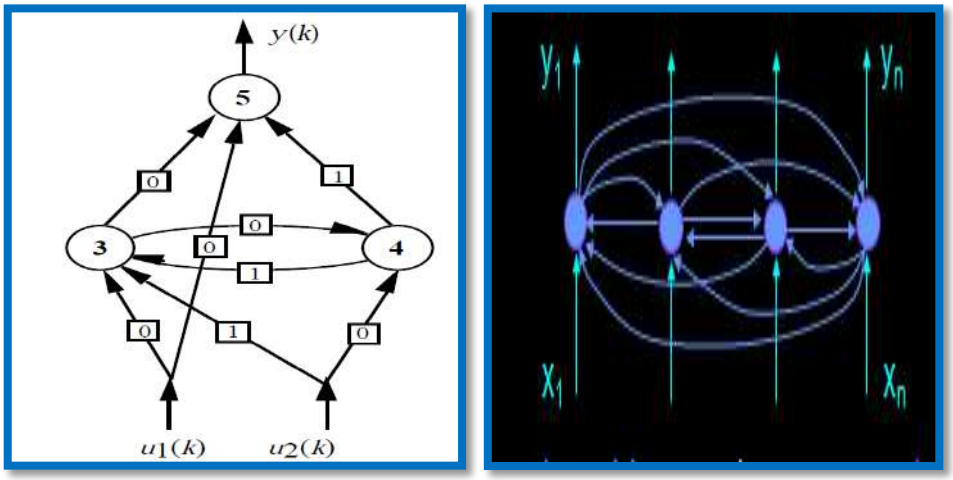


Figure II.7. Un réseau de neurones bouclé [33].

IV. L'information dans les réseaux de neurones

Nous venons de voir le fonctionnement individuel des neurones formels, ainsi que la manière dont ils peuvent être connectés en réseau. Nous pouvons maintenant insister sur le fait que toute information contenue dans un réseau de neurones réside dans:

- La configuration du réseau (le nombre de neurones, le nombre de liens entre les neurones, le nombre de couches différentes, etc....).
- La force (Poids) (définie par les nombres Wi) des connexions qui lient les neurones entre eux, en leur permettant de transmettre des signaux avec une plus ou moins grande importance, et avec une action inhibitrice ou excitatrice.
- La loi qui détermine les réactions des neurones en fonctions des informations qu'ils reçoivent (la fonction d'activation).

Une fois l'architecture du réseau et la fonction d'activation des neurones déterminés, il reste à fixer les valeurs des pondérations des liens qui relient. C'est le but de ce que l'on appelle *d'apprentissage* [29].

V. L'apprentissage

L'apprentissage d'un réseau de neurones formels consiste à déterminer les poids Wi optimaux (de la force optimale des connexions) suivant le problème à résoudre. Rappelons que l'architecture du réseau est déjà déterminée à ce stade [34].

On distingue deux types de réseaux de neurones en fonction du type d'apprentissage auquel ils sont soumis:

- **Les réseaux à apprentissage supervisé:**
  dans lesquels le système apprend à reconnaître des formes à partir d'un échantillon d'apprentissage qui associe les modalités portées par des variables censées caractériser une forme, et la forme elle-même. Sur cet échantillon les résultats correspondant aux divers ensembles d'informations données au système sont connus. C'est à partir de là que le système se paramètre. Aussi ce type de réseaux sont généralement destinés à reproduire un processus quelconque (chimique, mécanique, financier...) dont on connait seulement quelques variables et les résultats correspondants (*Figure II.8*) [28].

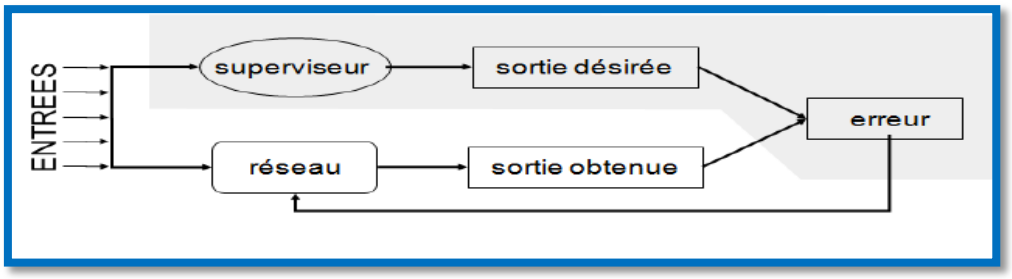


Figure II.8. Architecture d'un réseau à apprentissage supervisé [34].

- **Principe d'apprentissage supervisé :** L'apprentissage supervisé est une catégorie d'algorithme par apprentissage qui vise à produire des règles en s'appuyant sur une base de données d'apprentissage (souvent des résultats d'expériences précédentes). Dans la plupart des catégories d'algorithmes, la première étape est celle de la classification durant laquelle on « étiquette » chaque donnée en l'associant à une classe. C'est le cas de l'apprentissage supervisé. Dans un premier temps, un « oracle » (personne apte à étiqueter les exemples) génère un ensemble de couples entrée-sortie : c'est la phase d'apprentissage. Ensuite, dans une phase de test, le système tente de prédire la sortie connaissant l'entrée [30].
- **Exemple d'apprentissage:**
  - **Algorithme de *Hebb*:** C'est une façon simple pour l'apprentissage d'un RNA.
    - ✓ **Principe:**

      1. C'est une règle qui permet de modifier la valeur des coefficients synaptiques en fonction de l'activité des éléments qu'ils relient.

      2. Cette règle pour les neurones formels est la suivante : si deux neurones connectés entre eux sont activés au même moment, la connexion qui les relie doit être renforcée. Dans le cas contraire, elle n'est pas modifiée. [27]

    - ✓ **Architecture:**

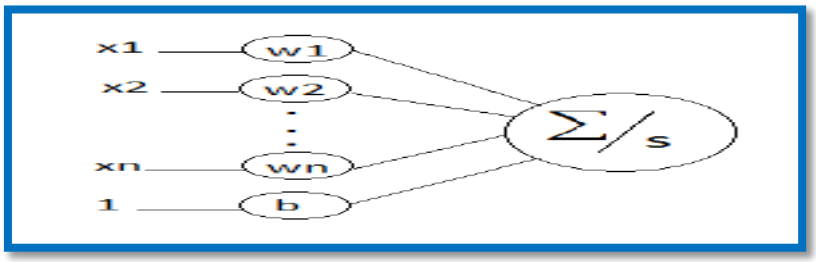


Figure II.9. Architecture de règle de *Hebb*.

- ✓ **Données :** Les entrées (x_d)/ Les sorties (y_d)
- ✓ **Algorithme :**
  1) initialisation des poids $w_i = 0, i = 1, \dots, n\ , b = 0$
  2) pour chaque vecteur d'entrée d'apprentissage (x_d) et un vecteur de sortie désirée (y_d) faire
     - $x_i = xd_i$
     - $y_i = y_d$
     - Ajouter les poids par : $w_i(new) = w_i(old) + x_i y (i = 1,2, \dots, n)$
     - Ajouter des biais : b(new) = b(old)+y [27]

➢ **Les réseaux à apprentissage non supervisé:** Utilisés par exemple en classification lorsque les classes auxquelles doivent appartenir les données ne sont pas connues a priori.

Le plus connu de cette catégorie de réseaux est celui de *Kohonen* (1984) [II.4].

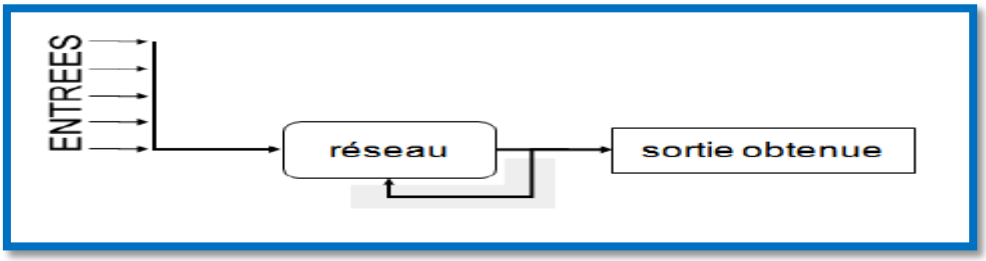


Figure II.10. Architecture d'un réseau à apprentissage non supervisé. [34]

- **Principe d'apprentissage non supervisé :** Au contraire à l'apprentissage supervisé, dans cette catégorie d'algorithme la machine ne dispose pas d'étiquettes mais seulement d'exemple. Le nombre de classe est alors inconnu, et c'est à l'algorithme de déterminer la structure des données [3].
- **Exemple d'apprentissage:**
  - **Algorithme de Kohonen:** Caries auto-organise matrices Self Organizing MAPS (SOMs).
    - ✓ **Principe:** C'est un réseau de neurone à apprentissage non supervisé, il nécessite uniquement les entrées pour l'apprentissage (pas besoins de sorties). Ce type de réseau de neurone a été développé par *Kohonen* en 1989 [27].

✓ **Architecture:**

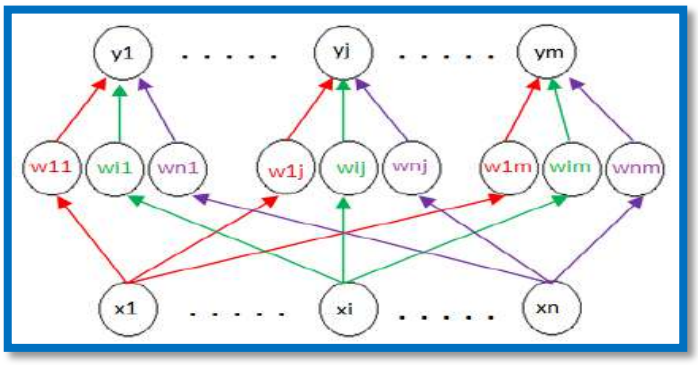


Figure II.11. Architecture de réseau de *kohonen* [27].

✓ **Topologie de voisinage :** Dans les algorithmes de SOMs, on peut utiliser plusieurs topologies de voisinage

- ❖ Voisinage à topologie linéaire.
- ❖ Voisinage à topologie rectangulaire.
- ❖ Voisinage à topologie hexagonale.

✓ **Algorithme:**

- ❖ **Etape 0 :**

1. Initialisation des poids.

2. Choix de la topologie de voisinageα.

3. Paramétrer le pas d'apprentissage

- ❖ **Etape 1 :** tant que la condition d'arrêt est fausse faire les étapes 2 à 8.
- ❖ **Etape 2 :** pour chaque valeur de xi faire 3 à 5.
- ❖ **Etape 3 :** pour chaque j calculer:$D_j = \sum_i (w_{ij} - x_i)^2$
- ❖ **Etape 4 :** trouver l'indice j qui correspond aux minimum duD_j.
- ❖ **Etape 5 :** Adapter le poids selon la topologie d'apprentissage :

$$w_{ij}(new) = w_{ij}(old) + \alpha(x_i - w_{ij}(old))$$

- ❖ **Etape 6 :** mise à jour du pas d'apprentissage.
- ❖ **Etape 7:** Réduire les rayons de voisinage a des itérations spécifiées.
- ❖ **Etape 8 :** tester la condition d'arrêt.

Remarque:

✓ Des valeurs s sont données au poids initial.

✓ α et R sont réduits en fonction du temps d'apprentissage.

Les données servant à l'apprentissage sont donc différentes dans les deux cas, puisqu'elles consistent en une série de couple (entrée ; sortie désiré correspondante) pour l'apprentissage supervisé, tandis que pour l'apprentissage non supervisé, les donnée sont uniquement des entrées [27].

VI. Différentes architectures des réseaux de neurones

VI.1 Les réseaux feedforward

VI.1.1 Les perceptrons

✓ **Le perceptron monocouche**

C'est historiquement le premier RNA, c'est le *Perceptron* de *Rosenblatt*. C'est un réseau simple, puisque il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie.

Il est calqué, à la base, sur le système visuel et de ce fait a été conçu dans un but premier de reconnaissance des formes.

Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle "ET" ou "OU"). Sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. Il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur (ou selon la règle de *Hebb*) [35].

✓ **Le perceptron multicouche (PMC)**

C'est une extension du précédent, avec une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie.

Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (excepté pour les couches d'entrée et de sortie) et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche.

Les fonctions d'activation utilisées dans ce type de réseaux sont principalement les fonctions à seuil ou sigmoïdes.

Il peut résoudre des problèmes non-linéairement séparables et des problèmes logiques plus compliqués, et notamment le fameux problème du XOR. Il suit aussi un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur [35].

VI.1.2 Les réseaux à fonction radiale

Ce sont les réseaux que l'on nomme aussi RBF (Radial Basic Functions). L'architecture est la même que pour les PMC cependant, les fonctions de base utilisées ici sont des fonctions Gaussiennes.

Les RBF seront donc employés dans les mêmes types de problèmes que les PMC à savoir, en classification et en approximation de fonctions, particulièrement.

L'apprentissage le plus utilisé pour les RBF est le mode hybride et les règles sont soit, la règle de correction de l'erreur soit, la règle d'apprentissage par compétition [27].

VI.2 Les réseaux *feed-back*

Appelés aussi "réseaux récurrents", ce sont des réseaux dans lesquels il y à retour en arrière de l'information.

VI.2.1 Les cartes auto-organisatrices de *Kohonen*

- On veut un réseau ayant deux caractéristiques particulières :
  - ❖ Apprentissage non supervisé.
  - ❖ Les réponses associées à des entrées voisines sont voisines : auto organisation.
  - ❖ Notion de voisinage entre les classes d'observation.

- **Algorithme :**
  - ❖ **Initialisation:** à chaque classe on associe un vecteur code dans l'espace d'observation.
  - ❖ **Etape:** on tire un point au hasard dans l'espace des observations (données). On déplace ensuite la classe la plus proche, ainsi que tous ses voisins les plus proches, vers ce point [26].

VI.2.2 Les réseaux de *Hopfield*

Les réseaux de *Hopfield* sont des réseaux récurrents et entièrement connectés. Dans ce type de réseau, chaque neurone est connecté à chaque autre neurone et il n'y a aucune différenciation entre les neurones d'entrée et de sortie. Ils fonctionnent comme une mémoire

associative non-linéaire et sont capables de trouver un objet stocké en fonction de représentations partielles ou bruitées.

- L'application principale des réseaux de *Hopfield* est l'entrepôt de connaissances mais aussi la résolution de problèmes d'optimisation. Le mode d'apprentissage utilisé ici est le mode non-supervisé [34].

VI.2.3 ART (Adaptive Résonance Théorie)

Le principe général du modèle ART conçu par *Carpenter* et *Gross berg* est de créer un système d'apprentissage autonome capable de concilier adaptation et stabilité (compromis à effectuer entre plasticité et rigidité synaptique).

Le problème d'un système trop plastique est qu'il peut apprendre des informations même si elles ne sont pas pertinentes ou oublier des informations apprises.

A l'inverse, un système trop rigide empêche tout apprentissage. La résolution de ce choix entre plasticité et stabilité est donc centrale à toute recherche visant à comprendre ou créer un système capable d'apprendre de manière autonome [36].

VI.3 Récapitulation

Les différents réseaux de neurones peuvent être classés comme dans le schéma ci-dessous:

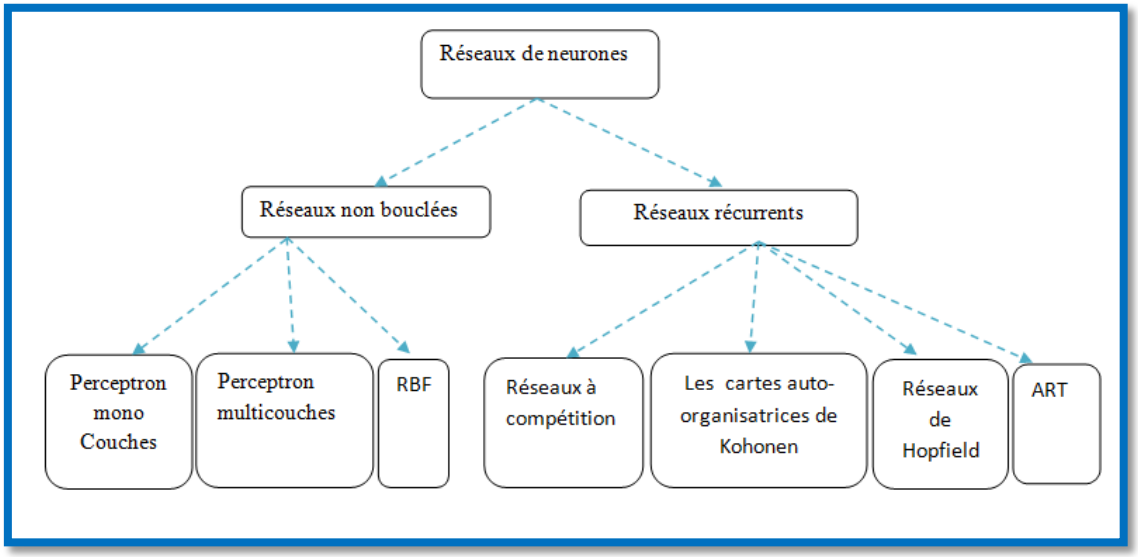


Figure II.12. Classement des différents réseaux de neurones [27].

VII. Avantages et Inconvénients des réseaux de neurones

VII.1 Avantages des réseaux de neurones

- Capacité de représenter n'importe quelle fonction, linéaire ou pas, simple ou complexe.
- Faculté d'apprentissage à partir d'exemples représentatifs, par « rétro propagation des Erreurs ». L'apprentissage (ou construction du modèle) est automatique.
- Résistance au bruit ou au manque de fiabilité des données.
- Simple à manier, beaucoup moins de travail personnel à fournir que dans l'analyse statistique classique. Aucune compétence en matis, informatique statistique requise.
- Comportement moins mauvais en cas de faible quantité de données.
- Pour l'utilisateur novice, l'idée d'apprentissage est plus simple à comprendre que les complexités des statistiques multi variables [37].

VII.2 Inconvénients des réseaux de neurones

- L'absence de méthode systématique permettant de définir la meilleure topologie du réseau et le nombre de neurones à placer dans la (ou les) couche(s) cachée(s).
- Le choix des valeurs initiales des poids du réseau et le réglage du pas d'apprentissage qui jouent un rôle important dans la vitesse de convergence.
- Le problème du sur apprentissage (apprentissage au détriment de la généralisation).
- La connaissance acquise par un réseau de neurone est codée par les valeurs des poids sont inintelligibles pour l'utilisateur [37].

VIII. Utilisation des réseaux de neurones

Se trouvant à l'intersection de différents domaines (informatique, électronique, science cognitive, neurobiologie et même philosophie), l'étude des réseaux de neurones est une voie prometteuse de l'Intelligence Artificielle, qui a des applications dans de nombreux domaines :

- Industrie: contrôle qualité, diagnostic de panne, corrélations entre les données fournies par différents capteurs, analyse de signature ou d'écriture manuscrite...
- Finance: prévision et modélisation du marché (cours de monnaies...), sélection d'investissements, attribution de crédits...
- Télécommunications et informatique: analyse du signal, élimination du bruit, reconnaissance de formes (bruits, images, paroles), compression de données...
- Environnement: évaluation des risques, analyse chimique, prévisions et modélisation météorologiques, gestion des ressources...
- L'interprétation d'images.
- La reconnaissance vocale.
- La reconnaissance de mots écrits à la main.
- L'apprentissage de stratégies de contrôle pour les robots.
- Une des meilleures méthodes connues pour l'interprétation de données provenant de capteurs dans le monde réel [27].

IX. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vue quelque définition relative aux RNA et nous nous sommes limités à l'étude des réseaux de neurones non bouclés ainsi que les propriétés de ce type de réseaux de neurones utilisées dans la suite de ce rapport [27].

On a vue aussi comment les informaticiens inspirent les neurones formels à partir des neurones biologiques, on a cités les différentes architectures des RNA, ainsi que les types d'apprentissage.

Nous nous sommes d'abord intéresser à l'apprentissage supervisé et nous avons choisis la loi de *HEBB* comme un exemple d'apprentissage supervisé, puis nous avons décrit l'apprentissage non supervisé par un exemple d'algorithme de SOMs.

Aussi on a présenté les avantages et inconvénients des RNA et l'utilisation de ces derniers dans divers domaines.

Les réseaux de neurones doivent donc être considérées moins comme des outils d'intelligence artificielle que comme les outils dotés de propriétés mathématiques spécifiques, par exemple les réseaux utilisant une rétro propagation du gradient ne sont en fait finalement qu'une combinaison linéaire de fonction non linéaire (*Dreyfus*, 1989), ce qui leur donne la propriété *d'approximation parcimonieuse* (*Hornik* et *AL*, 1989), propriété mis en œuvre dans de nombreuses applications industrielles ou scientifiques. En ce qui nous concerne, ce sont les propriétés de classification des données qui nous ont amené à utiliser la rétro propagation du gradient [28].

Chapitre III:

Télésurveillance (Application client-serveur)

I. Introduction

Ce chapitre représente les principes de base de télésurveillance ainsi que l'architecture deux tiers par la suite présentation de l'application client-serveur et le Protocol TCP/IP.

II. La télésurveillance

II.1 Définition

La télésurveillance est la surveillance à distance d'un lieu, public ou privé de machine ou d'individus qui est employée dans de nombreuses situations [39].

II.2 Les domaines d'application et usage

La télésurveillance envahis plusieurs domaine dans notre vie, elle couvre en fait quasiment tous les secteurs d'activité, généralement pour des raisons de sécurité:

- La surveillance des machines (divers capteurs permettent d'évaluer l'état de la machine, ces informations peuvent alors être envoyées à un poste de surveillance. L'épuisement de consommables, une anomalie de fonctionnement ou même un acte de malveillance serait alors détecté à distance)
- La surveillance de lieux sensibles (banque l'administration civil et militaire bijouteries, les aéroports les parkings).
- La télémédecine (le réveil post-anesthésie dans les couveuses).
- La prévention de la délinquance.
- La surveillance à distance des enfants et des personnes vulnérables.
- Dans les lieux sensibles dans n'importe quel processus de fabrication (chaine de montage ou d'assemblage….)
- Dans le cadre de la sécurité routière au moyen de camera spécialisées ou des capteurs de proximité noyés dans la chaussée permettent d'évaluer la densité

du trafic les ralentissements qui peuvent en découler la présence de personnes sur les bandes d'arrêts d'urgences [39].

II.3 Le principe de système télésurveillance

L'achat et l'installation d'un système de télésurveillance doivent être confiés à un professionnel: Société de télésurveillance, assureurs... Ce système est le choix idéal pour prévenir tout problème et facilités toute intervention nécessaire en cas de cambriolage incendie, chute...

Les appareillages de télésurveillance se divisent en plusieurs classes :

- **Capteur de position et d'êtas**

Pour tâche de donner la position des ouvrants des bâtiments des pièces et des machines, ils permettent aussi de détecter tout mouvement dans les locaux sous surveillance.

- **Capteur de son**

Des microphones disposés à des emplacements stratégiques permettent. D'écouter les éventuels intrus ou d'entendre les occupants d'un lieu.

- **Capteur d'image**

Des caméras de surveillance permettent de visualiser et d'enregistrer les images du lieu à protéger en les transmettant par liaison vidéo, réseau IP ou sans fil à un moniteur vidéo télésurveillance ou informatique, généralement installé dans un centre de télésurveillance.

- **Transmetteur**

Tout système de télésurveillance requiert des lignes téléphoniques .Le fonctionnement n'a rien de complexe ou risque. La sécurité est en effet assurée à 100% par un principe d'utilisation le transmetteur téléphonique qui alerte le centre de télésurveillance. Le système de télésurveillance fonctionne donc avec toutes les lignes : fixe classique, ADSL (internet) ou GSM (radio).

- **Enregistreur**

Qui permet d'enregistrer et de sauvegarder tous les données collectées (image, son, etc...) pour une utilisation ultérieure.

- **Centre de télésurveillance**

A l'autre bout de la chaine, l'opérateur en télésurveillance, travaillant dans un centre de télésurveillance, réagit en fonction des consignes données. Appel aux services compétents ou aux personnes concernés intervention sur place, etc..

Dans le cas de la télésurveillance d'une locale habitation ou d'une société, la transmission des alertes peut être envoyée au PC de télésurveillance soit par un transmetteur téléphonique classique**.** Relié à une ligne téléphonique RTC ou dégroupée soit par un transmetteur téléphonique GSM utilisant une liaison GSM [39].

- **Application de télésurveillance (Application web)**

Une application web est une application manipulable grâce à un navigateur web. De la même manière que les sites web. Elle est généralement placée sur un serveur et se manipule en actionnant des équipements de la machine à l'aide d'un navigateur web, via un réseau informatique (Internet, intranet, réseau local, etc.) par une application de télésurveillance qui fait remonter des alarmes (brefs messages de données) du site surveillé vers la centrale de surveillance.

III. Architecture deux tiers

III.1 Définition

Dans une architecture deux tiers, encore appelée client-serveur de première génération ou client-serveur de données, le poste client se contente de déléguer la gestion des données à un service spécialisé. Le cas typique de cette architecture est une application de gestion fonctionnant sous Windows ou Linux (*Figure III.1*).
Ce type d'application permet de tirer parti de la puissance des ordinateurs déployés en réseau pour fournir à l'utilisateur une interface riche, tout en garantissant la cohérence des données, qui restent gérées de façon centralisée [38].



Figure III.1. Schéma générale de l'architecture deux tiers [38].

III.2 Avantages

- Elle permet l'utilisation d'une interface utilisateur riche ;
- Elle a permis l'appropriation des applications par l'utilisateur ;
- Elle a introduit la d'interopérabilité.
- Pour résoudre les limitations du client-serveur 2-tiers tout en conservant ses avantages, on a cherché une architecture plus évoluée, facilitant les forts déploiements à moindre coût. La réponse est apportée par les architectures distribuées [40].

IV. Application client serveur

IV.1 Site Serveur

L'objet dont on fait le suivi à distance et pour connaitre fonction de serveur on a besoin de savoir l'état des services ou bien fonction /dis-fonction de tous ces services [39].

IV.2 Site Client

La partie client d'une architecture client-serveur. Typiquement, un client est une application qui s'exécute sur un ordinateur personnel ou poste de travail et s'appuie sur un serveur pour effectuer certaines opérations. Par exemple, un client e-mail est une application qui vous permet d'envoyer et de recevoir des e-mails [38].

IV.3 Présentation de l'architecture client serveur

L'architecture client-serveur est un modèle de fonctionnement logiciel qui peut se réaliser sur tout type d'architecture matérielle (petites ou grosses machines), à partir du moment où ces architectures peuvent être interconnectées.

Le dialogue entre les applications peut se résumer par :

- Le client demande un service au serveur.
- Le serveur réalise ce service et renvoie le résultat au client.

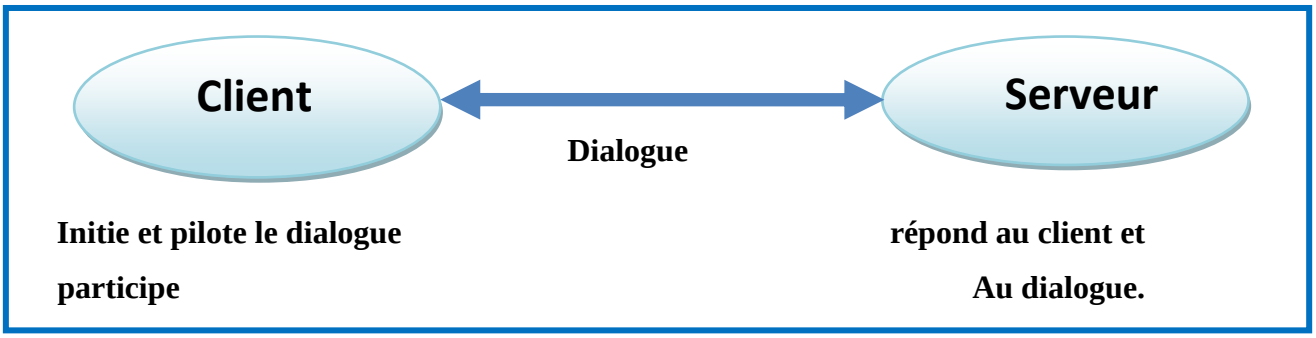


Figure III.2. Schéma générale du modèle C/S.

IV.4 Avantages de l'architecture client -serveur

Le modèle C/S est surtout recommandé pour des réseaux nécessitant un grand niveau de fiabilité, ses principaux atouts sont :

- Des ressources centralisées, communes à tous les utilisateurs.
- Une meilleure sécurité
- Une administration serveur en lieu et place d'une administration de n clients
- Un réseau évolutif (facile de supprimer et de rajouter des clients) [38].

IV.5 Protocol TCP/IP

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) ce dernier représente l'ensemble des règles de communication sur internet est se base sur la notion adressage IP, c'est t'a dire le fait de fournir une adresse IP à chaque machine du réseau afin de pouvoir acheminer des paquets de données.

IV.5.1 Utilisation du Protocol TCP/IP

L'acronyme TCP/IP est généralement utilisé pour désigner la suite de protocoles réseau composant la suite de protocoles Internet. Le terme Internet est souvent utilisé pour désigner à la fois la suite de protocoles et le WAN (Wide Area Network, réseau étendu) mondial. Dans ce manuel, TCP/IP fait référence à la suite de protocoles Internet.

Le terme Internet fait référence au WAN mondial et aux entités qui gouvernent Internet.

Pour connecter votre réseau TCP/IP à d'autres réseaux, vous devez obtenir une adresse IP unique pour votre réseau. Au moment de la rédaction de ce manuel, cette adresse est disponible auprès d'un fournisseur de services Internet (ISP, Internet Service Provider) [41].

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le domaine de télésurveillance. En effet, nous avons présenté leurs usages ainsi que leurs domaines d'applications.

Chapitre IV:

Conception

Et

Réalisation

I. Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire en détail le fonctionnement de notre application pour la télésurveillance d'un système physique industriel réalisée en deux étapes:

La première locale qui est réalisée sous Matlab et la deuxième à distance faite sous Android et NetBeans.

Une méthode de sélection des variables et une technique intelligente de réseaux de neurones artificiels sont implémentées sous le langage Matlab. A la fin nous allons utiliser une application client-serveur pour nous aider à télésurveiller notre système.

La méthode proposée est testée sur un ensemble de données de référence pris dans "*NASA prognostic data repository*" liée à des roulements utilisés dans différentes conditions d'exploitations.

II. Collection des données

Les données utilisées sont issues du site de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), cette dernière signifie l'administration gouvernementale responsable des programmes aéronautiques et spatiaux des États-Unis d'Amérique.

La collection de données contient des valeurs de vibration capturées par les huit capteurs qui sont placés sur les quatre roulements de la machine tournante. Ils sont organisés sous forme de matrices de dimension 8*2156 (c'est-à-dire: 8 capteurs et 2156 échantillons de vibration). Chaque échantillon contient 20480 valeurs.

III. Les outils utilisés

Pour la réalisation de cette application nous avons choisi de travailler avec :

- Matlab ;
- Android ;
- Java sous les IDE ;
- Eclipse ;
- NetBeans.

III.1 Matlab

Matlab (*Matrix LABoratory*) est un logiciel de calcul scientifique base sur la manipulation des matrices avec des fonctionnalités mathématiques, il est permet d'afficher des courbes de manière facile.

Il possède des syntaxes de programmation simples et efficaces, constituées de :

- de nombreux outils du calcul matriciel,
- des principaux algorithmes de l'analyse numérique (schémas d'intégration, interpolation, différentiation...),
- des outils pour le traitement du signal,
- des outils de visualisation en 2D et 3D.

III.1.1 Avantages du logiciel Matlab

- Collection très riche de librairies avec de nombreux algorithmes, dans des Domaines très variés. Exécution rapide car les librairies sont souvent écrites dans un langage compilé.
- Environnement de développement très agréable : aide complète et bien Organisée, éditeur intégré, etc.
- Support commercial disponible.

III.2 Android

C'est un système d'exploitation mobile pour Smartphones, tablettes tactiles, PDA (*Personal Digital Assistant*), Smartwatches et terminaux mobiles. C'est un système open source utilisant le noyau Linux.

III.2.1 Avantages d'android

- Disponibles sur un grand nombre de modèles de téléphones.
- Une personnalisation et un choix presque illimités.
- Un téléphone globalement plus rapide puisqu'il est dépossédé des surcouches imposées par les constructeurs.

- Certains téléphones ne peuvent pas être mis à jour. Les versions alternatives permettent d'utiliser une version plus récente d'Android afin de rester à jour.

III.3 Le langage Java

Le langage Java est un langage de programmation informatique orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems.

III.3.1 Avantages de langage java

- Java permet de créer des composantes logicielles (**classes**) qui représentent les objets du monde réel.
- Java est plus **puissante** que beaucoup d'autres langages.
- Java permet **facilement de développer** des applications client-serveur.
- Java est **gratuite**. On peut trouver sur internet tout ce qu'il faut pour créer des programmes java.
- Les logiciels qu'ils sont écrits par le langage Java sont facilement **portables** sur plusieurs systèmes d'exploitation sans modification.

III.4 Eclipse

Eclipse IDE (*Integrated Development Environment*) est un environnement de développement libre permettant de créer des programmes dans de nombreux langages de programmation (Java, C++, PHP. . .).

III.5 NetBeans

C'est un environnement de développement intégré (EDI) pour Java, placé en open Source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL et GPLv2 (Common Development and distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents Autres langages, comme Python, C, C++, XML, Ruby, PHP et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web).

IV. Architecture générale du banc d'essai

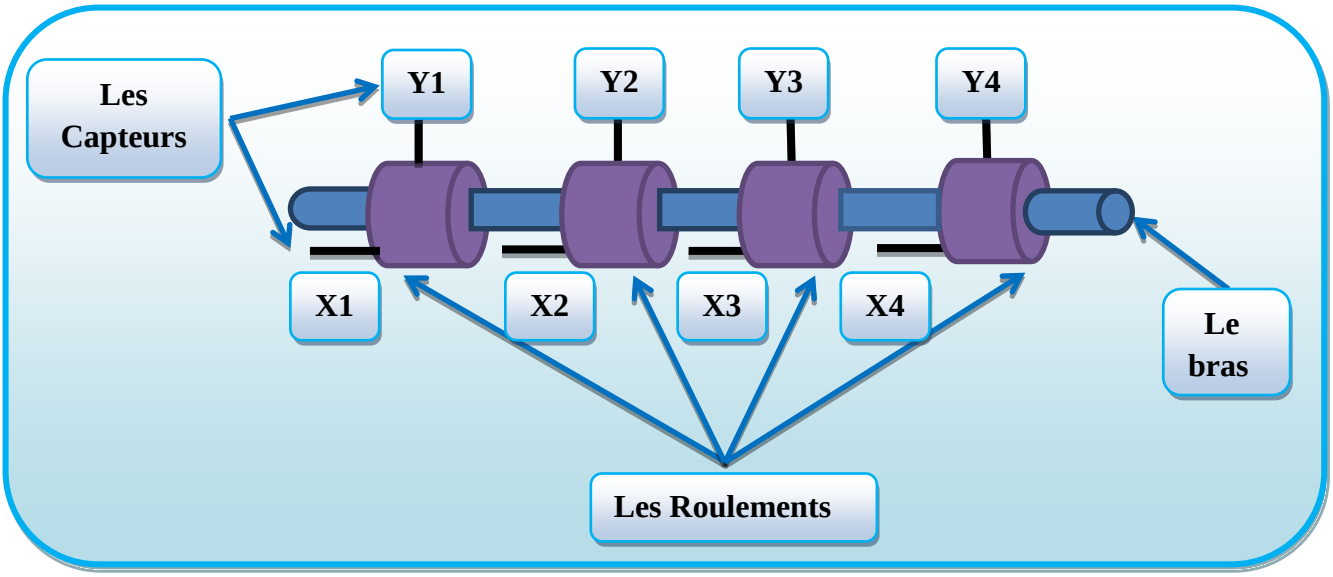


Figure IV.1. Architecture générale du banc d'essai.

Cette Architecture est basée sur la télésurveillance d'un système industriel qui contient une machine tournante avec un bras à quatre roulements, dont chaque roulement à deux capteurs l'un est horizontal (X) et l'autre vertical (Y).

V. Composants de l'application

Le développement de notre application passe par deux étapes:

1. Une étape locale réalisée sous Matlab qui contient:

- Une extraction des descripteurs à partir des données capteurs:

Ces descripteurs sont les caractéristiques statistiques temporelles des données (RMS, Moyenne, Skwness, Kurtosis, Facteur de crête, Facteur de défaut).

- Une sélection de paramètres basée sur la matrice de corrélation:

Le but est de garder les vecteurs les moins corrélées, donc le maximum d'information.

- Une classification en trois états de santé (saint, dégradée, et défectueux):

Basée sur la méthode intelligente d'apprentissage qui est les réseaux de neurones.

2. Une application client-serveur pour la télésurveillance:

- Le but est d'envoyer le résultat de la classification à un client mobile

VI. Diagramme d'activité

VI.1 Diagramme d'activité qu'illustre la consultation d'un client à l'état de système

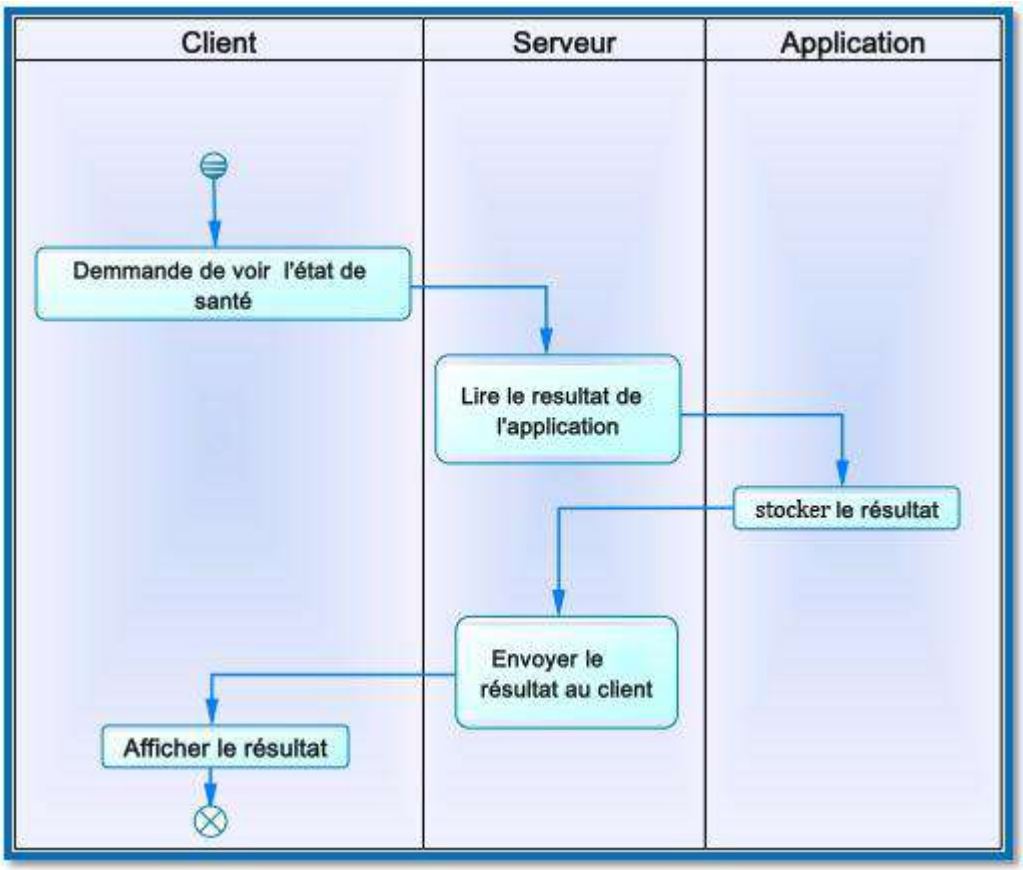


Figure IV.2. Diagramme d'activité qui illustre la consultation par un client de l'état du système.

VI.1.1 Explication du diagramme d'activité

1. Demande de voir l'état de santé du système: L'utilisateur envoie au serveur une demande pour voir l'état de santé du système.

2. Lire le résultat de l'application: L'application est sauvegardée le résultat dans un fichier texte.

3. Stocker le résultat: Récupération du dernier résultat stocker dans le fichier texte.

4. Envoie le résultat au client: Le serveur répond à la requête de client par l'envoie du dernier résultat stocké de l'état du système.

5. Afficher le résultat: Affichage du résultat sur le téléphone portable de client.

VII. Architecture générale de l'application

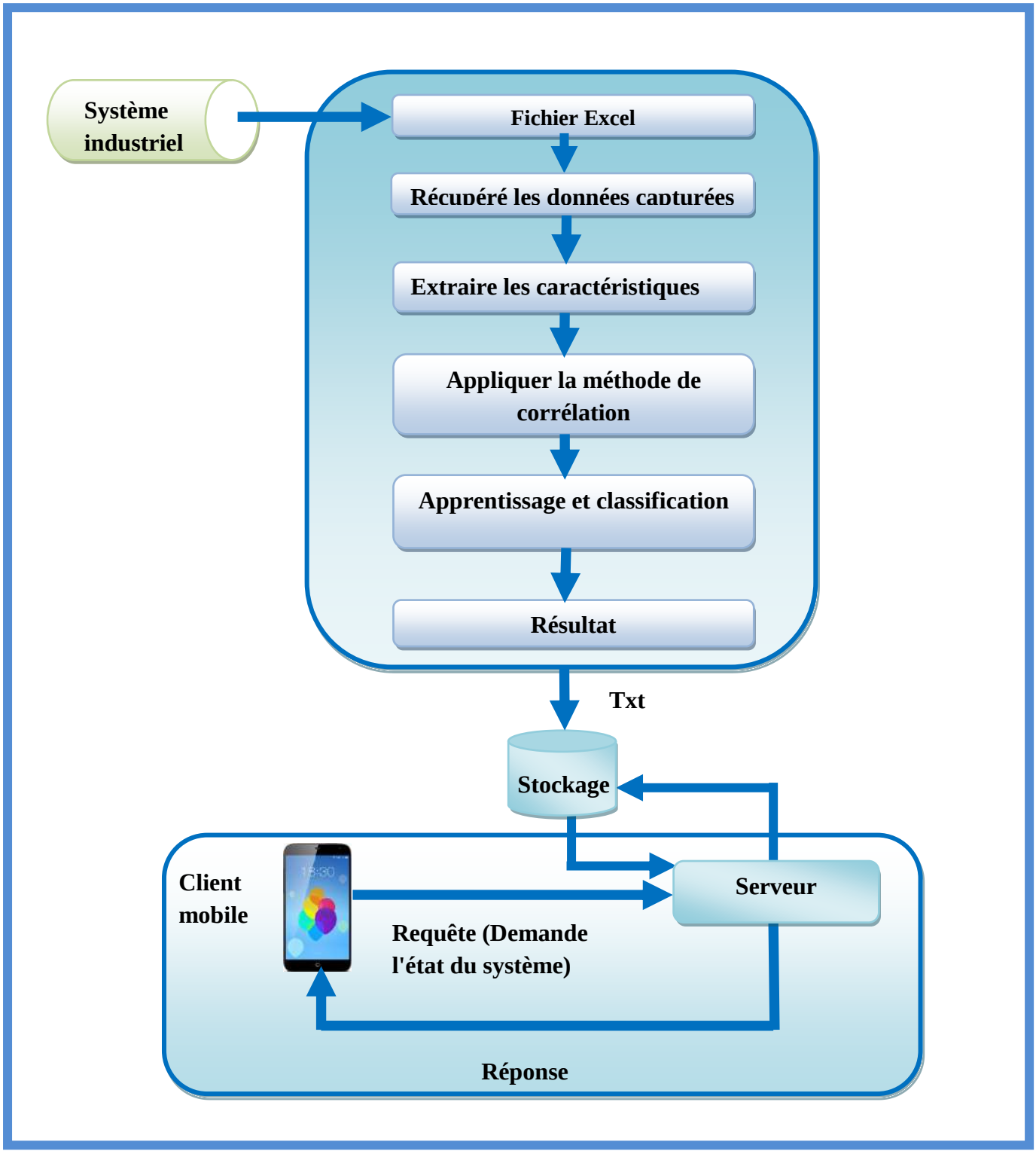


Figure IV.3. Architecture générale de l'application.

VII.1 Explication de l'architecture général de l'application

1. Fichier Excel: Les données de l'analyse vibratoire capturées sont stockées dans des fichiers Excel.

2. Récupérer des données capturées: Récupéré les données de vibration capturées par les huit capteurs (la matrice de 8*20480 valeurs) qui sont stockées dans des fichiers Excel.

3. Extraire les caractéristiques: Faire les calcule par les six paramètres statistiques temporels (RMS, Moyenne, Skwness, Kurtosis, Facteur de crête, Facteur de défaut).

4. Application de la méthode de corrélation: On applique cette méthode de sélection des variables pour garder les vecteurs moins corrélés (8 matrice de dimension 3*2156 échantillons).

5. Apprentissage et classement par les réseaux de neurones: Où la sortie de corrélation devient l'entrée de RN, on a utilisé trois classes pour classer l'état de santé du système (c1 c'est la bonne santé, c2 c'est l'état dégradée, et c3 c'est l'état défectueuse).

6. Résultat: Le résultat obtenue est enregistré dans un fichier texte.

7. Client mobile: Demande de voir l'état de santé du système.

8. Serveur: Envoie une réponse au client.

9. Affichage de résultat: Affichage du message daté sur le téléphone mobile du client, et déclencher l'alarme dans le cas de dégradation.

VIII. Fonctionnement de l'application

VIII.1 Etapes 1

VIII.1.1 Stockage des données

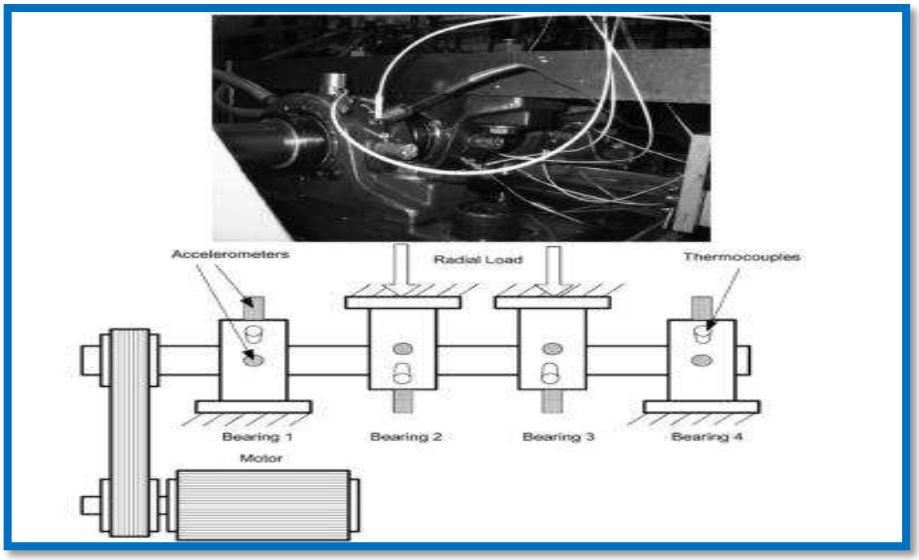


Figure IV.4. Présentation de dispositif de test et capteur placement portant clarification.

VIII.1.1.1 Organisation des données

Les données de vibration qui sont capturées par les huit capteurs, elles sont stockées sous forme huit colonnes selon le tableau suivant (*Tableau IV.1*) :

Tableau IV.1. Organisation des données collectées.

Colonne	1	2	3	4	5	6	7	8
Roulement	1	1	2	2	3	3	4	4
Capteur	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4

Le nom de fichier texte est indiqué lorsque les données sont collectées dans une période de 20 minutes et 1 seconde pour faire le traitement des données de chaque test.

Chaque enregistrement (ligne) dans le fichier de données est juste un point de données. Les données ont été échantillonnées à 20KHz.

VIII.1.2 Extraire les caractéristiques des données capturées

Cette méthode est basée sur le calcul statistique par les six paramètres statistiques temporelles qu'elle est résumé dans cet algorithme:

- **Algorithme 01:**

Algorithme 01: **Les descripteurs_temporels.**

Input: L'emplacement des fichiers texte sauvegardés;

Output: Les valeurs de descripteurs temporels (les huit matrice de dimension 6*2156);

Début

Sortir les données des fichier Excel;

Faire le calcul par les descripteurs temporels;

Temps d'attente =1;

Temps d'enregistrement = 1200;

Pour roulement = 1 à 4 **faire**

Tracer les six signaux des huit matrice des descripteurs temporelles;

Afficher la matrice 8[6*2156];

Fin pour;

Fin.

Figure IV.5. Descripteurs temporels.

```
>> m=test_descriptors_matrix_temporal{1}'

m =

    0.1246    0.1041    0.7200    5.7779   -0.0300    4.0692
    0.1238    0.1037    0.6540    5.2822   -0.0701    4.1616
    0.1252    0.1050    0.6230    4.9742   -0.0416    3.9863
    0.1252    0.1049    0.5980    4.7765    0.0052    4.0343
    0.1256    0.1048    0.6230    4.9595   -0.0602    4.1102
    0.1260    0.1052    0.5640    4.4766   -0.0542    4.0949
    0.1255    0.1050    0.6670    5.3154   -0.0210    3.8878
    0.1251    0.1048    0.6030    4.8211   -0.0142    3.9000
    0.1254    0.1052    0.6960    5.5504   -0.0207    3.9381
    0.1248    0.1044    0.6250    5.0069    0.0130    3.9224
    0.1251    0.1047    0.5570    4.4511   -0.0669    3.6840
    0.1248    0.1042    0.5570    4.4625   -0.0666    3.7326
    0.1241    0.1039    0.5520    4.4465   -0.0526    3.7467
    0.1244    0.1042    0.6230    5.0061   -0.0284    4.0712
    0.1247    0.1043    0.6880    5.5182   -0.0871    3.8286
    0.1285    0.1072    0.5880    4.5742   -0.0021    3.7532
    0.1266    0.1057    0.6130    4.8411   -0.0312    3.9998
    0.1273    0.1062    0.5180    4.0681   -0.0099    4.0271
    0.1259    0.1048    0.6450    5.1224   -0.0680    3.9372
    0.1264    0.1053    0.6010    4.7561   -0.1030    3.8244
    0.1264    0.1055    0.6150    4.8637   -0.0651    4.0542
    0.1272    0.1063    0.5740    4.5119   -0.0248    3.8575
    0.1263    0.1053    0.5910    4.6797   -0.0014    3.9446
    0.1278    0.1061    0.6350    4.9706   -0.1017    4.0723
    0.1256    0.1045    0.5100    4.0607    0.0085    3.7102
    0.1258    0.1049    0.6230    4.9518   -0.0647    4.0224
```

Figure IV.6. Affichage d'une matrice 6*2156.

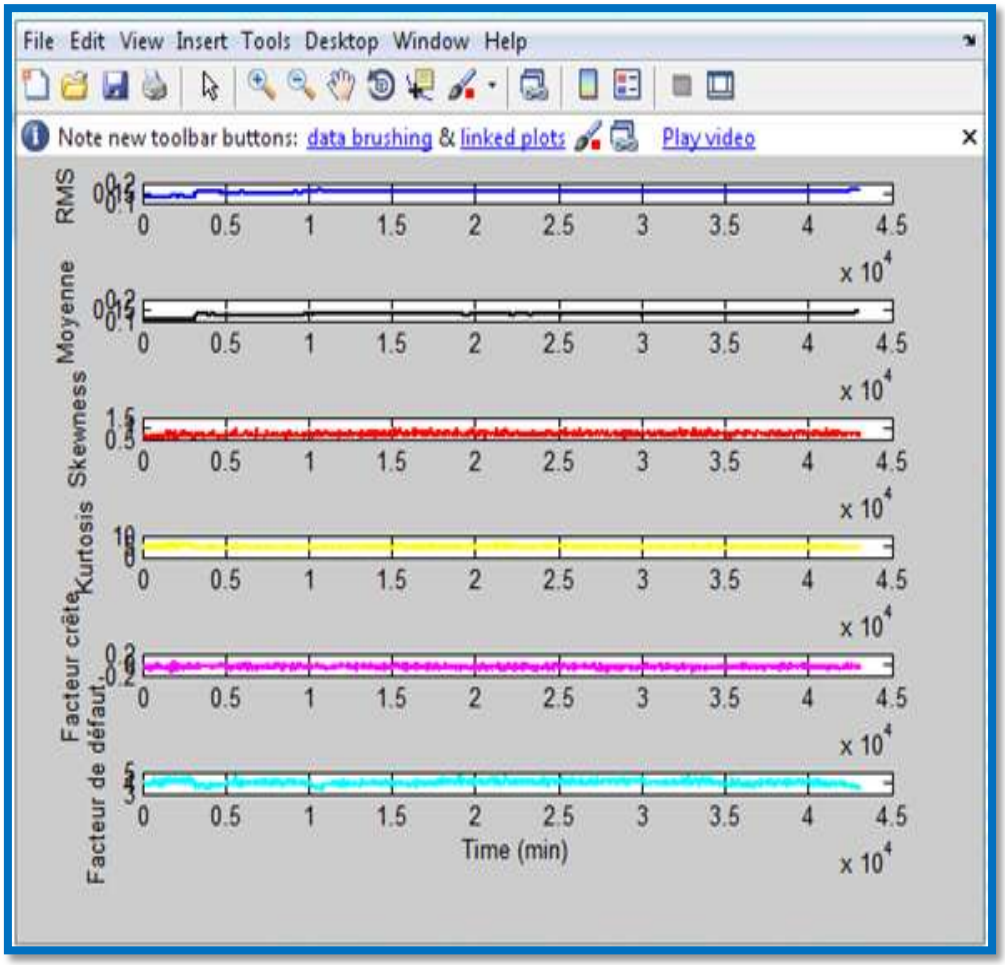


Figure IV.7. Affichage des signaux d'une matrice des descripteurs temporels.

VIII.1.3 Appliquer la méthode de corrélation

La matrice de corrélation c'est l'un des méthodes de réduction des paramètres pour but de connaitre les vecteurs des descripteurs temporelles qu'ils ont une relation linaire entre eux afin de les supprimer vecteurs, en suivant cette algorithme:

- **Algorithme 02:**

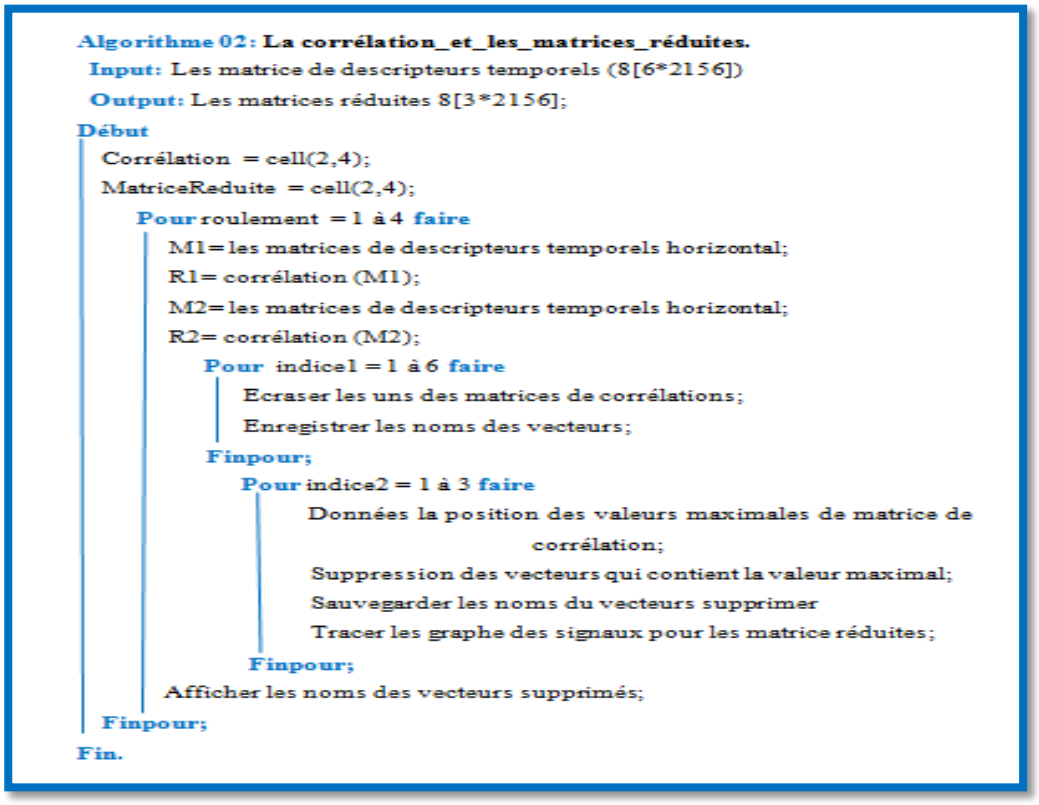


Figure IV.8. La corrélation et les matrices réduites.

Exemple de la matrice de corrélation:

- **a.** (*Tableau IV.2*) :

M1= Corr (test_descriptors_matrix_temporal {1}')

Size(M1)= 2156 * 6

R1 = Corr(M1) % corrélation

Tableau IV.2. Exemple d'une matrice de corrélation (6*6).

	RMS	Moyenne	Skewness	Kurtosis	F. crête	F.défaut
RMS	1.0000	0.9932	0.3162	-0.1408	0.0445	-0.2051
Moyenne	0.9932	1.0000	0.2967	-0.1600	0.0679	-0.1943
Skewness	0.3162	0.2967	1.0000	0.8932	-0.3193	0.4311
Kurtosis	-0.1408	-0.1600	0.8932	1.0000	-0.3551	0.5436
F. crête	0.0445	0.0679	-0.3193	-0.3551	1.0000	-0.2482
F. défaut	-0.2051	-0.1943	0.4311	0.5436	-0.2482	1.0000

➢ **b.**On a arrêt quand les valeurs de corrélation sont inférieures à 0.5 comme suit dans le tableau (*Tableau IV.3*) :

Tableau IV.3. Exemple d'une matrice de corrélation (3*3).

	Kurtosis	F. crête	F. défaut
Kurtosis	1.0000	0.0769	0.4581
F. crête	0.0769	1.0000	0.2942
F. défaut	0.4581	0.2942	1.0000

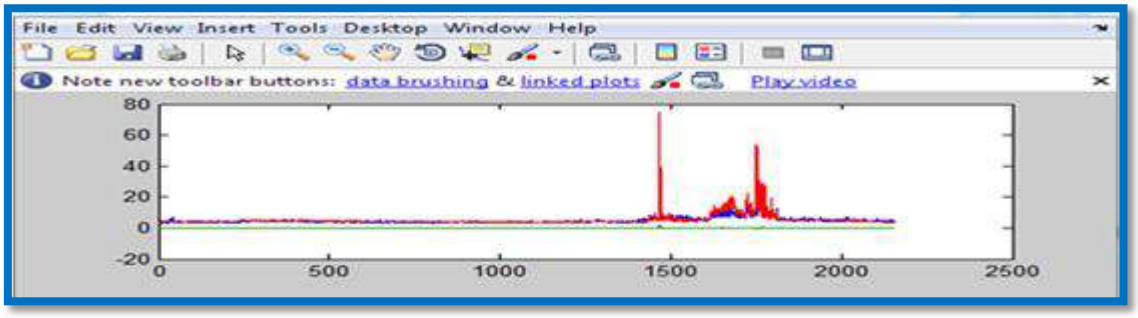


Figure IV.9. Affichage des signaux indépendants d'une matrice de dimension 3*2156.

VIII.1.4 Affichage des indices des vecteurs supprimés

L'instruction de `"colM1_s= [colM1_s j]"` permet de garder les indices des vecteurs supprimé (*Figure IV.10*)

```
colM1_s =

     2     1     1
```

Figure IV.10. Affichage des indices des vecteurs supprimés.

➢ Les vecteurs sont définis comme suis:

- ✓ 1: RMS.
- ✓ 2: Moyenne.
- ✓ 3: Skewness.
- ✓ 4: Kurtosis.

- ✓ 5: Facteur de crête.
- ✓ 6: Facteur de défaut.

➢ Les vecteurs supprimés sont: (2, 1, 1)

- ✓ 2: Moyenne.
- ✓ 1: RMS, les vecteurs renumérotés de 1 à 5.
- ✓ 1: Skewness, pour la troisième fois les vecteurs sont numérotés de 1 à 4.

➢ Les vecteurs restant sont: Kurtosis, Facteur de crête, Facteur de défaut.

Pour obtenir les 8 matrices réduite de dimension 3*2156 pour chaque capteur on appliquer l'instruction suivant : Mj=MatriceReduite {j}, j=1 :8

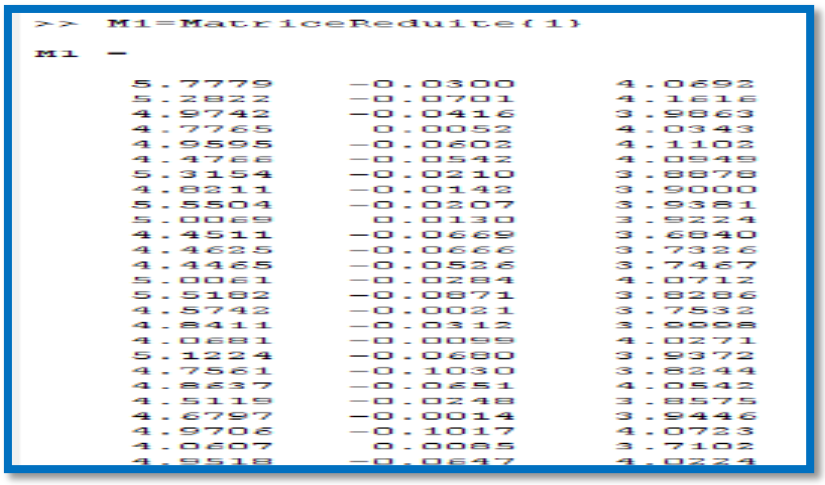


Figure IV.11. Affichage d'une matrice 3*2156.

VIII.1.5 Application de réseaux de neurone sur les données Sélectionnées

➢ **Toolbox NFTOOL de Matlab**

Le TOOLBOX NFTOOL « Neural Network Fitting Tools» de Matlab est un outil puissant, utilisé pour l'application de l'algorithme de rétro propagation « back-propagation (BP) », qui permet de fait l'apprentissage et la classification des données.

Pour lancer le TOOLBOX NFTOOL on exécute l'instruction « nftool » dans la zone de travail «Workspace» du MATLAB.

Après avoir exécuté la commande «nftool», apparait une représentation pour l'appel de Toolbox nftool Matlab.

Par la suite on fait le chargement et la sélection des entrées « inputs » et les Sorties « targets ».

Après cas on choisir les pourcentages d'apprentissage, validation et teste.

Par la suite on choisir le nombre de neurones dans La couche cachée.

Pour obtient L'apprentissage de notre réseau de neurone on fait le « train ».

- **Architecture du Réseau de neurone**

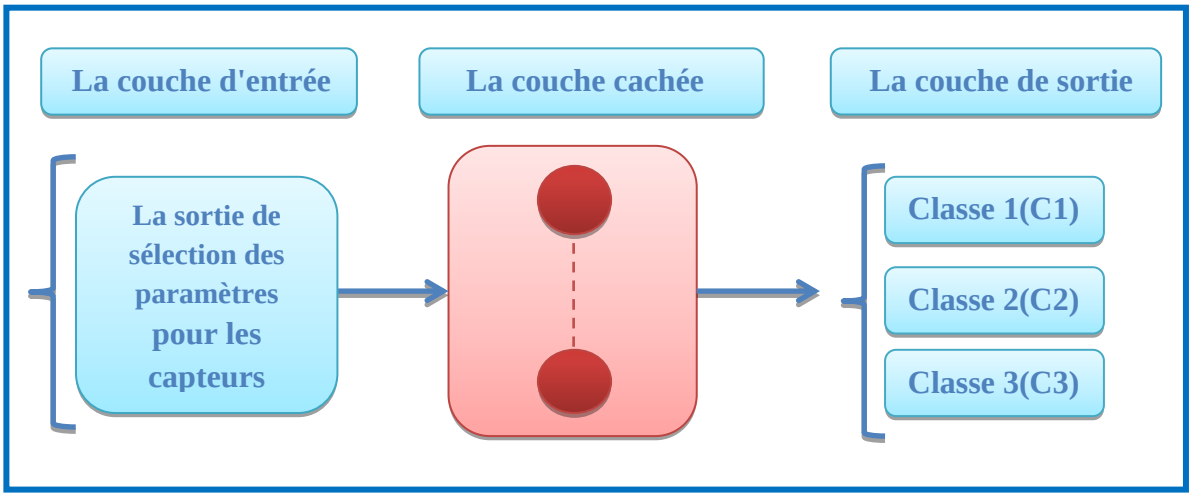


Figure IV.12. Architecture de Réseau de neurone.

La classe 1 de dimension 1*1482 et de pourcentage 68,75%

La classe 2 de dimension 1*376 et de pourcentage 17,41%

La classe 3 de dimension 1*298 et de pourcentage 13,84%

- **L'Algorithme 03:**

```
Algorithme 03: Classification_et_codage_par_les_RN.
Input: Matrice M;
Output: Yd = Le vecteur de classement des classes;
Début
    Affichage Yd;
Fin.
```

Figure IV.13. Classification et codage du RN.

➢ **Back propagation**

- **Principe**

L'algorithme de back propagation a été développé en particulier par *Rumelhart* et *ParkenetLeCun* en 1985. C'est un algorithme qui peut être appliqué pour les RNA multicouche pour l'apprentissage supervisé. Chaque neurone est relié à tous les neurones de la couche suivante À l'aide des poids.

Cet algorithme repose sur la minimisation de l'erreur quadratique entre les sorties calculées et celles souhaitées.

- **Architecture :**

L'architecture de l'algorithme de back propagation est présentée au Figure V.

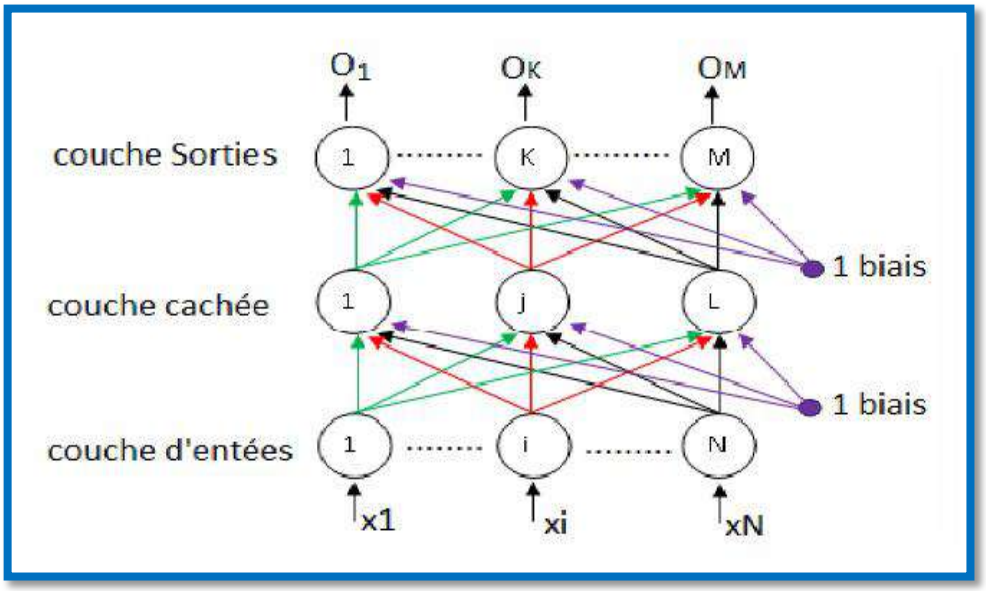


Figure IV.14: Architecture d'algorithme de Back-Propagation.

➢ **Codage de la sortie**

Puisque les entrée de la base sont des valeurs réel on est obligée de codée la sortie pour l'utiliser plus tard en réseau de neurone, (le *tableau IV.4)* contient 3 types de codage :

Tableau IV.4. Codage de la sortie.

Les codes	Classe1	Classe2	Classe3
Code1	1	2	3
Code2	-1	0	1
Code3	0.5	1	1.5

Pour assurer le bon codage de la sortie, on a changé le nombre de neurones «nb» dans la couche cachée pour chaque code avec les 8 matrices de dimension 3*2156 échantillon dont ces tests sont regroupés dans les tableaux suivants:

Tableau IV.5. Choix de codage de la sortie Pour M1.

Matrice M1	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0,4976	0,4789	0,4725
Code 2	0,4934	0,4635	0,4465
Code 3	0,1696	0,1687	0,1631

Tableau IV.6. Choix de codage de la sortie Pour M2.

Matrice M2	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0.4563	0.4498	0.4419
Code 2	0.4559	0.4427	0.4445
Code 3	0.1164	0.1159	0.1158

Tableau IV.7. Choix de codage de la sortie Pour M3.

Matrice M3	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0,4455	0,4364	0.4359
Code 2	0,4505	0,4351	0,4351
Code 3	0,1606	0,1551	0,1584

Tableau IV.8. Choix de codage de la sortie Pour M4.

Matrice M4	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0.4754	0.4682	0.4374
Code 2	0.4693	0.4583	0.4493
Code 3	0.1179	0.1140	0.1148

Tableau IV.9. Choix de codage de la sortie Pour M5.

Matrice M5	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0,2158	0,2122	0,2125
Code 2	0,2185	0,2183	0,2159
Code 3	0,09396	0,0693	0,0971

Tableau IV.10. Choix de codage de la sortie Pour M6.

Matrice M6	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0.2435	0.2402	0.2322
Code 2	0.2406	0.2399	0.2390
Code 3	0.0603	0.0603	0.0582

Tableau IV.11. Choix de codage de la sortie Pour M7.

Matrice M7	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0,2842	0,2777	0,2846
Code 2	0,2892	0,2881	0,2859
Code 3	0,1174	0,1145	0,1135

Tableau IV.12. Choix de codage de la sortie Pour M8.

Matrice M8	**Erreur**		
	NB=20	**NB=50**	**NB=70**
Code 1	0.2766	0.2805	0.2836
Code 2	0.2741	0.2742	0.2777
Code 3	0.0703	0.0719	0.0715

Pour assurer la bonne classification des matrices, on a choisi le meilleur code qui donne la plus petite erreur pour les 8 matrices qu'est le code 3 pour le moment, mais l'erreur minimale ce n'est pas le critère le plus important pour le choix de codage. C'est pour cela on fait aussi les tests de classification où le (*Tableau IV.13*) regroupe ces résultats.

Tableau IV.13. Classification de RN pour les matrices de dimension 3*2156.

	Les Codes	**Classification**								
		NB=20			**NB=50**			**NB=70**		
		C1	**C2**	**C3**	**C1**	**C2**	**C3**	**C1**	**C2**	**C3**
Matrice M1	**Code 1**	1091/ 1482 (51%)	123/ 376 (6%)	0/298 (0%)	935/ 1482 (43%)	189/ 376 (9%)	0/298 (0%)	987/ 1482 (46%)	174/ 376 (8%)	5/298 (0.2%)
	Code 2	1003/ 1482 (47%)	163/ 376 (8%)	5/298 (0.2%)	976/ 1482 (45%)	182/ 376 (9%)	7/298 (0.3%)	1043/ 1482 (48%)	192/ 376 (9%)	12/ 298 (0.6%)
	Code 3	1100/ 1482 (51%)	103/ 376 (9%)	0/298 (0%)	931/ 1482 (43%)	169/ 376 (9%)	1/298 (0.04 %)	969/ 1482 (45%)	156/ 376 (7%)	0/298 (0%)
	Code 1	961/ 1482	203/ 376	1/298	848/ 1482	219/ 376	1/298	898/ 1482	96/ 376	5/298

Matrice M2		(45%)	(9%)	(0%)	(44%)	(10%)	(0%)	(42%)	(4%)	(0%)
	Code 2	910/ 1482 (42%)	216/ 376 (10%)	0/298 (0%)	964/ 1482 (45%)	216/ 376 (10%)	0/298 (0%)	1010/ 1482 (47%)	190/ 376 (9%)	1/298 (0%)
	Code 3	0/1482 (0%)	373/ 376 (17%)	1/298 (0%)	0/148 2 (0%)	373/ 376 (17%)	1/298 (0%)	0/1482 (0%)	372/ 376 (17%)	1/298 (0%)
Matrice M3	**Code 1**	1130/ 1482 (53%)	150/ 376 (7%)	24/29 8 (1.2%)	1123/ 1482 (52%)	170/ 376 (8%)	17/29 8 (0.8%)	1186/ 1482 (55%)	141/ 376 (7%)	28/29 8 (1.3%)
	Code 2	1113/ 1482 (52%)	154/ 376 (7%)	29/29 8 (1.3%)	1155/ 1482 (54%)	162/ 376 (8%)	24/29 8 (1.1%)	1188/ 1482 (55%)	150/37 6 (7%)	55/29 8 (3%)
	Code 3	0/1482 (0%)	376/ 376 (17%)	0/298 (0%)	0/148 2 (0%)	150/3 76 (7%)	0/298 (0%)	0/1482 (0%)	0/376 (0%)	0/298 (0%)
Matrice M4	**Code 1**	977/ 1482 (45%)	187/ 376 (9%)	16/ 298 (1%)	1095/ 1482 (51%)	144/ 376 (7%)	15/ 298 (1%)	1070/ 1482 (50%)	192/ 376 (9%)	17/29 8 (1%)
	Code 2	1134/ 1482 (53%)	139/ 376 (6%)	13/ 298 (1%)	985/ 1482 (46%)	199/ 376 (9%)	14/ 298 (1%)	1026/ 1482 (48%)	203/ 376 (9%)	17/29 8 (1%)
	Code 3	0/ 1482 (0%)	375/ 376 (17%)	1/ 298 (0%)	0/ 1482 (0%)	375/ 376 (17%)	1/ 298 (0%)	0/ 1482 (0%)	372/ 376 (17%)	1/298 (0%)

Matrice M5	**Code 1**	1370/ 1482 (64%)	70/376 (3%)	204/ 298 (9%)	1371/ 1482 (64%)	71/376 (3%)	208/ 298 (10%)	1368/ 1482 (64%)	80/376 (4%)	209/ 298 (10%)
	Code 2	1360/ 1482 (63%)	80/376 (4%)	205/ 298 (9%)	133/ 1482 (6%)	67/376 (3%)	211/ 298 (10%)	1348/ 1482 (63%)	76/376 (4%)	199/ 298 (9%)
	Code 3	0/1482 (0%)	289/ 376 (13%)	0/298 (0%)	0/1482 (0%)	295/ 376 (14%)	0/298 (0%)	0/1482 (0%)	289/376 (13%)	0/298 (0%)
Matrice M6	**Code 1**	1433/ 1482 (66%)	18/ 376 (1%)	207/ 298 (10%)	1413/ 1482 (66%)	32/ 376 (1%)	207/ 298 (10%)	1405/ 1482 (65%)	49/ 376 (2%)	208/ 298 (10%)
	Code 2	1425/ 1482 (66%)	29/ 376 (1%)	205/ 298 (10%)	1417/ 1482 (66%)	33/ 376 (1%)	204/ 298 (9%)	1345/ 1482 (62%)	42/ 376 (2%)	205/ 298 (10%)
	Code 3	0/ 1482 (0%)	373/ 376 (17%)	1/ 298 (0%)	0/ 1482 (0%)	370/ 376 (17%)	1/ 298 (0%)	0/ 1482 (0%)	374/ 376 (17%)	1/ 298 (0%)
Matrice M7	**Code 1**	1221/ 1482 (57%)	369/ 376 (17%)	0/298 (0%)	1223/ 1482 (57%)	369/ 376 (17%)	0/298 (0%)	1216/ 1482 (56%)	368/376 (17%)	0/298 (0%)
	Code 2	1223/ 1482 (57%)	370/ 376 (17%)	0/298 (0%)	1223/ 1482 (57%)	369/ 376 (17%)	0/298 (0%)	1222/ 1482 (57%)	369/376 (17%)	0/298 (0%)
	Code 3	0/1482 (0%)	0/376 (0%)	0/298 (0%)	0/1482	261/ 376 (12%)	0/298 (0%)	0/1482 (0%)	265/376	0/298 (0%)

					(0%)				(12%)	
Matrice M8	**Code 1**	1239/ 1482 (57%)	333/ 376 (15%)	1/298 (0%)	1243/ 1482 (58%)	333/ 376 (15%)	17/29 8 (1%)	1227/ 1482 (57%)	331/ 376 (15%)	17/ 298 (1%)
	Code 2	1253/ 1482 (58%)	330 / 376 (15%)	5/298 (0%)	1240/ 1482 (58%)	326/ 376 (15%)	11/29 8 (0%)	1239/ 1482 (57%)	331/ 376 (15%)	9/298 (0%)
	Code 3	0/1482 (0%)	373/ 376 (17%)	1/298 (0%)	0/148 2 (0%)	374/ 376 (17%)	1/298 (0%)	0/1482 (0%)	374/ 376 (17%)	1/298 (0%)

D'après ces résultats de ces tableaux on a remarqué que le meilleur code et le meilleur nombre de neurones dans la couche cachée pour cette apprentissage c'est le **code 1** (1, 2, 3) avec **NB=70** puisque il nous donne une bonne classification pour les 3 classes avec la majorité des matrices. Donc la classification c'est le critère le plus important pour le choix de codage.

- **L'Application**

L'application a pour but de minimiser l'erreur entre la sortie réelle (**Yr**) c'est-adire la sortie de réseau de neurones et la sortie désirée (**Yd**) afin de faire la meilleure classification puis l'apprentissage de ce **RN** suivant les étapes suivantes :

✓ **1:** Sortir la fenêtre de Neural Network Fitting Tool par la commande "*nftool*" qui est écrié sur l'espace Matlab.

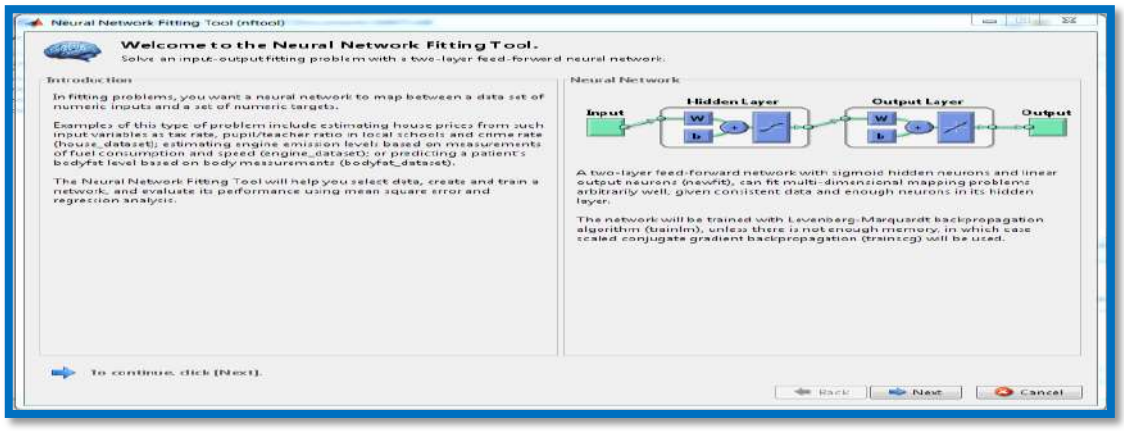


Figure IV.15. Affichage de la fenêtre nftool.

✓ **2:** Choie du nom du données d'entrée "*input data*" et de sortie "*targets data*".

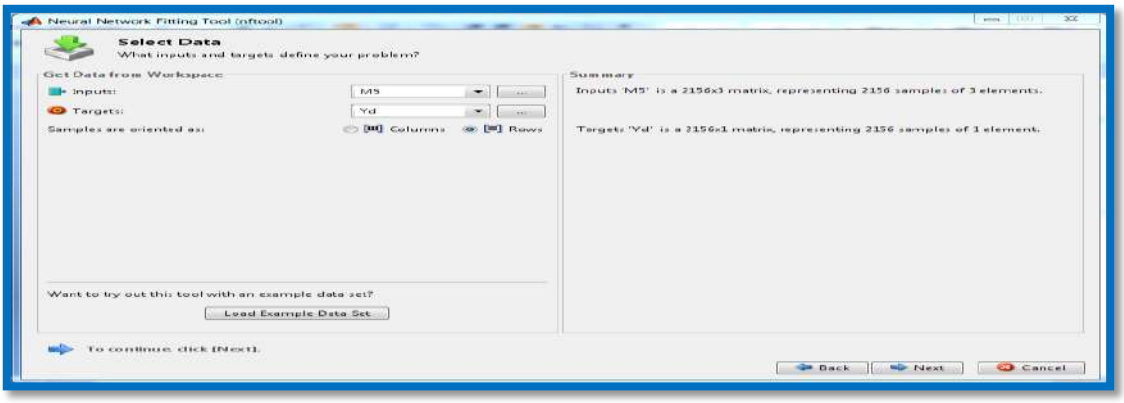


Figure IV.16. Chargement des entrées et des sorties de programme.

✓ **3:** Choie du pourcentage de "Testing = 5%" et "Validation = 5%" pour être la valeur de "Traing = 90%", c'est à dire le plus grand nombre de valeurs d'apprentissage.

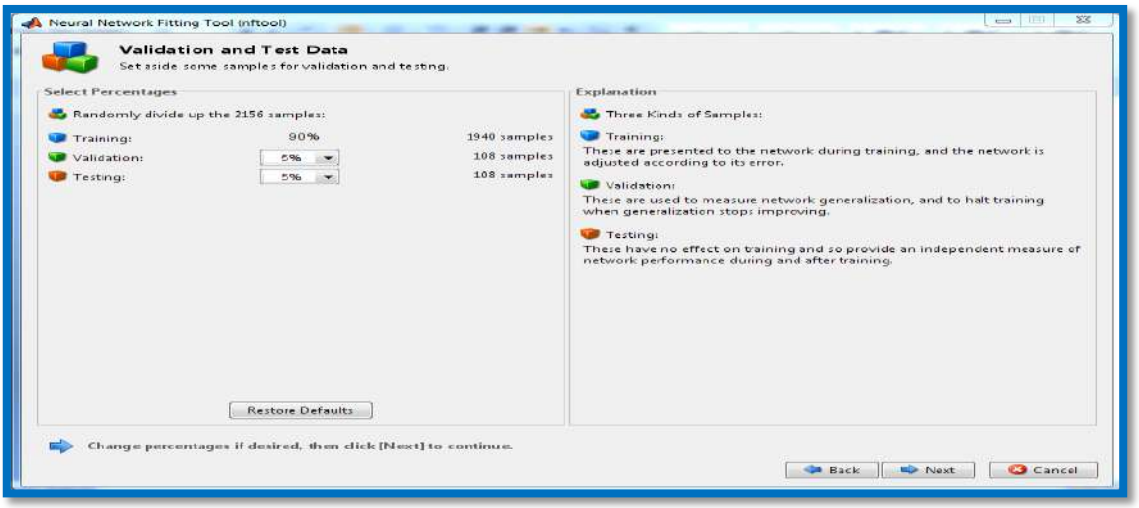


Figure IV.17. Chargement des pourcentages.

✓ **4:** Choie du nombre de neurone dans la couche cachée (Nb= 70).

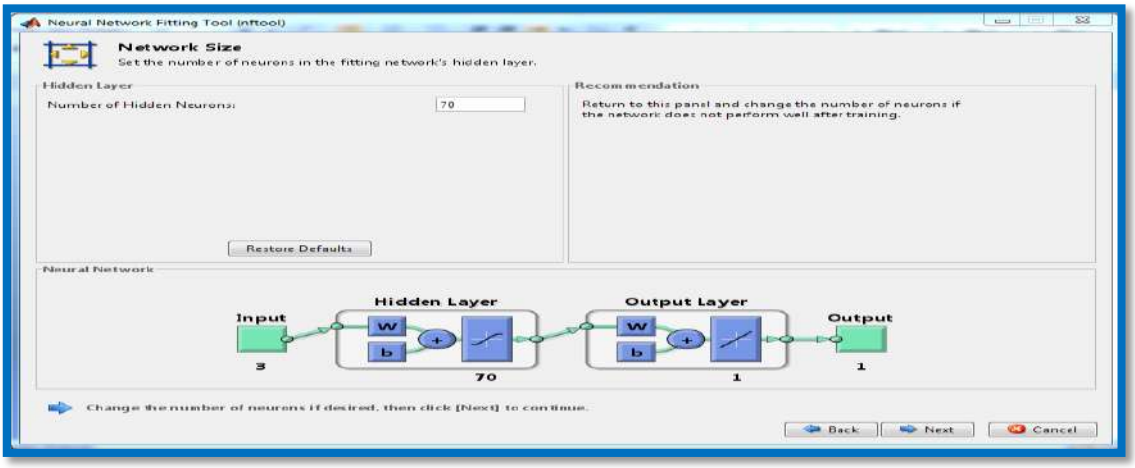


Figure IV.18. Choix du nombre de neurones dans la couche cachée.

✓ **5:** Clique sur "*Train*" pour sortir l'erreur.

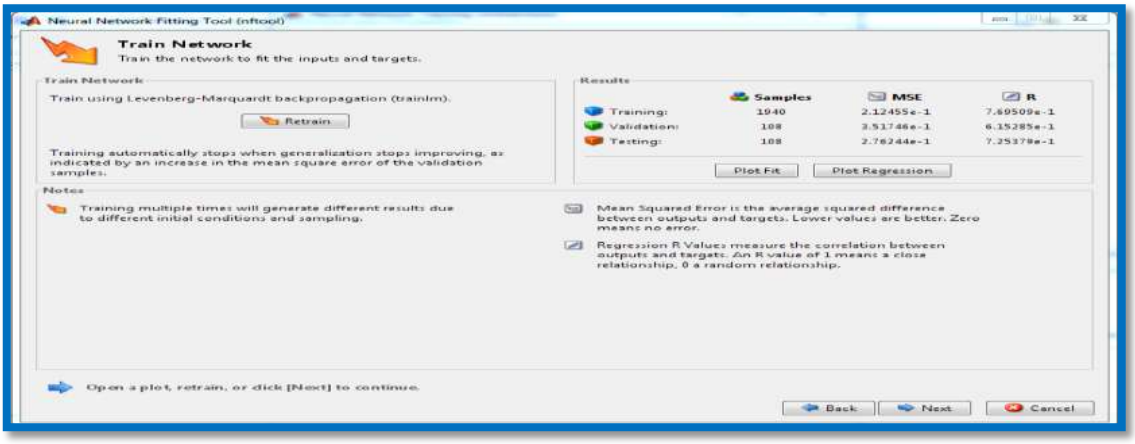


Figure IV.19. Démarrage de l'apprentissage.

✓ **6:** La fenêtre de Neural Network Training.

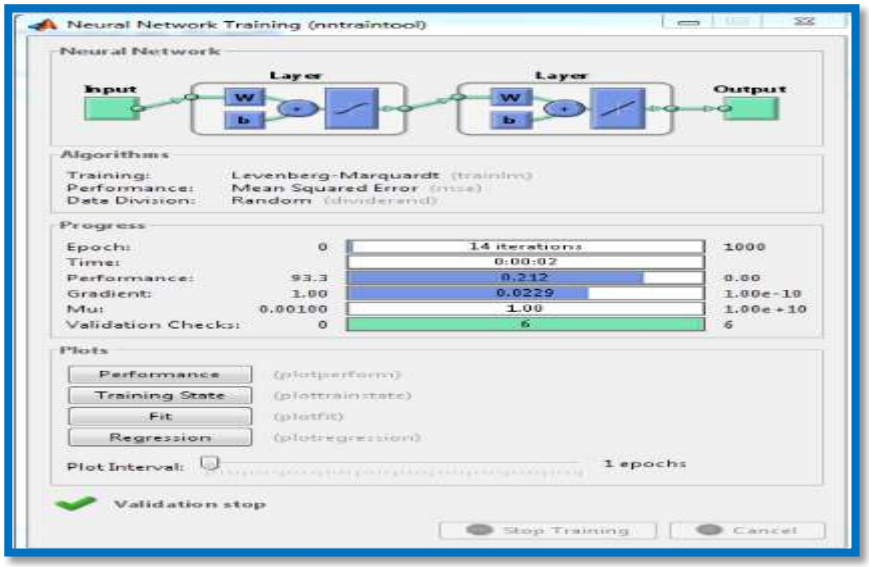


Figure IV.20. Résultat de l'apprentissage.

✓ **7:** La performance.

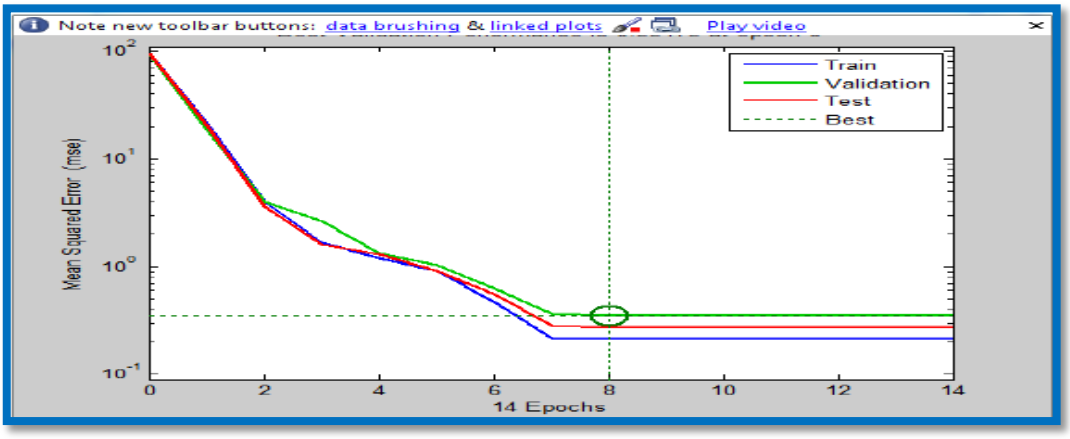


Figure IV.21. Affichage des graphes de performance (MSE).

✓ **8:** Nommer et sauvegarder le réseau de neurones.

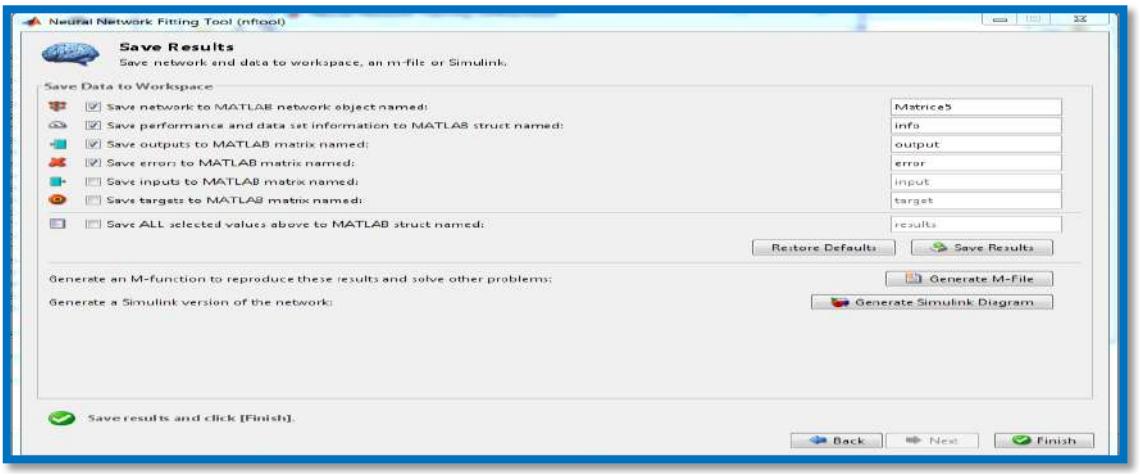


Figure IV.22. Nommer et sauvegarder le RN.

✓ **9:** Affichage du Yd.

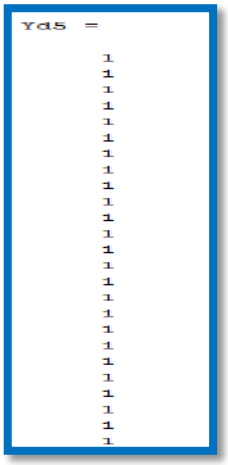


Figure IV.23. Exemple de l'affichage de la sortie "Yd".

✓ **10:** Affichage de l'Yr.

- Pour tester le réseau de neurone par l'instruction Sim (*Figure IV.24*).

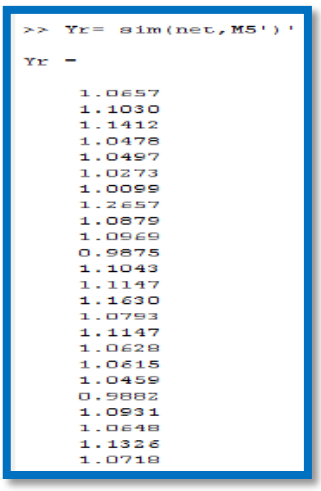


Figure IV.24. Exemple de l'affichage du "Yr".

✓ **11:** Affichage du l'erreur.

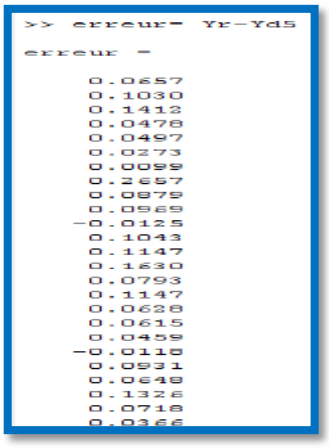


Figure IV.25. Affichage d'exemple de l'erreur.

✓ **12:** Erreur maximal.

➢ A partir du résultat des tests précédant, on a remarqué que les deux matrices (M5, M8) sont les biens classées.

➢ On a proposé une solution pour connaitre l'état de santé de notre système qui suit les étapes suivantes:

- On a divisé la matrice d'entrées en deux:
  - ✓ La première matrice: M1= (1482+376 = 1858).
  - ✓ La deuxième matrice: M2= (376+298= 674).
- La sortie a divisé en deux classes:
  - ✓ Yd1 = (c1, c2).
  - ✓ Yd2 = (c2, c3).

- Le choix du codage "code 1 = 1 2 3" et le NB = 70 puisqu'ils nous donnent la meilleure classification.
- Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants:

Tableau IV.14. Choix de codage de la sortie pour M5 divisé (M1).

	NB=70		
Matrice M5	**Erreur**	**Classification**	
		C1	**C2**
Code 1	0,1354	1471/1482	49/376

Tableau IV.15. Choix de codage de la sortie pour M5 divisé (M2).

	NB=70		
Matrice M5	**Erreur**	**Classification**	
		C2	**C3**
Code 1	0,1137	323/376	236/298

Tableau IV.16. Choix de codage de la sortie pour M8 divisé (M1).

	NB=70		
Matrice M8	**Erreur**	**Classification**	
		C1	**C2**
Code 1	0.0585	1458/1482(78 %)	247/376(13%)

Tableau IV.17. Choix de codage de la sortie pour M8 divisé (M2).

	NB=70		
Matrice M8	**Erreur**	**Classification**	
		C2	**C3**
Code 1	0.1285	283/376(42 %)	264/298(39%)

- L'état de santé du système, résultant du RN (c1, c2 ou c3) est sauvegardé dans un fichier daté. Ces résultats sont envoyés à l'utilisateur de l'application mobile, si ce dernier l'est demande. Sinon l'application serveur envoie d'elle-même une alerte vers l'application mobile si le système industriel passe d'un état vers un autre plus dégradé. L'application client-serveur responsable de cette communication et le sujet de chapitre quatre.
- **Algorithme**

Après les résultats de RN on va choisi parmi les huit matrices les deux matrices biens classées pour faire l'apprentissage qui sont M5 et M8 et le reste pour le test.

- Les matrices M1, M3 et M7 pour tester la matrice M8.
- Les matrices M2, M4 et M6 pour tester la matrice M5.

Les résultats du testM5 par M6 sont montrés dans (*Figure IV.26*)

On va choisira aléatoirement un vecteur d'entrés pour voir est ce que le vecteur appartient à la classe d'état bon, dégradé ou bien défectueux ?

Le résultat d'état est enregistré dans un fichier texte avec sa date.

A partir le classement et les tests, on a remarqué que les vibrations donnés par les capteurs impairs sont les meilleurs.

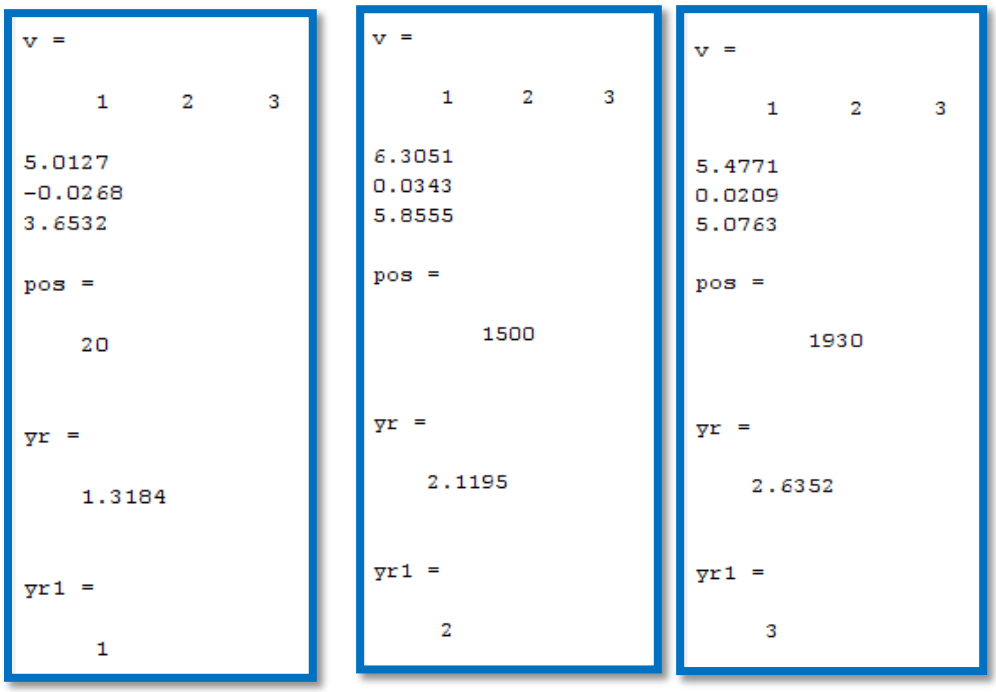
Algorithme 04: Classification des vecteurs et affichage de l'état de santé daté.

Input: le vecteur d'entré choisi parmi les matrices de test

Output: Yrl qui donne la classification avec sa position

```
Début
    V = [1 2 3];
    Pour i = 1 à 3 faire
        Charger (V);
    Finpour;
    Initialisation de la position;
    Pour i = 1 à 2156 faire
        Comparison de vecteur saisie avec le vecteur de la matrice;
        Si (le vecteur est trouvé) alors
            Donne sa position;
            Sortir de la boucle;
        Finsi;
    Finpour;
        Ouvrir un fichier texte;
        Si (position <= 1482)
            Concaténer le numéro de l'état avec la classe bonne;
            Récupérer le numéro de l'état avec sa date;
        Sinon
            Concaténer le numéro de l'état avec la classe dégradée ou défectueuse;
            Récupérer le numéro de l'état avec sa date;
        Finsi;
        Fermer le fichier texte;
Fin.
```

Figure IV.26. Choix de RN et sauvegarde l'état dans un fichier texte.



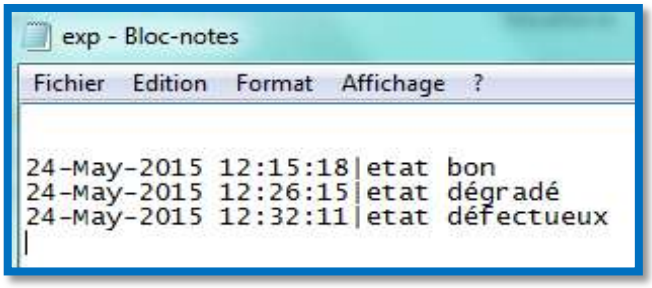


Figure IV.27. Résultats des tests de classification datée dans un fichier texte.

Les trois vecteurs sont classés puisque :

- ✓ V= [5.0127 -0.0268 3.6532] ca position=20 appartient à (1, 1482) c'est la classe 1 (état bon).
- ✓ V= [6.3051 0.0343 5.8555] ca position=1500 appartient à (1483, 1858) c'est la classe 2 (état dégradé).
- ✓ V= [5.4771 0.0209 5.0763] ca position=1930 appartienne à (1859, 2156) c'est la classe 3 (état défectueux)

VIII.2 Etapes 2

VIII.2.1 Architecture du client-serveur

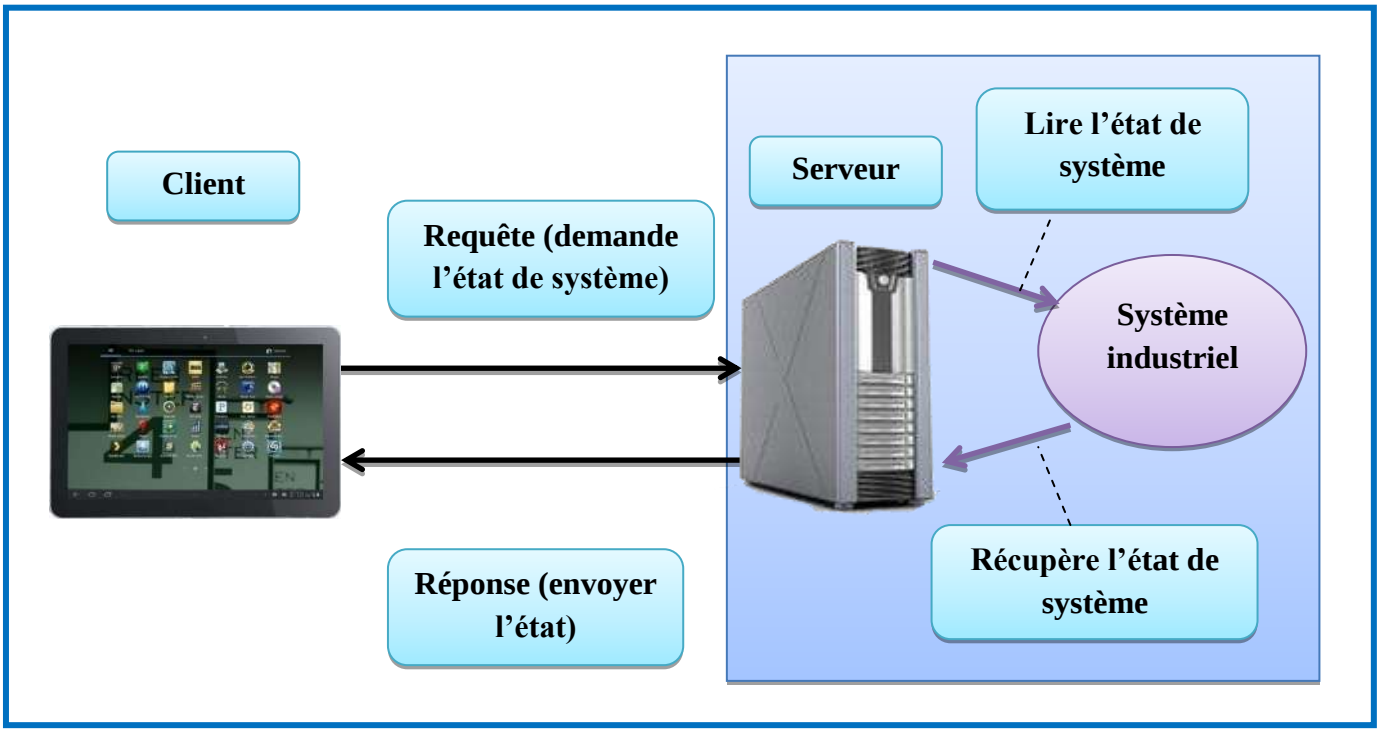


Figure IV.28. Architecture de l'application client-serveur.

VIII.2.2 Explication de l'architecture

Cette architecture à deux tiers représente l'application client-serveur qu'utilise le protocole TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Le client qu'utilise l'application installé sur Android doit envoyer une requête au serveur qui lui envoie la réponse qui représente l'état de santé du système sous forme d'un message sur son téléphone mobile et déclencher une alarme si le système est dégradé ou défectueux (*Figure IV.29*).

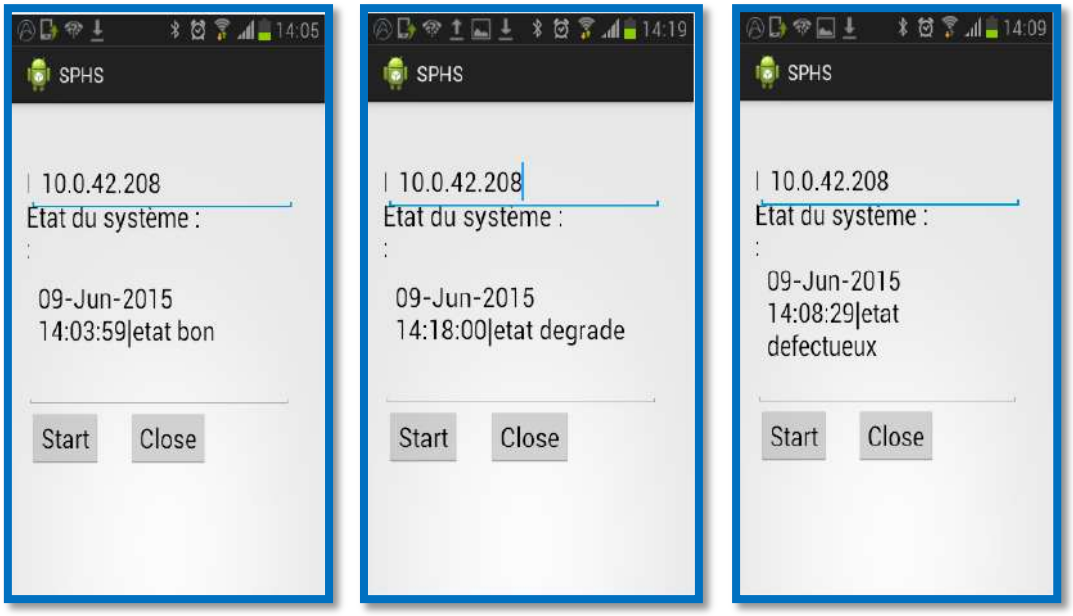


Figure IV.29. Affichage du message (l'état du système) sur le téléphone mobile.

Conclusion générale

Conclusion générale

La maintenance conditionnelle permet de garantir et d'augmenter la sureté et l'efficacité de fonctionnement des systèmes industriels. Elle remplace peu à peu la maintenance traditionnelle qui est plus couteuse et moins performante.

Pour réaliser une MC d'un système, il est nécessaire de surveiller son état de santé.

Le travail qui a était réalisé concerne la surveillance des machines tournantes qui sont des équipements industriels très répondus en faisant une analyse vibratoire de leurs éléments critiques qui est le roulement suivi d'une classification de son état en trois classe par un RN.

En fin, et grâce aux systèmes de télécommunication, la surveillance à distance (télésurveillance), nous permet de tirer profit des connaissances du maintenancier sans qu'il soit nécessairement présent sur le site de l'industrie.

Les principaux résultats rapportés dans ce travail sont :

1: Parmi les résultats obtenus de l'implémentation de RNA avec différents codes de sortie et nombre de neurones dans la couche caché on a pu choisir le bon codage, à savoir le 1er code (Y=1, 2, 3). D'après les résultats obtenus, la bonne classification correspond au nombre de neurones dont la couche cachée est égale à soixante-dix neurones et avec une erreur maximale entre la sortie désirée et la sortie réelle égale à 0.21.

3: L'utilité d'une application client-serveur pour la télésurveillance de notre système à distance dont le client doit envoyer une requête à partir d'un temps fixé à travers d'un protocole TCP/IP car on a besoin des acquittements et correction des erreurs réseaux.

4: Nous avons utilisé la matrice du test qui contient les données de vibrations pour connaitre facilement le roulement qu'est passe à l'état dégradé ou bien défectueux.

Les résultats des tests sur les données du banc d'essai de la NASA ont montré une capacité de notre système à reconnaitre l'état du roulement et l'instant de transition d'un état à un autre.

Conclusion générale

Toutefois, les données réelles, issues de l'industrie sont souvent très bruitées, incomplètes et concerne non seulement la dégradation lente du roulement, mais aussi les pannes subites. Dans ce cas des tests plus poussés sont nécessaires pour définir un bon système qui gère ces aléas.

Notre proposition à la venir pour améliorer cette application, il faut déclencher deux types d'alarme dans l'état défectueux.

Deuxième proposition est d'ajouter autre modules pour dépanner automatiquement le système ou bien l'arrêter.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Chapitre I

Partie 01:

[1] : Mohamed ElKoujok, «Contribution au pronostic industriel : intégration de la confiance à un modèle prédictif neuro-flou », Université de Franche-Comté (Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques), THÈSE de Doctorat en Automatique, 2010.

[2] : Pdf 1. Concepts, Objectifs Et Politiques De La Maintenance.

[3] : Nabti Mohamed Tahar «Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux Dans la détection des défauts mécaniques» Thèse de Magistère en génie électronique Option : Mécanique appliquée Université Ferhat Abbas - Setif14 Déc 2011.

[4] : NF EN : Norme X 60-319/NF EN 13306 Terminologie de la maintenance.2001. 6, 9, 10, 11.

[5] :L. Benali, « Maintenance industrielle », office des publications universitaires.1, place centrale de ben aknoun, Alger, (9/2006).

[6] : François Monchy, « Maintenance (méthodes et organisation) », Dunod, paris, 2002.

[7] : Hachem Mohamed Chérif et Laimeche hadj abdellah «Présentation d'une gamme d'entretien préventive d'une fraiseuse de type 6 P 13» Thèse de Master maintenance industrielle en Mécanique Université Kasdi Merbah–Ouargla 2011.

[8] : Les différentes formes de maintenance - TPM attitude.

[9] : François Lafleur «l'organisation d'un programme de maintenance prédictive» 2003.

[10]:M. Lebold et M. Thurston , "Open standards for condition-based maintenance and prognostic systems", In 5th Annuel Maintenance and Reliability Conference (MARCON 2001), Gatlinburg, USA, 2001.

[11]: Andreas Löhr, Conor Haines, and Matthias Buderath, "Data Management Backbone for Embedded and PC-based Systems Using OSA-CBM and OSA-

EAI", First European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2012 (PHM-E'12), Dresden, Germany, July 3 - 5, 2012.

[12]: Heiko Mikat, Antonino Marco Siddiolo, and Matthias Buderath, Virtual Framework for Validation and Verification of System Design Requirements to enable Condition Based Maintenance, First European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2012 (PHM-E12), Dresden, Germany, July 3 - 5, 2012.

[13] : Bdirina El khansa «*Diagnostic de défauts d'engrenage par l'analyse vibratoire*»Thèse de Magistère en Génie électronique Option : Contrôle U m'sila 2006.

Partie 02 :

[14] : Introduction à la maintenance conditionnelle – Axom.

[15] : ADBIZOHRA «Etude des effets vibratoires sur la durée de vie des roulements à rouleaux» Thèse de Magistère en électromécanique U BADJI MOKHTAR-ANNABA2010.

[16] : Chiementin Xavier thèse de doctorat en mécanique « Localisation et quantification des sources vibratoires dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle en vue de fiabiliser le diagnostic et le suivi de l'endommagement des composants mécaniques tournants : application aux roulements à billes » octobre 2007.

[17] :http://forums.futura-sciences.com/technologies/575970-machines-tournantes-lindustrie-petrole.html.

[18] : Medjaher K., Diego A., Tobon-Mejia D.A., Zerhouni N., « Remaining Useful Life Estimation of Critical Components With Application to Bearings », in IEEE transaction on reliability, vol.61, NO.2, June 2012;

[19]: AFNOR. Norme AFNOR X 60 - 010. Paris Afnor. (1990).

[20] : Projet MQTM, Fiabilité- qualité : La maintenance systématique.

[21] : Gilles Zwingelstein, «Diagnostic des défaillances théorie et pratique pour les systèmes industriels», HERMES, paris, 1995.

[22] : David augeix ingénieur de l'Institut national des sciences appliquées (INSA Toulouse) «Analyse vibratoire des machines tournantes» Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique.

[23] : Chaib Rachid, «Contribution à l'Optimisation de la Maintenance Conditionnelle par l'Analyse Vibratoire", thèse de Doctorat, Uni. Mentouri Constantine.

[24] : Pdf présentation title (titre 1)surveillance des roulements par émission acoustique: étude comparative avec les techniques vibratoires pour une détection précoce.

Chapitre II

Partie 01:

[25]: Mr. Sekkal Mohamed Chakib Cours Analyse des Données deuxième année SIC. Université DR.Yahia Fares de Médéa.

Partie 02:

[26]: Patrice Wira, Université de Haute Alsace, Laboratoire MIPS (Modélisation, Processus, Systèmes), Avril 2009.

[27]: DR.Bouhada Mounir, Cour TIA première année SIC .Université DR.Yahia Fares de Médéa, 2013

[28]: Les réseaux de neurones, chapitre 3,

Https://www.google.dz/url?Sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.classification-society.org%2Fcsna%2Fmda-sw%2Finform%2Fthese-philippe-poincot%2Fchap3.pdf&ei=ihjvvpesdyzsam6qgrgn&usg=afqjcnfhsbehjossaiouhoq26fkz-t0vdq

[29]: IdiouGhania, Mémoire (Régression et modélisation par les réseaux de neurones), Juin 2009.

[30]: Chapitre 1, Réseaux de neurones pour la modélisation et la commande de processus.

[31]: Claude Touzet, Les réseaux de neurones artificiels.

[32]: Fabien Moutarde, Centre de robotique (CAOR), Mines Paristech (ENSMP).

[33]: Hélène Paugam-Moisy, Professeur à l'Université Lyon 2, Institut des sciences cognitives.

[34]: Manuel Clergue, Réseaux de neurones artificiels.

[35]: T.J.Haykim, Neural network, a comprehensive foundation, Prentice-Hall, 1994.

[36]: Adaptive Resonance Theory (ART),
Http://nicolascormier.com/documentation/ia/cours_IA/node99.html

[37]: LemmouAmira, BellakhdarKhaoukha, LedjedelAdila, Mémoire (Identification et commande des systèmes non linéaire), Université de M'Sila Algérie-Ingénieur en électronique 2011.

Chapitre III

[38]: Marie pascale Delamare, extrais d'un cours.

[39]: Mémoire de fin d'étude (réalisation et mise au point d'un Systèmes Vidéo surveillance)

[40]: Kitambala OMARI, Mémoire (La réalisation d'une application de contrôle total des processus d'un ordinateur distant), Université pédagogique nationale (UPN).

[41]: Guide d'administration système : services IP - Oracle.