

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE MECANIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE.

Spécialité : INGENIERIE DE LA MAINTENANCE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**MODELE BASE SUR LES RESEAUX NEURONES EN TERMES
DE PREDICTION DE LA FIABILITE DU TRAMWAY CITADIS**

302

Présenté par : ZITOUNI Réda

Encadrant : KALOUCHE A

Grade : MCB

Université : UBMA

Jury de Soutenance :

KHALIF Rabia	Professeur	Université	Président
KALOUCHE Abdelkader	MCB	Université	Encadrant
LAISSAOUI Rachid	MCB	Université	Expert

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce travail.

Je tiens très sincèrement à remercier mon encadrant de mémoire, **Dr KALOUCHE Abdelkader** Maître de conférences de l'université BADJI MOKHTAR - ANNABA, qui m'a donné la possibilité de réaliser ce travail et aussi pour son soutien, sa disponibilité et pour ses conseils pratiques et théoriques tout au long de ce travail. Merci pour votre aide précieuse et votre regard critique qui m'a été grandement utile au cours de l'élaboration de mon mémoire et lors de la rédaction de ce manuscrit.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury du département de Génie Mécanique :

Mr KHALIF Rabia. à l'université Badji Mokhtar ANNABA, qui a fait l'honneur de présider notre jury.

Mr LAISSAOUI Rachid, je vous le remercie profondément pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.

Le docteur **KARMI Yacine,** qui m'a été d'un grand apport dans le traitement de la partie spéciale, qu'il trouve ici toute ma gratitude.

Enfin, nous remercions, tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Zitouni réda

Dédicace

Je dédie ce mémoire particulièrement :

À mes Parents,

À ma petite Famille,

À mes Frères et mes Sœurs,

À ma grande Famille,

À mes Amis,

À tous ceux qui m'ont apporté leur aide.

Résumé

Les réseaux neurones trouvent leurs intérêts dans différents domaines industriels. On peut dire que cette méthode, collabore largement dans l'intelligence artificielle. Dans notre approche, son apport est considérable pour prédire les indicateurs de maintenance dans le cas du Tramway CTADIS 302.

L'indicateur fiabilité, est intéressant pour les professionnels de maintenance qui peuvent réagir au moment importun «Prédiction des événements du point de vue maintenance »et ce pour garantir une sureté remarquable de l'équipement en question et assurer une sécurité suffisante aux usagers de ce type de transport. Pour cela nous avons fait une approche de modélisation basée sur les réseaux de neurones

Mots clés : Réseaux neurones, maintenance, Tramway, pont moteur ; engrenages

ملخص:

تجد الشبكات العصبية اهتماماتها في المجالات الصناعية المختلفة. يمكننا القول إن هذه الطريقة تتعاون على نطاق واسع في الذكاء الاصطناعي. في نهجنا، فإن مساهمته كبيرة للتنبؤ بمؤشرات الصيانة في حالة CTADIS ترامواي 302

يعتبر مؤشر الموثوقية مثيراً للاهتمام لمحترفي الصيانة الذين يمكنهم الرد في لحظة غير مناسبة "توقع الأحداث من وجهة نظر الصيانة" لضمان سلامة ملحوظة للمعدات المعنية وضمان السلامة الكافية لمستخدمي هذا النوع من النقل. لهذا قمنا بعمل نهج نموذج يعتمد على الشبكات العصبية

الكلمات الدالة: الشبكات العصبية، الصيانة، الترامواي، جسر محرك. التروس

Abstract

Neural networks find their interests in different industrial fields. We can say that this method collaborates widely in artificial intelligence. In our approach, its contribution is considerable for predicting maintenance indicators in the case of the CTADIS 302 tramway.

The reliability indicator is interesting for maintenance professionals who can react at an inopportune moment "Prediction of events from the maintenance point of view" to guarantee remarkable safety of the equipment in question and ensure sufficient safety for users of this type of transportation. For this, we made a modeling approach based on neural networks

Keywords: Neural networks, maintenance, tramway, motor bridge; gears.

Tables des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symbols	
Introduction	01
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	
I. Présentation de l'entreprise CITAL	03
I.1. Description générale du site	03
I.2. Plan de charge	03
I.3. Présentations équipements pris en charge par le service maintenance	05
I.3.1. Présentation du tramway	05
I.3.2. Fonctionnement des équipements de la rame	06
I.3.3. Les caractéristiques du tramway Citadis 302	07
I.3.3.1. Les équipements en fosse d'un élément du tramway	07
I.4. freinage	10
I.4.1. Les freins électrodynamiques	10
I.4.2. Les freins mécaniques ou freins à friction	11
I.4.3. Les freins électromagnétiques	13
I.5. Présentation de l'unité de maintenance	13
I.5.1. Sécurité et environnement	14
I.5.1.1. Les outils de sécurité	14
Chapitre II : Généralité sur la maintenance	
II.1. Définition de la maintenance	15
II.1.1. Rôle de la maintenance	15
II.2. Objectifs de la maintenance	15
II.2.1. Objectifs de coût	15
II.2.2. Objectifs opérationnels	16
II.3. Situation de la maintenance par rapport à la production	16
II.3.1. Personnel de la production	16
II.3.2. Personnel d'entretien	16
II.3.3. Personnel de la maintenance	17
II.4. Organigramme de politique de maintenance	17

II.4.1. Maintenance préventive.....	17
II.4.1.1. Objectifs visés par la maintenance préventiv	18
II.4.2. Différents types de maintenance préventive.....	18
II.4.2.1. Maintenance préventive systématique.....	18
II.4.2.2. Maintenance préventive conditionnelle.....	19
II.4.2.3. Maintenance préventive prévisionnelle	19
II.4.2.4. Buts de la maintenance préventive.....	19
II.4.3. Maintenance corrective	19
II.4.4. Différents types de maintenance corrective.....	19
II.4.4.1. Maintenance palliative	19
II.4.4.2. Maintenance curative	19
II.4.4.3. Les type d'interventions de la maintenance corrective.....	20
II.5. Niveaux de maintenance	21
II.6. Maintenance à l'Entreprise.....	22
II.6.1. Service maintenance de l'entreprise	22
II.7. Maintenance appliquée au niveau de l'Entreprise.....	22
II.7.1. Politique de maintenance.....	23
II.7. 2. Présentation de service de maintenance	23
II.7.2.1. Organigramme de l'équipe de maintenance	25
II.7.2.1.1. Chef de projet	26
II.7.2.1.2. Responsable qualité	26.
II.7.2.1.3. Le service ingénierie.....	26
II.7.2.1.4. Responsable Qualité Maintenance.....	27
II.7.2.1.5. Responsable HSE.....	27
II.7.2.1.6. Chef production infrastructure.....	27
II.7.2.1.7. Chef production Matériel Roulant.....	27
II.7.2.1.8. Chef d'Atelier.....	28
II.7.2.1.9. Gestionnaire de Stock.....	28
II.7.2.1.10. Technicien matériel roulant /LAC/ courant fort.....	28
II.8. Les arrêts récurrents.....	29
II.9. Historique des pannes	29
II.9.1. Historique des pannes de tramway.....	30
Position du Problème	31
II.10. Détérioration roue frettée	32

Chapitre : III Les engrenages

III.1. Définition.....	33
III.2. Les type d'engrenages	34
III.2.1. Engrenage droit (ou à denture droite).....	34
III.2.2. Engrenage hélicoïdal.....	35
III.2.3. Engrenage à vis sans fin.....	35
III.2.4. Engrenage planétaire	35
III.3. Frittage	35
III.3.1. Le frittage présente plusieurs avantages et plusieurs Inconvénients.....	36
III.4. Paramètres de frittage	37
III.4.1. Température de frittage.....	37
III.4.2. Durée de frittage.....	37
III.4.3. Energies motrices du frittage.....	38
III.5. Différents types de frittage.....	38
III.5.1. Frittage conventionnel.....	38
III.5.2. Frittage à chaud	38
III.5.3. Frittage réactif.....	39
III.5.4. Frittage à micro-ondes	39
III.5.5. Frittage flash.....	39
III.5.6. Frittage sélectif par laser (FSL).....	39

CHAPITRE IV : Réseau de neurones

IV.1. Définition.....	41
IV.2. Historique des Réseau neurones.....	42
IV.3. Types de réseaux de neurones.....	43
IV.4. Neurone biologique.....	44
IV.5. Le neurone artificiel	45
IV.5.1. Principes d'un neurone artificiel.....	46
IV.6. Neurone et le réseau de neurones.....	46
IV.7. Fonctions d'activation.....	47
IV.7.1. Fonctionnement	49
IV.7.2. Modélisation générale.....	49
IV.8. Architecture des réseaux	50

IV.9. Propriétés des réseaux de neurones	52
IV.9.1. Les réseaux de neurones sont des approximatés universels	53
IV.9.2. Parcimonie	53
IV.10. Domaine d'application des réseaux de neurones (RNA)	53
IV.10.1. L'application au traitement du signal	54
IV.10.2. L'application à la planification	54
IV.10.3. L'application au contrôle	54
IV.10.4. L'application au diagnostic	54
IV.11. Les type d'apprentissage des réseaux de neurones	55
IV.11.1. L'apprentissage supervisé	56
IV.11.2. L'apprentissage non supervisé	56
IV.12. Les avantages et les inconvénients des réseaux de neurones	57

CHAPITRE V :

Modélisation de la fiabilité du système à l'aide de réseaux de neurones.....	58
V.1. Méthodologie d'approche	59
Conclusion générale et perspectives.....	69

Liste de figures

Photo. I.1 : L'usine CITAL à Annaba [1].....	04
Figure I.2 : plan de l'usine CITAL à Annaba [1].....	04
Figure I.3 : Configurations de la zone de stockage [1].....	05
Figure I.4 : Bogie moteur [2].....	08
Figure I.5 : Bogie porteur. [2].....	09
Figure I.6 : Capteur de vitesse Bogie Moteur. [1].....	10
Figure I.7 : Freinage à friction BM. [2].....	12
Figure I.8 : Freinage à friction BP. [2].....	12
Figure I.9 : Patins magnétiques. [1].....	13
Figure I.10 : outils de sécurité (EPI).....	14
Figure II.11 : Organigramme de politique de maintenance	17
Figure II.12 : Exemple d'interaction autour d'un service de maintenance.....	22
Figure II.13 : Organigramme de l'équipe de maintenance.....	25
Figure II.14 : pignon (e) neuf.....	29
Figure II.15 : pignon (e) cassé.....	29
Figure III.17 : Différentes formes de roues dentées.....	34
Figure IV.18 : Représentation d'un neurone biologique.....	36
Figure IV.19 : Modèle d'un neurone artificiel.....	44
Figure IV.20 : Neurone artificiel.....	46
Figure IV.21 : Différents types de fonctions d'activation pour le neurone formel.....	46
Figure IV.22 : Réseau monocouche.....	50
Figure IV.23 : Réseau multicouche.....	51
Figure IV.24 : Réseau a connexion complète.....	51
Figure IV.25 : Réseau à connexions locales.....	52
Figure IV.26 : Réseau de neurones boucle.....	52
Figure IV.27 : Exemple d'apprentissage.....	55
Figure V.28 : Erreur ou incertitude optimale minimale.....	59
Figure V.29 : Coefficients de corrélation.....	63
Figure V.30 : Fiabilité prédictive en fonction du temps de fonctionnement.....	64
Figure V.31 : Tracé de la fiabilité avec le coef de corrélation.....	65
Figure V.32 : Tracé de la fonction de répartition (risque de tomber en panne).....	67.68

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Les différents tramways de la gamme citadis (ALSTOM)	06
Tableau I. 2 : Les Principales caractéristiques des rames 302	07
Tableau II.3 : Les niveaux de maintenance	21
Tableau II.4 : Historique des pannes de tramway.....	29
Tableau IV.5 : L'analogie entre les neurones biologiques et les neurones artificiels.....	47
Tableau IV.6 : Fonctions de transfert $f(x)$	48
Tableau IV.7 : Correspondance RNA - domaines d'application.....	54
Tableau V.8 : Résultat obtenues des indicateurs.....	62
Tableaux V.9 : Calcul de Beta.....	66

Liste des symboles

Bogies moteurs : **BM** ;

Bogies porteur : **BP** ;

Motrices : **M1** ;

Caisses suspendues : **C1** ;

Nacelles porteuses : **NP** ;

Caisses suspendues : **C2** ;

Motrices : **M2** ;

Freinage de service : **FNS, FMS** ;

Freinage d'urgence : **FU** ;

Freinage de secours ou de sécurité : **FS** ;

Outils de sécurité : **EPI** ;

Les réseaux de neurones artificiels : **RNA** .

INTRODUCTION

Introduction générale

L'industrialisation, a connu une évolution fulgurante. Cet essor, est caractérisé par l'évolution de l'informatique et électronique. Plusieurs branches industrielles, ont vu leur productivité élevée grâce à l'appui des outils technologiques modernes on peut citer l'utilisation de pilotage automatique de la production, les chaînes automatisées en agroalimentaire (huilerie, produit laitière,...)

Le domaine agricole n'est pas en reste, puisque dans certains champs de grandes surfaces, la semence et récolte sont gérées par satellite et sans conducteurs d'engins.

Dans le domaine de maintenance, un grand éventail de méthodes sont développées qui convergent pour le seul but "Panne Zéro".

Certains logiciels, sont proposés pour faciliter la détermination des paramètres et indicateurs de maintenance, pour cela, la tenue à jour de l'historique est primordiale.

Les dispositifs électroniques favorisent grandement le suivi des équipements en temps réel, une panoplie de capteurs sont mis à la disposition des constructeurs pour afficher l'état du dispositif (température, déplacement, arrêt d'urgence, vibratoires, etc....).

Il est connu que dans le domaine du transport (des usagers), il est indéniable que la fiabilité tend vers les 100% (risque de dommages humains).

Notre sujet de fin de cycle s'est intéressé à la fiabilité du tramway Citadis 302.

Sachant que la méthode des réseaux neurones est devenue un outil appréciable pour prédire d'éventuels dysfonctionnements, et la mesure de performance de l'équipement du point de vue fiabilité.

Le document présenté (mémoire de fin de cycle) sera subdivisé en quatre chapitres.

En premier lieu, une description des équipements en exploitation sera présentée ainsi que les événements sur ces machines. La présentation du service maintenance et les moyens disponibles pour une bonne prise en charge surtout des rénovations (pont moteur, pont porteur, le compresseur...).

En deuxième partie, une présentation de la maintenance en générale, s'en suit une description des transmissions par engrenage.

INTRODUCTION

La théorie sur les réseaux neurones est rédigée d'une manière succincte. En définitif une contribution à la mesure de la performance du point de vue fiabilité sera présentée par une prédiction d'évènements (pannes, dysfonctionnement) causant des déperditions de l'indicateur de maintenance.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE
L'ENTREPRISE CITAL

CHAPITRE I

I. Présentation de l'entreprise CITAL

CITAL assemble les rames de tramways CITADIS à la ville d'Annaba sur une superficie de 5,2 ha. L'usine dispose d'une capacité de livraison de 5 Rames de Tramways / mois avec une charge de production stabilisée, cohérente avec celle d'autres unités d'ALSTOM.

L'usine de production est dotée de tous les équipements d'assemblage, de tests et d'essais permettant de réaliser les tests dynamiques de type et de série.

Le centre d'essais est doté entre autre d'une voie de 1000 mètres équipée d'un système d'alimentation ultramoderne. [1] l'entreprise CITAL

I.1.Description générale du site:

- Surface globale : **52 000m²**
- Surface bâtie : **11 871m²**
- Capacité de production : **05 rames / mois.**

L'usine :

1. Bâtiment d'Essai
2. Bâtiment Principal
3. Bâtiment Administratif
4. Poste de Garde
5. Poste de Livraison et Sous station Electrique
6. Atelier de maintenance
7. Remisage des rames
8. Voie d'essai.

I.2.Plan de charge

- a. ETAPE 1** : l'assemblage de 213 Rames de Tramways CITADIS réparties en 02 Phases
- b. ETAPE 2** : l'assemblage de 50% des Rames de Tramways CITADIS des futurs besoins national algérien.

Parallèlement, CITAL prendra en charge la maintenance de toute la flotte de Rames de Tramways en Algérie



Figure I.1 : Accueil de l'usine CITAL à Annaba [1]

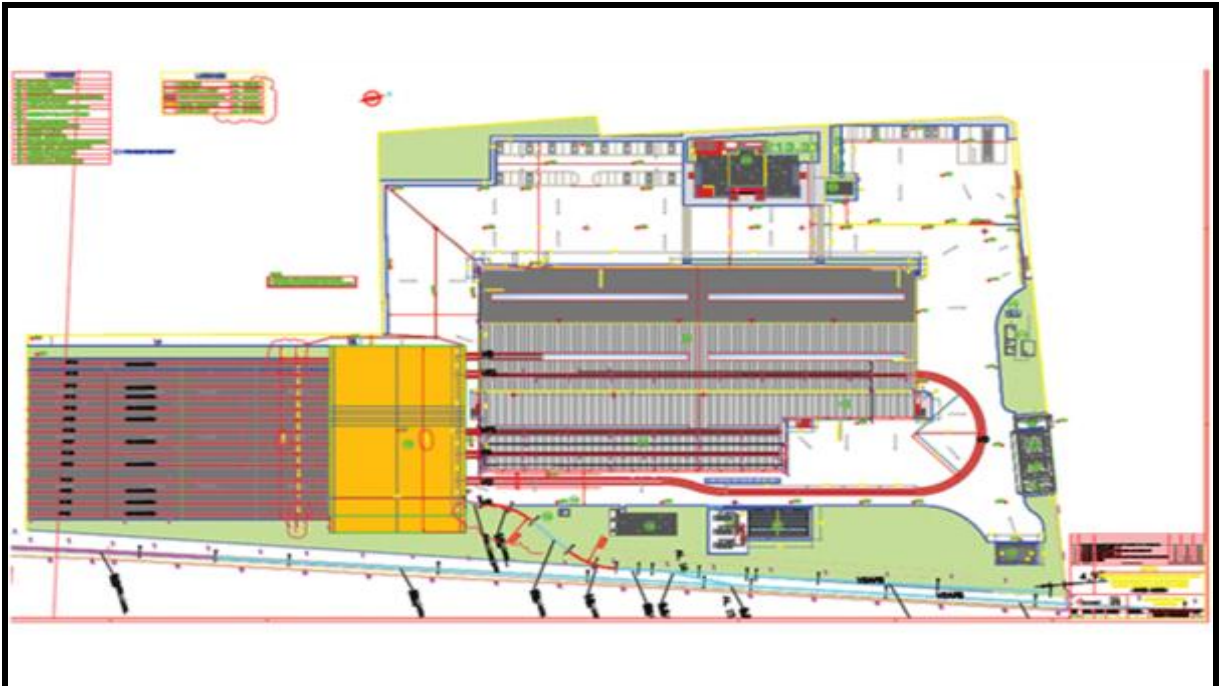


Figure I.2 : Plan de l'usine CITAL à Annaba [1]







Figure I.3 : Configuration de la zone de stockage [1]




I.3. Présentations équipements pris en charge par service maintenance

I.3.1. Présentation du tramway





Le tramway, est une forme de transport en commun urbain ou interurbain à roues en acier circulant sur des voies ferrées équipées de rails plats, et qui est soit implanté en site propre, soit encastré à l'aide de rails à gorge dans la voirie routière [2]

Tableau I.1 : les différents tramways de la gamme citadis (ALSTOM)

Modèle	Architecture	longueur
Citadis 202		20 m
Citadis 301		27 m
Citadis 302		33 m
Citadis 304		33 m

Citadis 401		39 m
Citadis 402		44 m
Citadis 404		43 m

Légende

	: Bogie motorisé non-pivotant
	: Bogie motorisé pivotant
	: Bogie porteur (non motorisé) non pivotant
	: Bogie porteur (non motorisé) pivotant

➤ Il existe deux types de tramway en Algérie

1^{ere} types **302** il est situé dans wilaya de **Oran** ;

2^{eme} types **402** il se trouve dans la wilaya : **Algérie, Constantine, Sétif, Sidi bel Abbès, Mostaganem, Ouargla.**

I.3.2. Fonctionnement des équipements de la rame

Le tramway Citadis Oran est une rame composée de 2 éléments **302**, elle se décompose de la manière suivante : [2]

- Deux motrices **M1**.
- Deux caisses suspendues **C1**.
- Deux nacelles porteuses **NP**.
- Deux caisses suspendues **C2**.
- Deux motrices **M2**.

I.3.3. Les caractéristiques du tramway Citadis 302.

Tableau I. 02 : Principales caractéristiques des rames 302

Longueur	64m
Largeur de caisse	2400mm
Hauteur maxi au-dessus de rail	3270mm
Hauteur du plancher au-dessus de rail	350mm
Masse à vide en ordre de marche	38,41 t
Masse en charge normal	52,48 t
Nombre de bogies moteurs	2
Nombre de bogies porteurs	1
Nombre de places assises	53
Charge maximale	272 passagers
Vitesse maximale	70Km/h
Tension d'alimentation	750 VCC

I.3.1. Les équipements en fosse d'un élément du tramway sont illustrés ci-dessous soit :

En motrices **M1** et **M2** :

- Quatre bogies moteurs ;
- Quatre centrales hydrauliques ;
- Quatre compresseurs de sablage.

En nacelle porteuse **NP**:

- Un bogie porteur ;
- Une centrale hydraulique. [2]

➤ **Bogie moteur**

Schéma d'implantation

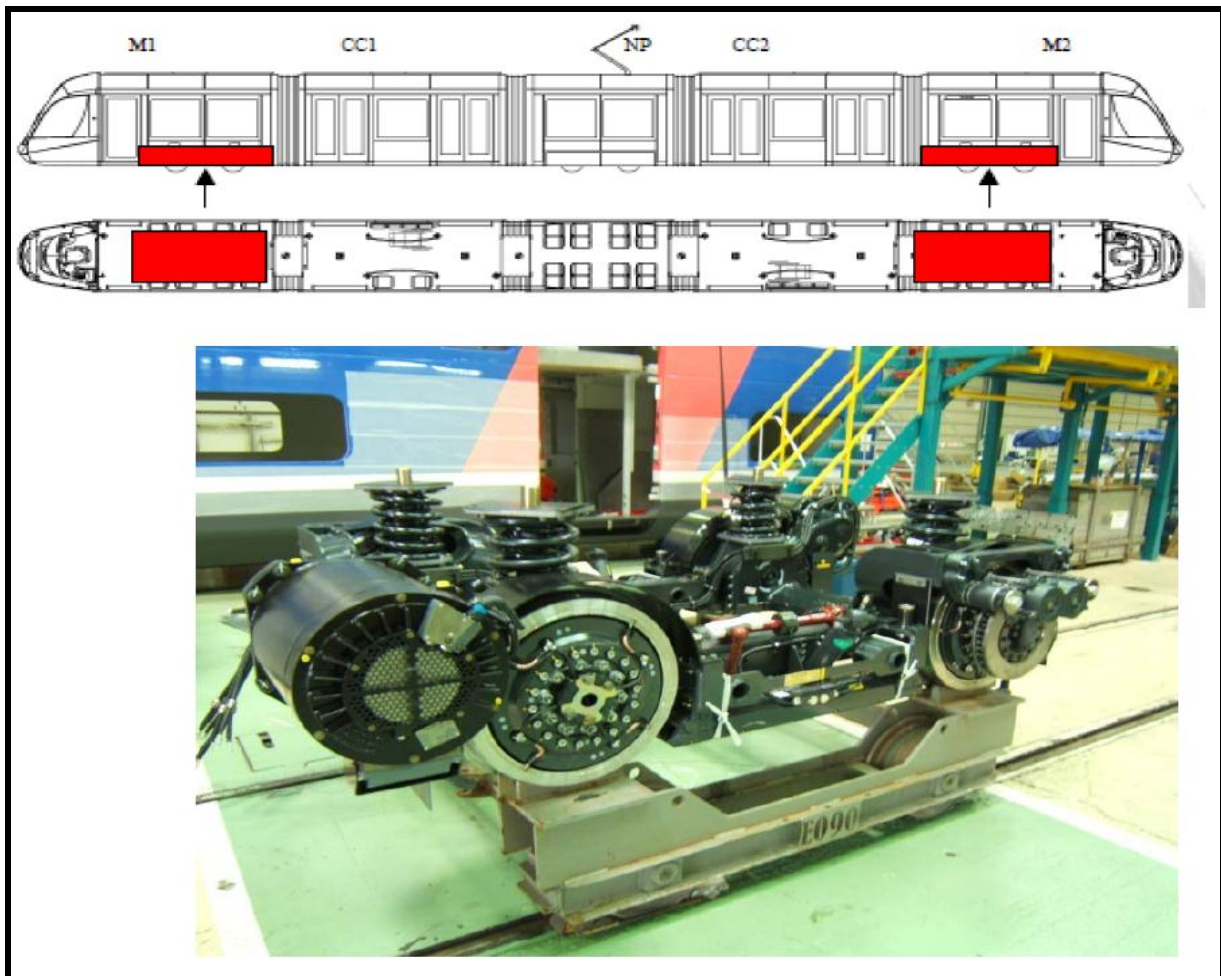


Figure I. 4 : Bogie moteur [2]

Le bogie est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire sur lequel sont fixés les essieux (et donc les roues) il est mobile par rapport aux châssis de véhicule. En général chaque bogie possède deux essieux et chaque essieu contient deux roues.

Le bogie moteur est équipé de deux moteurs asynchrones triphasés à refroidissement par eau, d'une masse de **335 Kg**, et d'une puissance de **175KW**. Leur vitesse de rotation maximale est de 4550Tr/min. Il est utilisé dans le cas d'une traction directe ou indirecte et aussi pour le freinage. Il existe un bogie moteur pour chaque motrice **M1** et **M2**. [2]

➤ **Bogie porteur**

Schéma d'implantation

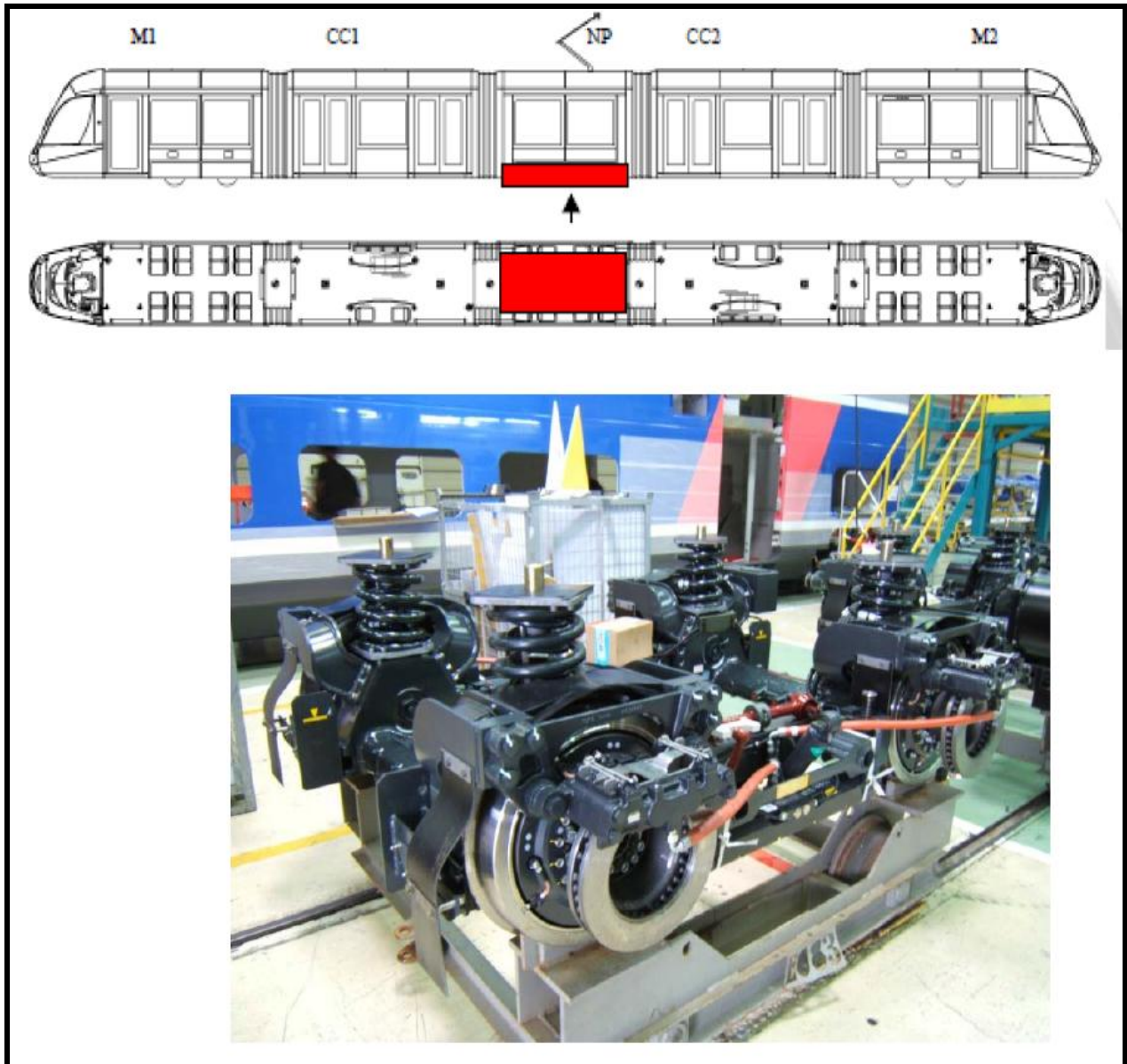


Figure : I. 5 : Bogie porteur. [2]

Le bogie porteur est généralement utilisé pour le freinage et assure la répartition des charges et le guidage. Il existe un seul bogie porteur dans la nacelle porteuse **NP**, son fonctionnement est tout à fait le contraire pour le bogie moteur. [2]

- **Traction**
- ✓ Schéma d'implantation

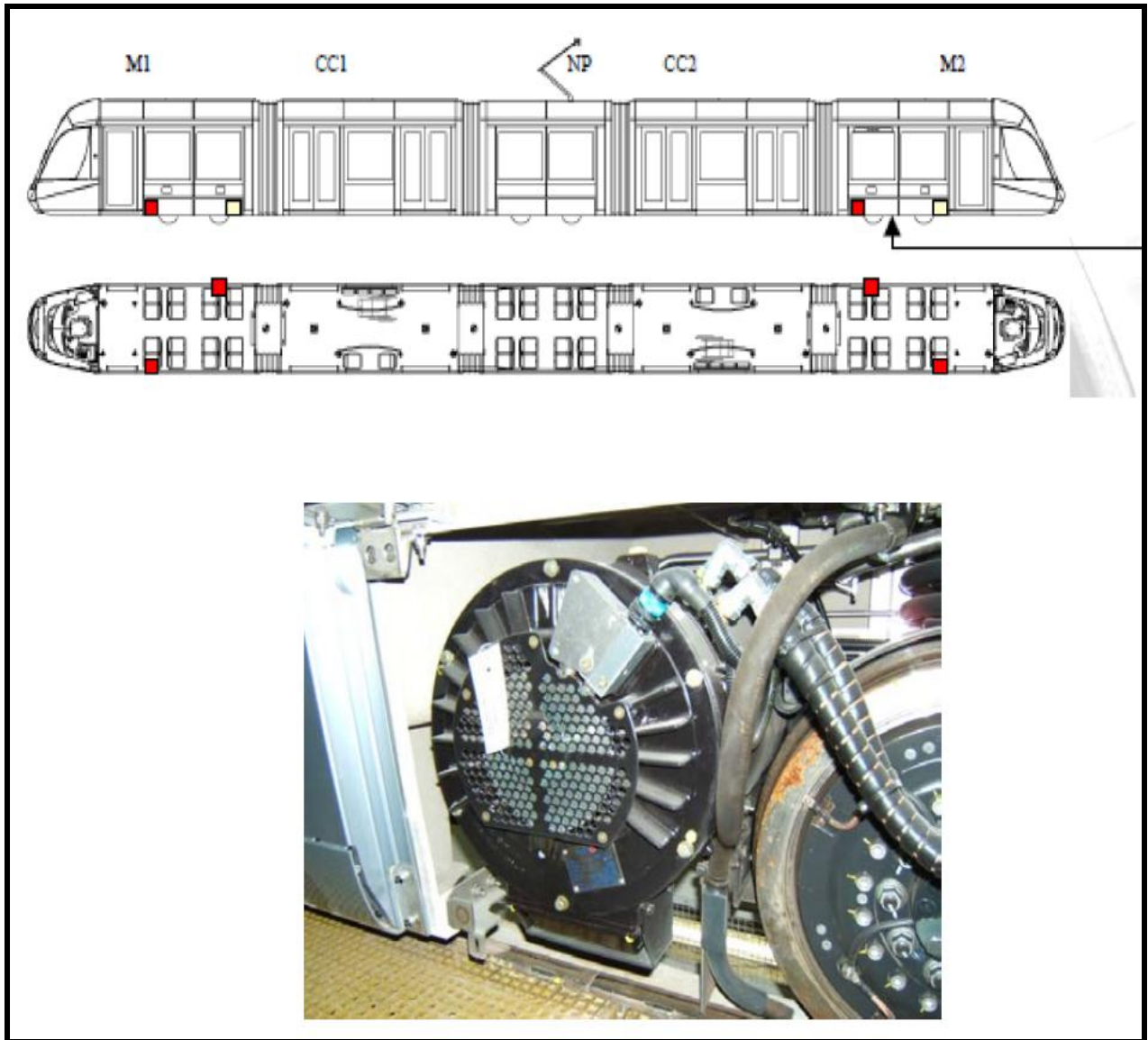


Figure I. 6 : Captur de vitesse Bogie Moteur. [1]

Les moteurs de traction sont de type asynchrone triphasés et à cage d'écureuil, fermé et refroidit par fluide caloporteur à partir de 750V, un onduleur individuel à IGBT alimente Chaque moteur. [2]

I.4. Freinage

Il y a trois types de freins :

I.4.1. Les freins électrodynamiques :

Le freinage de tramway est, essentiellement, assurée par les freins électrodynamiques qui agissent sur les essieux moteurs (chaque essieu contient 2 roues).

Il est également du type à récupération d'énergie en fonction de la capacité récupératrice de la

ligne d'alimentation HT. Cependant, lorsque la ligne HT n'est pas récupératrice, il y a mise en application de freins rhéostatiques. ONIX gère automatiquement la répartition entre les deux. [2]

I.4.2. Les freins mécaniques ou freins à friction

Les freins mécaniques sont aussi appelés freins à friction. Ils équipent tous les essieux des bogies moteurs et les roues des bogies porteurs.

Ces freins sont mis en œuvre à l'aide d'un dispositif hydraulique agissant sur un ensemble étriers du disque de freins.

Il faut séparer les bogies moteurs (BM) du bogie porteur (BP) quant au fonctionnement au frein mécanique. Voir (Figure 4 et Figure 5). [2]

I.4.3. Les freins électromagnétiques :

Ce type de freins est réalisé par l'intermédiaire de 6 patins magnétiques par élément de rame.

Une paire de patin magnétique est montée sur chaque bogie ils se plaquent sur les rails lorsqu'ils sont alimentés afin de faire ralentir ou arrêter le véhicule suivant les cas d'utilisation. Chaque patin magnétique est suspendu au longeron de châssis-pont du bogie.

(Figure I.6). [2]

IL y a d'autres types de freinages :

- Freinage de service (FNS, FMS),
- Freinage d'urgence (FU),
- Freinage de secours ou de sécurité (FS),
- Freinage d'immobilisation,
- Freinage de parking (ou de stationnement). [2]

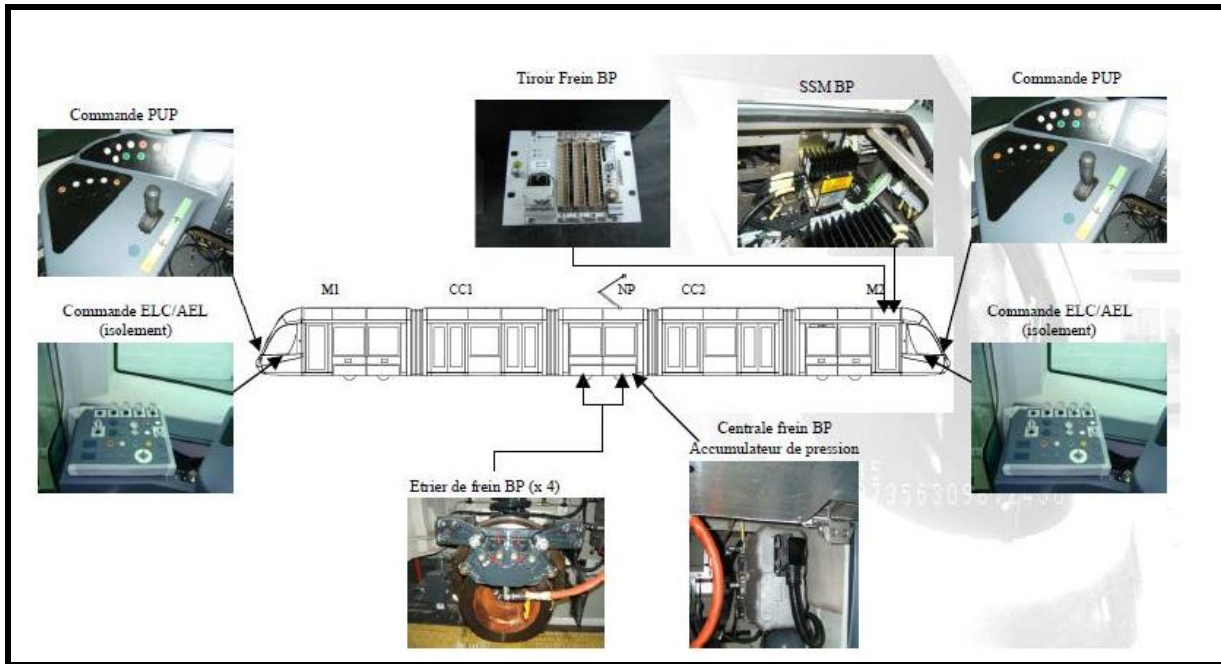


Figure I. 7 : Freinage à friction BM. [2]

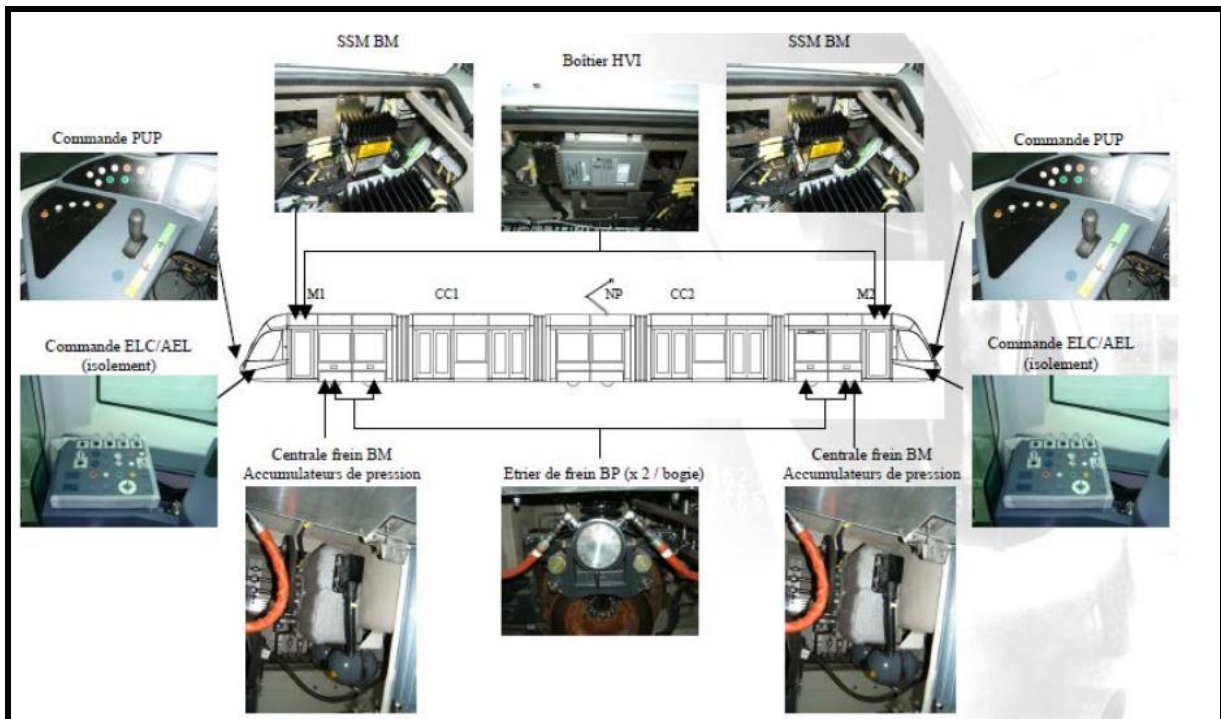


Figure I. 8 : Freinage à friction BP. [2]



Figure I.9 : Patins magnétiques. [1]

Parmi le problème Il y a :

- Panne au niveau de bogies moteurs
 - Panne au niveau central hydraulique
 - Panne au niveau compresseur de sablage
- Au niveau de bogies moteurs il y a 3 Pannes :
- Fuite de l'huile
 - Ecartement des roues
 - Cassure de l'engrenage

Tous ces panne sont concentrés ou niveau de bogies moteurs

I.5. Présentation de l'unité maintenance :

Centre de maintenance Annaba

L'équipe de maintenance est en charge d'assurer la maintenance du matériel roulant

Pour assurer une meilleure disponibilité du parc.

L'organisation maintenance est scindée en **05** ateliers :

- Un atelier de maintenance de matériel roulant qui assure la maintenance corrective et préventive du matériel roulant ;
- Un atelier de réparation vitrage qui assure la disponibilité de vitrage ;

- Un atelier de réparation système de freinage Knorr et Faiveley qui assure la maintenance corrective et préventive du matériel roulant ;
- Un atelier réparation compresseurs qui assure la maintenance corrective et VP
- Un atelier de réparation équipements électronique MR et Infra qui assure la Maintenance corrective des appareils électroniques des rames Citadis et l'infrastructure de tous les projets.

La Sécurité et environnement jouent un grand rôle au sein de l'entreprise, c'est pourquoi on lui accorde une grande importance. [1]

I.5.1. Sécurité et environnement

Les opérations à réaliser doivent être effectuées dans le respect des règles de sécurité et de L'environnement applicable sur le site. [3]

I.5.1.1. Les outils de sécurité

Le port des Equipements de Protection Individuelle (**EPI**) permet de se protéger des nuisances. Si des mesures de protection collective sont envisageables, elles seront mises en place en priorité par rapport aux dispositifs de protections individuelle. [3]

Rappel de la signification des logos concernant les EPI : [3]

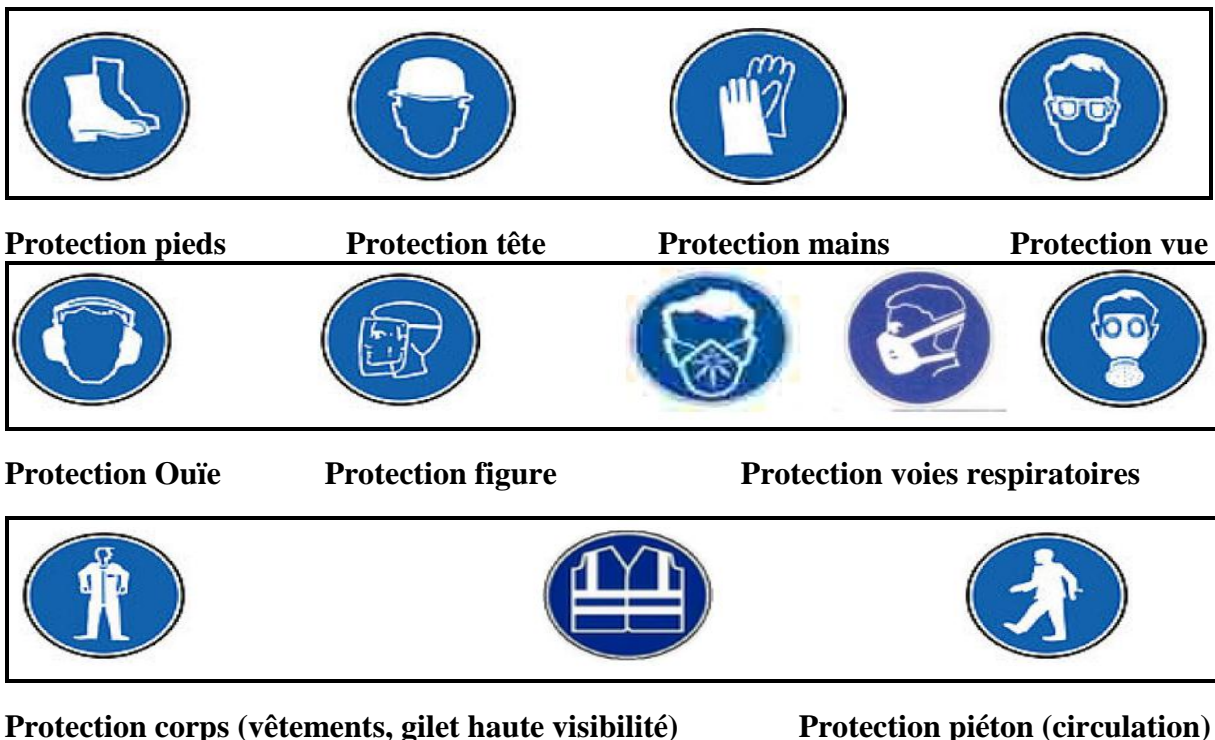


Figure I. 10 : outils de sécurité (EPI)

CHAPITRE II

**GENERALITES SUR LA
MAINTENANCE**

CHAPITRE II**GENERALITES SUR LA MAINTENANCE****Introduction**

La fonction maintenance a pour but d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes, impliquant un minimum économique de temps d'arrêt. Jugée pendant longtemps comme une fonction secondaire entraînant une perte d'argent inévitable, la fonction maintenance est en général, assimilée à la fonction dépannage et réparation d'équipements soumis à usage et vieillissement. La véritable portée de la fonction de la maintenance mène beaucoup plus loin : elle doit être une recherche incessante de compromis entre la technique, et l'économique. Il reste alors, beaucoup à faire pour que sa fonction productive soit pleinement comprise. Une organisation, une planification et des mesures méthodiques sont nécessaires pour gérer les activités de maintenance. [4]

II.1. Définition de la maintenance

Notions sur la maintenance « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». [4]

II.1.1. Rôle de la maintenance [5]

Est la maîtrise de la disponibilité opérationnelle de équipements a fin qui ils soient unis à la disposition de la production par ces actions, la maintenance ammeistre le profit cumule durant la vie des équipements par :

- La réduction des coûts de maintenance
- L'accroissement de la durée rentable de vie des équipements.
- Réduction des accidents et des risques concernant la sécurité des hommes et de l'environnement

II.2. Objectifs de la maintenance**II.2.1. Objectifs de coût**

- Minimiser les dépenses de maintenance ;
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget ;

- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation ;
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine qua dépense imprévue.

II.2.2. Objectifs opérationnels

- Maintenir le bien durable:
 - ✓ Dans un état acceptable
 - ✓ Dans des meilleures conditions
- Assure la disponibilité maximale à un coût raisonnable;
- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur cout.
- Maximiser la durée de vie de bien.
- Remplacer le bien à des périodes prédéterminées
- Assurer au bien des performances de haute qualité.
- Assurer au bien un fonctionnement sûr et efficace.
- Obtenir de l'investissement un rendement maximum.
- Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante.
- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue.

II.3. Situation de la maintenance par rapport à la production

II.3.1. Personnel de la production

Ne s'intéresse qu'aux informations nécessaires à l'obtention du produit fini. [4]

II.3.2. Personnel d'entretien

Ne s'intéresse qui aux informations nécessaires à la réalisation de son intervention sur l'outil de production quel que soit sa fonctionnalité. [4]

II.3.3. Personnel de la maintenance

Doit maîtriser toutes les contraintes posant la dégradation de l'outil de production pour limiter leur conséquences sur l'obtention de l'objectif de production quel que soit les contraintes au niveau de conception de fabrication et l'exploitation

Le système de maintenance semble se présenter comme sur système complémentaire au système de production. [4]

II.4. Organigramme de la politique de maintenance

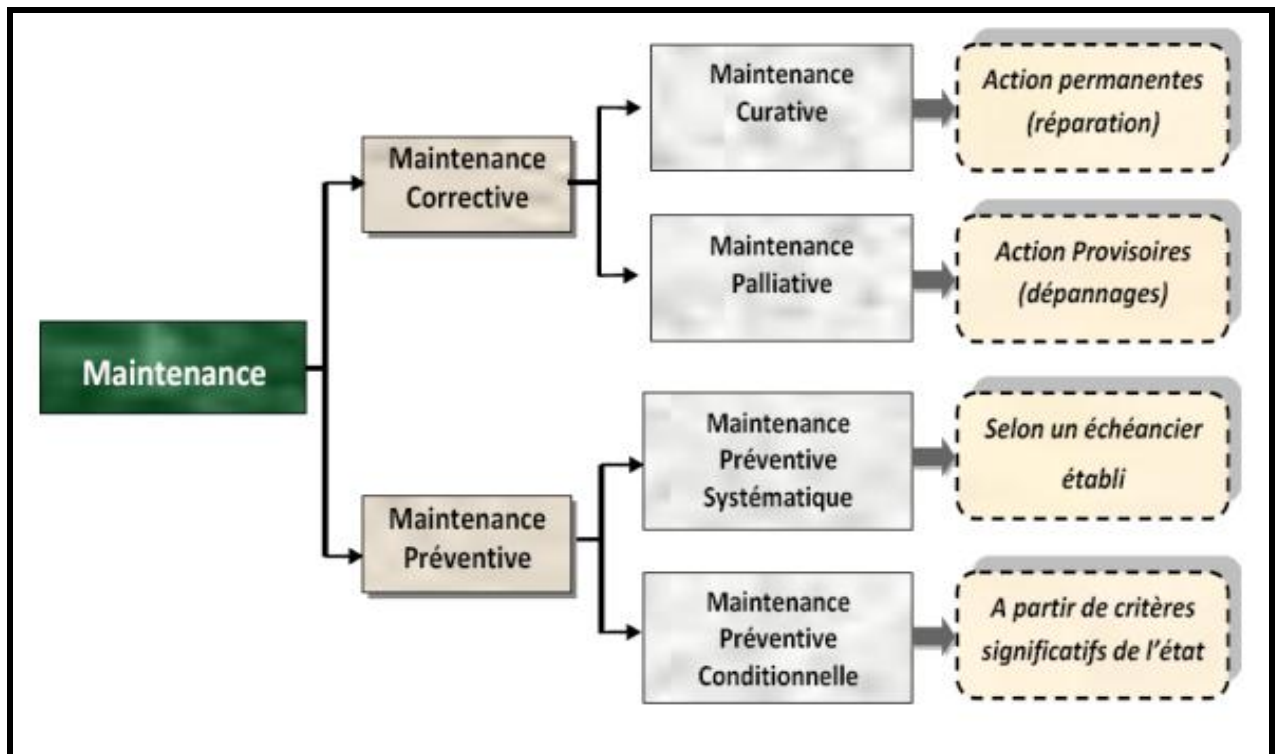


Figure II.11 : Organigramme de politique de maintenance

II.4.1. Maintenance préventive

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). [6]

II.4.1.1. Objectifs visés par la maintenance préventive

Sont les suivants [6]

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service: réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité

- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement

- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production

- Réduire et régulariser la charge de travail

- Faciliter la gestion des stocks (consommation prévues)

- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses)

- Plus globalement, en réduisant la part « d'imprévu », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours source de tension) La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive implique le développement d'un service méthodes de maintenance efficace. En effet, on ne peut faire de préventif sans un service méthodes qui va alourdir à court terme les coûts directs de maintenance, mais qui va permettre : La gestion de la documentation technique, des dossiers machines, des historiques

- . • Les analyses techniques du comportement du matériel.

- La préparation des interventions préventives.

- La concertation avec la production

II.4.2. Différents types de maintenance préventive

II.4.2.1. Maintenance préventive systématique

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. [7]

Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que :

La quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc. Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle. [7]

II.4.2.2. Maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue. [7]

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. [7]

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement. Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile ;
- Les températures et les pressions.

II.4.2.3. Maintenance préventive prévisionnelle

C'est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et planifier les interventions quelques concepts fondamentaux liés à la maintenance. [8]

A titre d'exemple, on peut citer le regroupement des interventions dans le but d'un gain de temps.

II.4.2.4. Buts de la maintenance préventive

- Augmenter la durée de vie des matériels;
- Diminuer la probabilité des défaillances en service;
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou dépanne;
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective;
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions;

- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production;
- Diminuer le budget de maintenance;
- Supprimer les causes d'accidents graves. [8]

II.4.3. Maintenance corrective

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, le remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement. [8]

II.4.4. Différents types de maintenance corrective

II.4.4.1. Maintenance palliative

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives. [8]

II.4.4.2. Maintenance curative

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives. [8]

II.4.4.3. Maintenance corrective débouche sur 2 types d'interventions

a. Dépannage : Remise en état de fonctionnement effectué « in situ », parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Le dépannage a un caractère provisoire. Les dépannages caractérisent la maintenance palliative. Le palliatif est caractéristique du 2^{ème} niveau de maintenance. [4]

b. Réparation définitive : « in situ » ou en atelier de maintenance, parfois après dépannage. Elle a un caractère définitif. La réparation caractérise la maintenance curative. Le curatif est caractéristique des 2^{èmes} et 3^{ème} niveaux de maintenance. [4]

II.5. NIVEAUX DE MAINTENANCE

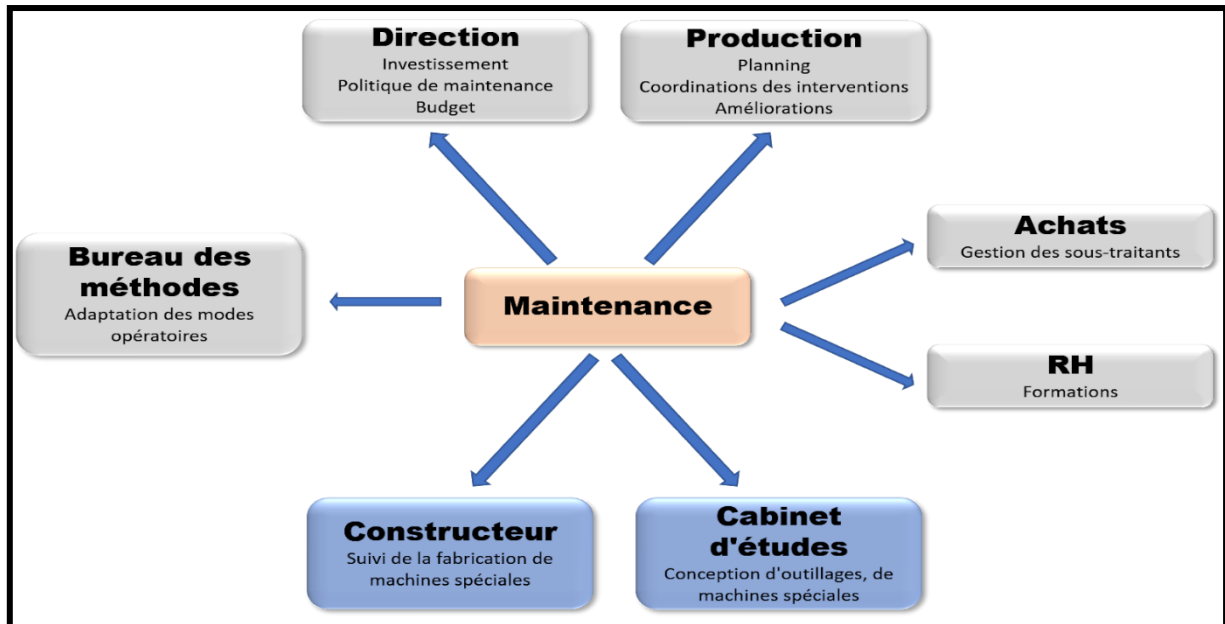
Le degré du développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux. Ces niveaux sont donnés par la norme à titre indicatif pour servir de guide et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type de bien maintenir. [4]

Tableau II.3 : Les niveaux de maintenance

NIVEAU	ACTIVITES
NIVEAU 1	RONDE PETIT ENTRETIEN, GRAISSAGE
NIVEAU 2	ECHANGE STANDARD, CONTROLES DU BON FONCTIONNEMENTE
NIVEAU 3	DIAGNOSTIC, PETITES REPARATION, OPERATIONS MINEURES PREVENTIVES
NIVEAU4	TRAVAUX DE MAINTENANCE PREVENTIVE ET CORRECTIVE, REGLAGE DES MOYENS DE MESURE
NIVEAU 5	RENOVATION, RECONSTRUCTION ET REPARATIONS IMPORTE

II.6. Maintenance à l'Entreprise

II.6.1. Service maintenance de l'Entreprise



L'organigramme du service maintenance de l'unité Entreprise

Figure II.12 : Exemple d'interaction autour d'un service de maintenance

II.7. Maintenance appliquée au niveau de l'Entreprise

Le département de la maintenance joue un rôle très important dans l'entreprise, c'est pour ça que le service de maintenance travaille en permanence.

L'entreprise applique des différents types de maintenance, le choix du type dépend du besoin de l'entreprise et l'importance d'équipement :

- Maintenance préventive conditionnelle (l'analyse vibratoire et l'analyse déshuilent).

Cette installation nécessite une surveillance périodique en utilisant des instruments spécifiques : capteurs (accéléromètre), un appareil de mesure offline (vibrotest60). Les vibrations sont mesurées sur 3 axes (verticales, horizontales et axiales). [7]

- Maintenance préventive systématique (des visites, des inspections programmées)

- En cas d'anomalies, la maintenance appliquée est la maintenance curative

a. Maintenance préventive

- Elle se fait à travers les EPAS (l'entretien préventif avec arrêt systématique) et les arrêts programmés (généralement programmées le week-end, ou dans des arrêts par manque produit).

Il se fait aussi par les biais des arrêts annuels (grands travaux de maintenance). [8]

b. Maintenance corrective

Lors de l'apparition des pannes sur l'installation, les agents de la maintenance (intervention) interviennent pour changer l'organe défaillant afin de remettre en service l'installation le plus rapidement possible. [8]

II.7.1. Politique de maintenance [5]

Le coût de la stratégie de la maintenance est déterminé par la direction (comptabilité analytique)

a- Objectifs :

• Indicateurs :

- ✓ Taux de panne
- ✓ MTBF
- ✓ MTTR
- ✓ Ratios
- ✓ Coût de maintenance

Le mode de maintenance à appliquer pour les équipements de l'entreprise, est choisi en fonction des paramètres technico-économiques. Le plus souvent il est utilisé pour le choix de la politique de maintenance, la courbe **ABC** ou de Pareto.

Pour les indicateurs de maintenance, la loi la plus connue est celle de **Weibull**. Actuellement plusieurs logiciels sont disponibles à cet effet.

b-Objectifs :

- Améliorer la fiabilité de la machine et le temps de disponibilité

- Chaque mois un bilan de synthèse de la fonction maintenance
 - ✓ déterminer Les points forts et les points faibles de la stratégie de maintenance adoptée ;
 - ✓ Comparaison des indicateurs ;
 - ✓ Les indicateurs non performants
 - ✓ plans d'action pour améliorer les lacunes observées.
- Chaque année un bilan

II.7.2. Présentation de service de maintenance

II.7.2.1. Organigramme de l'équipe de maintenance [6]

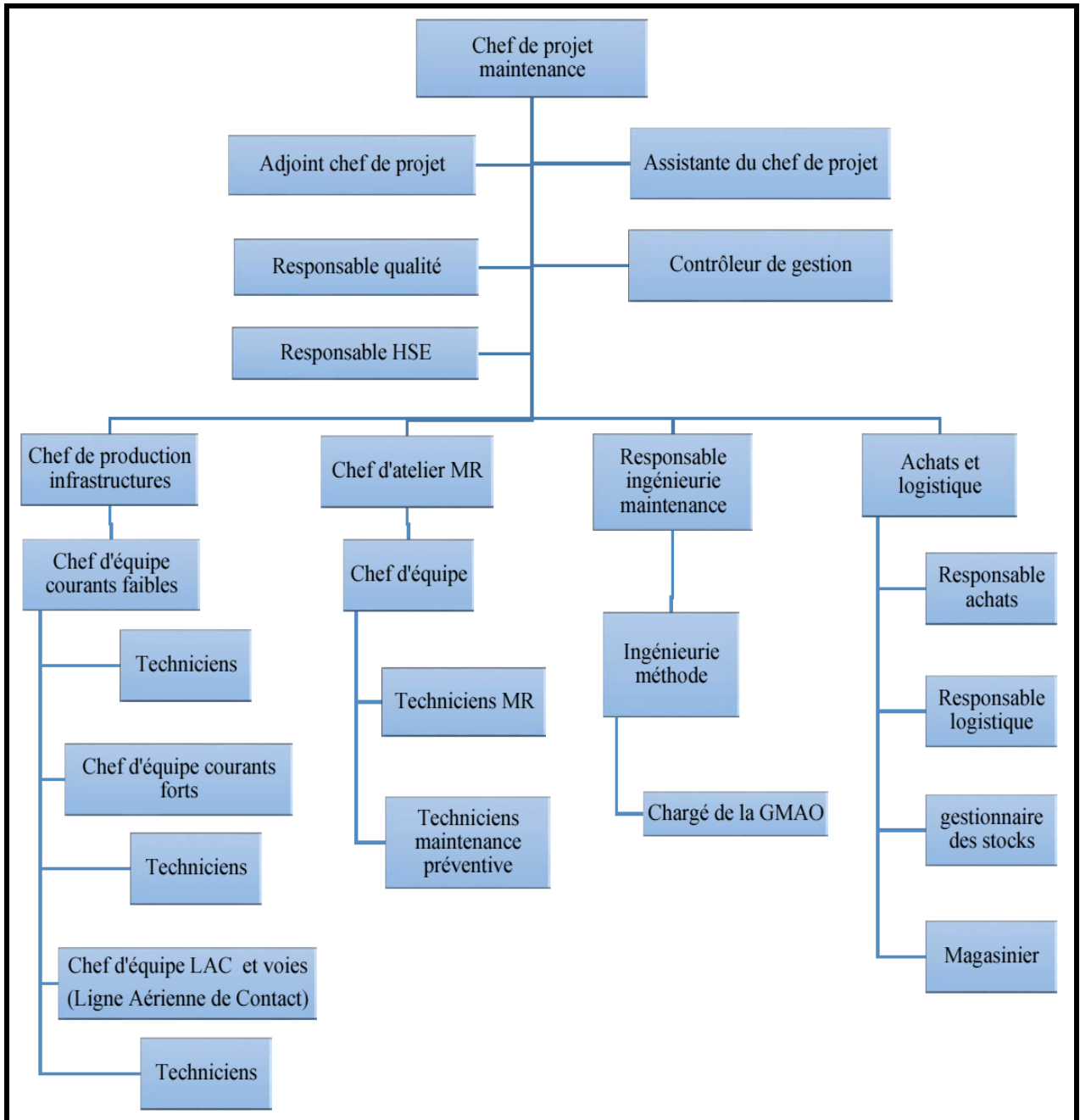


Figure II.13 : Organigramme de l'équipe de maintenance

II.7.2.1.1. Chef de Projet Maintenance/Chef de Projet Adjoint

Au sein Cital Annaba, la mission du chef de Projet maintenance : Piloter l'intégralité des prestations en optimisant les engagements « QCD » (Qualité, Coûts, Délais) du projet et coordonner l'ensemble des activités prises en charge pendant toute la durée projet.

Plus précisément, il a à sa charge les tâches suivantes (il sera assisté par le pôle ingénierie et les responsables des opérations (INFRA et MR) : [1]

- Assurer la coordination et la cohérence technique entre la Direction Maintenance et l'Exploitant.
- Gérer les exigences du système en conformité avec le contrat ;
- Valider l'allocation des tâches et des fournitures ;
- Gérer l'ordonnancement des opérations et des plannings en cohérence avec le Responsable ;
- production matériels roulants et le responsable production installations fixes ;
- Assurer le contrôle des études, rapports et documents pour les prestations de Maintenance ;
- Mettre en place la politique de gestion des risques du Projet ;
- Assurer la gestion de la qualité en cohérence avec les objectifs définis par le Service.

II.7.2.1.2. Responsable Qualité

- Gérer les modifications du système tramway ;
- Assurer le rapport des activités de maintenance au moyen du rapport mensuel ;

Participer aux réunions d'interfaces avec le directeur maintenance de l'exploitant [1]

II.7.2.1.3. Le service ingénierie

- Le service ingénierie est chargé de :
- Faire des prévisions de charge ;
- Etablir les plannings d'intervention ;
- Réserver les ressources humaines et matérielles ;
- Assurer l'utilisation rationnelle des ressources ;
- Déclencher les interventions Préventives ;
- Gérer et suivre les interventions ;
- Gérer les demandes de travail du correctif ;
- Elaborer les gammes de travail ;

- Déterminer les outils, dispositifs, instruments et appareils requis pour chaque intervention ;
- Estimer le temps d'exécution ;
- Rassembler tous les documents nécessaires ;
- Etablir tous les imprimés requis ;
- Définir les compétences requises ;
- Déterminer les pièces et consommables à prévoir. [1]

II.7.2.1.4. Responsable Qualité Maintenance

Il est le support du chef de projet maintenance pour l'application de la Politique Qualité et du processus d'amélioration continue. Il garantit, participe et s'assure de la bonne application d'un système Qualité opérationnel décrit dans le plan d'Assurance Qualité dont il a la responsabilité de gestion et de suivi. [1]

II.7.2.1.5. Responsable HSE

- Il garantit, participe, et s'assure de la bonne mise en place et de la bonne application des règles de sécurité sur le site de maintenance.
- Il assure le suivi et l'amélioration continue des processus en termes de sécurité et environnement, Il est interlocuteur privilégié du client en termes de problématique EHS.

II.7.2.1.6. Chef Production Infrastructure

- Il est l'interlocuteur « technique » du client au sein de l'entité maintenance pour la partie infrastructure.
- Il pilote l'activité d'ingénierie : mise en place des procédures, des systèmes de maintenance, des mises à jour des produits, des obsolescences pour la partie infrastructure.
- Il assure et réalise le suivi de la liste de documentation technique de maintenance ainsi que toute validation de cette dernière.
- Il assure le suivi des points techniques et de performances et consolide-les Informations techniques remontées du site en utilisant Railsys.
- Il établit les devis pour toutes opérations supplémentaires. [1]

II.7.2.1.7. Chef Production Matériel Roulant

- Garantir, participer, et s'assurer de l'organisation et de l'évolution du processus de la maintenance ;

- Préparer, produire et mettre à jour le plan et les fiches de maintenance, évaluer les risques et assurer le railway safety
- Il assure le suivi des points techniques et de performances et consolide les informations techniques remontées de l'atelier en utilisant Railsys.
- Il est interlocuteur Railsys pour la partie MR.
- Participer pour l'amélioration continue du plan Railway Safety. [1]

II.7.2.1.8. Chef D 'Atelier

Il garantit, participe et s'assure de la bonne exécution de la maintenance préventive et corrective (la maintenance corrective démarre à partir de la deuxième année après le service commercial) du Matériel Roulant et de la conformité de ces tâches avec le plan de maintenance ;

- Il anime une équipe pour assurer les objectifs de disponibilité du système ;
- Il est le garant **Q C D** de son scope ;
- IL assurera le rapport à son manager des activités de maintenance. [1]

II.7.2.1.9. Gestionnaire de Stock

Le gestionnaire de stock assure la gestion globale du magasin. Il a pour mission de :

- S'assurer que toutes les pièces de rechanges et notamment les pièces consommables sont disponibles en magasin pour assurer la maintenance ;
- Assurer la gestion et le traitement des pièces non-conformes ;
- Gérer des contrats d'entretien des équipements mobiles, engins de maintenance et les outillages spécifiques pour le matériel roulant et les infrastructures. en relation avec les scopes de chaque entité ;
- Gérer les fournisseurs tout en respectant la politique d'achat, passer les commandes d'achat. [1]

II.7.2.1.10. Technicien matériel roulant /LAC/ courant fort

Ils assurent la maintenance préventive, corrective, l'astreinte et le dépannage en ligne en conformité avec le plan de maintenance, la documentation de maintenance et les règles de sécurité pour le matériel roulant, la **LAC** et les installations courant fort. [1]

II.8. Les arrêts récurrents

Selon l'analyse de l'historique en paragraphe quatre (4), l'évènement (du point de vue maintenance) est la détérioration de la roue frittée.

Le cisaillement des dentures est remarquable et a inspiré des chercheurs pour remédier à ce phénomène.

Nous allons présenter quelques notions sur les trains d'engrenage et spécialement les roues frittées. [1]



Figure II.14 pignon (e) neuf.



Figure II.15 pignon (e) cassé.

II.9. Historique des pannes :

II.9.4. Historique des pannes de tramway [1]

N°	Designations	H. Arret	H. Redemarrage	TBF (heures)	Kilometrage
01	Fuite d'huile	09h	10h	2300	32800
02	Ecartement roues	10h	18h	4500	29600
03	Fuite d'huile	08h	09h30	500	300
04	Roue frétée	11h	22h	6500	18900
05	Ecartement roue	08h	16h	5200	3250
06	Roue frétée	11h	19h	6100	25900
07	Roulement	08h	17h	6200	8200
08	Bogie	01h	23h	7200	39800
09	Flexible d'huile	14h	16h	2300	33200
10	Roue frétée	08h	23h	8200	45300
11	Écartement	12h	18h	3600	28300

12	Roulement	09h	20h	7500	32200
13	Roue frétée	06h	18h	7800	37300
14	Freinage	07h	15h	550	420
15	Flexible d'huile	14h	16h	2800	1350
16	Écartement	11h	18h	4100	3100
17	Roue frétée	12h	23h	7500	8600
18	Fuite d'huile	08h	09h30	500	650
19	Freinage	07h	15h	1250	7800
20	Fuite d'huile	08h	10h30	700	530
21	Roulement	07h	17h	3600	8500
22	Roue frétée	11h	22h	6500	33200
23	Écartement	10h	17h	3500	8600
24	Fuite d'huile	10h	10h	2400	500
25	Roulement	8h	17h	5800	3560
26	Roue frétée	09h	23h	4900	2800
27	Écartement	11h	18h	4000	1950
28	Freinage	07h	15h	5300	7800
29	Flexible d'huile	14h	16h	3400	5680
30	Roue frétée	11h	22h	7500	6600
31	Fuite d'huile	10h	12h	3600	5900
32	Roulement	6h	17h	5200	6920
33	Freinage	08h	16h	4200	7350
34	Roue frétée	11h	23h	5500	30200
35	Roue frétée	10h	23h	8500	6980
36	Fuite d'huile	12h	13h	690	510
37	Freinage	07h	15h	1200	6550
38	Roue frétée	11h	22h	2500	660
39	Fuite d'huile	14h	16h	980	460
40	Flexible d'huile	13h	12h	1430	590
41	Fuite d'huile	10h	13h	4700	980
42	Freinage	07h	15h	3350	2950
43	Freinage	08h	16h	1500	7650
44	Roue frétée	09h	20h	6200	23900
45	Écartement	10h	15h	2500	6900
46	Fuite d'huile	12h	14h	5600	880

Tableau : II.4. Historique des pannes de tramway 302

Position du Problème

Les approches en maintenance sont devenues très appréciables pour une meilleure prise en charge des équipements industriels. En général, les indicateurs de maintenance, donnent, une vision de l'état de nos machines de production et les utilités. Il est connu que le principal indicateur est la fiabilité s'ensuit la disponibilité est la maintenabilité.

De nos jours certains outils mathématiques et informatiques trouvent des applications efficaces dans le domaine de maintenance. L'intelligence artificielle, s'est incrustée comme moyen pour mesurer la performance d'un équipement du point de vue fiabilité.

Ce domaine a l'avantage de prédire, les futurs dysfonctionnements et les actions à mettre en œuvre du point de vue maintenance, et surtout la prédilection des événements sur l'équipement considéré.

Ici, nous avons opté pour la méthode des réseaux neurones, qui à notre avis, stimulera notre approche pour prévoir les performances de notre sous ensemble à savoir le " pont moteur " du tramway. A priori, une tenue d'un historique des interventions exécutées et dysfonctionnements rencontrés, peut nous faciliter, une analyse avec des outils connus (weibell,..). La connaissance de ces indicateurs, nous informera sur l'état de l'équipement du point de vu maintenance. Les actions à entreprendre dépendra du niveau de ces indicateurs.

Réellement, une indisponibilité, des données historiques est presque totale. Au vu, d'une recherche par notre soin, nous avons récolté quelques événements en terme d'arrêts, mais insuffisante pour une approche systématique de notre cas.

La méthode des réseaux neurones, doit contenir moult informations pour des résultats cohérents.

Pour ces dites informations il a fallu, faire des interviews au niveau des ateliers de réparation et exploitation pour aboutir à un historique viable.

Concernant la recherche bibliographique, sur ces ponts est pratiquement infructueuse. Les résultats obtenus, concernent en majorité des problèmes électriques, la nature des rails (cas des déformations) et les écartements notre approche va s'orienter sur les arrêts des" bogies moteurs "et principalement la détérioration des roues frettées.

L'objectif visé, c'est la prédilection des défaillances de la roue frettée pour la méthode des réseaux neurones.

II.10. DETERIORATION ROUE FRETTEE

La détérioration d'une roue frettée sur un bogie de tramway peut être causée par plusieurs facteurs. Voici quelques-unes des causes courantes de détérioration des roues frettées :

- 1. Usure :** L'usure progressive due à la friction entre la roue et le rail est une cause courante de détérioration des roues frettées. Les conditions d'exploitation, telles que la charge, la vitesse, le type de voie, peuvent affecter l'usure des roues.
- 2. Défauts de fabrication :** Des défauts de fabrication, tels que des imperfections structurelles ou des déséquilibres, peuvent entraîner une usure inégale et une détérioration prématurée des roues frettées.
- 3. Roulement inégal :** Des conditions de roulement inégal, comme des défauts de la voie ou des problèmes d'alignement, peuvent entraîner une répartition inégale de la charge sur les roues, entraînant une détérioration accélérée de certaines zones de la surface de contact.
- 4. Contamination :** La présence de contaminants, tels que des débris, des graisses, des huiles ou des résidus de freinage sur la surface de contact entre la roue et le rail, peut entraîner une détérioration prématurée en modifiant les propriétés de friction et d'usure.
- 5. Effets thermiques :** Les variations de température peuvent provoquer des dilatations et des contractions des roues et des rails, ce qui peut entraîner des contraintes mécaniques et des fissures, contribuant ainsi à la détérioration des roues frettées.
- 6. Freinage excessif :** Des freinages brusques, fréquents ou excessifs peuvent entraîner une augmentation de la chaleur et de la friction entre la roue et le rail, ce qui peut entraîner une usure et une détérioration accrues.
- 7. Mauvaise maintenance :** Une maintenance inadéquate, telle que des intervalles d'inspection et d'entretien insuffisants, peut entraîner une détection tardive des problèmes et une détérioration accrue des roues frettées.

CHAPITRE III

LES ENGRENAGES

Chapitre III : Les engrenages

Introduction

Les engrenages, connus dès le III^e millénaire av. J.-C. (en Chine), sont couramment réalisés en métal depuis le XII^e siècle. Un engrenage de qualité doit assurer un bon rendement et une transmission exempte d'à-coups et de vibrations ; Ce qui se traduit par trois exigences

Fondamentales :

- ✓ Rapport constant ;
- ✓ Absence de glissement ;
- ✓ Contact continu entre deux dents.

Ils sont normalisés. Les engrenages fabriqués avec la norme internationale ISO présentent l'avantage d'être facilement interchangeables. Ils permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standards). Lorsqu'il s'agit d'engrenages pour très grandes séries (Automobiles...) les constructeurs s'écartent de ces standards afin d'optimiser les coûts.

Toutefois, en raison de la forme spéciale du profil des dents, les problèmes de fabrication sont ardues. Lorsqu'une haute précision n'est pas requise, on peut se contenter d'engrenages moulés (fontes d'acier, d'aluminium, de bronze, matières plastiques).

Dans les autres cas, les engrenages sont taillés au moyen de fraises animées de mouvements non linéaires, puis rectifiés à la meule ou à la main et, éventuellement, rodés. Souvent les dents sont l'objet de traitements de surface qui leur confèrent une grande dureté superficielle.

L'évolution des machines-outils a permis de concevoir des engrenages de forme extrêmement complexe, cela répond à des impératifs très particuliers, tels que les ponts arrière de voitures ou les transmissions reliant des axes de direction des véhicules routiers.

III.1.Définition

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées, l'une des roues entraîne l'autre par l'action des dents qui sont successivement en contact, la roue qui a le plus petit nombre de dents appelée pignon et la grande roue appelée couronne, une des roues peut avoir un rayon infini, elle s'appelle alors une crémaillère. Une combinaison d'engrenages est appelée train d'engrenages.

Les engrenages peuvent avoir diverses utilités qui sont les suivants :

- ✓ Réduction et /ou variation de la fréquence de rotation entre deux arbres ;
- ✓ Réduction /augmentation du couple moteur ;
- ✓ Transmission d'un mouvement de rotation ;
- ✓ Transformation des caractéristiques d'un mouvement [9].

III.2. Les type des engrenages :

Les engrenages peuvent se répartir en trois familles selon la position et l'orientation relative de leurs axes [9].

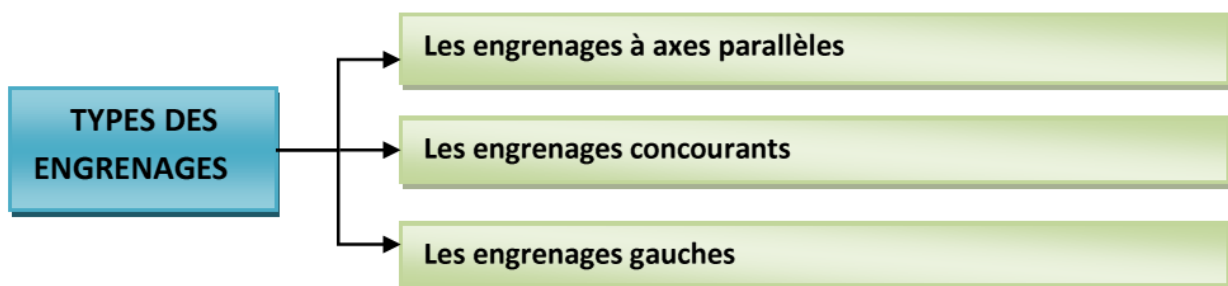


Figure III. 16. Les types des engrenages

Dans chacune de ces familles on retrouve différents types d'engrenages, ces types sont présentés dans les diapositives suivant :

III.2.1. Engrenage droit (ou à denture droite) :

C'est le type le plus courant d'engrenage. Les dents sont disposées parallèlement à l'axe de rotation et sont rectilignes. Ils transmettent la puissance de manière efficace, mais peuvent produire des vibrations et du bruit. [10].

III.2.2. Engrenage hélicoïdal :

Les dents de ces engrenages sont inclinées par rapport à l'axe de rotation, ce qui permet un engagement plus progressif et une transmission plus fluide de la puissance. Ils génèrent moins de vibrations et de bruit que les engrenages droits. . [11].

III.2.3. Engrenage conique :

Ces engrenages ont des dents coniques et sont utilisés lorsque les axes de rotation sont perpendiculaires. Ils sont souvent utilisés dans les différentiels des véhicules. . [12].

III.2.4. Engrenage à Vis sans fin :

C'est un type spécial d'engrenage utilisé lorsque l'on veut une transmission de mouvement unidirectionnelle. La vis sans fin à une forme hélicoïdale et entraîne une roue dentée, mais la rotation ne peut pas être inversée. . [13].

III.2.5. Engrenage planétaire :

Aussi appelé train épicycloïdal, il est composé d'une roue centrale (soleil), de plusieurs engrenages (planètes) qui tournent autour du soleil, et d'une couronne externe qui est en contact avec les planètes. Les engrenages planétaires offrent une grande polyvalence dans les configurations de transmission et sont couramment utilisés dans les boîtes de vitesses automatiques. . [14].

Il existe également d'autres types d'engrenages spéciaux, tels que les engrenages à denture arrondie (engrenages à denture hélicoïdale avec une forme de dent arrondie), les engrenages à denture intérieure (où les dents sont à l'intérieur de la circonférence) et les engrenages à denture conique spirale (une combinaison d'engrenages coniques et hélicoïdaux).

Chaque type d'engrenage a ses propres caractéristiques et applications spécifiques en fonction des exigences du système dans lequel ils sont utilisés.

III.3. Frittage :**III.3.1. Définition**

Le frittage est un procédé de fabrication qui consiste à chauffer des particules de matériau, généralement sous forme de poudre, à une température inférieure à leur point de fusion. Les

particules sont pressées ensemble et chauffées à une température suffisamment élevée pour provoquer la liaison entre elles, sans atteindre l'état liquide.

Le frittage est couramment utilisé dans l'industrie pour fabriquer des pièces en céramique, en métal et en plastique. Ce processus permet d'obtenir des objets solides et résistants, avec une densité élevée et une structure homogène. [15].

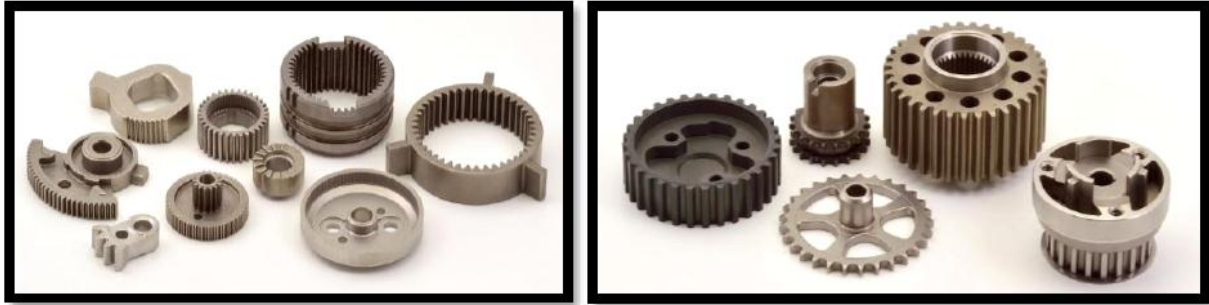


Figure III.17 : Différentes formes de roues dentées.

III.3.1. Le frittage présente plusieurs avantages et plusieurs Inconvénients

III.3.1.1. Les avantages de frittage :

Il permet de fabriquer des pièces de formes complexes, de produire des matériaux poreux avec des propriétés spécifiques, et de réaliser des économies de matière par rapport à d'autres procédés de fabrication. De plus, le frittage peut être utilisé pour combiner différents matériaux et créer des composites.

Le frittage présente certains inconvénients potentiels, selon le matériau utilisé et le processus de fabrication. Voici quelques-uns des inconvénients couramment associés au frittage [15].

III.3.1.2. Les Inconvénients de frittage :

Contraintes thermiques :

Les variations de température pendant le processus de frittage peuvent entraîner des contraintes thermiques dans les pièces, ce qui peut causer des déformations ou des fissures. Des techniques de refroidissement contrôlé ou de prétraitement peuvent être nécessaires pour minimiser ces contraintes. [15].

Rétrécissement :

Le frittage peut provoquer un rétrécissement des pièces par rapport à leur taille initiale, ce qui peut être problématique pour certaines applications où des tolérances strictes sont requises. Des ajustements de conception ou des opérations d'usinage supplémentaires peuvent être nécessaires pour compenser ce rétrécissement. [15].

Porosité :

Dans certains cas, le frittage peut entraîner la formation de porosités dans les pièces, en particulier avec des matériaux poreux tels que les céramiques. Ces porosités peuvent affecter les propriétés mécaniques des pièces, notamment leur résistance et leur étanchéité. Des traitements supplémentaires, tels que l'impregnation ou le scellement, peuvent être nécessaires pour réduire la porosité. [15].

Coût :

Le frittage peut être un processus coûteux, notamment en raison des équipements spécialisés et des matières premières nécessaires. De plus, les étapes de préparation et de finition des pièces, telles que le broyage, le polissage ou l'usinage, peuvent ajouter des coûts supplémentaires. [15].

Limitations de matériaux :

Bien que le frittage soit applicable à une large gamme de matériaux, certains matériaux peuvent présenter des défis particuliers. Par exemple, certains plastiques peuvent libérer des gaz nocifs lorsqu'ils sont chauffés, nécessitant des précautions spéciales. De plus, tous les matériaux ne peuvent pas être frittés avec la même efficacité, ce qui peut limiter les options disponibles.

Il est important de noter que ces inconvénients peuvent varier en fonction des spécificités du processus de frittage et des matériaux utilisés. Les avancées technologiques et les techniques de contrôle de qualité peuvent contribuer à atténuer certains de ces problèmes, améliorant ainsi les performances et la fiabilité des pièces fabriquées par frittage. [15].

III.4. Paramètres de frittage**III.4.1. Température de frittage**

Lors de la mise en température du comprimé, il se produit, aux basses températures (inférieures à 300°C), l'élimination du liant et du lubrifiant. Le frittage proprement dit ne

début qu'à des températures supérieures à 400°C et se traduit par un retrait de plus en plus important en fonction de la température. Les températures de frittage sont généralement comprises entre 0.6 et 0.8 fois la température de fusion du matériau. [15].

III.4.2. Durée de frittage

La durée du processus de frittage représente le temps nécessaire pour atteindre une densification complète du matériau. Elle dépend de plusieurs paramètres, mais elle est dominée par la température de frittage. Pour une densification incomplète, un temps prolongé est bénéfique car il élimine la porosité résiduelle. Cependant un long frittage grossit la microstructure, augmente la taille des pores. La durée de frittage est fonction du matériau et peut varier de 15 minutes pour les coussinets poreux à plusieurs heures pour les alliages au carbone. [15].

III.4.3. Energies motrices du frittage

Pour qu'on puisse faire évoluer un système, il faut absolument lui fournir de l'énergie. Cette énergie sert à activer le transport d'atomes par diffusion qui aboutit à une diminution de l'enthalpie. En d'autres termes cette énergie est moteur des mécanismes de frittage et n'est pas d'une seule nature toute au long du processus. On distingue ainsi:

- L'énergie de surface.
- l'énergie liée à l'existence d'un gradient de défaut physique.
- l'énergie liée aux équilibres entre les phases. [15].

III.5. Différents types de frittage

Il existe plusieurs types de frittage utilisés dans l'industrie, chacun adapté à des matériaux spécifiques et à des applications particulières. Voici quelques-uns des types de frittage les plus couramment utilisés : [16].

III.5.1. Frittage conventionnel :

C'est la méthode de frittage de base, où la poudre de matériau est chauffée uniformément à une température inférieure à son point de fusion. Les particules se lient entre elles pour former une structure solide. Cette méthode est utilisée pour les matériaux tels que les céramiques, les métaux et les plastiques.

III.5.2. Frittage à chaud :

Dans cette méthode, les particules de matériau sont chauffées à une température plus élevée, juste en dessous de leur point de fusion. Cela permet d'obtenir une densification plus élevée et

une meilleure cohésion des particules. Le frittage à chaud est couramment utilisé pour les métaux et les alliages métalliques.

III.5.3. Frittage réactif :

Cette méthode implique l'utilisation de réactions chimiques entre les particules de matériau pour favoriser la consolidation et la formation d'une phase spécifique. Les réactions chimiques fournissent de l'énergie supplémentaire pour favoriser la liaison entre les particules. Le frittage réactif est utilisé pour les céramiques avancées et les matériaux composites.

III.5.4. Frittage à micro-ondes :

Dans ce processus, les micro-ondes sont utilisées pour chauffer rapidement et uniformément les particules de matériau. Cela permet d'obtenir des vitesses de frittage plus rapides et une consommation d'énergie réduite par rapport aux méthodes conventionnelles. Le frittage à micro-ondes est utilisé pour une large gamme de matériaux, y compris les céramiques, les métaux et les composites.

III.5.5. Frittage flash :

Cette méthode de frittage extrêmement rapide utilise des impulsions de courant électrique de haute intensité pour chauffer instantanément les particules de matériau. Le frittage flash permet d'obtenir des densités élevées et des propriétés améliorées en un temps très court. Il est utilisé pour les céramiques, les métaux et les matériaux composites.

III.5.6. Frittage sélectif par laser (FSL) :

Cette technique est utilisée dans l'impression 3D pour créer des objets couche par couche à partir de poudre. Un laser est utilisé pour chauffer sélectivement les particules de poudre selon un motif défini par un modèle numérique 3D. Cela permet de fabriquer des pièces complexes avec une grande précision.

Ces sont quelques exemples de types de frittage, mais il en existe d'autres qui peuvent être adaptés à des matériaux spécifiques ou à des applications particulières. Chaque méthode de frittage présente ses propres avantages et limites, et le choix du type de frittage dépendra des exigences du matériau et de l'application finale [16].

Conclusion

La métallurgie des poudres est une technologie idéale pour fabriquer des engrenages car elle permet d'obtenir la géométrie de la denture directement lors de l'opération de compactage

En résumé :

Le frittage est un procédé de fabrication qui permet de créer des objets solides à partir de particules de matériau en les chauffant à une température inférieure à leur point de fusion. Il est largement utilisé dans l'industrie pour produire des pièces en céramique, en métal et en plastique, ainsi que dans le domaine de l'impression 3D.

CHAPITRE IV

RESEAUX DE NEURONES

CHAPITRE : IV. Réseau de neurones et bibliographie**Introduction**

L'évolution technologique durant les dernières années a permis aux scientifiques d'élaborer et de perfectionner des méthodes pour différents domaines. L'évolution des ordinateurs en particulier et la capacité d'intégration de composants formidable atteintes à nos jours ont permis une grande vitesse de calcul et une grande capacité mémoire. Parmi ces méthodes, il existe une méthode qui est utilisée dans plusieurs domaines de recherches et de différentes manières, ainsi elle peut être utilisée d'une manière complètement soft en utilisant uniquement l'ordinateur ou d'une manière hard en utilisant les circuits intégrés. Cette méthode est celle des réseaux de neurones artificiels (RNA). Les réseaux de neurones artificiels sont des outils puissant capables d'être utilisés dans près que tous les domaines technologiques, et on peut citer : le traitement du signal, vision, parole, prévision, modélisation, aide à la décision, robotique, évaluation des écosystèmes, identification des bactéries, commande des processus, modélisation des systèmes physiques reconnaissance des formes, mesure, instrumentation,... [16]

IV.1. Définition :

Les réseaux neuronaux sont des modèles mathématiques et informatiques qui s'inspirent du fonctionnement du cerveau humain pour effectuer des tâches d'apprentissage automatique. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines tels que la vision par ordinateur, le traitement du langage naturel, la reconnaissance vocale, la prédiction, etc.

Un réseau neuronal est composé de plusieurs couches de neurones interconnectés. Chaque neurone reçoit des entrées pondérées, les combine à l'aide d'une fonction d'activation et produit une sortie. Les sorties des neurones d'une couche deviennent les entrées des neurones de la couche suivante, et ce processus est répété jusqu'à ce que le réseau produise une sortie finale. [16]

IV.2.Historique des Réseau neurones

L'histoire des réseaux neuronaux remonte à plusieurs décennies. Voici un bref aperçu de l'évolution des réseaux neuronaux :

Modèle du neurone artificiel : Le concept initial des réseaux neuronaux a été proposé dans les années 1940 par Warren Mc Culloch et Walter Pitts. Ils ont développé le modèle formel d'un neurone artificiel, inspiré par le fonctionnement des neurones biologiques.

Perceptron : En 1958, Frank Rosenblatt a introduit la perception, qui est considérée comme l'un des premiers algorithmes d'apprentissage supervisé pour les réseaux neuronaux. Le perceptron a la capacité d'apprendre à classer des objets en fonction de leurs caractéristiques.

Apprentissage par rétropropagation : Dans les années 1980, David Rumelhart, Geoffrey Hinton et Ronald Williams ont popularisé l'algorithme de rétropropagation des erreurs. Cela a permis l'entraînement efficace de réseaux neuronaux multicouches en ajustant les poids des connexions entre les neurones.

Réseaux de neurones convolutifs (CNN) : Dans les années 1990, Yann LeCun et ses collègues ont développé les réseaux de neurones convolutifs, qui sont spécialement conçus pour le traitement des données structurées en grille, comme les images. Les CNN ont révolutionné le domaine de la vision par ordinateur et ont conduit à des avancées significatives dans la reconnaissance d'images.

Réseaux de neurones récurrents (RNN) : Les réseaux de neurones récurrents sont apparus dans les années 1980 et ont été largement développés par des chercheurs tels que Sepp Hochreiter et Yoshua Bengio. Les RNN sont capables de traiter des données séquentielles en utilisant des boucles récurrentes dans leur architecture, ce qui leur permet de modéliser des dépendances temporelles.

Essor du deep learning : Au cours des dernières décennies, le développement de matériel informatique plus puissant, combiné à des avancées dans les architectures de réseaux neuronaux et les algorithmes d'apprentissage, a permis l'essor du deep learning. Les réseaux neuronaux profonds, avec de nombreuses couches cachées, ont atteint des performances remarquables dans divers domaines, tels que la vision par ordinateur, le traitement du langage naturel et les jeux.

L'histoire des réseaux neuronaux est riche et continue de s'étendre avec de nouvelles avancées et découvertes. Ces développements ont conduit à des progrès significatifs dans de nombreux domaines de l'intelligence artificielle et continuent d'être un sujet de recherche actif. [17].

IV.3. Types de réseaux de neurones

Il existe plusieurs types de réseaux de neurones, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications spécifiques. Voici quelques-uns des types les plus courants :

IV.3.1. Perceptron simple :

Le perceptron simple est le modèle le plus élémentaire de réseau neuronal. Il se compose d'une seule couche de neurones et est principalement utilisé pour des tâches de classification binaire.

IV.3.2. Réseaux de neurones multicouches (MLP) :

Les réseaux de neurones multicouches sont constitués de plusieurs couches de neurones, y compris une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie. Ils sont utilisés pour des tâches de classification, de régression et de reconnaissance de motifs complexes.

IV.3.3. Réseaux de neurones convolutifs (CNN) :

Les réseaux de neurones convolutifs sont principalement utilisés dans le domaine de la vision par ordinateur. Ils sont particulièrement adaptés pour l'analyse d'images en raison de leur capacité à extraire automatiquement des caractéristiques à partir de données structurées en grille, telles que des images.

IV.3.4. Réseaux de neurones récurrents (RNN) :

Les réseaux de neurones récurrents sont conçus pour traiter des données séquentielles, où la séquence d'entrée a une dépendance temporelle. Ils sont largement utilisés dans des applications telles que la traduction automatique, la génération de texte, la reconnaissance vocale, etc.

IV.3.5. Réseaux de neurones récurrents à mémoire à court terme (LSTM) :

Les LSTM sont une variante des RNN qui ont été développés pour résoudre le problème de la disparition du gradient. Ils sont particulièrement efficaces pour modéliser des séquences longues et sont couramment utilisés dans des applications où une mémoire à long terme est essentielle.

IV.3.6. Réseaux de neurones générateurs adverses (GAN) :

Les GAN sont utilisés pour générer de nouvelles données réalistes en apprenant à partir d'un ensemble de données d'entraînement. Ils se composent de deux parties, un générateur qui tente de générer de nouvelles données, et un discriminateur qui essaie de les distinguer des données réelles. Les GAN ont trouvé des applications dans la génération d'images, la synthèse de voix, etc. [18].

IV.4. Neurone biologique : [20, 21]

Le neurone considéré comme l'unité de base du système nerveux central est constitué d'un corps cellulaire appelé soma, qui se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites.

Les dendrites acheminent l'information de l'extérieur, ou d'autres neurones, vers le soma.

Après traitement de l'information par le corps cellulaire, l'information sera transmise aux autres neurones à travers un prolongement de sortie appelé axone.

Entre un axone et une dendrite, il existe un espace vide appelé synapse, à travers lequel la transmission se fait par l'intermédiaire de substances chimiques

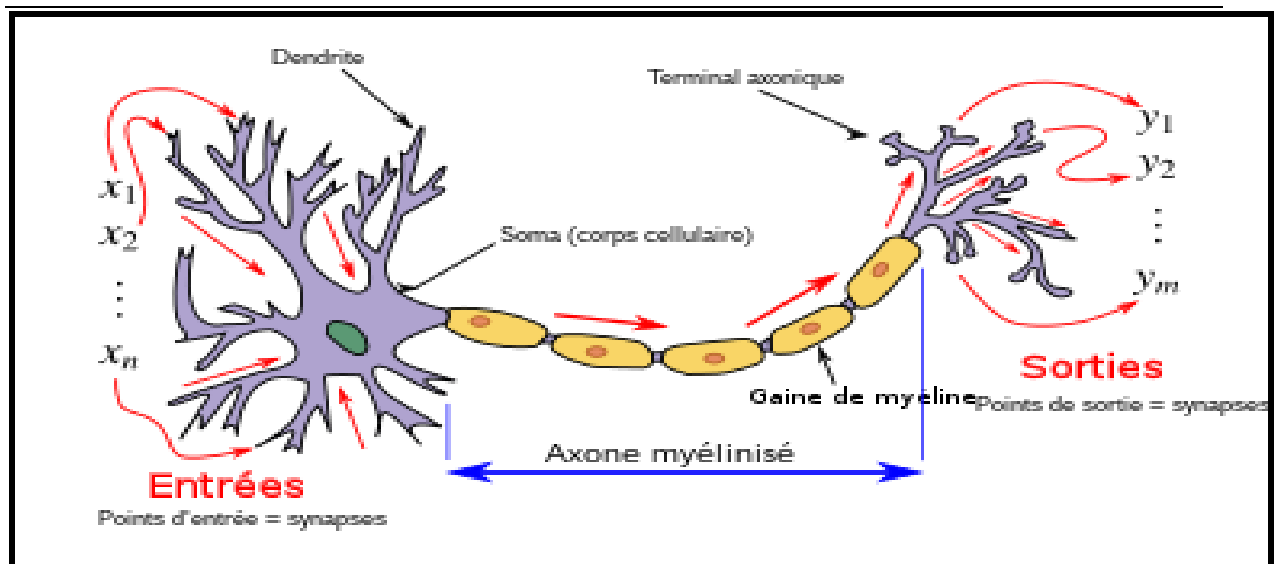


Figure IV.18 : Représentation d'un neurone biologique

Le cerveau se compose d'environ 1012 (mille milliards), de cellules nerveuses appelées neurones.

La sortie de chaque neurone est liée à des milliers d'autres neurones. Chaque neurone effectue un traitement local. Il collecte les signaux issus des dendrites et leur fait la somme.

Si l'amplitude résultante dépasse un certain seuil interne, un signal est envoyé à travers l'axone vers d'autres neurones [21].

IV.5. Le neurone artificiel : [20. 21.22]

Le modèle mathématique d'un neurone artificiel est illustré par la figure (II.2). Un neurone est essentiellement constitué d'un intégrateur qui effectue la somme pondérée de ses entrées. Le résultat n de cette somme est ensuite transformé par une fonction de transfert f qui produit la sortie D du neurone. Les R entrées des neurones correspondent au vecteur

$P = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_R]$, alors que $W = [W_{1,1} \ \dots \ W_{1,R}]$ représente le vecteur des poids du neurone. La sortie n de l'intégrateur est donnée par l'équation suivante

$$n = \sum_{j=1}^R w_j p_j - b = W_{1,1} \cdot P_1 + W_{1,2} \cdot P_2 + \dots + W_{1,R} \cdot P_R - b \quad \text{II.1}$$

$$D = f(n) = f\left(\sum w_{i,j} \cdot P_j - b\right) \quad \text{II.2}$$

Que l'on peut aussi écrire sous forme matricielle :

$$n = w^T \cdot P - b \quad \text{II.3}$$

$$d = f(n) = f(w^T \cdot P - b) \quad \text{II.4}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1R} \\ w_{s1} & \dots & w_{sR} \end{bmatrix} \quad F = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_R] \quad \text{II.5}$$

P : dimension matricielle est $R \times 1$, W : dimension $S \times R$

S : le nombre de neurones d'une même couche

i : le premier indice (rangée) désigne toujours le numéro de neurone sur la couche.

j : le deuxième indice (colonne) spécifie le numéro de l'entrée.

Cette sortie correspond à une somme pondérée des poids et des entrées moins ce qu'on nomme le biais b du neurone. Le résultat n de la somme pondérée s'appelle le niveau d'activation du neurone. Le biais b s'appelle aussi le seuil d'activation du neurone. Lorsque le niveau d'activation atteint ou dépasse le seuil b , alors l'argument de f devient positif (ou nul). Sinon, il est négatif.

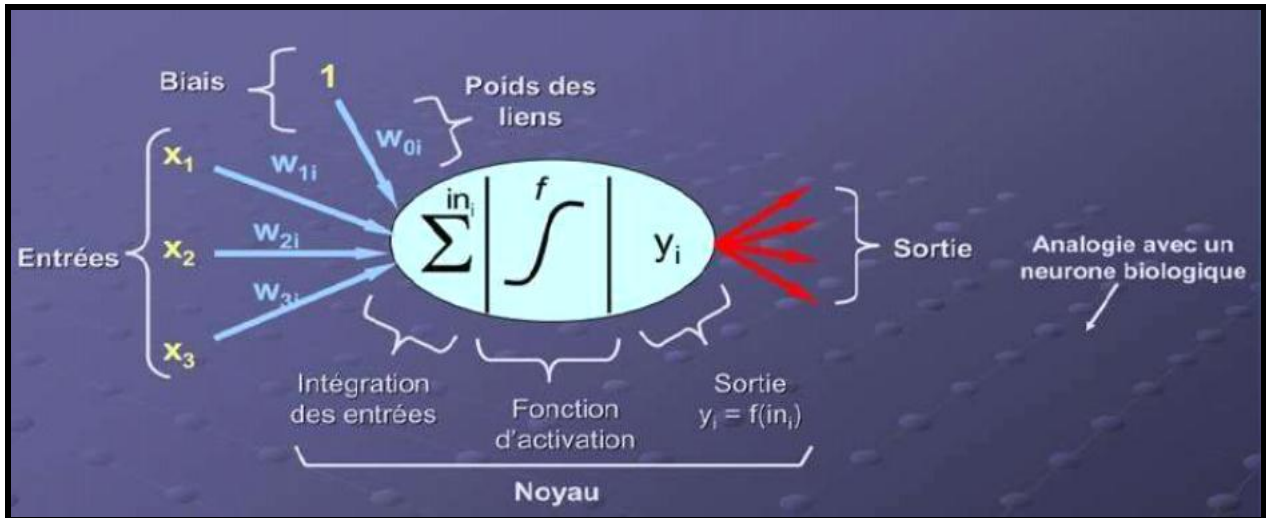


Figure (V.19) : Modèle d'un neurone artificiel

IV.5.1.Principes d'un neurone artificiel :

Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones en amont ou des capteurs composant la machine dont il fait partie. A chacune de ses entrées est associé un poids représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones en aval. A chaque connexion est associé un poids. [19]

IV.6. Neurone et le réseau de neurones

La figure 3 montre un schéma comportant la structure générale d'un neurone artificiel.

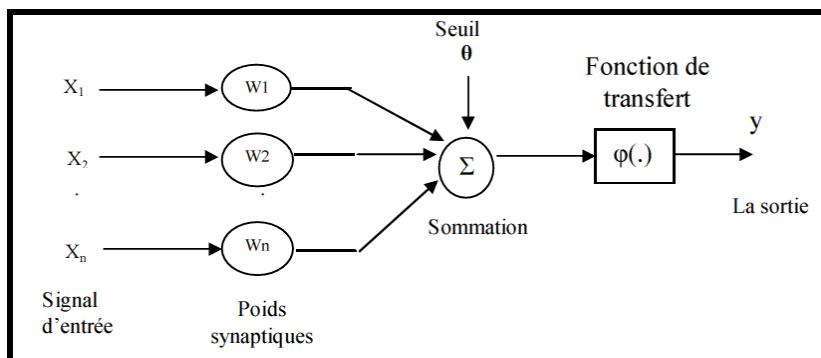


Figure V.20 : Neurone artificiel

Un neurone artificiel est considéré comme un élément élémentaire de traitement de l'information, Il reçoit les entrées et produit un résultat à la sortie

$$u = \sum_j^n w_j x_j + \theta = W X + \theta \quad (1) \qquad y = \varphi(u) \quad (2)$$

x_1, x_2, \dots, x_n ; sont les entrées externes. y est la sortie. w_1, w_2, \dots, w_n sont les poids associés à chaque connexion. X est le vecteur d'entrée, W est le vecteur poids, θ est appelé le biais

La fonction φ est appelée fonction d'activation, c'est une fonction non linéaire. Différentes fonctions d'activation peuvent être utilisées, parmi lesquelles on peut citer : fonction signe, sigmoïde, tangente hyperbolique, Gaussienne [4], [5]. et le choix d'un type de fonction dépend de l'application

Les réseaux de neurones artificiels sont des combinaisons de fonctions élémentaires appelées neurones formels, ou simplement neurones associés en couches et 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

Il y a une analogie évidente (Tableau 1) avec les neurones biologiques

Neurones biologiques	Neurones artificiels
Synapses	Connections pondérées
Axones	Sorties
Dendrites	Entrées
Sommateur	Fonction d'activation

Tableau IV.5 : L'analogie entre les neurones biologiques et les neurones artificiels

IV.7. Fonctions d'activation : [13, 15, 17, 19, 21]

Plusieurs types de fonctions d'activation sont utilisés que nous notons dans le tableau. Cependant, certaines des fonctions sont les plus utilisées, telles que : la fonction de limite, et Fonction linéaire, fonction rayons X.

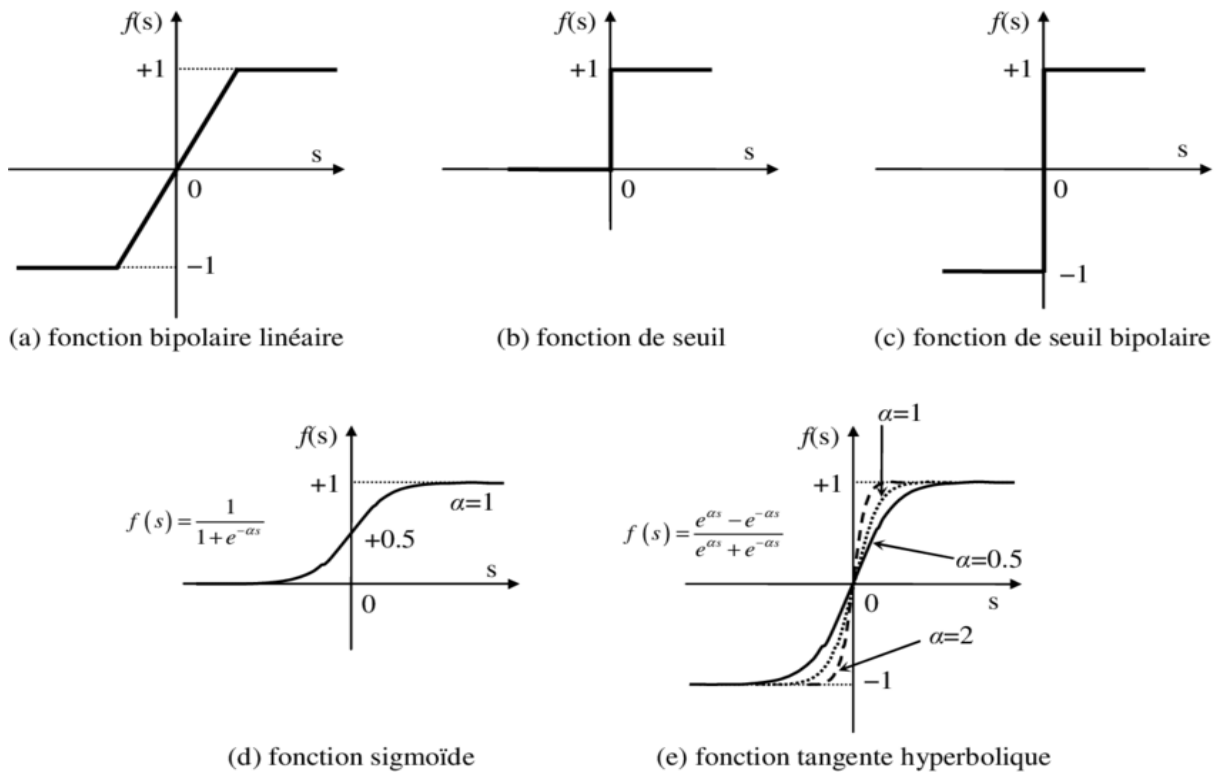


Figure. IV.21. Différents types de fonctions d'activation pour le neurone formel.

Toutes les fonctions d'activation utilisées doivent être différentiables, car l'architectures des réseaux de neurones l'impose pour que l'apprentissage soit possible.

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$	
linéaire	$a = n$	
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$	
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$	
sigmoïde	$a = \frac{1}{1 + \exp^{-n}}$	
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$a = 1$ si n maximum $a = 0$ autrement	

Tableau IV.6 : Fonctions de transfert $f(x)$.

IV.7.1. Fonctionnement

Avant de pouvoir utiliser les capacités de classification et d'approximation de fonctions d'un réseau de neurones, il faut le construire, ceci se déroule en quatre temps :

1. La construction de la structure du réseau (généralement empirique).
2. La constitution d'une base de données de vecteurs représentant au mieux le domaine à modéliser. Celle-ci est scindée en deux parties : une partie servant à l'apprentissage du réseau (on parle de base d'apprentissage) et une autre partie aux tests de cet apprentissage (on parle de base de test).
3. Le paramétrage du réseau par apprentissage. Au cours de l'apprentissage, les vecteurs de données de la base d'apprentissage sont présentés séquentiellement et plusieurs fois au réseau. Un algorithme d'apprentissage ajuste le poids du réseau afin que les vecteurs soient correctement appris. L'apprentissage se termine lorsque l'algorithme atteint un état stable.
4. La phase de reconnaissance qui consiste à présenter au réseau chacun des vecteurs de la base de test. La sortie correspondante est calculée en propageant les vecteurs à travers le réseau, La réponse du réseau est lue directement sur les unités de sortie et comparée à la réponse attendue. Une fois que le réseau présente des performances acceptables, il peut être utilisé pour répondre au besoin qui a été à l'origine de sa construction.

IV.7.2. Modélisation générale

On peut modéliser un réseau de neurone par des élémentaires qu'il s'agit de :

- A. La nature de ses entrées :** qu'ils peuvent être binaire (0 ou 1), (-1,1) ou réelles appartenant souvent à intervalle bornée $[a, b]$.
- B. La fonction des entrées :** que sa signifie qu'elle peut définir le pré traitement effectuée sur les entrées.
- C. Fonction de sortie :** Cette fonction calcule la sortie du neurone en fonction de son état d'activation.
- D. Fonction d'activation ou de seuillage :** Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction d'activation. Les plus courantes sont présentées sur la **figure. (VII.16)**, la plupart des fonctions d'activations sont continués, offrant une infinité de valeurs possibles comprises dans l'intervalle $[0, +1]$ (ou $[-1, +1]$).

IV.8. Architecture des réseaux :

a-Réseau monocouche

La structure d'un réseau monocouche est telle que des neurones organisés en entrée soient entièrement connectés à d'autres neurones organisés en sortie par une couche modifiable de poids (**figure V.21**).

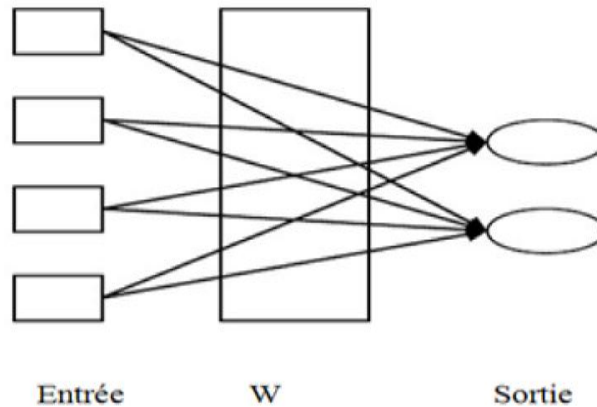


Figure V.22. Réseau monocouche

b- Réseau multicouche

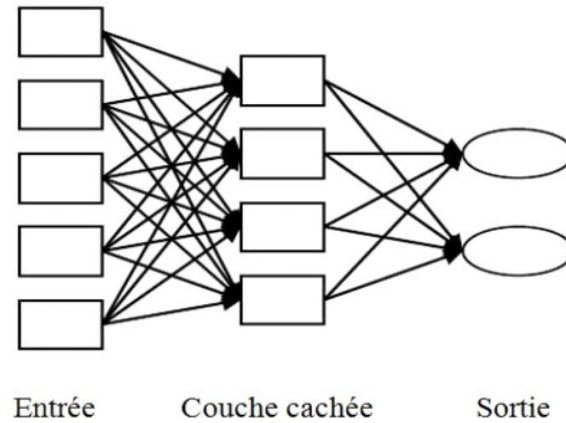
Les neurones sont arrangés par couche, les entrées des neurones de la deuxième couche sont en fait les sorties des neurones de la couche amont, les neurones de la première couche sont reliés au monde extérieur et reçoivent le vecteur d'entrée. Il peut y avoir une ou plusieurs sorties à un réseau de neurone.

Dans un réseau multicouche, il n'y a pas connexion entre neurone d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones de la couche aval, et tous les neurones de la couche amont sont connectés à tous les neurones de la couche aval. On appelle [26] :

Couche entrée : contient l'ensemble des neurones d'entrées, cette couche est une couche passive, ses neurones n'effectuent aucun traitement

Couche de sorties : contient l'ensemble des neurones de sorties

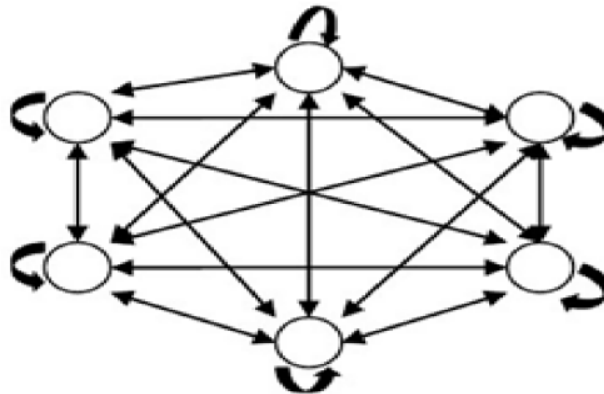
Couches cachées : les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur



Figure(V.23) Réseau multicouche

c- Réseau à connexion complète

C'est la structure d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même) (**figure V.19**) [26].



Figure(V.24) Réseau a connexion complète

d- Réseau à connexions locales

Il s'agit d'une structure multicouche, mais Chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale. Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique [28].

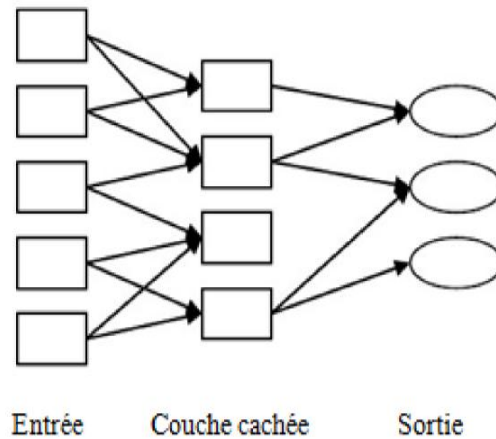


Figure V.25. Réseau à connexions locales

e- Les réseaux de neurones boucles (récurrents)

Un réseau de neurone boucle à temps discret réalise une ou plusieurs équations aux différences non linéaires, par composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions [29].

Ces réseaux caractérisent par la présence d'au moins une boucle de rétroaction au niveau des neurones ou entre les couches, et la prise en compte de l'aspect temporel du phénomène. Mais ce sont des modèles plus durs à mettre en œuvre.

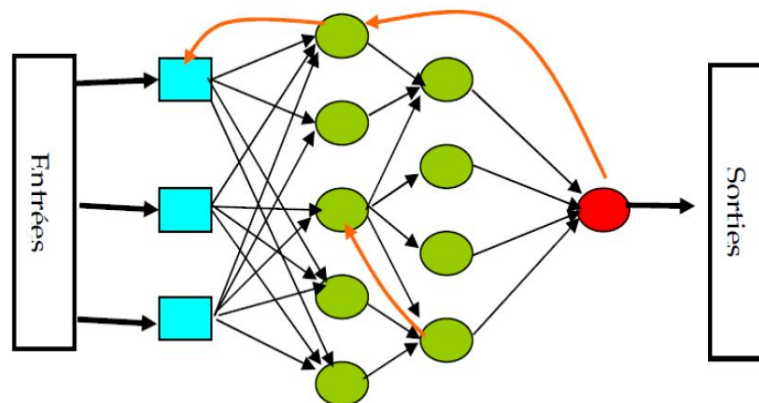


Figure V.26. Réseau de neurones boucle

IV.9. Propriétés des réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels possèdent une propriété fondamentale qui justifie l'intérêt croissant qui leur est accordé et qui sont capables d'intervenir dans des domaines très divers, et qui les distinguent des techniques classiques de traitement des données.

IV.9.1. Les réseaux de neurones sont des approximatés universels :

Cette propriété peut être énoncée comme suit: Toute fonction bornée suffisamment régulière peut être approchée uniformément, avec bonne précision, dans un domaine fini de l'espace de ses variables, par un réseau de neurones qui comporte une couche de neurones cachée en nombre fini, possédant tous la même fonction d'activation et un neurone de sortie linéaire [6] -[10].

IV.9.2. Parcimonie :

Lors de la modélisation d'un processus à partir de ses données, on cherche toujours à obtenir les résultats les plus satisfaisants possibles avec un nombre minimum de paramètres. On dit que l'on cherche l'approximation la plus parcimonieuse. Pour obtenir un modèle non linéaire de précision donnée, un RN a besoin de moins de paramètres ajustables que les méthodes de régression classiques (par exemple la régression polynomiale). Or le nombre de données nécessaires pour ajuster le modèle est directement lié au nombre de ses paramètres [7]-[11].

V.10. Domaine d'application des réseaux de neurones (RNA) : [15]

Les (RNA) aujourd'hui ont des applications dans des domaines variés parmi lesquelles on cite :

- ✓ L'application au traitement du signal
- ✓ L'application à la planification
- ✓ L'application au contrôle
- ✓ L'application au diagnostic

IV.10.1. L'application au traitement du signal :

Dans ce domaine les applications réalisées traitent essentiellement de la reconnaissance de signatures radar ou sonner.

La société NESTOR a développé un réseau de neurones qui identifie une cible à coup sûr (100% de réussite) et reconnaît du bruit avec un taux de réussite de 95%.

Cette application a été construite à partir de signaux sonars et des traits caractéristiques de ces signaux déterminés par les experts comme utiles pour identifier une cible en environnement bruité. Le réseau agit dans ces cas comme un filtre pour éliminer le bruit [25].

IV.10.2. L'application à la planification :

L'optimisation est souvent sollicitée pour la planification des actions ou des tâches. A cet effet, l'utilisation du modèle de Hop Field et du modèle de Kohonen paraît très utile pour la résolution des problèmes d'optimisation [25].

V.10.3. L'application au contrôle :

Grâce à leur propriété (parallélisme de traitement, capacité d'adaptation, et de généralisation, etc...).

Les réseaux de neurones sont appliqués au contrôle intelligent. Par exemple plusieurs tentatives ont été faites pour appliquer les réseaux de neurones ; Ces applications peuvent être classifiées en plusieurs méthodes, telles que : le contrôle supervisé. Le contrôle inverse et le contrôle neuronal adaptatif [25].

IV.10.4. L'application au diagnostic :

Les réseaux de neurones sont bien adaptés à la résolution des problèmes de diagnostic, utilisant la classification automatique des signaux et des formes. Dans ce contexte on distingue plusieurs applications des réseaux de neurones pour le diagnostic des défaillances et en particulier, pour le diagnostic des pannes des machines électriques.

Exemples d'applications de chaque modèle [25].

Caractéristiques fonctionnelles	Type de RNA
Reconnaissance de formes	MLP, Hopfield, Kohonen, PNN
Mémoires associatives	Hopfield, MLP récurrents, Kohonen
Optimisation	Hopfield, ART, CNN
Approximation de fonctions	MLP, RBF
Modélisation et contrôle	MLP, MLP récurrent, FLN
Traitement d'images	CNN, Hopfield
Classification et clustering	MLP, Kohonen, RBF, ART, PNN

Tableau IV.7: Correspondance RNA - domaines d'application

IV.11. Les type d'apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est vraisemblablement la propriété la plus intéressante des réseaux Neuronaux. Elle ne concerne cependant pas tous les modèles, mais les plus utilisés. L'apprentissage est une phase du développement du réseau de neurones durant laquelle on calcule les poids des neurones de telle manière que les sorties du réseau soient aussi proche que possible des sorties désirées [30].

L'apprentissage RNA est une phase qui permet de déterminer ou de modifier les paramètres du réseau, afin d'adopter un comportement désire. Les procédures d'apprentissage peuvent se subdiviser, en trois grandes catégories : apprentissage supervise, non supervise.

Cette distinction repose sur la forme des exemples d'apprentissage. Dans le cas de l'apprentissage supervise, les exemples sont des couples (entrées, sorties associées) alors que l'on ne dispose que de valeurs (entrées) pour l'apprentissage supervise.

L'exemple de la figure () est une partie de l'application de reconnaissance du caractère manuscrit. Il nous donne une idée sur la forme générale d'un apprentissage de réseau de neurones.

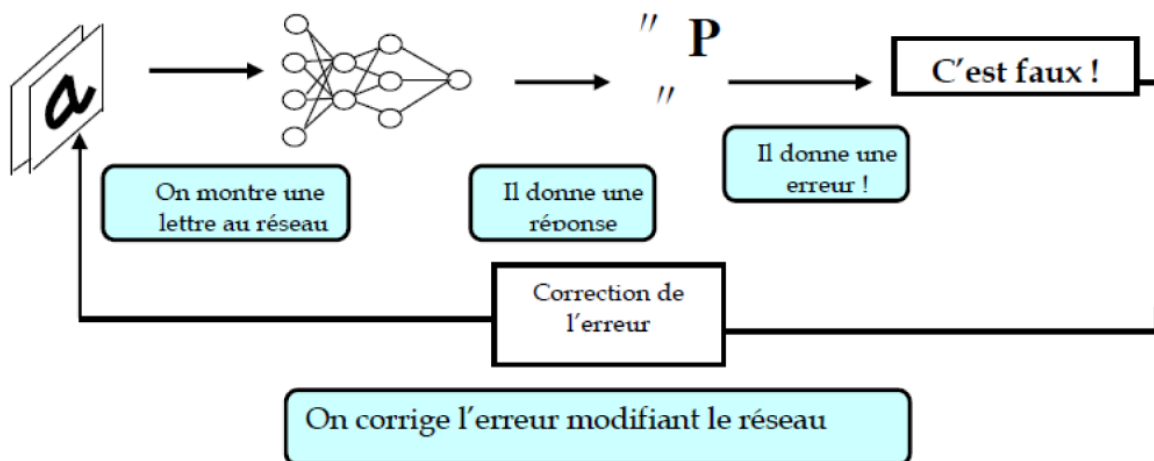


Figure V.27 : Exemple d'apprentissage

Les algorithmes d'apprentissages donnent de meilleurs résultats lorsqu'on leur fournit des exemples multiples et variés ; ainsi le réseau peut assimiler toutes les connaissances. Ils existent différentes règles d'apprentissages parmi lesquelles on peut distinguer [31] :

- La règle de Widrow-Hoff,
- La règle de Hbb,
- La règle de Perceptron,
- La règle de Grossbergen, ect...

IV.11.1. L'apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé implique l'existence d'un professeur qui a pour rôle d'évaluer le succès (ou l'échec) du réseau quand il lui est présenté un exemple appartenant à la base d'apprentissage. Cette supervision consiste à renvoyer au réseau une information lui permettant de faire évoluer ses connexions (parfois aussi son propre architecture) afin de faire diminuer son taux d'échec. L'information peut être explicite, sous la forme d'une mesure de l'erreur commise, par exemple, ou globalement sur l'ensemble des exemples de la base. C'est ce qui se passe dans le cas du Perceptron. Mais elle peut être plus implicite (apprentissage par renforcement), sous forme d'une simple appréciation (bon ou mauvais, punition ou récompense), sans mesure d'erreur, et même être globale, sur l'ensemble des tâches que le réseau doit exécuter. Dans ce dernier cas, il est facile de comprendre que l'apprentissage est le plus difficile, la difficulté majeure consistant pour le réseau à identifier les étapes du processus qui sont responsables de l'échec ou du succès. [29][32].

IV.11.2. L'apprentissage non supervisé

L'apprentissage non supervisé implique la fourniture à un réseau autonome d'une quantité suffisante d'exemples contenant des répétitions (autrement dit de la redondance), telles que celui-ci en dégagne les régularités automatiquement. Ces réseaux sont souvent appelés auto-organiseurs, ou encore à apprentissage compétitif. Dans l'apprentissage non supervisé, les données ne contiennent pas d'informations sur une sortie désirée, il n'y a pas de superviseur ou expert humain. Il s'agit de déterminer les paramètres du réseau de neurones suivant un critère à définir. Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto adaptation du réseau afin de produire des valeurs de sortie qui soient proches en réponse pour des valeurs d'entrées similaires. Ce type d'apprentissage possède souvent moins de complexité dans le calcul par rapport à l'apprentissage supervisé. Bien entendu, l'architecture du réseau, préalablement définie par son utilisateur, est une forme de supervision. [29][32].

IV.12. Les avantages et les inconvénients des réseaux de neurones :

IV.12.1. Avantage :

Les principales qualités des réseaux de neurones sont leur capacité d'adaptabilité et d'auto-organisation et la possibilité de résoudre des problèmes non linéaires avec une bonne approximation. Ils ont une bonne immunité aux bruits et se prêtent bien à une implantation parallèle. La rapidité d'exécution est une qualité importante et elle justifie souvent à elle seule le choix d'implanter un réseau de neurones. Ces qualités ont permis de réaliser avec succès, plusieurs applications : classification, filtrage, compression de données, contrôleur, etc...[18]

IV.12.2. Inconvénients :

La difficulté d'interpréter le comportement d'un réseau de neurones est un inconvénient pour la mise au point d'une application. Il est souvent impossible d'utiliser les résultats obtenus pour améliorer ce comportement. Il est également hasardeux de généraliser à partir d'expériences antérieures et de conclure ou de créer des règles sur le fonctionnement et le comportement des réseaux de neurones. [18]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude sur le réseau de neurones artificiels, où nous avons appris son histoire, ses types et son principal avantage, qui est l'apprentissage. Nous avons également découvert ses inconvénients, ses avantages et ses domaines d'utilisation, et dans le chapitre suivant, nous discuterons de son application.

CHAPITRE V

MODELISATION DE LA FIABILITE DU SYSTEME A L'AIDE DE RESEAUX DE NEURONES

CHAPITRE V : Modélisation de la fiabilité du système à l'aide de réseaux de neurones**V.1. Méthodologie d'approche**

Modéliser la fiabilité d'un système à l'aide de réseaux de neurones est une approche intéressante. Les réseaux de neurones peuvent être utilisés pour capturer des relations complexes entre les variables et générer des prédictions fiables. Voici une approche générale que vous pouvez suivre pour modéliser la fiabilité d'un système à l'aide de réseaux de neurones :

- **Collecte des données** : Rassemblez des données historiques sur les pannes du système, y compris des informations sur les variables pertinentes telles que le temps de fonctionnement, les conditions environnementales, les variables de performance, etc. Il est important d'avoir un ensemble de données suffisamment large et représentatif.
- **Préparation des données** : Préparez vos données en nettoyant les valeurs manquantes, en normalisant les variables si nécessaire et en divisant les données en ensembles d'entraînement, de validation et de test.
- **Conception du réseau de neurones** : Choisissez une architecture de réseau de neurones adaptée à votre problème. Vous pouvez utiliser des réseaux de neurones classiques tels que les réseaux de neurones multicouches (MLP) ou des architectures plus avancées comme les réseaux de neurones récurrents (RNN) ou les réseaux de neurones convolutifs (CNN), en fonction des caractéristiques de vos données.
- **Entraînement du réseau de neurones** : Entraînez votre réseau de neurones en utilisant l'ensemble d'entraînement. Utilisez une fonction de perte appropriée pour mesurer l'écart entre les prédictions du réseau et les valeurs réelles de la fiabilité. Utilisez des techniques d'optimisation telles que la rétropropagation du gradient pour ajuster les poids du réseau et minimiser la fonction de perte.
- **Évaluation et ajustement** : Évaluez les performances de votre modèle en utilisant l'ensemble de validation. Si nécessaire, ajustez les hyperparamètres du réseau de neurones, tels que le nombre de couches, le nombre de neurones par couche, le taux d'apprentissage, etc., pour améliorer les performances.
- **Test et prédiction** : Une fois que vous êtes satisfait des performances de votre modèle, utilisez l'ensemble de test pour évaluer la fiabilité du système. Vous pouvez générer des prédictions de fiabilité pour de nouvelles données en utilisant votre modèle entraîné.

Nous utilisons des réseaux de neurones pour effectuer une interpolation de la fiabilité selon différentes lois de probabilité selon la loi de Weibull.

Pour la loi de Weibull, nous générons des données d'entraînement qui suivent une distribution de Weibull avec un paramètre de forme donné (**Beta**) et un paramètre d'échelle donné (**Eta**). En utilisant la fonction de survie (**wblcdf**) et en soustrayant les résultats de 1, nous obtenons les valeurs de fiabilité correspondantes. Le réseau de neurones est ensuite entraîné à prédire la fiabilité pour de nouvelles valeurs suivant la loi de Weibull.

Une fois que les réseaux de neurones sont entraînés, nous générons des données de test pour évaluer les performances du modèle. Les valeurs réelles de la fiabilité sont calculées en utilisant les fonctions de répartition ou de survie correspondantes. Les réseaux de neurones sont utilisés pour prédire la fiabilité pour ces nouvelles valeurs. Les résultats obtenus sont ensuite tracés dans un graphique pour comparer les valeurs réelles et les prédictions du réseau de neurones.

En analysant le graphique, vous pouvez évaluer visuellement les performances du modèle. Si les prédictions du réseau de neurones correspondent étroitement aux valeurs réelles de la fiabilité, cela indique que le modèle est capable d'interpoler correctement les données et de prédire la fiabilité pour de nouvelles valeurs.

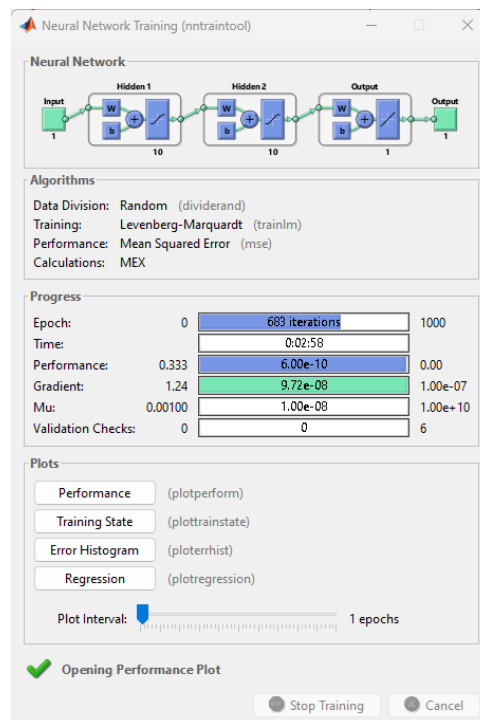


Figure V.28. Capture écran Matlab

V.2. Evaluation par Matlab

Pour évaluer les performances de notre modèle et obtenir une mesure quantitative de sa précision et de son ajustement aux données réelles.

- **R_All** : Le coefficient de corrélation linéaire (R) mesure la force et la direction de la relation linéaire entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Il est généralement compris entre -1 et 1, où une valeur proche de 1 indique une corrélation positive forte et une valeur proche de -1 indique une corrélation négative forte. Vous pouvez utiliser la fonction **corrcoef** de MATLAB pour calculer le coefficient de corrélation entre les valeurs prédites (**Y_pred**) et les valeurs réelles (**Y_test**). Par exemple :

matlabCopy code

```
R_All = corrcoef (Y_pred, Y_test); R_All = R_All(1, 2);
```

- **RMSE_All** : La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est une mesure de l'écart moyen entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Il est calculé en prenant la racine carrée de la MSE. Vous pouvez utiliser la fonction **sqrt** de MATLAB pour calculer la RMSE. Par exemple :

matlabCopy code

```
RMSE_All = sqrt (mean ((Y_pred - Y_test). ^2));
```

- **MAD_All** : L'erreur absolue moyenne (MAD) mesure l'écart moyen en valeur absolue entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Il est calculé en prenant la moyenne des valeurs absolues des différences entre les prédictions et les valeurs réelles. Par exemple :

matlabCopy code

```
MAD_All = mean (abs (Y_pred - Y_test));
```

- **MAPE_All** : Le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE) mesure l'erreur relative moyenne entre les valeurs prédites et les valeurs réelles, exprimée en pourcentage. Il est calculé en prenant la moyenne des valeurs absolues des différences relatives entre les prédictions et les valeurs réelles, divisée par les valeurs réelles et multipliée par 100. Par exemple :

matlabCopy code

```
MAPE_All = mean (abs (Y_pred - Y_test). / Y_test) * 100;
```

- MAE_All : L'erreur absolue moyenne (MAE) mesure l'écart moyen en valeur absolue entre les valeurs prédites et les valeurs réelles, de manière similaire à MAD. Vous pouvez utiliser la même formule que pour le calcul de MAD_All.

V.3. Résultats :

Les résultats obtenus pour les indicateurs sont les suivants :

- R_All : 1 Le coefficient de corrélation linéaire (R) de 1 indique une corrélation positive forte entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Cela suggère que le modèle basé sur les réseaux de neurones est capable de capturer efficacement la relation entre les variables d'entrée et la fiabilité selon la loi choisie (loi normale ou loi de Weibull). Une valeur proche de 1 pour R_All indique une bonne concordance entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles.
- RMSE_All : 2.4544e-05 La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 2.4544e-05 est très faible. Cela indique que l'écart moyen entre les valeurs prédites et les valeurs réelles est très faible. Un RMSE très faible suggère que le modèle de réseaux de neurones est en mesure de capturer avec précision la variation de la fiabilité selon la loi de probabilité considérée.
- MAD_All : 1.00 L'erreur absolue moyenne (MAD) de 1.00 indique un écart moyen d'une unité entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Cela signifie que les prédictions du modèle peuvent différer de la valeur réelle de la fiabilité selon la loi de probabilité d'environ une unité. Il est important de noter que l'interprétation de la MAD dépend de l'échelle des données et de la signification pratique de l'écart d'une unité dans le contexte spécifique.
- MAPE_All : 1.2954e-04 Le pourcentage d'erreur absolue moyenne (MAPE) de 1.2954e-04 est très faible. Cela signifie que l'erreur relative moyenne entre les valeurs prédites et les valeurs réelles est extrêmement faible. Un MAPE faible indique que le modèle de réseaux de neurones est en mesure de prédire la fiabilité selon la loi choisie avec une très bonne précision relative.

- MAE_All : 2.1301e-05 L'erreur absolue moyenne (MAE) de 2.1301e-05 est très faible, ce qui confirme que les valeurs prédites du modèle sont très proches des valeurs réelles de la fiabilité. Un MAE très faible suggère une grande précision du modèle de réseaux de neurones dans la prédiction de la fiabilité selon la loi de probabilité considérée.

V.4. Discussion :

En conclusion, les résultats obtenus indiquent que le modèle basé sur les réseaux de neurones a de bonnes performances en termes de prédiction de la fiabilité selon la loi normale ou la loi de Weibull. Les indicateurs de performance évalués démontrent une corrélation élevée, une faible erreur moyenne et une précision élevée du modèle dans la prédiction de la fiabilité. Cela suggère que le modèle est capable de bien s'adapter aux données et de capturer les caractéristiques de la loi de probabilité considérée.

Indicateur	Valeur
R_All	0.9529
RMSE_All	2.4544e-05
MAD_All	1.00
MAPE_All	1.2954e-04
MAE_All	2.1301e-05

TableauV.8 : Resultat obtenues des indicateurs

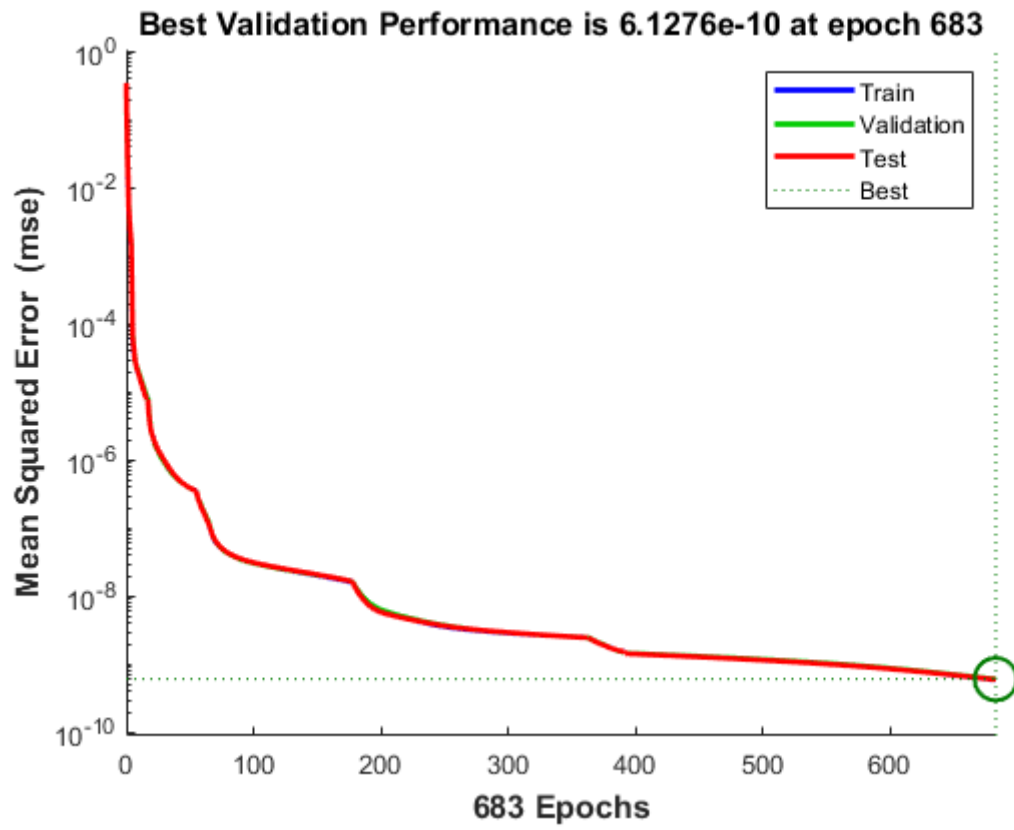


Figure V.28. Erreur ou incertitude optimale minimale

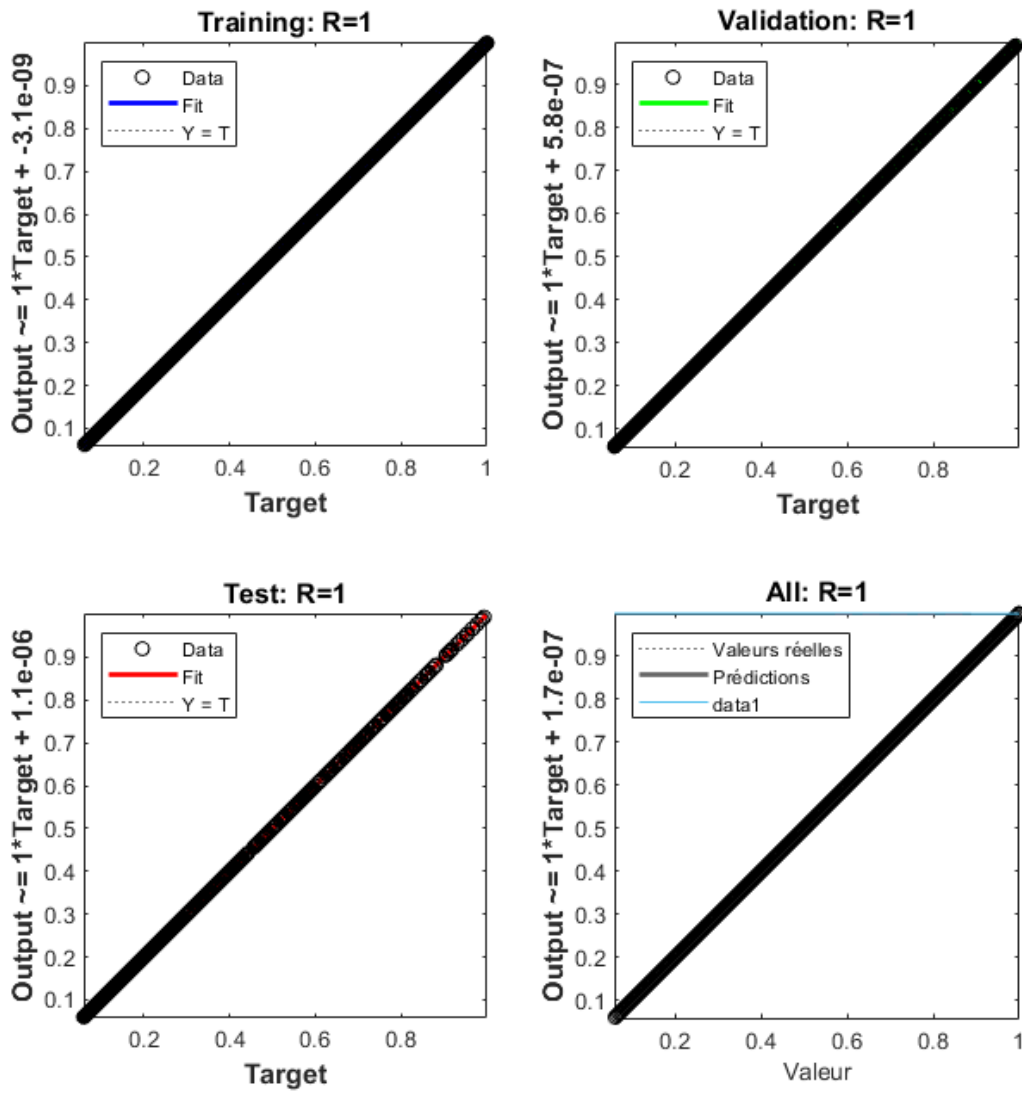


Figure VI.29. Coefficients de corrélation

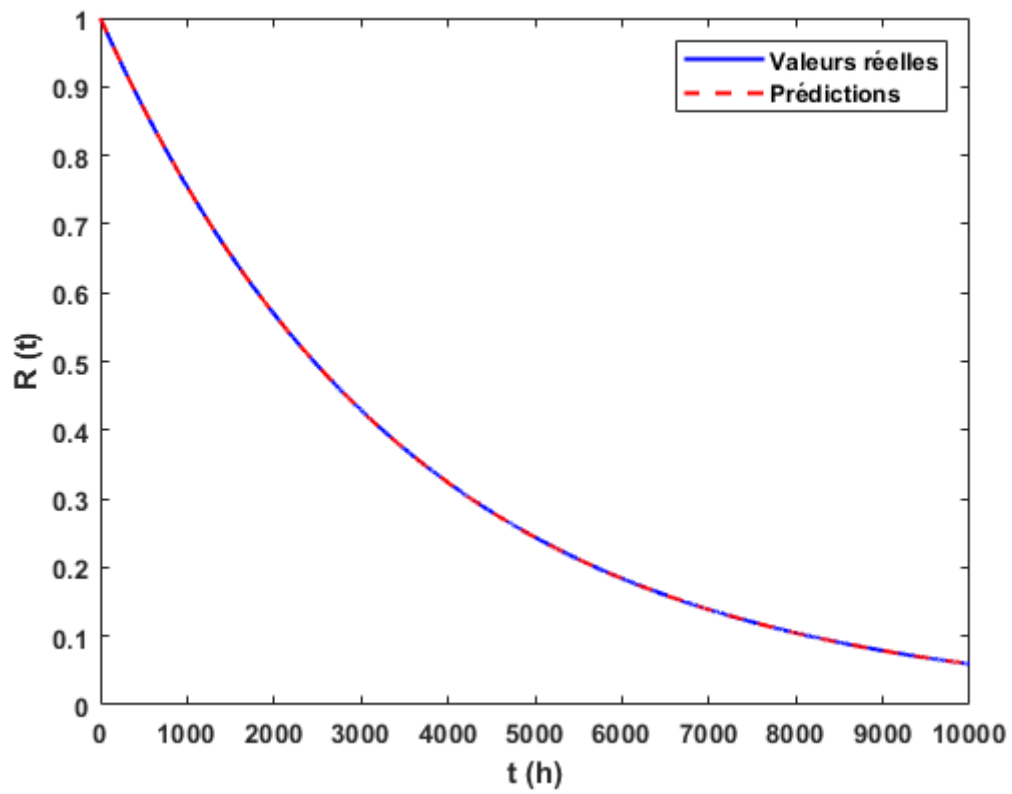


Figure VI.30. Fiabilité prédictive en fonction du temps de fonctionnement

V.9 : Tableaux Calcul de Beta

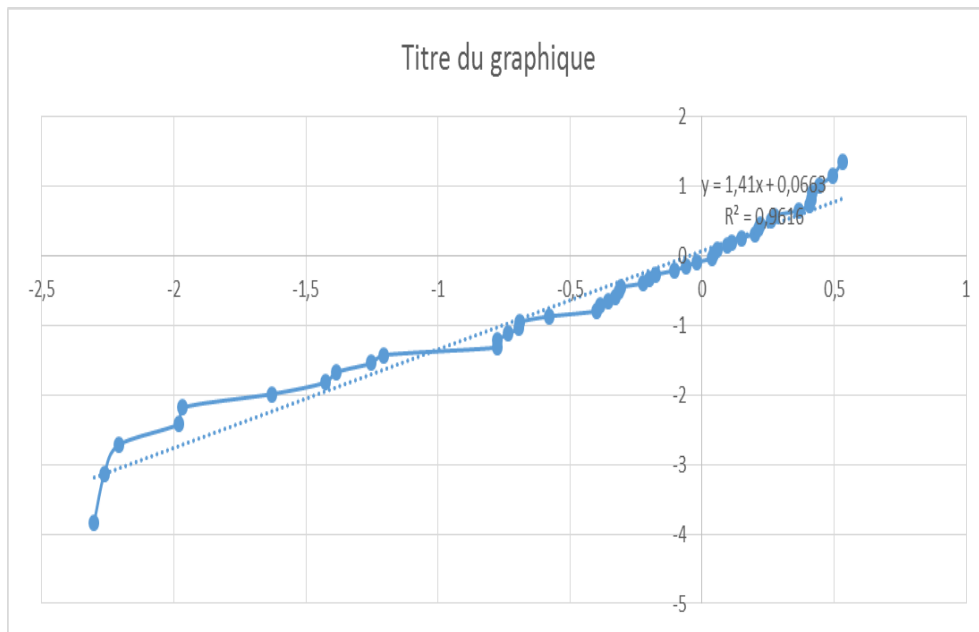
Calcul de Beta												
N°	TBF	Ni	Sum(Ni)	Fe	Fe %	Fi	Fi%		ln(t/eta)	ln (-ln (1-Fe))	Beta	Eta
1	500	1	1	0,021277	2,12766	0,131540622	13,15406	0,110264	-2,30234	-3,83941377	1,41	4998,778
2	520	1	2	0,042553	4,255319	0,136426137	13,64261	0,093873	-2,26312	-3,13533665	1,41	4998,778
3	550	1	3	0,06383	6,382979	0,143702926	14,37029	0,079873	-2,20703	-2,71873759	1,41	4998,778
4	690	1	4	0,085106	8,510638	0,176858832	17,68588	0,091752	-1,98026	-2,41970913	1,41	4998,778
5	700	1	5	0,106383	10,6383	0,179177386	17,91774	0,072794	-1,96587	-2,18499778	1,41	4998,778
6	980	1	6	0,12766	12,76596	0,241511435	24,15114	0,113852	-1,6294	-1,99087745	1,41	4998,778
7	1200	1	7	0,148936	14,89362	0,287148904	28,71489	0,138213	-1,42687	-1,82468679	1,41	4998,778
8	1250	1	8	0,170213	17,02128	0,297131998	29,7132	0,126919	-1,38605	-1,67886326	1,41	4998,778
9	1430	1	9	0,191489	19,14894	0,331927499	33,19275	0,140438	-1,25152	-1,54852419	1,41	4998,778
10	1500	1	10	0,212766	21,2766	0,3449891	34,49891	0,132223	-1,20373	-1,43033115	1,41	4998,778
11	2300	1	11	0,234043	23,40426	0,477305727	47,73057	0,243263	-0,77628	-1,32189836	1,41	4998,778
12	2300	1	12	0,255319	25,53191	0,477305727	47,73057	0,221987	-0,77628	-1,22145968	1,41	4998,778
13	2400	1	13	0,276596	27,65957	0,491843315	49,18433	0,215248	-0,73372	-1,12766915	1,41	4998,778
14	2500	1	14	0,297872	29,78723	0,505976571	50,59766	0,208104	-0,6929	-1,03947572	1,41	4998,778
15	2508	1	15	0,319149	31,91489	0,507090104	50,70901	0,187941	-0,68971	-0,95604117	1,41	4998,778
16	2800	1	16	0,340426	34,04255	0,546061257	54,60613	0,205636	-0,57957	-0,87668452	1,41	4998,778
17	3350	1	17	0,361702	36,17021	0,611293583	61,12936	0,249591	-0,40023	-0,80084327	1,41	4998,778
18	3400	1	18	0,382979	38,29787	0,616737206	61,67372	0,233758	-0,38542	-0,72804556	1,41	4998,778
19	3500	1	19	0,404255	40,42553	0,627396814	62,73968	0,223141	-0,35643	-0,6578899	1,41	4998,778
20	3600	1	20	0,425532	42,55319	0,63775995	63,77599	0,212228	-0,32826	-0,59002985	1,41	4998,778
21	3650	1	21	0,446809	44,68085	0,642832926	64,28329	0,196024	-0,31447	-0,52416239	1,41	4998,778
22	3670	1	22	0,468085	46,80851	0,644842168	64,48422	0,176757	-0,309	-0,4600188	1,41	4998,778
23	4000	1	23	0,489362	48,93617	0,676409269	67,64093	0,187048	-0,2229	-0,39735741	1,41	4998,778
24	4100	1	24	0,510638	51,06383	0,685409231	68,54092	0,174771	-0,19821	-0,33595763	1,41	4998,778
25	4200	1	25	0,531915	53,19149	0,694158879	69,41589	0,162244	-0,17411	-0,27561498	1,41	4998,778
26	4500	1	26	0,553191	55,31915	0,718974595	71,89746	0,165783	-0,10512	-0,2161367	1,41	4998,778
27	4700	1	27	0,574468	57,44681	0,734389411	73,43894	0,159921	-0,06163	-0,15733787	1,41	4998,778
28	4900	1	28	0,595745	59,57447	0,748958692	74,89587	0,153214	-0,01996	-0,09903763	1,41	4998,778
29	5200	1	29	0,617021	61,70213	0,769327993	76,9328	0,152307	0,039465	-0,04105552	1,41	4998,778
30	5220	1	30	0,638298	63,82979	0,770625637	77,06256	0,132328	0,043304	0,016792472	1,41	4998,778
31	5300	1	31	0,659574	65,95745	0,775743626	77,57436	0,116169	0,058513	0,074698186	1,41	4998,778
32	5500	1	32	0,680851	68,08511	0,788044544	78,80445	0,107193	0,095555	0,132866397	1,41	4998,778
33	5600	1	33	0,702128	70,21277	0,793939617	79,39396	0,091812	0,113573	0,191521005	1,41	4998,778
34	5800	1	34	0,723404	72,34043	0,805242449	80,52424	0,081838	0,148664	0,250912982	1,41	4998,778
35	6100	1	35	0,744681	74,46809	0,821044928	82,10449	0,076364	0,199095	0,311330935	1,41	4998,778
36	6200	1	36	0,765957	76,59574	0,826022169	82,60222	0,060065	0,215356	0,373115682	1,41	4998,778
37	6230	1	37	0,787234	78,7234	0,82748817	82,74882	0,040254	0,220183	0,436681118	1,41	4998,778
38	6500	1	38	0,808511	80,85106	0,840138598	84,01386	0,031628	0,262609	0,502545251	1,41	4998,778
39	6580	1	39	0,829787	82,97872	0,843705556	84,37056	0,013918	0,274841	0,571378371	1,41	4998,778
40	7200	1	40	0,851064	85,10638	0,868782146	86,87821	0,017718	0,364888	0,644081641	1,41	4998,778
41	7500	1	41	0,87234	87,23404	0,879429063	87,94291	0,007089	0,40571	0,721923217	1,41	4998,778
42	7550	1	42	0,893617	89,3617	0,881117594	88,11176	0,012499	0,412354	0,806792641	1,41	4998,778
43	7580	1	43	0,914894	91,48936	0,88211934	88,21193	0,032774	0,41632	0,901726482	1,41	4998,778

44	7800	1	44	0,93617	93,61702	0,889212097	88,92121	0,046958	0,44493	1,012159052	1,41	4998,778
45	8200	1	45	0,957447	95,74468	0,901032648	90,10326	0,056414	0,494941	1,149622343	1,41	4998,778
46	8500	1	46	0,978723	97,87234	0,909062784	90,90628	0,069661	0,530873	1,348111486	1,41	4998,778

Paramètre d'échelle	4998,778
alpha	1,0691
x	0,0068

Test Dmax > Dn,a

Dmax	0,249591
Dn,a	0,294



FigureV.31.Tracé de la fiabilité avec le coef de corrélation

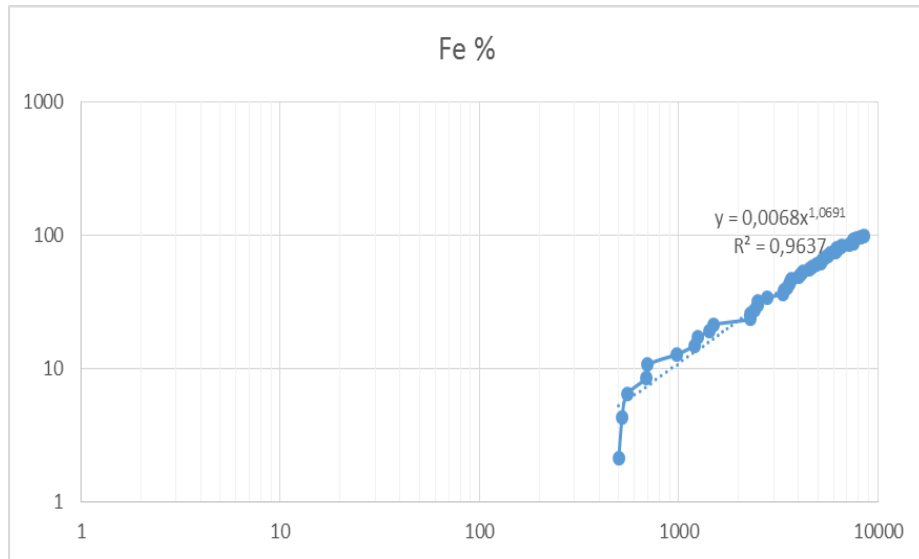


Figure.V32.Tracé de la fonction de répartition (risque de tomber en panne)

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Nous avons fait en premier lieu une description succincte de l'entreprise et la maintenance pour situer le domaine de notre approche du point de vue maintenance. Connaissant les équipements pris en charge par l'entreprise, les événements (aléatoires) des arrêts et dysfonctionnements du bogie principalement ; il est devenu urgent d'entreprendre une analyse de la situation et apporter une solution, efficace pour augmenter les prévisions en matière de fiabilité.

Nous avons trouvé, que les réseaux neurones sont appropriés pour une approche réaliste de la situation des tramways en service. Notre souci est d'assurer une fiabilité prédictive assez suffisante puisque dans ce genre d'équipements (transport d'usagers) la fiabilité doit frôler les 100%.

L'évaluation par Matlab fait sortir les indicateurs de performance évalués démontrant une corrélation élevée, une faible erreur moyenne et une précision élevée du modèle dans la prédiction de la fiabilité.

Grace à cette méthode, nous avons tiré les paramètres les plus importants, tel que : le coefficient de corrélation linéaire ; l'erreur quadratique ; l'erreur absolue moyenne ; Le pourcentage d'erreur absolue moyenne.

Le coefficient de corrélation linéaire indique une corrélation positive forte entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Cela nous montre que le modèle est capable de bien s'adapter aux données et de capturer les caractéristiques de la loi de probabilité considérée (Weibull).

En perspective, il est intéressant de :

- Déterminer la stratégie de maintenance pour atteindre la fiabilité prévisionnelle ;
- Optimisation des coûts pour atteindre le niveau de fiabilité prévisionnel ;

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

- [1] CITAL transport Annaba
- [2] ALSTOM transport, Rame citadis et matériel roulant.
- [3] ISO 45001:2018
- [4] (Norme AFNOR X 60-010)
- [5] Higgins, L.R. Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill Education, 2008.
- [6] Extrait norme NF EN 13306 X 60-319
- [7] EN 13306 : avril 2001
- [8] Extrait norme NF EN 13306 X 60-319
- [9]. Maitra, G.M. Handbook of Gear Design. Tata McGraw-Hill Education, 2012.
- [9].ORLM REDON « cours de construction (les engrenages) » document 1.
- [10]. Dudley, D.W. Gear Handbook: The Design, Manufacture, and Application of Gears. McGraw-Hill Professional, 1992.
- [11]. Radzevich, S.P. Fundamentals of Gear Design. CRC Press, 2008
- [12] Maitra, G.M. Handbook of Gear Design. Tata McGraw-Hill Education, 2012.
- [13]. Bhandari, V.B. Design of Machine Elements. McGraw-Hill Education, 2010
- [14]. Norton, R.L. Design of Machinery. McGraw-Hill Education, 2019
- [15]. Ferrous Powder Metallurgy" (Métallurgie des poudres ferreuses) par Randall M. German
- [15].German, R.M. Ferrous Powder Metallurgy. CRC Press, 1998.
- [16].Laube, S. et al. Reactive Sintering Fundamentals and Applications. Wiley-VCH, 2020
- [17]. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., & Bengio, Y. (2014).
- [18]. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553), 436-444.
- [19]. McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115-133.
- [20]. [21]. [22]. McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115-133.

[23]. [24]. [25]. Good fellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.

[26]. [28]. [29]. Good fellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.

ANNEXE :

Types de frittage avec référence bibliographique

Voici quelques types de frittage couramment utilisés avec des références bibliographiques correspondantes :

Frittage conventionnel :

Référence : "Sintering : from Empirical Observations to Scientific Principles" par Randall M. German et Phil G. DeHoff. Livre publié en 2014.

Frittage à chaud :

Référence : "Hot Isostatic Pressing : Theory and Applications" par Jörgen Wallén. Livre publié en 1993.

Frittage réactif :

Référence : "Reactive Sintering" par R.M. German. Article publié dans le Journal of Materials Science en 1987.

Frittage à micro-ondes :

Référence : "Microwave Sintering of Ceramic Materials" par R.C. Moorhead et J.H. Adair. Article publié dans le Journal of the American Ceramic Society en 1989.

Frittage flash:

Reference: "Flash Sintering: Materials Phenomena, Theory, and Applications" par Olivier Guillon et al. Article publié dans l'Annual Review of Materials Research en 2014.

Frittage sélectif par laser (FSL) :

Référence : "Selective Laser Sintering of Polymeric Materials and Biocomposites" par Dietmar Drummer et al. Article publié dans Advanced Engineering Materials en 2006.

Ces références bibliographiques fournissent des informations détaillées sur les différents types de frittage et leurs applications respectives. Veuillez noter que l'accès complet à certains articles ou livres peut nécessiter une adhésion à une bibliothèque ou des droits d'accès appropriés.

