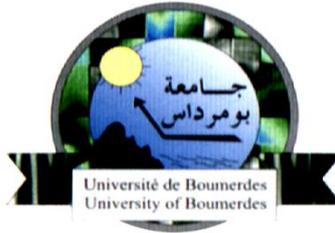


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en : Electromécanique

Filière : Mécanique
Spécialité : Electromécanique

THEME

**Contribution au diagnostic des défauts des engrenages par
l'utilisation de l'intelligence artificielle**

Présenté par :

La Date : 14/07/2021

MOSTEFAI MOULOU

BOUDAH AKRAM RACHAD

MEMBRE DE JURY :

1. IKHLEF BOUALEM	MAA	President
2. GOUGAM FAWZI	MAB	Examineur
3. RAHMOUNE CHEMSEDDINE	MCA	Promoteur

Promotion 2020- 2021

Remerciements

Nous remercions le bon Dieu le tout puissant de nous avoir procuré la volonté, le courage et la force nécessaires pour mener à terminer ce modeste travail.

Nous remercions jamais assez nos parents respectifs qui nous ont toujours conduit vers le bon chemin et la bonne éducation et que nous ne pouvons jamais leur rendre ce qu'ils ont fait pour nous.

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Mr Rahmoun Chemseddine** pour son encadrement, son aide et ses conseils, ainsi que tout nos enseignants du département mécanique qui ont contribué à notre formation.*

Sans oublier de remercier tous les membres de nos familles respectives et nos amis (es) pour leur soutien et encouragement.

Enfin nous présentons nos remerciements aux membres de jury de bien voulu accepter de juger notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents, pour leur tendresse, leur bienveillance, leur
encouragement*

*A mon cher frère et ma chère Sœur, A ma chère belle-sœur, pour leur
soutien et encouragement*

A mes chers neveux « AMINE, AYLÀ »

A mes tantes, A mes cousins, A mes cousines

*A mes chers amis(es) :mes meilleurs(e) amis
(Nadjib, Hani, Amel,), nabil, zakaria, amine, alilou, naser, tchiko, abdeslam, momen, rahim,
merzak, ghano, ouahab, bilel, chemsou, kadirou*

Et mes amies (Meriem, Bouchra)

A mon Binôme Akram Boudah Rachad

A tous mes amis de mon cursus universitaire,

En fin à tout ce qui nous aime et qu'on aime

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chère mère , pour sa tendresse, sa bienveillance, son encouragement

A mon cher frère Raouf boukerasse, pour son soutien et encouragement

A mes chers oncles mustapha et ayoub

A mes tantes, A mes cousins,

A mes cousines Djalil , hichem , alim , walid

A mes chers amis: mes meilleurs amis

*Salah benchikha , sidou , bilel , abdou, nadjib, hani a mon équipe lizalmo
mimou , mohamed toufik ,kader, mehdi,anis,redouane,matlou3a,Tchipa*

Mon amie Meriem et ma chère abir mokrani

A mon Binôme mouloud mostefai

A tous mes amis de mon cursus universitaire,

En fin à tout ce qui nous aime et qu'on aime

Résumé :

Ce mémoire est structuré en trois chapitres, dans le premier chapitre nous avons présenté les types d'engrenages dont nous avons fait notre étude ainsi que leur définitions et leur fonctionnement, aussi, fourni et expliquer toute les informations et les définitions concernant la maintenance industriel.

Dans le deuxième chapitre nous avons parlé du traitement de signales en précisons ses principaux fonctions, décries le banc d'essai et présenté les différents signaux des six défauts d'engrenages dont on a fait l'étude, on a aussi cité comment extraire les features.et leur définitions.

Dans le troisième chapitre nous avons parlé de l'intelligence artificielle et ses différentes méthodes ainsi nous nous sommes approfondis sur la méthode extra tree vu les bons résultats qu'elle nous a fournis, on a aussi comparé entre les matrices de confusion et les résultats de classifications des méthodes de diagnostic utilisée.

تتكون هذه المذكرة من ثلاثة فصول، في الفصل الأول قدمنا أنواع التروس التي درسناها وكذلك تعريفاتها وتشغيلها، كما قدمنا وشرحنا جميع المعلومات والتعاريف المتعلقة بالصيانة الصناعية.

تحدثنا في الفصل الثاني عن معالجة الإشارات من خلال تحديد وظائفها الرئيسية ووصف منصة الاختبار وتقديم الإشارات المختلفة لأعطال التروس الستة التي تمت دراستها، كما ذكرنا كيفية استخراج الميزات وتعريفاتها.

تحدثنا في الفصل الثالث عن الذكاء الاصطناعي وطرقه المختلفة لذلك تعمقنا في طريقة الشجرة الإضافية بالنظر إلى النتائج الجيدة التي قدمتها لنا، كما قمنا بمقارنة مصفوفات الارتباك ونتائج تصنيفات طرق التشخيص المستخدمة.

SOMMAIRE

Remerciements.

Dédicaces

Résumé

Introduction général : 1

Organigramme qui représente le diagnostic avec la méthode de l'intelligence artificielle :
..... 3

CHAPITRE I:Generalite sur la Maintenance et les Engrenages

I.1.Introduction : 4

I. 2.Les Engrenages : 4

I.2.1 Définitions : 4

I.2.2. Types d'engrenages : 5

I.2.3.Fonctionnement des engrenages : 6

I.2.4. Avantage et inconvénients des engrenages : 6

I.2.4.1. Avantage : 6

I.2.4.2 Inconvénients : 6

I.3. Définitions générales : 7

I.3.1. Dégradation : 7

I.3.2. Les défauts : 7

I.3.3. Défaillance : 7

I.3.4 la panne : 8

I.4.Définition de la maintenance : 8

I.4.1 But de la maintenance 8

I.4.2 Les différents types de maintenances : 9

I.4.2.1 La maintenance corrective : 9

I.4.2.a. La maintenance palliative : 9

I.4.2.1.La maintenance curative : 10

I.4.2.2.Maintenance préventive : 10

I.4.2.a. Maintenance préventive systématique : 10

I.4.2.b. Maintenance préventive conditionnels : 10

I.5.La Surveillance : 11

I.5.1 les différentes étapes du diagnostic : 12

I.5.2.Méthodes de diagnostic : 13

I.5.2.1-Méthodes de diagnostic avec modèle :	13
I.5.2.1.a.Les méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle :	14
I.5.2.1.b.Méthodes de surveillance par modélisation physique :.....	14
I.5.2.2.Méthodes de diagnostic sans modèle :.....	14
I.6.Conclusion	14

CHAPITRE. I I Extraction des Caracteristiques

I I. INTRODUCTION :	15
I I.1.TRAITEMENT DE SIGNAL :	15
I I.2.Principales fonctions du traitement du signal :.....	15
I I.2.1-élaboration des signaux :	15
I I.2.1.Modulation changement de fréquence :	15
I I.2.2-Interprétation des signaux :.....	16
I I.3. Description du système expérimental :.....	16
I I.3.1. Banc d'Essai :.....	16
I I.4. EXTRACTION DES FEATURES « CARACTERISTIQUE » :	18
I I.4.1. Résultats des signaux de chaque défaut :	18
I I.4.2. Qu'est-ce qu'un indicateur ?	18
I I.4.2.1 Les Indicateurs Scalaire :.....	19
I I.4.2.1.1.La valeur efficace RMS :.....	19
I I.4.2.1.2.Kurtosis :	19
I I.4.2.1.3. La valeur crête VC : MAX.....	19
I I.4.2.1.4.La valeur Min.....	19
I I.4.2.1.5.Indicateur CRETE A CRETE « MAX-MIN » :	20
I I.4.2.1.6.Le facteur de crête : $\text{Max}(y)/\text{RMS}$	20
I I.4.2.1.7.Skewness (asymétrie) :	20
I I.4.2.1.8. La valeur moyenne :	20
I I.4.2.1.9. Standard déviation (L'écart-type) :.....	20
I I.4.2.1.10. La variance :.....	20
I I.4.2.1.12. Covariance matrix :.....	21
I I.4.3.CONCLUSION :	22

CHAPITRE. I I I:Application du classifieur Extra Tree

I I I. INTRODUCTION :	23
I I I.1. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE :.....	23
III.1.1.Définition :	23

III.1.2. Comment fonctionne l'intelligence artificielle ?	24
III.1.3. Diagnostic par l'intelligence artificielle	24
III.1.4. Les domaines d'utilisation	24
I I I.1.5 : Les méthodes d'intelligence artificielle	25
III.1.5.1. Diagnostic par la méthode knn (k-Nearest-Neighbors)	25
III.1.5.2. Machines à vecteurs de support	25
III.1.5.3. Least squares support vector machine	25
III.1.5.4. Arbre de décision	26
III.1.5.4.1. DEFINITION	26
III.1.5.4.2. Le but des algorithmes de construction d'arbre de décision	27
III.1.5.4.3. APPRENTISSAGE	27
III.1.5.4.4. AVANTAGE	27
III.1.5.4.5. inconvénients	28
III.1.5.5. Forêts d'arbres décisionnels	28
III.1.5.5.A. Avantage	28
III.1.5.5.B. Inconvénients	29
III.1.5.6. EXTRA TREE	29
III.2. Conclusion	32
Conclusion générale	33
Bibliographie	34

LISTE DES FIGURES :

Figure (I.1) : Type d'engrenages	5
Figure (I.2) : diagramme des types maintenances.....	9
Figure (I.3) : diagramme des étapes de diagnostic	12
Figure (I.4) : diagramme des méthodes de diagnostic	13
Figure (I I.1) : a) Banc d'essai expérimental de boîte de vitesses, b) Structure du pignon à un étage de la boîte de vitesses.....	16
Figure(I I.2) : différent défauts des engrenages	17
Figure (I I.2) : représentation graphique des signaux de chaque défaut	18
Figure (I I.3) : représentation graphique des caractéristiques	21
Figure(III.1) : représentation graphique du fonctionnement de l'arbre de décision.....	26
Figure(III.2) :représentation des matrcies de confusion	30
Figure(III.3). Les résultats de classification.....	31

Introduction Générale :

Introduction Générale :

La production industrielle est condamnée à la performance si elle veut survivre : elle évolue dans un contexte de plus en plus compétitif en ce qui concerne les coûts, les cadences, la qualité, la sécurité et les nuisances ; de ce fait, l'outil de production doit faire l'objet d'une maintenance efficace. C'est pourquoi la surveillance et le diagnostic des systèmes mécaniques sont passés au rang des préoccupations majeures des industriels.

La tendance actuelle est de rechercher des outils capables de révéler de manière précoce l'apparition des défauts dans le but de remplacer progressivement la maintenance systématique par une maintenance conditionnelle. Parmi les différentes méthodes de diagnostic possibles (analyse d'huile, analyse de température,...), celles qui reposent sur l'analyse vibratoire occupent une place de plus en plus importante en raison des performances croissantes du traitement du signal.

Elles comportent trois étapes : La première est l'acquisition de signaux délivrés par des accéléromètres piézo-électriques ou des microphones judicieusement placés. La seconde utilise les procédures de traitement du signal pour fournir des informations condensées mais pertinentes. A partir de ces informations, la troisième utilise l'analyse des données et l'intelligence artificielle pour déceler d'éventuelles anomalies et prendre les bonnes décisions.

Les engrenages, composants mécaniques fréquents et indispensables, permettent la transmission de puissance entre deux arbres rapprochés. Les roues dentées composant l'engrenage sont en contact et transmettent la puissance par obstacle à l'aide des dents. Utilisés dans de nombreux domaines, à des dimensions très différentes (de l'horlogerie à l'industrie lourde), les engrenages présentent un bon rendement énergétique dans de bonnes conditions de production, montage et fonctionnement, Les systèmes d'engrenage sont des éléments essentiels largement utilisés dans une variété d'applications industrielles, Car ils ont joué un rôle crucial dans l'histoire de la technologie. Non seulement ils augmentent la force de torsion appliquée, ou couple, mais ils permettent de modifier la vitesse et la direction de la force.

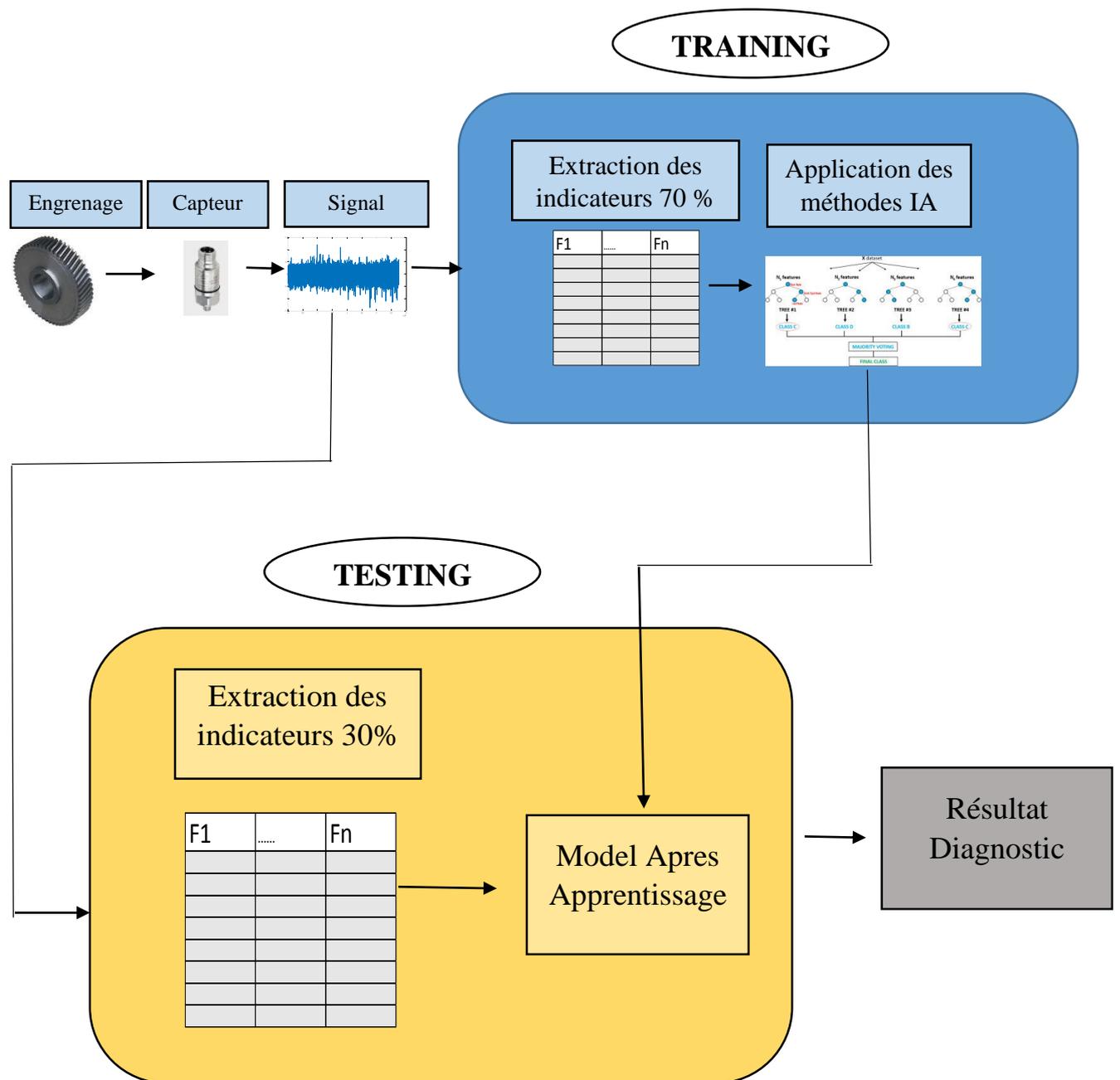
La majorité des pannes dans les systèmes de transmission des machines sont causées par la défaillance d'engrenage Nous nous intéressons principalement sur eux

Dans le premier chapitre nous avons présenté les six défauts d'engrenages sur lesquels nous avons fait notre étude ainsi établi un lexique sur les termes tel que la maintenance surveillance.

Dans le deuxième chapitre nous avons démontré la méthode de diagnostic par traitement de signal et ces différentes étapes ainsi que les indicateurs utilisées aussi expliqué le banc d'essai en fournissant les graphes obtenus par cette étude

Dans le troisième chapitre nous avons expliqué le fonctionnement de l'intelligence artificiel et le différent type de diagnostic par cette dernière. Par ce fait nous nous sommes approfondis sur la méthode EXTRA TREE vu les meilleurs résultats qu'elle a donné

Organigramme qui représente le diagnostic avec la méthode de l'intelligence artificielle :



I.1.Introduction :

Le monde industriel dispose de machine et d'installation de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des couts d'exploitation et la maitrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes, un rôle prépondérant.

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien pour la qualité des produits afin d'assurer la première fonction des machines, Ce dernier permettent de détecter et de corriger les problèmes avant l'apparition d'une panne.

I.2.Les Engrenages :

Les engrenages sont largement utilisés dans l'industrie mécanique comme moyen de transmission de puissance d'un arbre vers un autre. Ils sont obtenus par taillage sur des machines-outils spéciales soit par reproduction soit par génération.

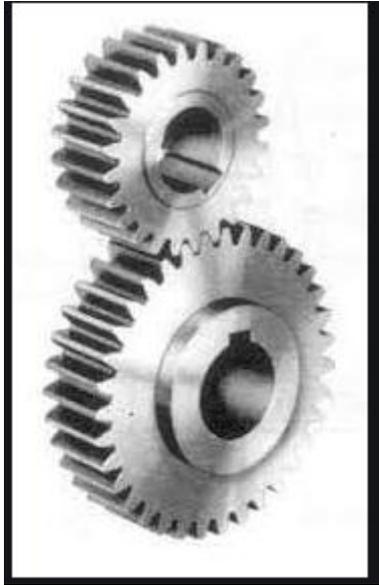
Ces engrenages doivent réaliser des rapports de transmission qui sont égaux au rapport des nombres de dents des roues qui constituent la chaîne cinématique. Pour en arriver là il faut calculer les nombres de dents des roues dentées qui doivent réaliser les différents rapports de transmission

I.2.1 Définitions :

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue [1]

I.2.2. Types d'engrenages :

A-Engrenage droit à denture



B- Engrenages à denture hélicoïdal



C.Engrenages coniques



D. Engrenages roue et vis sans fin



Figure (I.1) : Type d'engrenages

I.2.3.Fonctionnement des engrenages :

Pendant le fonctionnement d'une transmission, le contact d'une dent de la roue menant avec une dent de la roue menée s'amorce au pied de la dent menant et au sommet de la dent menée.

L'engrènement s'effectue sur toute la largeur des dents à la fois (engrenage à dentures droites) [2].

I.2.4. Avantage et inconvénients des engrenages :

I.2.4.1. Avantage :

- * La possibilité de transmettre entre deux arbres des mouvements de rotation.
- * D'assurer un rapport de transmission constant entre les deux arbres indépendamment de la charge appliquée. Exception : les mécanismes à roues elliptiques dont le but est justement d'obtenir un rapport de transmission variable.
- * De pouvoir disposer les axes des roues d'une manière quelconque dans l'espace. Toutefois, la transmission par engrenages à axes parallèles est la meilleure des solutions possibles.
- * D'obtenir une grande sécurité en service et une durée de vie élevée même en présence d'efforts très variables. * Un entretien relativement restreint, un encombrement modeste et un prix de revient acceptable

I.2.4.2 Inconvénients :

Il ne faut pas perdre de vue certains inconvénients à prendre en considération dans les transmissions par roues dentées. Parmi ceux-ci :

- * Un niveau sonore parfois gênant.
- * Une transmission presque rigide entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie, l'amortissement des à-coups restant peu efficace lors de variations brusques de couple ou de vitesse. [3]

On peut recenser les avantages et les inconvénients des engrenages dans le tableau suivant :

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Transmission de puissances élevées sous fréquences de rotation élevées. • Transmission à rapport rigoureusement constante (transmission synchrone). • Transmission parfaitement homocinétique. • Possibilités de transmissions entre plusieurs arbres. • Bon rendement général, suivant classe de qualité. • Durée de vie importante. • Bonne fiabilité 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un entraxe précis et constant. • Niveau sonore variable suivant type d'engrenage. • Transmission des à-coups et vibrations. • Nécessité d'une lubrification, souvent par fluide. • Réversibilité possible suivant type d'engrenage. • Coût très variable suivant type d'engrenage et classe de qualité.

Tableau (I.1) : représente les avantages et inconvénients des engrenages

I.3. Définitions générales :

Vu la diversité et la variation des définitions et les termes utilisés dans nous avons jugé important d'établir un lexique sur les termes utiles pour la compréhension et le positionnement du présent mémoire.

I.3.1. Dégradation :

Une dégradation représente une perte de performance d'une des fonctions assurées par un équipement. Si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini dans les spécifications fonctionnelles de cet équipement, il n'y a plus dégradation mais défaillance.

I.3.2. Les défauts :

Toute Absence, manque ou insuffisance de ce qui serait nécessaire dans le rendement du dispositif mécanique.

I.3.3. Défaillance :

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le dispositif est en panne.[4]

On peut classer les défaillances selon leur degré de sévérité par :

- **Défaillance critique** : nécessite une intervention d'urgence.
- **Défaillance significative** : nécessite un processus de traitement.
- **Défaillance absorbable** : pouvant être ignorée dans un premier temps.

I .3.4 la panne :

Une panne **est** un dysfonctionnement dans un dispositif mécanique, électrique, informatique. La différence entre la panne et la défaillance est que la défaillance correspond à un événement et la panne à un état. Sur le plan temporel, la défaillance correspond à une date et la panne à une durée comprise entre la date d'occurrence de la défaillance et la date de fin de réparation.

I.4.Définition de la maintenance :

Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien permettant de maintenir ou de le rétablir dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal.

I.4.1 But de la maintenance :

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

→ Objectifs financiers

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

→ Objectifs opérationnels

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.

I.4.2 Les différents types de maintenances :

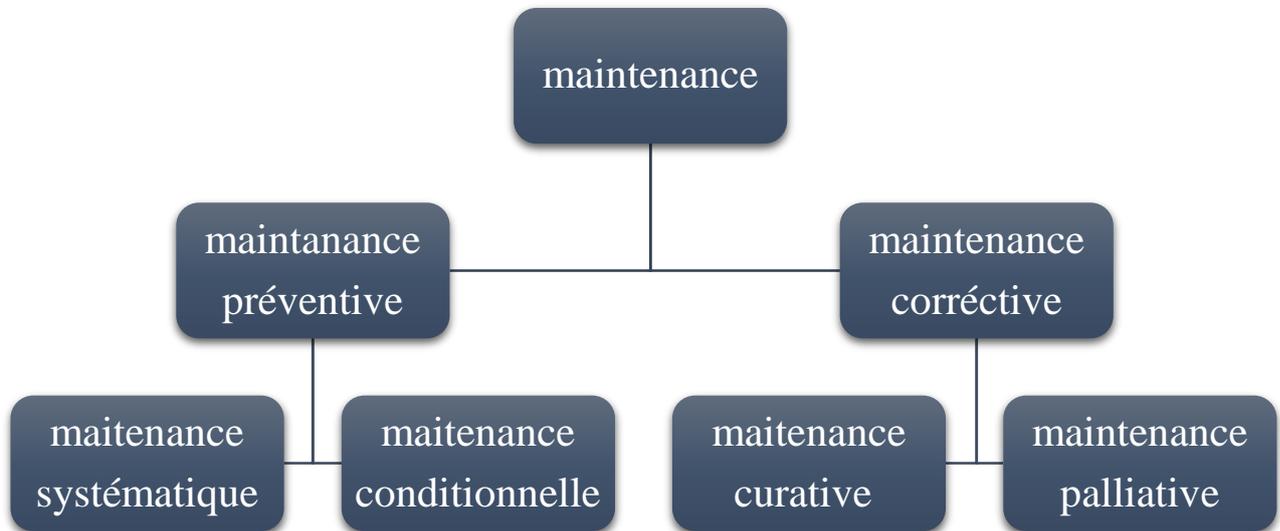


Figure (I.2) : diagramme des types maintenances.

I.4.2.1 La maintenance corrective :

En cas de défaillance du système, la maintenance corrective vise à remettre cette partie du système en état de fonctionnement. La maintenance corrective consiste à réparer certaines pièces lorsqu'elles se cassent. Cela peut être mis en œuvre de manière aléatoire en cas de défaillance des pièces, ou faire partie d'un plan de maintenance plus large.

I.4.2.a. La maintenance palliative :

C'est « l'ensemble des actions destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie de la fonction requise ». Elle permet de remettre rapidement un bien en état de fonctionnement. Elle oblige, cependant, à une deuxième intervention pour effectuer la réparation définitive.

I.4.2.1.La maintenance curative :

Consiste à réparer un équipement provisoirement, la maintenance curative s'applique lorsqu'une machine ou une installation est en panne et ne peut être réparée. Dans ce cas il faut changer le matériel partiellement ou dans son intégralité. Il est possible que cette maintenance curative survienne après une maintenance préventive ou corrective.

I.4.2.2.Maintenance préventive :

La maintenance préventive se fait en amont d'une panne dans le but d'éviter une avarie de la machine. Cette maintenance préventive peut être réalisée aléatoirement, sans réel suivi des machines, ou elle peut être planifiée à intervalles réguliers. L'un des objectifs de cette maintenance préventive est bien sûr de réduire les coûts via la diminution du budget de maintenance, réduire les opérations de maintenance corrective coûteuses ou encore la réduction de la charge de travail et l'économie des surconsommations (électrique, diesel, graisses et lubrifiants, pièces de rechange...) et aidera à une gestion plus appropriée des stocks.

La maintenance préventive se divise à son tour de deux types de maintenance :

La maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

I.4.2.a. Maintenance préventive systématique :

D'après la norme (AFNOR X 60-10), la maintenance systématique se définit comme "une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien

I.4.2.b. Maintenance préventive conditionnels :

D'après la norme (AFNOR X 60-10), la maintenance conditionnelle se définit comme "une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (Autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure) révélateur de l'état de dégradation du bien".

I.5.La Surveillance :

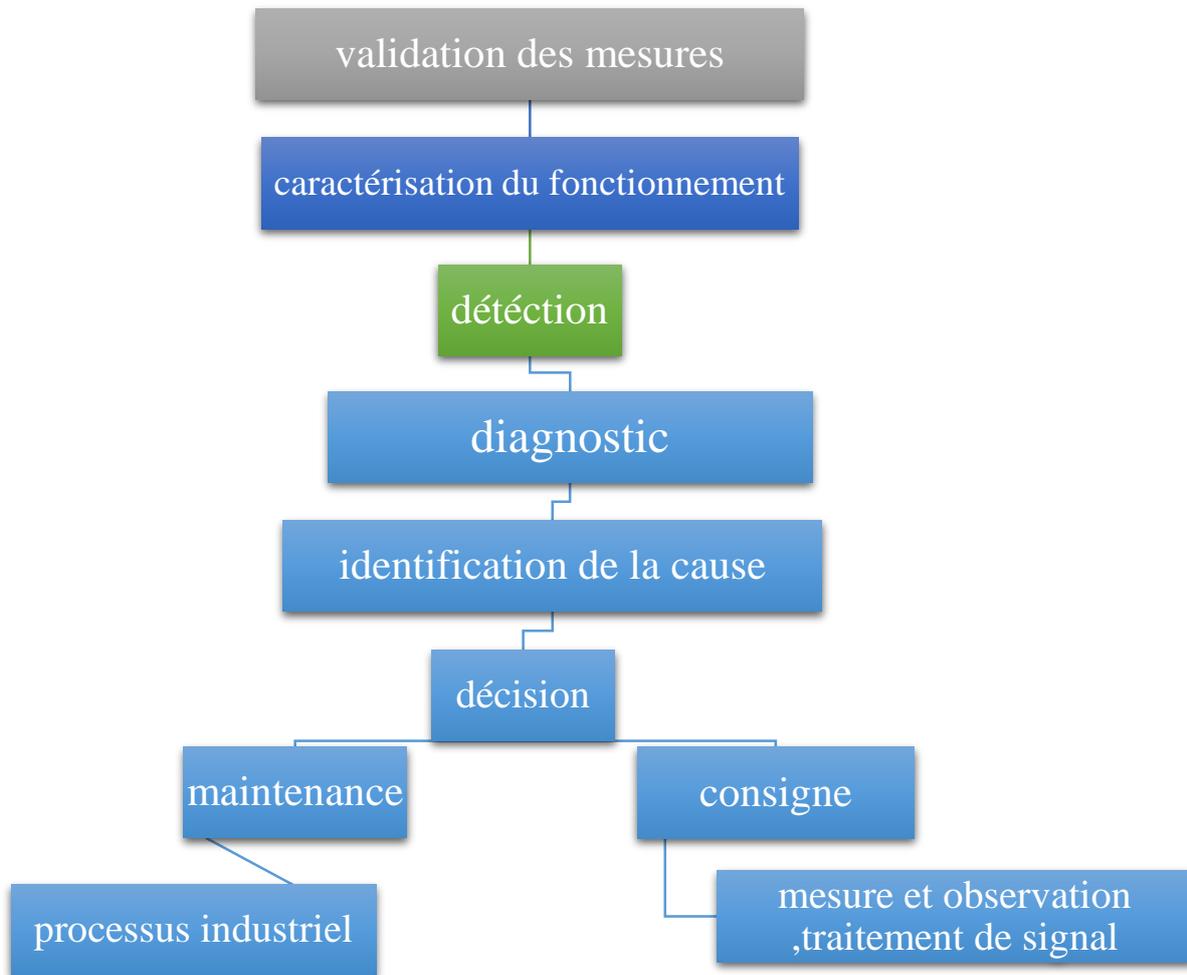
La Surveillance est une technique de contrôle industrielle de suivi et de méthodes et de procédés de fabrication robotisés. La supervision concerne l'acquisition et le traitement de données (mesures, dysfonctionnement, alarmes, gestion, moyens, alerte et retour à l'état de fonctionnement)

La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières.

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

♣ **La détection** Pour détecter les défaillances du système. Il faut être capable de classer les situations Observables comme étant normales ou anormales.

♣ **Diagnostic** « Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test ».

I.5.1. Les différentes étapes de la surveillance :**Figure (I.3) : diagramme des étapes de la surveillance**

I.5.2.Méthodes de diagnostic :

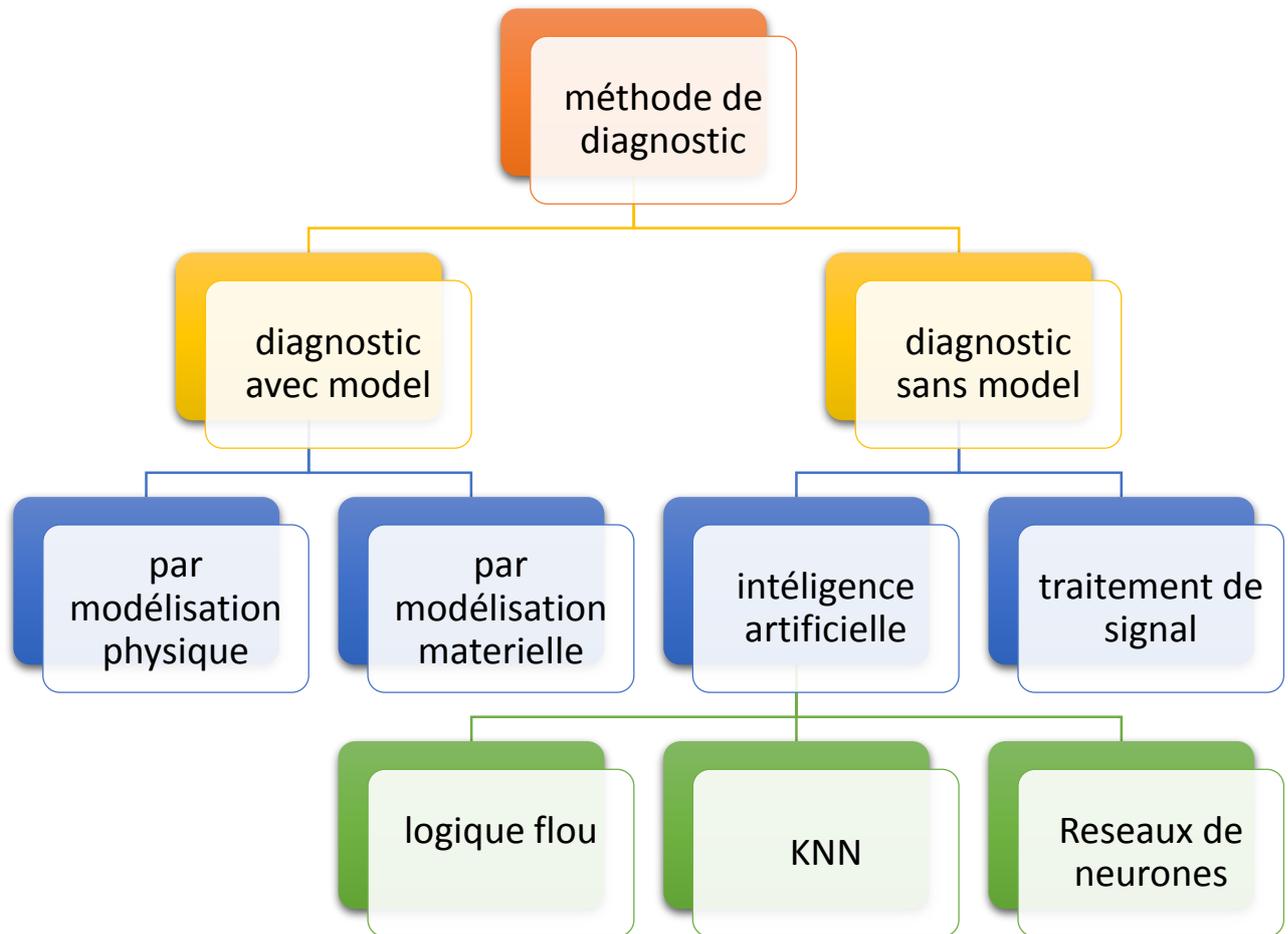


Figure (I.4) : diagramme des méthodes de diagnostic

I.5.2.1.Méthodes de diagnostic avec modèle :

Ces types de méthodes sont basés sur les techniques de modélisation à savoir :

- Les méthodes du diagnostic par modélisation fonctionnelle.
- Les méthodes de diagnostic de défaillance par modélisation physique

I.5.2.1.a. Les méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle :

Le principe de ces méthodes consiste à établir à priori et de la manière la plus complète possible, les liens entre les causes initiales des défaillances et leurs effets mesurables. Les méthodes les plus couramment rencontrées sont l'AMDEC et les ADD. Une autre catégorie de méthodes avec modèles est représentée par les méthodes basées sur une modélisation physique des processus surveillés.

I.5.2.1.b. Méthodes de surveillance par modélisation physique :

Les méthodes de surveillance avec modèle physique ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle [3]. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance. Les outils de la théorie de la décision sont ensuite utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux, comme par exemple le bruit de mesure ou s'il traduit une défaillance du système.

I.5.2.2. Méthodes de diagnostic sans modèle :

Ces méthodes ne nécessitent pas un modèle mathématique pour décrire les relations de cause à effet, la seule connaissance repose sur l'expertise humaine confrontée à un solide retour d'expérience

I.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur la maintenance industrielle, la surveillance et le diagnostic.

CHAPITRE II :

Extraction des caractéristiques par traitement de signal

I I. INTRODUCTION :

Dans tous les domaines on a des vibrations et chaque de ces vibration émet un signal vibratoire afin de les différencier on extrait les caractéristiques telles que (RMS, kurtois,.....)

I I.1.TRAITEMENT DE SIGNAL :

Le traitement de signal est la discipline qui S'appuyant sur les ressources électroniques, De l'informatique et de la physique appliquée. A pour objet l'élaboration OÙ l'interprétation des signaux.

Mon champ d'application se situe donc dans tous les domaines Concerné par la perception, La transmission où l'exploitation de ces informations véhiculées par ces signaux.

Le Traitement de l'information fournit un ensemble de concepts permettant d'évaluer les performances des systèmes de transfert d'information. En Particulier lorsque le signal porteur de messages et bruité cela inclus les méthodes de codages de l'information dans le but de la réduction de redondance, des corrections de erreurs, de la confidentialité (cryptage).

L'ensemble des concepts méthodes développées dans le traitement de l'information et du signal forme la théorie de la communication. [5].

I I.2.Principales fonctions du traitement du signal :

Les fonctions du traitement du signal peuvent se diviser en deux catégories l'élaboration des signaux (incorporation des informations) et l'interprétation des signaux (extraction des informations)

Les principales fonctions intégrées dans ces deux parties sont les suivants :

I I.2.1-élaboration des signaux :

Synthèse : création de signaux de forme appropriée en procédant par exemple à une combinaison de signaux élémentaire.

I I.2.1.Modulation changement de fréquence :

Moyen permettant d'adapter un signal aux caractéristiques fréquentielle d'une voie de transmission

Codage : Traduction en code binaire (quantification)

I I.2.2-Interprétation des signaux :

***Filtrage** élimination de certains composants indésirables

***Détection** extraction du signal d'un bruit de fond

***Identification** classement d'un signal dans des catégories préalablement définies

***Analyse** isolement des composants essentiels ou utiles d'un signal de forme complexe

***Mesure** estimation d'une grandeur caractéristique d'un signal avec un certain degré de confiance.

I I.3. Description du système expérimental :

I I.3.1. Banc d'Essai :

L'appareil expérimental d'essai de vibration des engrenages est illustré à la **Fig.(I I.1)**. Le mouvement de rotation de l'équipement est généré par un moteur électrique à courant continu contrôlé en vitesse de rotation avec une vitesse nominale de 1800 tr/min. Le couple est transmis au réducteur par l'accouplement où plusieurs configurations de défaut de pignon ont été assemblées. Après la sortie du réducteur, par l'intermédiaire de l'accouplement à engrenages, le couple sera transféré à un frein à poudre magnétique capable de générer différents couples résistifs

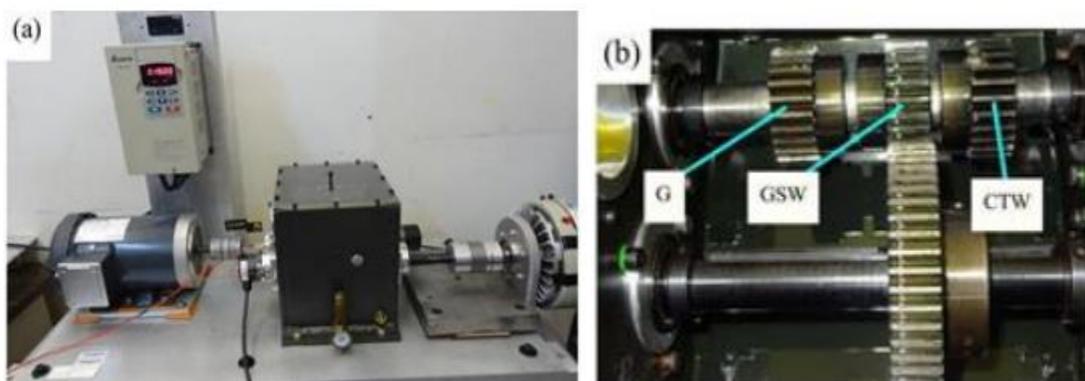


Figure (I I.1) : a) Banc d'essai expérimental de boîte de vitesses, b) Structure du pignon à un étage de la boîte de vitesses.

Afin de vérifier l'efficacité de la méthode proposée, six pignons présentant différents états de défaillance ont été examinés. Le premier est signalé comme état Bon (SD), tandis que les 5 autres présentent plusieurs types de défauts différents :

Une Dent Absente (DA), une Dent Ébréchée en Longueur (DDLRL), une Dent Ébréchée en Largeur (DDLGL), une Fissure de Racine de Dent (FRD) et l'usure de Surface Générale (UG) comme indiqué à la Figure (I I.2) Trois pignons sont montés simultanément sur l'arbre d'entrée de la boîte de vitesse, l'engagement de chacun d'eux est fait par un simple mouvement axial de la roue sur l'arbre de sortie (Figure). Pour enregistrer les signaux de vibrations avec un accéléromètre d'une sensibilité de 100mV/g a été monté radialement sur le corps de palier de l'arbre de sortie.

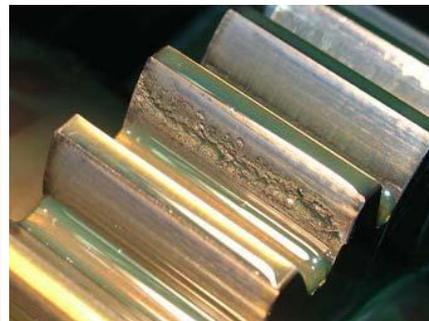
La fréquence d'échantillonnage des canaux de l'accéléromètre est de 125 kHz. La fréquence de coupure du filtre anti-aliasing est de 27 kHz. La durée d'acquisition est. De 30 s.



1-Etat Normal



2-dent Absente



3-Usure générale de surface



4-Dent ebrecher en largeur



5-Dent ebrecher en longueur



6-Fissure de racine de dent

Figure(I I.2) : différent défauts des engrenages

I I.4. EXTRACTION DES FEATURES « CARACTERISTIQUE » :

A partir du banc d'essai on a collecté les signaux pour les introduire sur MatLab afin de faire d'extraire les indicateurs du signal :

I I.4.1. Résultats des signaux de chaque défaut :

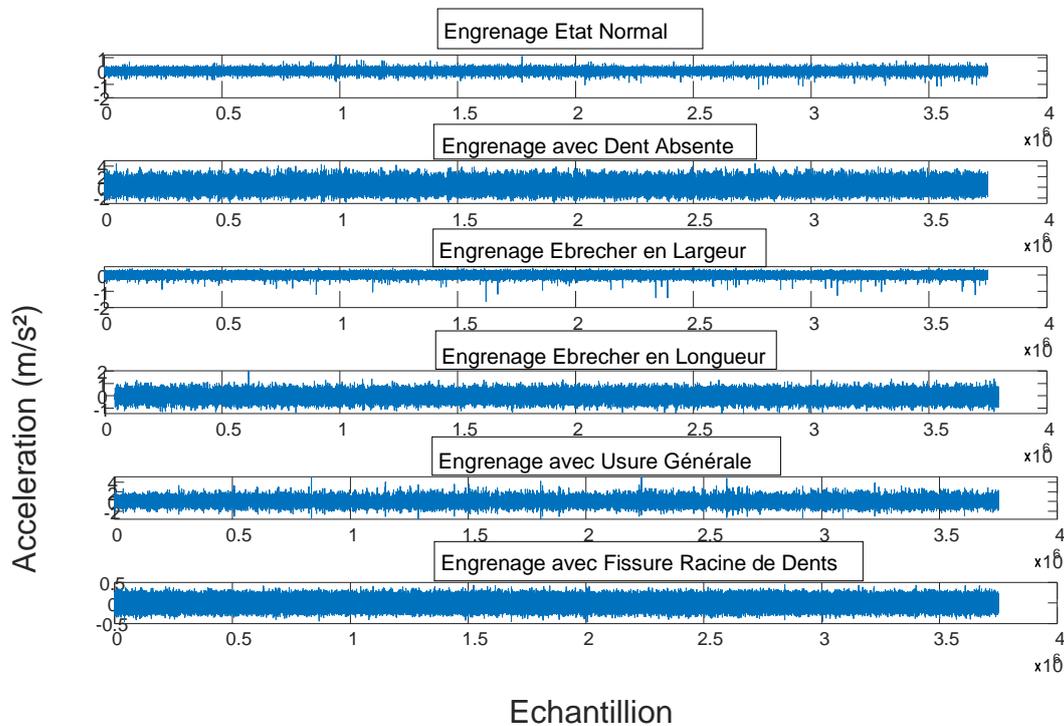


Figure (I I.3) : représentation graphique des signaux de chaque défaut

La Figure (I I.3) montre les signaux de vibration d'accélération recueillis à partir des pignons avec différents modes de défauts pour une vitesse de fonctionnement de 30 Hz et à d'état de charge de 11 N.m

I I.4.2. Qu'est-ce qu'un indicateur ?

Un indicateur est le résultat d'une mesure ou d'un calcul qui représente un ou plusieurs aspects L'état ou les performances du matériel, son évolution ou sa transformation sont Détérioration ou défauts graves.

I I.4.2.1 Les Indicateurs Scalaire :

Les indicateurs scalaire sont liés aux signaux de vibration et sont le plus souvent observés sous La forme du temps dans une certaine période liée à la cinématique de l'appareil. Divers indicateurs sont utilisés pour la surveillance des vibrations de la machine Rotation.

I I.4.2.1.1.La valeur efficace RMS :

La valeur efficace (dite aussi valeur RMS, de l'anglais ROOT Mean Square) d'un signal périodiques, est la racine carre du moment d'ordre deux du signal.

$$V_{\text{efficace (RMS)}} = \sqrt{\frac{1}{Ne} \sum_{a=1}^{Ne} [x(n)]^2}$$

I I.4.2.1.2.Kurtosis :

Le Kurtosis est le moment d'ordre 4 normé de la distribution statistique du signal. C'est un Indicateurs permettant de caractériser la nature impulsive d'un signal et la de détection précoce D'un défaut de roulement. Dans le cas d'un roulement sans écaillage, la distribution des Continuos amplitude dans le signal recueilli est gaussienne ce qui entraîne une valeur de Kurtosis proche de 3 (Moment d'ordre 4 d'un signal gaussien égale à 3). Lorsqu'un défaut est détecté, sa valeur devient supérieure à 3. L'analyse des défauts de roulement par le Kurtosis peut également être réalisée dans différentes bandes de fréquences liées aux résonances de la structure.

$$\text{Kurtosis} = \frac{M_4}{M_2^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x(n) - \bar{x}]^4}{\left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2 \right)^2}$$

I I.4.2.1.3. La valeur crête VC : MAX

Représente la valeur maximale du signal.) Est un indicateur qui caractérise l'amplitude maximale des chocs. Il se manifeste dès l'apparition de la première écaillure et donne une information très précoce de la prédiction.

$$\text{Valeur crête} = \text{Sup } x(n)$$

I I.4.2.1.4.La valeur Min

La valeur minimale est l'amplitude la plus faible que prend un signal

I I.4.2.1.5.Indicateur CRETE A CRETE « MAX-MIN » :

$$\text{Max}(x)\text{-min}(x)$$

Il s'agit de la différence entre l'amplitude maximale et l'amplitude minimale d'un signal.

I I.4.2.1.6.Le facteur de crête : Max(y)/RMS

Le facteur crête est le rapport entre la valeur crête et la valeur efficace du signal. Plus la vibration devient impulsive, plus la valeur de crête augmente, cependant ce facteur présente les mêmes valeurs pour les deux extrêmes de l'état d'une machine.

$$\text{Facteur de crête} = \frac{\sup |x(n)|}{\sqrt{\frac{1}{Ne} \sum_{a=1}^{Ne} [x(n)]^2}}$$

I I.4.2.1.7.Skewness (asymétrie) :

La fonction skewness disponible sur Matlab a été utilisé pour calculer le skewness d'un signal ($x=\text{skewness}(y)$) tel que y : le signal des défauts.

$$\text{Skewness} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

I I.4.2.1.8. La valeur moyenne :

$$\bar{x} = \frac{A}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$$

La moyenne de toutes les valeurs instantanées d'un signal alternatifs sur un cycle complet est appelée Valeur moyenne.

I I.4.2.1.9. Standard déviation (L'écart-type) :

L'écart-type sert à mesurer la dispersion, ou l'étalement, d'un ensemble de valeurs autour de leur moyenne. Plus l'écart-type est faible, plus la population est homogène.

$$\text{Ecart-type} : \sqrt{\text{Variance}} = (\delta x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

I I.4.2.1.10. La variance :

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

La variance d'une variable aléatoire est la mesure de la dispersion des échantillons autour de la moyenne, autrement dit, elle caractérise sa capacité à prendre des valeurs plus ou moins éloignées de son espérance.

I I.4.2.1.12. Covariance matrix :

$$cov_{x,y} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N - 1}$$

Une matrice de covariance est une matrice carrée donnant la covariance entre chaque paire d'éléments d'un vecteur aléatoire donné. Toute matrice de covariance est symétrique et semi-définie positive et sa diagonale principale contient des variances. [6].

Représentation graphique des caractéristiques du signal :

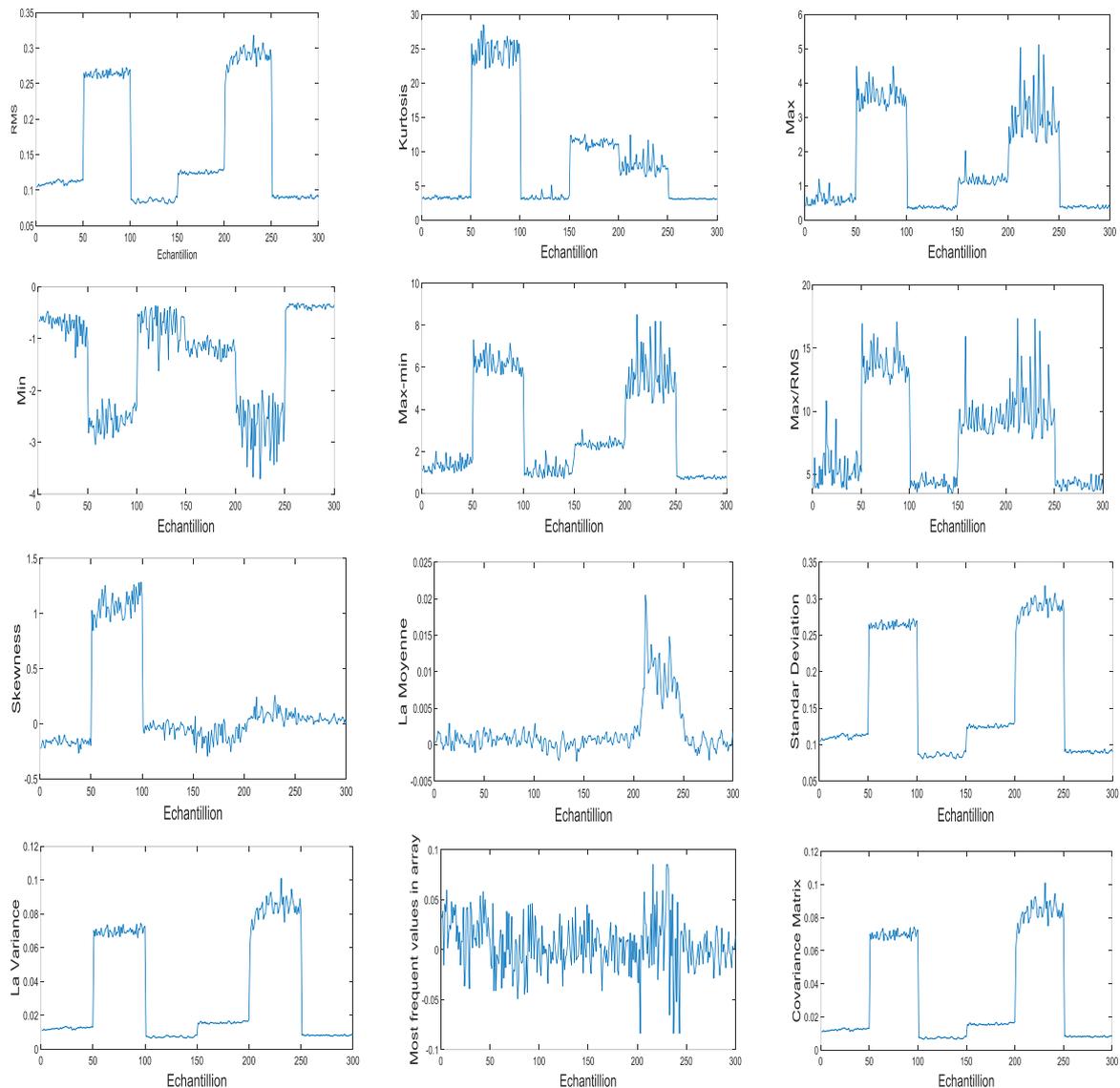


Figure (I I.4) : représentation graphique des caractéristiques

La figure (I I.4) représente les indicateurs scalaires qu'on a extraits du signal vibratoire. Ces caractéristiques vont être utilisées pour la classification des défauts des engrenages.

D'après cette figure il est clair qu'il est presque impossible d'utiliser ces indicateurs directement pour le diagnostic, ce qui implique l'utilisation des techniques d'apprentissage automatique qui est l'objet du troisième chapitre

I I.4. 3.CONCLUSION :

Dans ce chapitre on a trouvé que chaque signal a ses propres caractéristiques et juste avec le traitement de signal on ne peut pas détecter les défauts traités c pour ça on va introduire l'intelligence artificielle dans le prochaine chapitre.

CHAPITRE III :

Classification des défauts d'engrenage par les techniques d'Intelligence Artificielle

I I I. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va proposer une méthode de diagnostic des engrenages basé sur l'utilisation des indicateurs statistique et des techniques de l'intelligence artificiel.

L'intelligence artificielle occupe une place nécessaire pour la détection des défauts et cette technique à plusieurs méthodes.

Dans ce chapitre on va parler sur les différentes techniques d'intelligence artificielle et la classification des défauts.

I I I.1. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE :

L'intelligence artificielle est un domaine qui est apparu récemment et qui a une soixantaine d'années environ. Ce domaine complexe qui mélange sciences, théories et techniques a pour ambition d'imiter les capacités cognitives et intelligentes d'un être humain.

Tout commence en 1940-1960, l'idée de faire le lien entre le fonctionnement des machines et des êtres organiques émerge. L'objectif ultime de Norbert Wiener, pionnier de la cybernétique, était d'allier différents domaines qui sont les mathématiques, l'électronique et l'automatisation tout en conjuguant la dimension animale.

Ce projet avait déjà été entamé par les scientifiques Warren McCulloch et Walter Pitts en créant le tout premier neurone biologique modélisé mathématiquement par un neurone formel [7].

III.1.1.Définition :

Selon le Larousse, l'intelligence Artificielle se définirait comme étant «l'ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence.»

Ce serait, de ce fait, des ordinateurs ou des machines dotées de programmes capables de performances similaires à l'intelligence humaine, ou même, amplifiées par la technologie. Ces machines sont en mesure de :

- Raisonner
- Traiter de grandes quantités de données
- Discerner des modèles indétectables par l'œil d'un humain
- Apprendre progressivement
- Améliorer continuellement ses performances [8]

III.1.2. Comment fonctionne l'intelligence artificielle :

Selon Harry Shum, Président Exécutif de Microsoft, l'IA fonctionne seulement s'il y a présence d'une vaste quantité de data ; d'une puissance informatique extraordinaire, notamment grâce au Cloud ; et des algorithmes révolutionnaires, basés sur le deep Learning.

Comme l'Intelligence Artificielle, s'est développée en parallèle avec le calcul numérique et non en concurrence avec celui-ci. Elle s'attaque donc, à des secteurs d'application réputés difficiles ou impossibles à résoudre par le calcul numérique.

III.1.3. Diagnostic par l'intelligence artificielle :

Diagnostic par l'intelligence artificielle vise le développement d'algorithmes permettant de déterminer si le comportement d'un système est conforme au comportement espéré. Dans le cas contraire, l'algorithme doit être capable de déterminer aussi précisément que possible quelles parties du système sont fautives et de quels types de dysfonctionnements elles souffrent. Le calcul se base sur les observations, qui sont des informations sur le comportement.

III.1.4. Les domaines d'utilisation :

- Les jeux de réflexion.
- La recherche mathématique.
- La finance.
- La médecine.
- Les assistants personnels et la domotique.
- La reconnaissance faciale et la compréhension des langues.
- La robotique.
- le calcul formel.
- la vision : analyse de texte, d'images.
- les machines autonomes : perception, interprétation, décision, action.
- le langage naturel : traduction, compréhension, synthèse.
- la démonstration de théorèmes.

I I I.1.5 : Les classifieur d'intelligence artificielle :

III.1.5.1. Diagnostic par le classifieur knn :(k-Nearest-Neighbors) :

L'algorithme KNN figure parmi les plus simples algorithmes d'apprentissage artificiel. Dans un contexte de classification d'une nouvelle observation x , l'idée fondatrice simple est de faire voter les plus proches voisins de cette observation. La classe de x est déterminée en fonction de la classe majoritaire parmi les k plus proches voisins de l'observation x . La méthode KNN est donc une méthode à base de voisinage, non-paramétrique ; Ceci signifiant que l'algorithme permet de faire une classification sans faire d'hypothèse sur la fonction $y=f(x_1, x_2, \dots, x_p)$ qui relie la variable dépendante aux variables indépendantes.

III.1.5.2. Machines à vecteurs de support :

SVM est une méthode de classification binaire par apprentissage supervisé, elle fut introduite par Vapnik en 1995. Cette méthode est donc une alternative récente pour la classification. Elle repose sur l'existence d'un classificateur linéaire dans un espace approprié. Puisque c'est un problème de classification à deux classes, cette méthode fait appel à un jeu de données d'apprentissage pour apprendre les paramètres du modèle.

Elle est basée sur l'utilisation de fonctions dites noyau (kernel) qui permettent une séparation optimale des données. Dans la présentation des principes de fonctionnements, nous schématiserons les données par des « points » dans un plan.

III.1.5.3. Least squares support vector machine :

Sont des versions aux moindres carrés des machines à vecteurs de support (SVM), qui sont un ensemble de méthodes d'apprentissage supervisé associées qui analysent les données et reconnaissent les modèles, et qui sont utilisées pour la classification et l'analyse de régression. Dans cette version, on trouve la solution en résolvant un ensemble d'équations linéaires au lieu d'un problème de programmation quadratique convexe (QP) pour les SVM classiques.

Les classificateurs SVM des moindres carrés ont été proposés par Suykens et Vandewalle. Les LS-SVM sont une classe de méthodes d'apprentissage basées sur le noyau.

III.1.5.4. Arbre de décision :

Introduction :

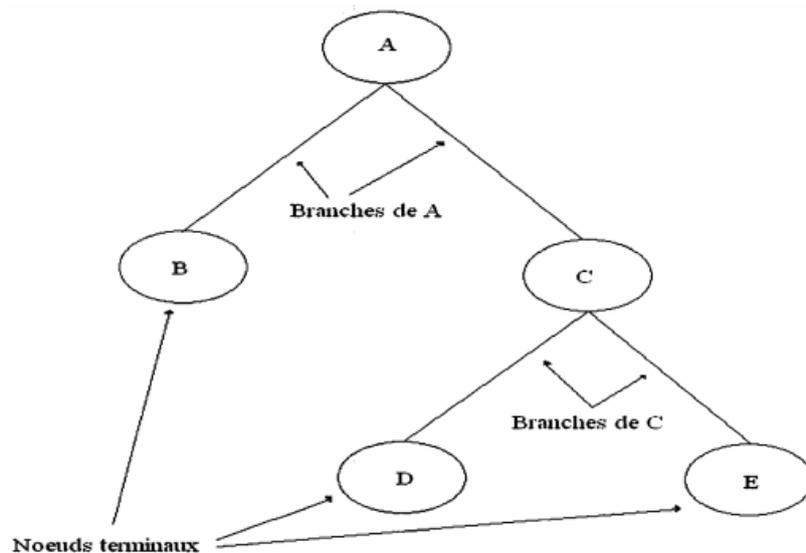
Un arbre de décision est un outil d'aide à la décision qui représente la situation plus ou moins complexe que l'on représente sous la forme graphique d'un arbre de façon à faire apparaître à l'extrémité de chaque branche (ou feuille) les différents résultats possibles en fonction des décisions prises à chaque étape. L'arbre de décision est un outil utilisé dans des domaines variés (sécurité, fouille de données, médecine, etc.). Sa lisibilité, sa rapidité d'exécution et le peu d'hypothèses nécessaires a priori expliquent sa popularité actuelle.

III.1.5.4.1. DEFINITION :

L'arbre de décision est la modélisation d'une classification. Il apprend à partir d'observations qu'on appelle des exemples. Un exemple est représenté par une série d'attributs et une classe associée, on doit connaître la classe parce que l'arbre de décision travaille sur la classification en mode supervisée

L'arbre de décision est un bon moyen d'illustrer le raisonnement pour distinguer les similitudes et les différences entre les attributs des exemples du jeu de données, ils sont souvent utilisés par les statisticiens pour illustrer le résultat d'une analyse.

Un arbre de décision est composé de nœuds en arborescence, le nœud à base de l'arbre est appelé la racine, chacun des nœuds sous la racine est soit une feuille ou un sous arbre.



Figure(III.1) : représentation graphique du fonctionnement de l'arbre de décision

III.1.5.4.2.Le but des algorithmes de construction d'arbre de décision :

Les algorithmes de construction d'arbre de décision permettent de créer des arbres de décision avec une taille la plus petite que possible, et ce, de façon à créer des règles de décision simples. Plus un arbre de décision est grand, plus les règles sont complexes. Les algorithmes de construction d'arbres choisissent les attributs toujours par rapport aux classes.

III.1.5.4.3.APPRENTISSAGE :

L'apprentissage par arbre de décision est une méthode classique en apprentissage automatique

1. Son but est de créer un modèle qui prédit la valeur d'une variable-cible depuis la valeur de plusieurs variables d'entrée.

Une des variables d'entrée est sélectionnée à chaque nœud intérieur (ou interne, nœud qui n'est pas terminal) de l'arbre selon une méthode qui dépend de l'algorithme et qui sera discutée plus loin. Chaque arête vers un nœud-fils correspond à un ensemble de valeurs d'une variable d'entrée, de manière à ce que l'ensemble des arêtes vers les nœuds-fils couvrent toutes les valeurs possibles de la variable d'entrée.

Chaque feuille (ou nœud terminal de l'arbre) représente soit une valeur de la variable-cible, soit une distribution de probabilité des diverses valeurs possibles de la variable-cible. La combinaison des valeurs des variables d'entrée est représentée par le chemin de la racine jusqu'à la feuille. En fouille de données, les arbres de décision peuvent aider à la description, la catégorisation ou la généralisation d'un jeu de données fixé.

III.1.5.4.4.AVANTAGE :

-Par rapport à d'autres algorithmes, les arbres de décision nécessitent moins d'efforts pour la préparation des données lors du prétraitement.

-Un arbre de décision ne nécessite pas de normalisation des données.

-Un arbre de décision ne nécessite pas non plus de mise à l'échelle des données. -Les valeurs manquantes dans les données n'affectent PAS non plus le processus de construction d'un arbre de décision dans une mesure considérable.

-Un modèle d'arbre de décision est très intuitif et facile à expliquer aux équipes techniques ainsi qu'aux parties prenantes.

III.1.5.4.5.inconvénients :

-Un petit changement dans les données peut provoquer un grand changement dans la structure de l'arbre de décision provoquant une instabilité.

-Pour un arbre de décision, le calcul peut parfois devenir beaucoup plus complexe par rapport à d'autres algorithmes.

-L'arbre de décision implique souvent plus de temps pour former le modèle. -La formation à l'arbre de décision est relativement coûteuse car la complexité et le temps requis sont plus importants.

-L'algorithme de l'arbre de décision est inadéquat pour appliquer une régression et prédire des valeurs continues.

III.1.5.5. Forêts d'arbres décisionnels :

Il fait partie des techniques d'apprentissage automatique. Cet algorithme combine les concepts de sous-espaces aléatoires et de *bagging*. L'algorithme des forêts d'arbres décisionnels effectue un apprentissage sur de multiples arbres de décision entraînés sur des sous-ensembles de données légèrement différents.

III.1.5.5.A. Avantage :

-le résultat est facile à conceptualiser, à visualiser et à interpréter.

- -Ils nécessitent peu de préparation de données (e.g. normalisation, etc.).
- Le coût d'utilisation des arbres est logarithmique (classification d'une nouvelle donnée très rapide).
- Ils sont capables d'utiliser des données catégorielles et continues.
- Ils sont capables de gérer des problèmes multi-classes.
- Ils ont un bon comportement par rapport aux valeurs extrêmes (*outliers*).
- Ils gèrent bien les données manquantes

III.1.5.5.B. Inconvénients :

- Parfois les arbres générés ne sont pas équilibrés (ce qui implique que le temps de parcours n'est plus logarithmique). Il est donc recommandé d'équilibrer la base de données avant la construction, pour éviter qu'une classe domine (en termes de nombre d'exemples d'apprentissage).
- Sur-apprentissage : parfois les arbres générés sont trop complexes et généralisent mal (solution : élagage, le contrôle de la profondeur de l'arbre et de la taille des feuilles).
- Ils sont instables : des changements légers dans les données produisent des arbres très différents. Les changements des nœuds proches de la racine affectent beaucoup l'arbre résultant. On dit que les arbres produisent des estimateurs de variance élevée.

C'est pour cela a était développer une autre méthode qui s'appelle **Extra Tree**.

III.1.5.6.EXTRA TREE :

Est un type de technique d'apprentissage d'ensemble qui agrège les résultats de plusieurs arbres de décision décarrelés collectés dans une « forêt » pour produire son résultat de classification. Dans son concept, il est très similaire à un classificateur de forêt aléatoire et n'en diffère que par la manière de construire les arbres de décision dans la forêt.

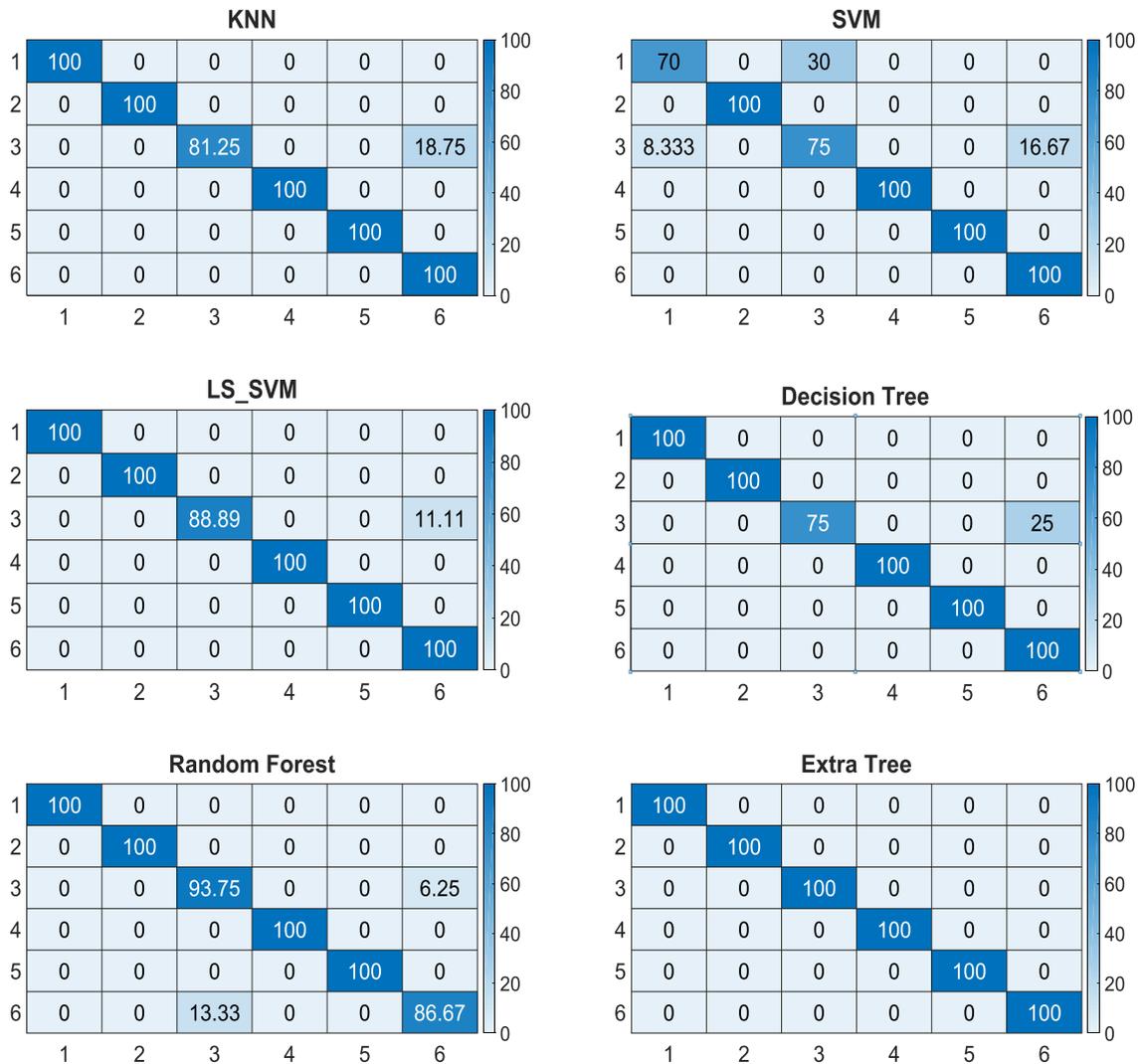
Chaque arbre de décision de la forêt d'arbres supplémentaires est construit à partir de l'échantillon d'apprentissage d'origine. Ensuite, à chaque nœud de test, chaque arbre reçoit un échantillon aléatoire de k caractéristiques de l'ensemble de caractéristiques à partir duquel chaque arbre de décision doit sélectionner la meilleure caractéristique pour diviser les données en fonction de certains critères mathématiques (généralement l'indice de Gini). Cet échantillon aléatoire de caractéristiques conduit à la création de plusieurs arbres de décision décarrelés. [9]

Chaque souche de décision sera construite avec les critères suivants :

- 1-Toutes les données disponibles dans l'ensemble d'apprentissage sont utilisées pour construire chaque souche. Pour former le nœud racine ou n'importe quel nœud,
- 2- la meilleure division est déterminée en recherchant dans un sous-ensemble de caractéristiques sélectionnées au hasard de taille sqrt (nombre de caractéristiques).
- 3-La répartition de chaque caractéristique sélectionnée est choisie au hasard. [10]

Dans cette section on va utiliser les techniques de classification mentionnées précédemment pour la classification des features obtenu dans le chapitre 2.

Le but est de sélectionner la technique qui nous donne une meilleure classification en termes de précision et de stabilité.

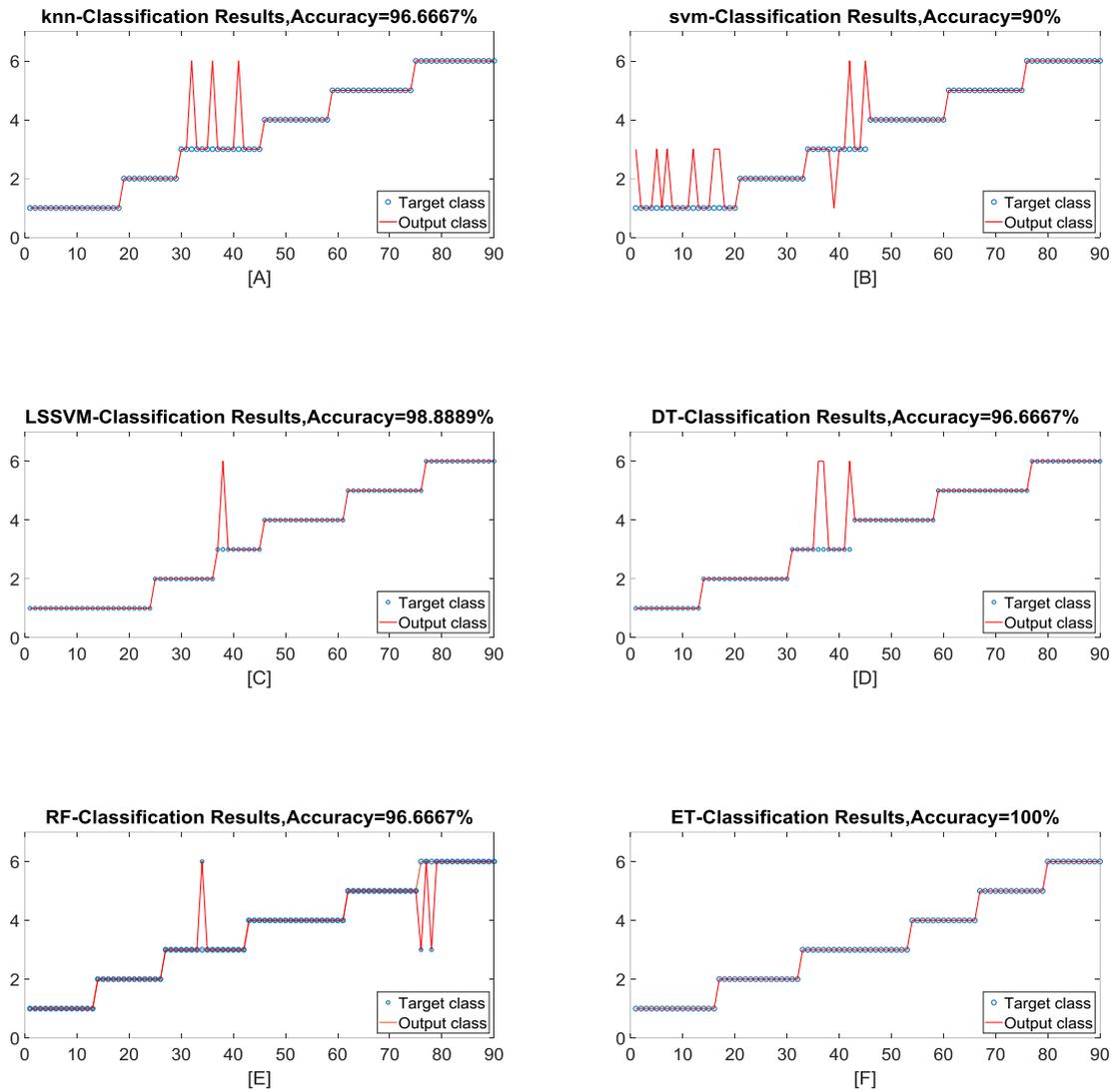


Figure(III.2) :représentation des matrcies de confusion

la figure (III.2) représenter la stabilite et la precision de techniques de classification pour identifier et localisé particulièrement les différents défauts telle que chaque classe à son propre pourcentage.

Afin d'étudier la stabilité et la précision de techniques de classification on a remarqué que le meilleur classifieur dans notre cas est l'extra tree. Elle nous donne un résultat parfait

La figure (III.3) Représente le graphe des résultats pour différente technique de classification.



Figure(III.3). Les résultats de classification

Figure (III.3) représente les résultats de classification pour les différents classifieur à l'aide d'une comparaison entre (Target class) et les résultats obtenue (output class).

Afin d'étudier la stabilité de techniques de classification on a réalisé plusieurs tests. Les résultats obtenus sont donnés sur le tableau (III.1)

Methode	KNN	SVM	RF	DT	LS-SVM	ET
	92,2222	92,2222	98,8889	97,7778	96,6667	98,8889
	90	88,8889	100	98,8889	98,8889	100
	94,4444	91,1111	98,8889	97,7778	98,8889	98,8889
	93,3333	88,8889	100	98,8889	97,7778	98,8889
	88,8889	86,6667	98,8889	98,8889	96,6667	100
	83,3333	91,1111	100	95,5556	98,8889	98,8889
	90	91,1111	100	96,6667	98,8889	100
	95,5556	93,3333	100	98,8889	98,8889	100
	96,6667	88,8889	100	95,5556	96,6667	98,8889
	90	88,8889	97,7778	98,8889	98,8889	98,8889
MOYENNE	91,44444	90,11111	99,44445	97,7778	98,11113	99,33334
STD	3,8862535	1,9910438	0,78566634	1,38578517	1,05408201	0,58560112
MAX	96,6667	93,3333	100	98,8889	98,8889	100
min	83,3333	86,6667	97,7778	95,5556	96,6667	98,8889

Tableau (III .1) les résultats des classifieurs

Tableau(III.1) représente les résultats des différentes méthodes : D_T (discision tree), LSSVM (Least Squares Support Vector Machine), SVM (support Victor machine), KNN (k-nearest neighbors), ET (Extra trees), RF (Random Forest).

D'après le tableau suivant on a trouvé que le classifieur EXTRA TREE a une accuracy moyenne de 99.33334 et un écart type de 0.5856 ce qu'implique une bonne stabilité et une performance élevée.

III.2. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons utilisé les model d'intelligence artificiel pour détecter et identifier les défauts d'engrenage. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de la méthode proposée dans notre étude.

Conclusion Générale :

Conclusion générale :

Les engrenages ont pour fonction de transmettre une puissance d'un arbre en rotation à un autre arbre tournant. L'efficacité de la détection des défauts en stade précoce est donc très importante et même critique. Les engrenages sont très utilisés dans les systèmes de transmission de l'énergie et dans le changement de la direction du mouvement rotationnelle. La nécessité de baisser le coût de la production et de la maintenance conduit la surveillance des engrenages à devenir un champ très important pour la recherche. Les défauts essentiels qui peuvent affecter un engrenage sont : la corrosion, la fatigue de contact, les fissures en fatigue, etc...

Le **premier** chapitre a été consacré sur les engrenages et ces différents types et a une généralité sur le diagnostic et la maintenance dans l'industrie, puis on a présenté les différentes techniques de diagnostic.

Le **deuxième** chapitre a été dédié à la définition du traitement de signal, ensuite on a extrait les caractéristiques du signal telles que (RMS, KURTOSIS, STD, etc...).

Le **troisième** chapitre a été divisé en deux parties, la **première** c'était la définition de l'intelligence artificielle et ces différentes méthodes de classification et d'apprentissage.

Dans la **deuxième** partie nous avons appliqué la méthode Extra Tree pour l'identification des défauts, on a obtenu des résultats qui prouvent l'efficacité de la méthode utilisée.

Bibliographie :

[1] Gearing basics

, Power transmission Design, July 1994 p.p. 49-53

[2] V.Dobrovolski et co-auteur,

Eléments de machines, Edition Mir 1974

[3] R. LEBORZEC,

« Etude générale de l'engrenage », (polycopie de cours), ENSAM, 1989, Lille, France. p.248-255

[4] Dictionnaire de français la rousse

[5] Guy Binet:

Traitement numérique du signal - Signaux et systèmes discrets. Ellipses, 2013.

[6] Park, Kun Il (2018).

Fundamentals of Probability and Stochastic Processes with Applications to Communications. Springer. ISBN 978-3-319-68074-3

[7] Frédéric Fürst,

Histoire de l'Intelligence Artificielle – 3- naissance de l'Intelligence Artificielle, (consulté le 10/04/2019),

[8] Microsoft Expériences, Tout savoir sur l'Intelligence Artificielle, (consulté le 09/02/2019),

Webographie :

[9]<https://services.montefiore.uliege.be//stochastic/pubs/2005/MGPW05a/maree-icml-mlmm05.pdf>

[10] <https://practice.geeksforgeeks.org/courses>