

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR– ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat
Département : Électromécanique
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Électromécanique
Spécialité : Maintenance industrielle

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Surveillance et détection des défauts des engrenages

Présenté par : Melle *LARFI Bouthaina*

Encadrant : Pr *BELHAMRA Ali*

Jury de Soutenance

Nom et prénom	Grade	Université	Qualité
BELHAMRA Ali	Professeur	U.B.M.A	Président
TOLBA Salah	MCB	U.B.M.A	Examineur
ADBI Zohra	M.A.A	U.B.M.A	Examinatrice

Année Universitaire : 2019/202

Remerciements

C'est grâce à l'aide de dieu tout puissant que j'ai pu réaliser ce mémoire de fin d'étude en maintenance industrielle.

Je tiens à exprimer mes remerciements pour mon grand et respectueux Pr. BELHAMRA .ALI d'avoir accepté de m'encadrer pour la réalisation de ce projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et ses encouragements.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du département électromécanique qui ont contribué à notre formation tout le long du cursus.

Merci enfin à toute l'équipe de la PMA pour leur disponibilité et leur soutien tout le long de la période de stage passée qui malheureusement a été interrompu pour cause de la pandémie du COVID-19.

Je remercie mon dieu de m'avoir donné la force et le courage pour terminer ce travail.

DEDICACE

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
قَدْ أَنْصَلْتُ نَفْسِي وَمَهْيَايَ وَمَهْمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ لَا
شَرِيكَ لَهُ وَبِذَلِكَ أَمَرْتَهُ وَأَنَا أَوَّلُ الْمُسْلِمِينَ
صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

Je dédie ce modeste travail :

- + Amamèreavectoutemonaffection.
- + A mon père avec toutemareconnaissance.
- + A messœurs.
- + Ama famille.
- + Amesfrères.

ملخص

تستخدم المسننات كوسيلة لنقل الطاقة فتعطب المسننات ومخفضات السرعة والتطبيقات الأخرى. فهي تخضع للسرعة وعزم الدوران واتجاه دوران عناصر الماكينة

يجب أن تحقق هذه المسننات نسب نقل مرتبطة بعدد أسنان العجلات والمسننات التي تشكل السلسلة الحركية. أي عيب في أسنان المسننات يؤدي حتما إلى عطل سيكون له تأثير معين على الأداء السليم للألية، وهذا هو السبب في أنهمم الضروري مراقبة حالة أسنان العجلات المسننات بواسطة تركي بنظام مراقبة يلتقط أي اهتزاز ناتج عن عطل معين في المسننات

الذي يقلل من سرعة سطح تجميع الألواح الخشبية إلى SIS-PMA تتناول هذه المذكرة المراقبة عبر الإنترنت لمخفض PMA مستوى

يعتمد تحضير التكتل على التكوين الناجح للخليط وعملية الطهي التي يتم ضمانها عن طريق إرسال هواء ساخن علنكن

Résumé

Les engrenages sont utilisés comme moyen de transmission de puissance dans les boîtes de vitesses, les réducteurs et autres applications. Ils subissent les vitesses, les couples et les sens de rotation des éléments de machines.

Ces engrenages doivent réaliser des rapports de transmission qui sont en rapport les nombres de dents des roues et des pignons qui constituent la chaîne cinématique. Tout défaut au niveau de la denture d'un engrenage mène inévitablement vers une défaillance qui aura un impact certain sur le bon fonctionnement du mécanisme c'est la raison pour laquelle il est essentiel de surveiller l'état des dentures des roues dentées par l'installation d'un système de surveillance qui capte toute vibration issue d'un défaut certain au niveau des engrenages.

Le présent mémoire traite de la surveillance online du réducteur SIS-PMA qui réduit la vitesse du tablier de cuisson de l'aggloméré au niveau de la PMA.

La préparation de l'agglomère passe par la réussite de la composition du mélange et l'opération de cuisson qui est assurée par l'envoi de l'air chaud sur toute la surface du tablier de la chaîne de cuisson.

Pour réussir un temps de cuisson répondant aux exigences techniques le contrôle de la vitesse de déplacement de chaîne de cuisson devient une opération essentielle.

Le problème que nous devons contrôler réside dans le contrôle de la rigidité de la denture

Abstract

Gears are used as a means of transmitting power in gearboxes, reducers and other applications. They are subject to the speeds, torques and directions of rotation of machine elements.

These gears must achieve transmission ratios which are in relation to the number of teeth of the wheels and of the pinions which constitute the kinematic chain. Any defect in the teeth of a gear inevitably leads to a failure which will have a certain impact on the proper functioning of the mechanism, which is why it is essential to monitor the condition of the teeth of the toothed wheels by the installation of a monitoring system that captures any vibration resulting from a certain fault in the gears.

This memo deals with the online monitoring of the SIS-PMA reducer which reduces the speed of the chipboard baking deck to the PMA level.

The preparation of the agglomerate depends on the successful composition of the mixture and the cooking operation, which is ensured by sending hot air over the entire surface of the apron of the cooking line.

To achieve a cooking time that meets technical requirements, controlling the speed of movement of the cooking chain becomes an essential operation. The problem that we must control lies in the control of the stiffness of the tee

Sommaire.....	07
Liste des figures.....	11
Liste des tableaux.....	15
Introduction générale.....	16

Chapitre I : Description générale de la division PMA (préparation des matières et agglomération) au sein du complexe EL-HADJAR

I.1.Introduction	18
I.2.Préparation du complexe.....	19
I.3.Objectifs du complexe.....	19
I.4.Organisation du complexe.....	20
I.5.Présentation de la division Préparation des Matières et Agglomérations (PMA).....	21
I.6.Description de la division PMA (Préparation des matières et agglomération).....	22
I.6.1.Secteur minéral	22
I.6.2. Secteur coke et addition	23
I.7.Processus de traitement adopté par le secteur coke de l'unité PMA.....	25
I.8.Secteur agglomération	25
I.8.1.Données de base.....	26
I.8.2.Réducteur installé.....	27
I.9.Conclusion.....	30

Chapitre II : Les différents types d'engrenages mécaniques

II.1.Introduction.....	32
II.2.Définition.....	33
II.3. Dentures d'engrenages.....	34
II.4.Profil des dents.....	34
II.5.Ligne d'engrènement ou ligne d'action.....	35
II.6.Caractéristiques d'une denture, terminologie.....	35
II.7. Engrenages cylindriques à denture droite	36
II.7.1. Géométrie	37
II.8. Systèmes d'engrenages cylindriques à denture droite	37
II.9. Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale.....	38

II.9.1. Les domaines d'application.....	38
II.9.2. Caractéristique des engrenages à denture hélicoïdale.....	39
II.9.2.1. Géométrie.....	39
II.10. Engrenage conique ou à axes concourants.....	39.
II.10.1. Principaux types	40
II.11. Engrenages à roue et vis sans fin.....	41.
II.11.1. Avantages_ Inconvénients	42
II.11.2. Caractéristiques cinématiques et géométriques.....	42
II.11.3. Différents types du système roue et vis sans fin.....	43
II.12. Conclusion.....	43
 Chapitre III : les différents défauts des engrenages	
III.1. Introduction.....	46
III.2. Principales sources des vibrations.....	46
III.2.1. Défauts de montage.....	47
III.2.2. L'erreur de transmission.....	47
III.2.3. L'erreur de profil.....	48
III.3. Défauts de taillage.....	48
III .3.1. Excentricité ou erreur de faux-rond.....	48
III.3.2. Les erreurs de pas.....	49
III.3.3. L'erreur de l'épaisseur des dents.....	49
III.4. Epaisseur de dent de référence.....	50
III.5. Défaut d'entraxe.....	51
III.5.1. Détérioration de l'ensemble de la denture.....	51
III.5.2. Les différents types de détérioration des dentures d'engrenages.....	51
III.5.3. Défauts de fonctionnement.....	52
a) Défauts de lubrification.....	53
b) L'usure.....	53

c) Les piqures.....	53
d) Ecaillage.....	54
e) Le grippage.....	54
f) Corrosion chimique.....	54
g) Corrosion de contact.....	54
h) Fissures ou casses de dent.....	55
III.6.Conclusion.....	55

Chapitre VI : Les moyens de surveillance et de détection défauts des engrenages

VI.1. Introduction.....	58
VI.2. Les types de surveillances.....	59
VI.2.1. La surveillance on –line	59
VI.2.2. La surveillance off –line	59.
VI.2.3. Les fonctionnalités des appareils de surveillance.....	59
VI.3. Surveillance par indicateur énergétiques large bande	60
VI.4. Surveillances par indicateur spectraux	60
VI.5. Surveillances par indicateurs typologique ou comportementaux	61
VI.6.Les paramètres de surveillance.....	61
VI.7. Choix des paramètres de surveillance	62
VI.7.1. Élément constitutifs de la machine.....	62
VI.7.2.Le type de capteur	62
VI.7.3.La grandeur mesurée.....	62
VI.7.4. Les capteurs de vibration	63
VI.8. les capteurs de vibrations	63
VI.8.1.VIBROTEST.....	63
VI.9. la détection.....	63

VI.9.1. Le type de détection.....	63
VI.10. Conclusion.....	46

Chapitre V : Etude de cas (surveillance on line du réducteur du moteur entraînant la chaîne de cuisson)

V.1 Introduction	67
V.2. Etude du cas du réducteur de la chaîne AG II P.M.A	68
V.3. Détection du motoréducteur AG II.....	68
V.4. Courbes de vibration de dix palies de réducteur.....	68
V.5. Discussion des résultats.....	85
V.6. Conclusion.....	86
Conclusion général	88
Références bibliographiques.....	90

Liste des figures

Chapitre I : Description générale de la division PMA (préparation des matières et agglomération) au sein du complexe EL-HADJAR

Figure .I.1: Atelier PMA du complexe d'El-Hadjar.....	19
Figure .I.2 : Différentes structures du complexe Sider d'El-Hadjar.....	20
Figure .I.3 : Schéma de la division PMA.....	21
Figure .I.4 : Processus d'homogénéisation à l'aide d'un jeteur.....	24
Figure .I.5 : Schéma de traitement de coke.....	25
Figure I.6 : La chaîne de l'agglomération.....	27
Figure .I.7 : Réducteur de l'entreprise du complexe Sider EL-HADJAR.....	28
Figure. I.8 : Dessin d'ensemble.....	29

Chapitre II : Les différents types d'engrenages mécaniques

Figure. II.1 : Type d'engrènement.....	32
Figure. II.2 : Différents types d'engrenage.....	33
Figure. II.3 : Les types de dentures.....	34
Figure. II.4 : Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle	35
Figure. II.5 : Approche et retraite dans un couple d'engrenage.....	35
Figure. II.6: Caractéristiques d'une denture	36
Figure. II.7 : Engrenages cylindriques à denture droite	36
Figure. II.8 : Les différents cylindres de roue dentée	37
Figure. II.9 : Différents engrenages cylindrique à denture droite	37
Figure. II.10 : Engrenages cylindrique à denture hélicoïdale.....	38
Figure. II.11 : Boîte à vitesse automobile	39
Figure. II.12 : Caractéristique des engrenages à denture hélicoïdale.....	39
Figure. II.13 : Engrenage conique ou à axes concourants.....	40

Figure. II.14 : Engrenages conique à denture droite.....	40
Figure. II.15 : Engrenages conique à denture hélicoïdale ou spirale.....	40
Figure. II.16 : Offset E pour l'engrenage hypoïde.....	41
Figure. II.17 : Principaux engrenages roue et vis.....	41
Figure. II.18 : Engrenage gauche hélicoïdale.....	42
Figure. II.19 : Principaux paramètres du système roue et vis.....	42
Figure. II.20 : Différents types du système roue et vis sans fin.....	43

Chapitre. III : Les différents défauts des engrenages

Figure.III.1 : Définition de l'erreur de transmission.....	47
Figure.III.2 : Erreurs de profile, définition tirée de la norme ISO 1328.....	48
Figure.III.3 : Faux-rond.....	49
Figure.III.4 : Définition de l'erreur de pas individuelle et de l'erreur de pas cumulée (norme ISO 1328).....	49
Figure.III. 5 : Ecart d'épaisseur de denture défauts de montage.....	50
Figure.III.6 : Spectre d'un engrenage avec dent neuve et dent défectueux.....	51
Figure .III.7 : Usure des dentures après fonctionnement.....	52
Figure .III. 8 : Piqures des dents.....	53
Figure .III.9 : Ecaillage des dents.....	54
Figure. III.10 : Fissure des dents.....	55

Chapitre VI : Les moyens de surveillance et de détection des défauts des engrenages

Figure VI.1: Surveillance on-line/off-line.....	59
Figure VI.2 : VEBROTEST	63
Figure VI.3 : Le type de détection.....	64

Chapitre V : Etude de cas (surveillance on- line du réducteur du moteur entraînant la chaîne de cuisson)

Figure. V.1 : Schéma du réducteur de l'installation.....	68
Figure. V.2 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction axial par rapport la vitesse.....	69.
Figure. V. 3 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction horizontale par rapport l'accélération.....	70
Figure. V.4 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction horizontale par rapport la vitesse.....	70
Figure. V.5 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 02 direction axial par rapport la vitesse.....	71
Figure. V.6 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 02 direction vertical par rapport vitesse.....	71
Figure. V.7 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 02 direction horizontale par rapport la vitesse.....	72
Figure. V.8 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 02 direction verticale par rapport la vitesse	72
Figure. V.9 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 03 direction axial par rapport la vitesse.....	73
Figure. V.10 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 03 direction horizontale par rapport l'accélération.....	73
Figure. V.11 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 03 direction horizontale par rapport la vitesse.....	74
Figure. V.12 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 03 direction verticale par rapport la vitesse	74
Figure. V.13 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 04 direction horizontale par rapport l'accélération.....	75
Figure. V.14 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 04 direction horizontale par rapport la vitesse.....	75
Figure. V.15 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 04 direction verticale par rapport la vitesse	75

Figure. V.16 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 05 direction horizontale par rapport l'accélération.....	76
Figure. V.17 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 05 direction verticale par rapport la vitesse	76
Figure. V.18 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction horizontale par rapport l'accélération.....	77
Figure. V.19 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction horizontale par rapport la vitesse.....	77
Figure. V.20 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction verticale par rapport la vitesse	78
Figure. V.21 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction horizontale par rapport l'accélération.....	78
Figure. V.22 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction horizontale par rapport la vitesse.....	79
Figure. V.23 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction verticale par rapport la vitesse	79
Figure. V.24 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction horizontale par rapport l'accélération.....	80
Figure. V.25 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 08 direction horizontale par rapport la vitesse.....	80
Figure. V.26 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 08 direction verticale par rapport la vitesse	81
Figure. V.27 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 09 direction horizontale par rapport l'accélération.....	81
Figure. V.28 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 09 direction horizontale par rapport la vitesse.....	82
Figure. V.29 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 10 direction axial par rapport la vitesse.....	82
Figure. V.30 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 10 direction horizontale par rapport l'accélération.....	83
Figure. V.31 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 10 direction horizontale par rapport la vitesse.....	83

Figure. V.32 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 10 direction verticale par rapport la vitesse84

Liste des tableaux

Tableau1.1 : Les caractéristiques de la chaine d’agglomération BAA.....26

Tableau1.2 : Les caractéristiques techniques de réducteur installé27

Introduction générale

L'histoire des engrenages commence dans les civilisations antiques, avec les roues de friction. Cependant, c'est seulement dans la période de la renaissance que les mathématiciens ont commencé à appliquer les principes géométriques pour déterminer le meilleur profil de la dent d'engrenage. La conception d'un engrenage comprend des calculs mathématiques, l'aspect géométrique, la détérioration, les matériaux, la fabrication et la vérification. Parmi tous ces paramètres, il est essentiel de connaître avec précision les contraintes se trouvant dans la dent d'engrenage pour prévenir certains risques de rupture. Par conséquent, plusieurs méthodes théoriques et expérimentales ont été développées.

Les réducteurs à engrenages sont des éléments importants dans une ligne d'arbres de machines tournantes [1]. On les trouve dans tous types d'industries, de procédés par exemple ; automobile (boîtes de vitesse), aéronautique (hélicoptères), cimenteries, raffineries. Ce sont des éléments mécaniques très sollicités, complexes à dimensionner et à réaliser (calcul, choix et traitement des matériaux, taillage des dents, . . .), qui peuvent présenter des défaillances limitant leur durée de vie [2].

Les réducteurs à engrenages sont très répandus en mécanique ; on les trouve dans les types d'industries, ont pour fonction de transmettre une puissance d'un arbre en rotation à un autre arbre tournant à une vitesse généralement différente, les deux vitesses restant dans un rapport constant. Un engrenage est un phénomène connu par des mécaniciens grecs au IV^{ème} et V^{ème} siècle av J-C, ont été très peu utilisés à cette époque, ils ont été employés pour soulever des charges lourdes. Leur utilisation devient courante au moyen âge, à partir du X^{ème} siècle dans les moulins à eau ou à vent. Les premiers engrenages ont été assez perfectionnés en bois, et les mécanismes d'horlogerie ont utilisés très tôt, et encore ils constituent les boîtes de vitesse des véhicules servant au transport. Le développement des moteurs thermiques et électriques a provoqué un fort développement de ce type de transmission.

Les engrenages peuvent alors présenter des défaillances qui limitent leur durée de vie, ils travaillent dans des conditions en général sévères et sont par conséquent soumis à une détérioration progressive de leur état, notamment au niveau des dentures (usure, écaillage, fissure, rupture, . . .) [03]. Divers types d'erreurs modifient légèrement leur géométrie. Lors de l'utilisation de ces mêmes engrenages, ils sont introduits à l'intérieur des systèmes mécaniques ayant des arbres avec un certain désalignement, de faux rond, de choc, ect..., Ces défauts entraînent une défaillance dans le fonctionnement du réducteur, d'où la nécessité de les soumettre à une surveillance continue afin de détecter à un stade précoce les éventuels défauts naissants.

Actuellement, la majorité écrasante des installations à engrenages occupent une place de choix, une place stratégique que dans la chaîne de production. Ceci dit leur arrêt inopiné dû à une défaillance est susceptible d'entraîner la paralysie totale de l'entreprise, une perte de performance, et une perte indirecte de production.

Ainsi, dans notre projet qui a été axé sur un stage pratique à Sider EL-HADJER, nous étudions et nous cherchons le mode de surveillance le plus fiable et le plus compatible avec le milieu dans lequel

ouvre ce réducteur SIS PMA suivi d'une technique de détection précoce la plus performante et cela dans le but d'améliorer la qualité du produit fini, assurer la sécurité du potentiel humain et matériel.

*Description générale de la division PMA
(préparation des matières et agglomération) au
sein du complexe SIDER EL-HADJAR*

I-1 Introduction :

L'Entreprise Nationale de Sidérurgie (ENS) a été construite en 1959 par la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS). Avec la nationalisation du patrimoine algérien celle-ci devient la Société Nationale de Sidérurgie (SNS).

En 1969, l'usine subit un essor en construisant un pôle sidérurgique à El-Hadjar pouvant répondre à une variété de gamme de produits et delà elle devient SIDER. Depuis 1969, le complexe a vu un domaine d'activités se développer au fil des années afin de répondre à la demande sans cesse croissante des produits sidérurgiques.

Le début de janvier 1999, marque la suppression des sous directions et création des filiales aux membres de 24. En 2004 marque la création de la division Laminoir Rond a Béton (L.R.B).

Pendant le développement économique mondial, l'Algérie pour s'aligner son tour a investie dans plusieurs domaines ; tels que l'industrie sidérurgique.

L'entreprise national de sidérurgie a été créé le 03/09/64 (SNS) (Société national de sidérurgie) et projeter de faire une complexe sidérurgie sur le site de la SBS (Société Bônoise de sidérurgie) à El-Hadjar.

Le complexe est situé à 15 Km sud de la ville d'Annaba occupe une superficie de 800 hectares qui se répartie approximativement en trois zones :

Atelier de production 300 hectares.

La superficie de stockage 300 hectares.

La superficie de service 200 hectares.



Figure. I.1 : Atelier PMA du complexe d'El-Hadjar

I-2 : Présentation du complexe

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est situé à l'Est de l'Algérie dans la zone industrielle d'Annaba, à 15 km au sud de la ville. Dont 30% des actions détenues par SIDER et 70% par Arcelor Mittal. Il occupe une superficie de 800 ha dont :

- ✓ Les ateliers de production qui sont repartis sur 300 Ha ;
- ✓ Les lieux de stockage occupent près de 300 Ha de la surface ;
- ✓ L'administration, les services ou les grands bureaux se partagent 200 Ha du reste.

I-3 : Objectifs du complexe

En juin 1969, les premières unités de productions à savoir le secteur fonte, préparation des matières et agglomération, haut fourneau et aciérie furent développés, et le complexe peut répondre à une gamme de produits finis et semi-finis très variés : brames, barre de ferrailles, billettes, lingots, fil machine et ronds à béton....

I-4 : Organisation du complexe

Ce complexe emploie plus de 4000 travailleurs, actuellement suite au départ massif des travailleurs le complexe compte environ 10000 travailleurs. La gestion de l'entreprise a imposé une subdivision en filière spécialisée, chacune dans un secteur de production finie, chaque filière est dirigée par un sous-directeur qui a sa charge. Le contrôle, la gestion et la coordination de l'ensemble des divisions qui constituent la sous-direction.

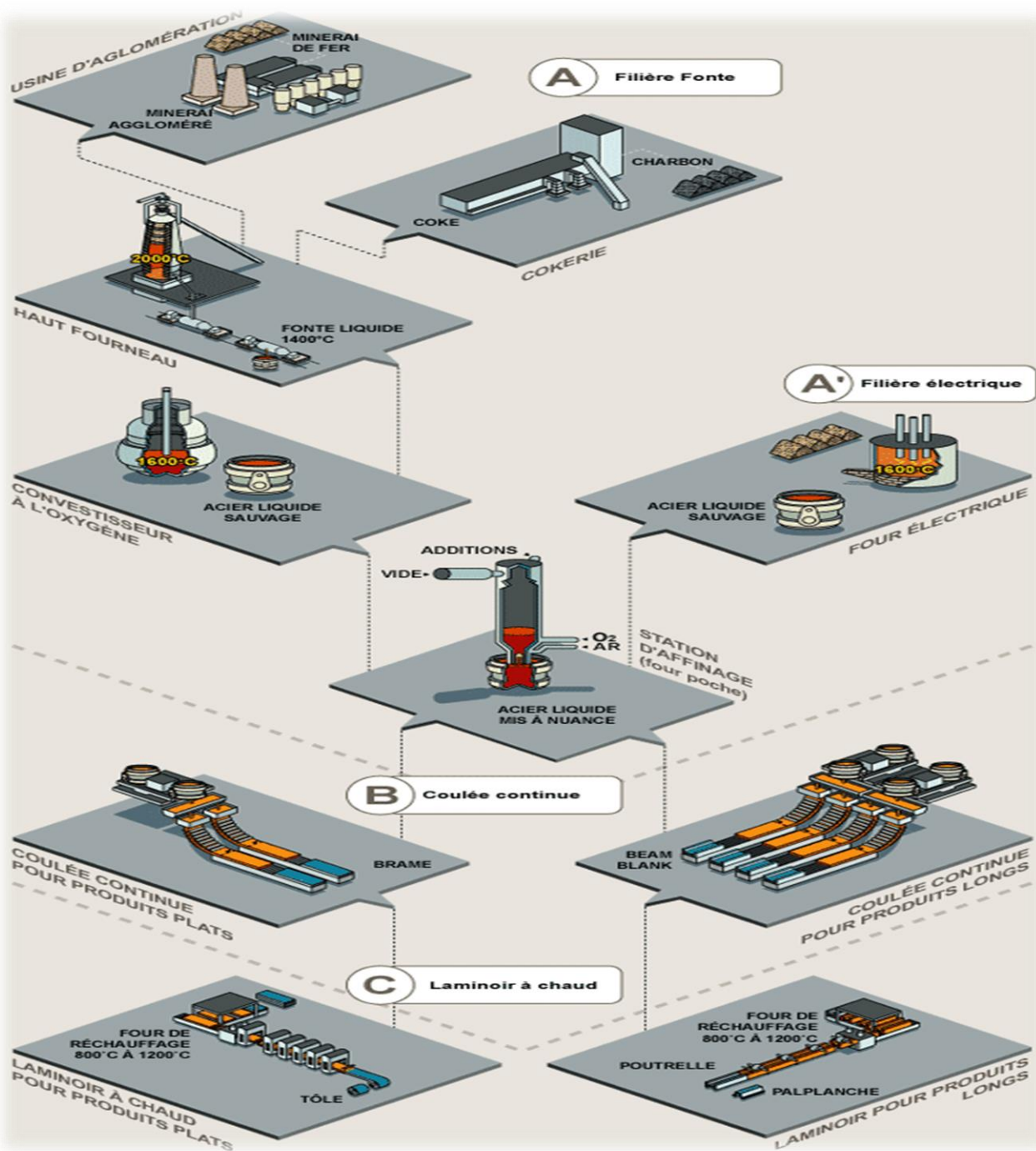


Figure I.2 : Différentes structures du complexe Sider d'El-Hadjar.

I-5 : Présentation de la division Préparation des Matières et Agglomérations (PMA)

La division PMA est mise en service depuis l'essor de l'usine et constitue le pilier fort de la sous-direction de la Matières Premières et Fonte(MPF). Elle est chargée de la manutention et du traitement des matières destinées à l'alimentation des hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte.

Cette division comprend trois secteurs sont :

- Le secteur coke et additions.
- Le secteur minéral.
- Le secteur agglomérations.

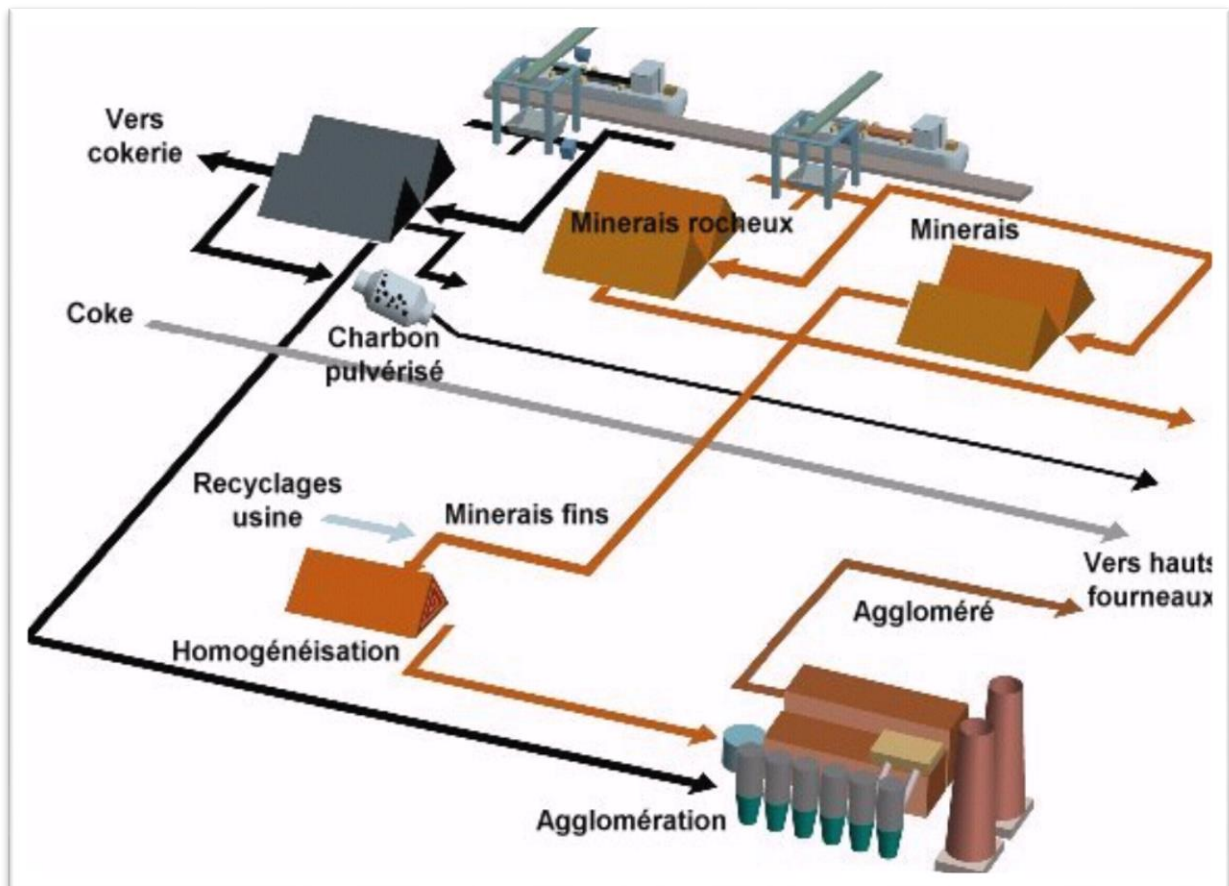


Figure I .3: Schéma de la division PMA.

I-6 : Description de la division PMA (Préparation des matières et agglomération)

Pour assurer une bonne perméabilité aux gaz qui circulent contre le courant de la charge, et comme l'exploitation des particules fines (<5mm) qui sont nocives pour le haut fourneau car elles conduisent à des perturbations dans le courant gazeux et peuvent être la cause d'une allure périphérique et abaisser le coefficient de production il fallait trouver une solution qui permet de les utiliser sans entravée la marche des Hauts Fourneaux (HF_x). Nous avons choisi, dans ce but d'agglomérer des fines sur bandes .Cette opération consiste au frittage au moyen d'un combustible solide.

L'ensemble des installations regroupées dans cette division sous le sigle PMA (Préparation des Matières et Agglomération) comprend trois principaux secteurs à savoir :

I .6.1 : Secteur minerais

Ce secteur a pour rôle de réceptionner et traiter le minerai acheminé par wagons des mines d'Ouenza et à de Boukhadra jusqu'à la station de chargement de l'installation, puis de le traiter travers une zone de « broyage –criblage ».La fraction (0 à 10 mm) est homogénéisée sur parc avant d'être acheminée sur demande vers l'agglomération. La fraction intermédiaire (10 à 50 mm) est acheminée sur demande vers les hauts fourneaux.

➤ Zone de préparation mécanique du minerai

Une surface disposée à la transformation du minerai de 0-300 ; 0-50 mm et 10-50 mm (SEQUENCE de 21 à 25 et 12B) :

- SEQUENCE 21

L'acheminement du minerai 0-300 mm vers les silos du broyage primaire (SIL 210 et 211).

-SEQUENCE 22

Le criblage et le broyage primaire du minerai de 0-300mm extrait des silos 210 et 211 et le transport de ceux dont la granulométrie est de 0-50 mm obtenu vers les silos 212 et 215.

-SEQUENCE 23

Le criblage du minerai 0-50mm extrait des silos 212 et 215 et du 0-10mm extrait des silos 220 et 22 en provenance du broyage secondaire. Les deux produits sont reparties en deux

catégories ; 0-10mm sont acheminés par le TRO 223 vers les parcs de stockage tandis que ceux dont la granulométrie est comprise entre 10-50 mm transit vers les silos 216 et 218 par le TRO 216.

-SEQUENCE 25

Le broyage du minerai 10-50 extrait des silos 216 et 218 et acheminement du 0-10 mm vers les silos 220 et 221 par le TRO 219.

-SEQUENCES 24 et 12B

L'acheminement par le TRO 251 du minerai 10-50mm extrait des silos 216 à 218 vers les hauts-fourneaux ou vers les silos de passage 5 et 6 pour l'aciérie.

Deux aires pour le minerai de 0-10 mm -SEQUENCE 13 et 26. Le minerai 0-10mm en provenance de la zone broyage. Le criblage est dirigé vers le parc d'homogénéisation où deux aires de stockage d'une capacité unitaire est de 250.000t sont aménagés : l'une au sud et l'autre au nord du transporteur du parc.

Le minerai y est déposé par un appareil de mise au tas équipé d'une flèche orientable et qui se déplace sur une voie de roulement dont les rails sont situés de part et d'autre du transport de parc. La reprise du minerai qui sera acheminé vers les silos de stockage des agglomérations s'effectue par une roue- pelle. Il y a toujours un tas en constitution et un tas en reprise et de ce fait, une séquence de mise au tas et une séquence de reprise.

I.6.2 : Secteur coke et additions

Les combustibles solides utilisés pour l'agglomération sur grille peuvent être soit des produits d'origine végétale (charbon sous forme de houilles et lignites), soit des produits de transformation de ces combustibles naturels (combustibles artificiels forme de coke).

Les charbons naturels se sont formés à partir de matériaux végétaux partiellement décomposés sous l'action d'agents divers à la fois physique et chimique. Les charbons naturels se sont formés à partir de matériaux végétaux partiellement décomposés sous l'action d'agents divers à la fois physique et chimique.

Les combustibles artificiels sont obtenus par cokéfaction des charbons dans des fours à coke appelés batteries. La cokéfaction ou la houillification s'accompagne d'un accroissement de la teneur en carbone et d'un appauvrissement en matières volatils du charbon.

Les combustibles artificiels utilisés en agglomération sont appelés fine de coke ou poussier de coke. Ces fines de coke proviennent du broyage du petit coke (+0-20mm).pour les raisons économiques, ils utilisent parfois à l'agglomération de la fine de coke maigre issue des charbons possèdent des caractéristiques non aptes à leur utilisation pour la fabrication du coke des hauts fourneaux.

Pour des problèmes d'efficacité métallurgique (meilleur combustion), les combustibles d'agglomération doivent avoir des quantités minimales des fractions fines (<5mm) et des fractions grossières (>5mm).

La fine de coke utilisée en agglomération est produite dans des installations équipées de lignes de criblage et de broyage.

Les circuits modernes cherchent à limiter la production des fines et des gros, tout en évitant le sur broyage. Le circuit le plus courant est du type circuit fermé avec pré criblage, pour ne traiter de manière ménagée que les fractions grossières. Les broyeurs utilisés pour la préparation de classique du combustible sont généralement les broyeurs à barres (cas PM2).

L'avantage des broyeurs à barres est le grand rapporte réduction de traiter du 0-40mm en un seule étage, une production élevée mais avec un inconvénient le sur broyage avec une production excessive de fines dépoussières et pour centrage excessif dégrainerons.



Figure I.4 : Processus d'homogénéisation à l'aide d'un jeteur.

I-7: Processus de traitement adopté par le secteur coke de l'unité PMA

Etant donné l'arrêt de actuel de la cokerie, se secteur reçoit via le port d'Annaba un coke importé (- 60 +0mm de granulométrie) utilisé comme combustible. Ce dernier est stocké dans trois silos (relies chacun à un extracteur et à un transporteur) puis divisés en deux portions par un crible (criblage primaire) d'ouverture de maille carrée 20mm. Les refus (-60 +20mm) alimentent directement le haut fourneau et les passants (-20mm) sont broyés en circuit fermé par deux broyeurs à barres jusqu'à une granulométrie de -3 + 0mm (fine de coke) pour finir dans les silos alimentant le secteur agglomération.

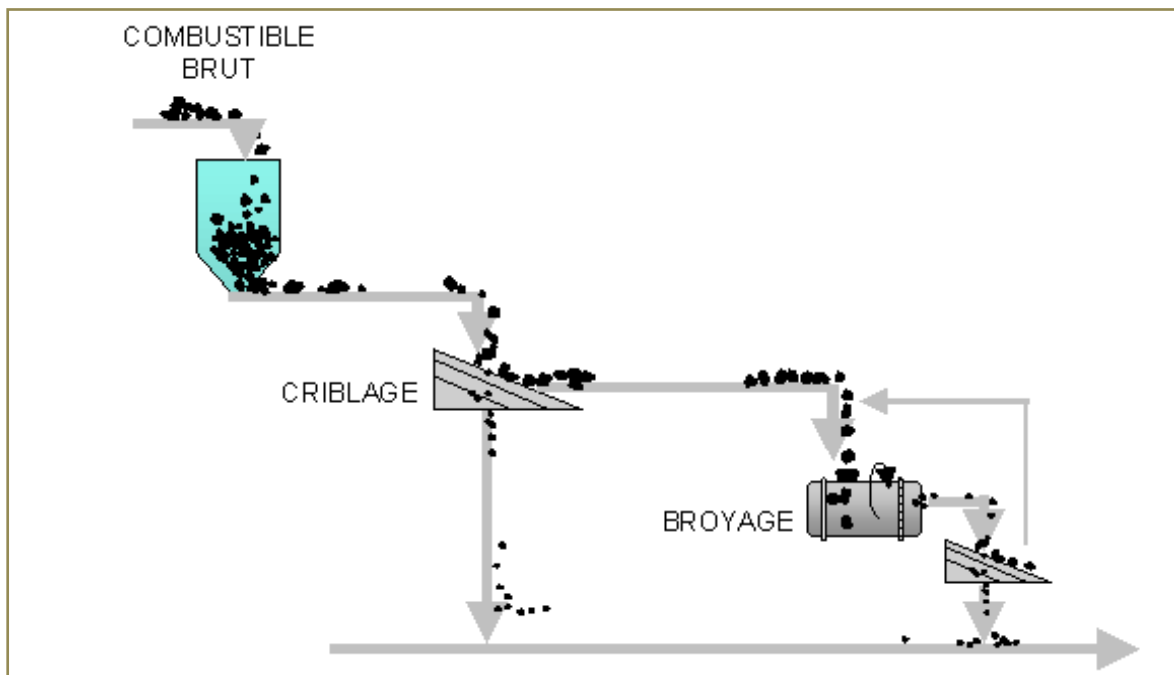


Figure I .5 : Schéma de traitement de coke.

I-8 : Secteur agglomération

La PMA possède deux zones d'agglomération du minerai de fer AG1 et AG2 ; ce secteur est la plaque tournante de la PMA et de l'alimentation des haut-fourneaux.

Ce secteur a pour rôle principal la fabrication d'un aggloméré conforme aux exigences des hauts fourneaux. Leurs activités sont :

- La gestion des ateliers et du personnel.
- La réception et stockage du minerai 0 – 10 mm, fines de coke 0 - 3 mm et additions.
- L'élaboration de l'aggloméré.
- L'alimentation des silos des hauts fourneaux en aggloméré et minerai calibré.

L'atelier d'agglomération traite les minerais fins et la dimension de ces minerais est imposée par le compromis suivant :

- Elle peut dépasser une certaine valeur afin d'atténuer la tendance autant que possible à la ségrégation lors des chutes de matières, les gros morceaux roulent au bas du Talus et d'obtenir un mélange le plus possible.
- Elle peut descendre sous une certaine dimension pour éviter que l'aggloméré, envoyé à le HF après criblage ne conserve une trop grande fraction de particules fines.

I-8-1 : Données de base

Le dimensionnement et la conception des installations sont prévus produire 8250 t /jour

La machine d'agglomération BAA1

Bande d'agglomération (chaîne d'agglomération BAA)

Les caractéristiques de la chaîne sont :

Surface d'aspiration effet	240m ²
Largeur de la surface d'aspiration	4m
Longueur de la surface d'aspiration	60m
Number de vent	15
Hauteur de couche maxi	500mm
Distance entr 'axe	68,25 m
Nombre de chariot de grille	101
Longueur des chariots	1500mm
Vitesse de la bande	1,9 à 7,6 m /min
Gamme de réglage	Sans gradins 1 : 4
Type d'entraînement	Moteur à courant continue
Puissance de moteur	40KW
Vitesse de moteur	300 à 1200 tr/min
Genre de frein d'arrêt	Frein à double mâchoire

Tableau. I.1 : Les caractéristiques de la chaîne d'agglomération BAA

-Elle est constitué de 101 chariots de grille .ces chariots montés sur 04 galets porteurs.

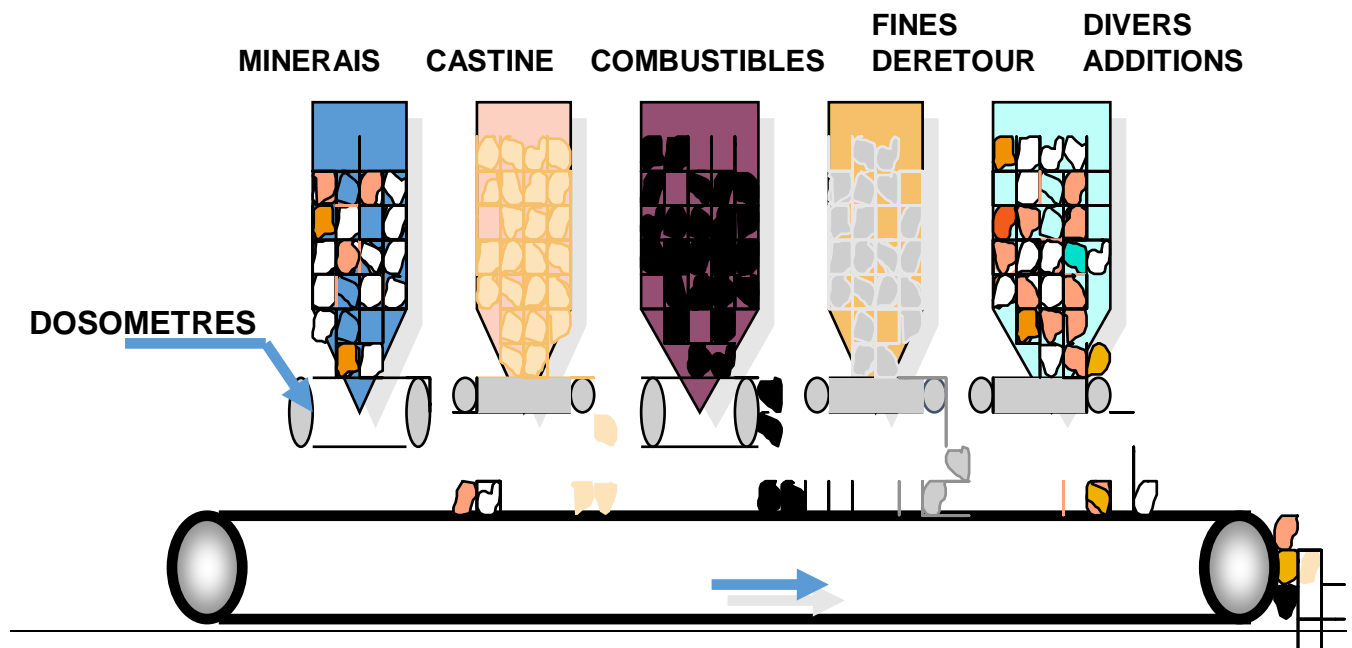


Figure I.6 : la chaine de l'agglomération

I-8-2 : Réducteur installé de l'entreprise

Fabricant	CMD
Type	500MHF1x 1100G sp
Rapport	$58/18 \times 61/2 \times 74/3 = 2391,426$
Vitesse d'entrée	300 à 1200 tr /min
Vitesse de sortie	0,125 à 0,501 tr /min
Puissance du moteur	40 KW
Couple de sortie	531910 Nm à 0,501 tr /min

Tableau. I.2 : Les caractéristiques techniques de réducteur installé



Figure I.7 : Réducteur de l'entreprise du complexe Sider EL-HADJAR.

Dessin d'ensemble

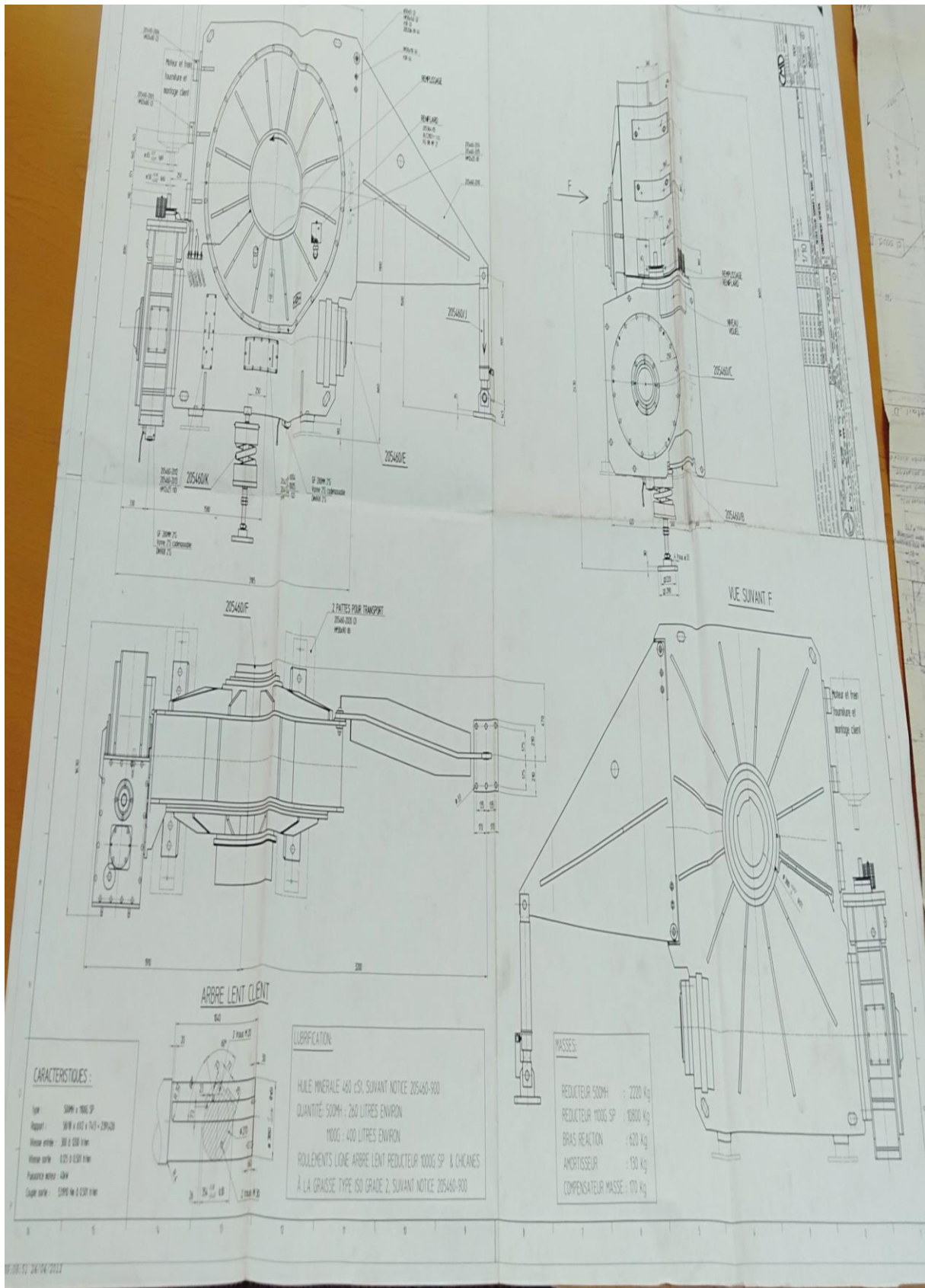


Figure I.8. Dessin d'ensemble

I-9 : Conclusion

La division PMA représente le poumon de l'entreprise car elle fournit la matière première nécessaire pour la fabrication du minerai de fer.

La qualité du minerai dépend essentiellement du produit de la PMA à savoir l'agglomère qui sera ensuite fendu par le haut fourneau pour produire de la fonte.

Pour se faire la préparation de l'agglomère passe par la réussite de la composition du mélange et l'opération de cuisson qui est assurée par l'envoi de l'air chaud sur toute la surface du tablier de la chaîne de cuisson.

Pour réussir un temps de cuisson répondant aux exigences techniques le contrôle de la vitesse de déplacement de chaîne de cuisson devient une opération essentielle.

Cette vitesse doit être comprise entre 0,125 à 0,501 tr/min correspondant à la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du réducteur.

Le problème que nous devons contrôler réside dans le contrôle de la rigidité de la denture des engrenages du réducteur qui assure une vitesse très réduite avec un couple très important.

CHAPITRE II
LES DIFFERENTES TYPES D'ENGRENAGES
MECANIQUE

II-1 Introduction

Les engrenages sont utilisés comme moyen de transmission de puissance dans les boîtes de vitesses et d'avances des machines où ils réalisent les vitesses, les couples et les sens de rotation des éléments de machines. Ces transmissions peuvent être simples ou composées. Ces engrenages doivent réaliser des rapports de transmission qui sont égaux au rapport des nombres de dents des roues qui constituent la chaîne cinématique. L'engrènement est un phénomène connu depuis plusieurs siècles, les moulins à vent utilisaient des engrenages en bois assez perfectionnés, et les mécanismes d'horlogerie ont utilisé très tôt les roues dentées. Le développement des moteurs thermiques et électriques a provoqué un fort développement de ce type de transmission.

L'importance de l'engrenage, comme élément mécanique nécessaire et idéal, est démontrée par la vaste gamme qu'on trouve dans toutes les industries. Le développement des nouvelles technologies, comme l'électronique, a remplacé quelques applications de l'engrenage, mais il reste toujours un élément mécanique dont l'utilisation croît continuellement.

La petite roue se nomme le pignon, la grande roue extérieure s'appelle la roue, la grande roue intérieure s'appelle la couronne. L'une des roues peut avoir un rayon infini, elle s'appelle alors une crémaillère ; la figure II.1 représente type d'engrènement. [3]

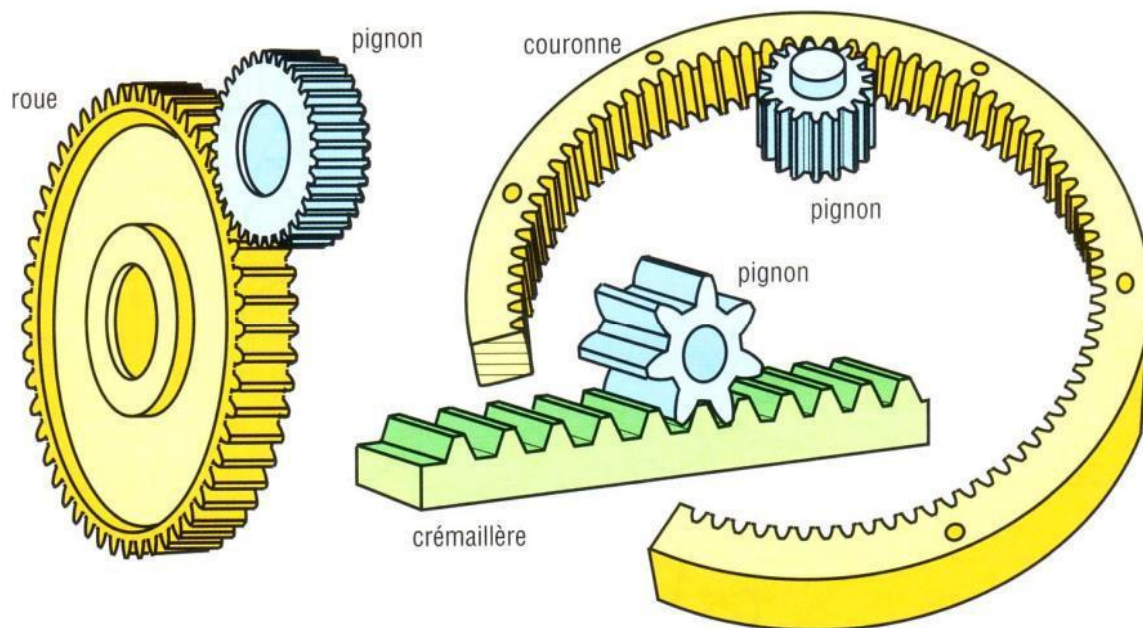


Figure II.1 : Type d'engrènement [3].

Le rapport de transmission R est par définition : $R = \Omega$ de entrée / Ω de sortie

On appelle surfaces primitives, les surfaces fictives des roues de friction associées donnant la même cinématique que l'engrenage.

On distingue les différents types d'engrenages suivants :

- Les engrenages à axes parallèles à denture droite ou hélicoïdale,

- Les engrenages à axes concourants à denture droite ou hélicoïdale,
- Les engrenages à axes non concourants ou gauches (roue - vis sans fin, hypoïde, etc).

II-2. Définition

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] Il existe quatre types d'engrenages différents (figure II.2).

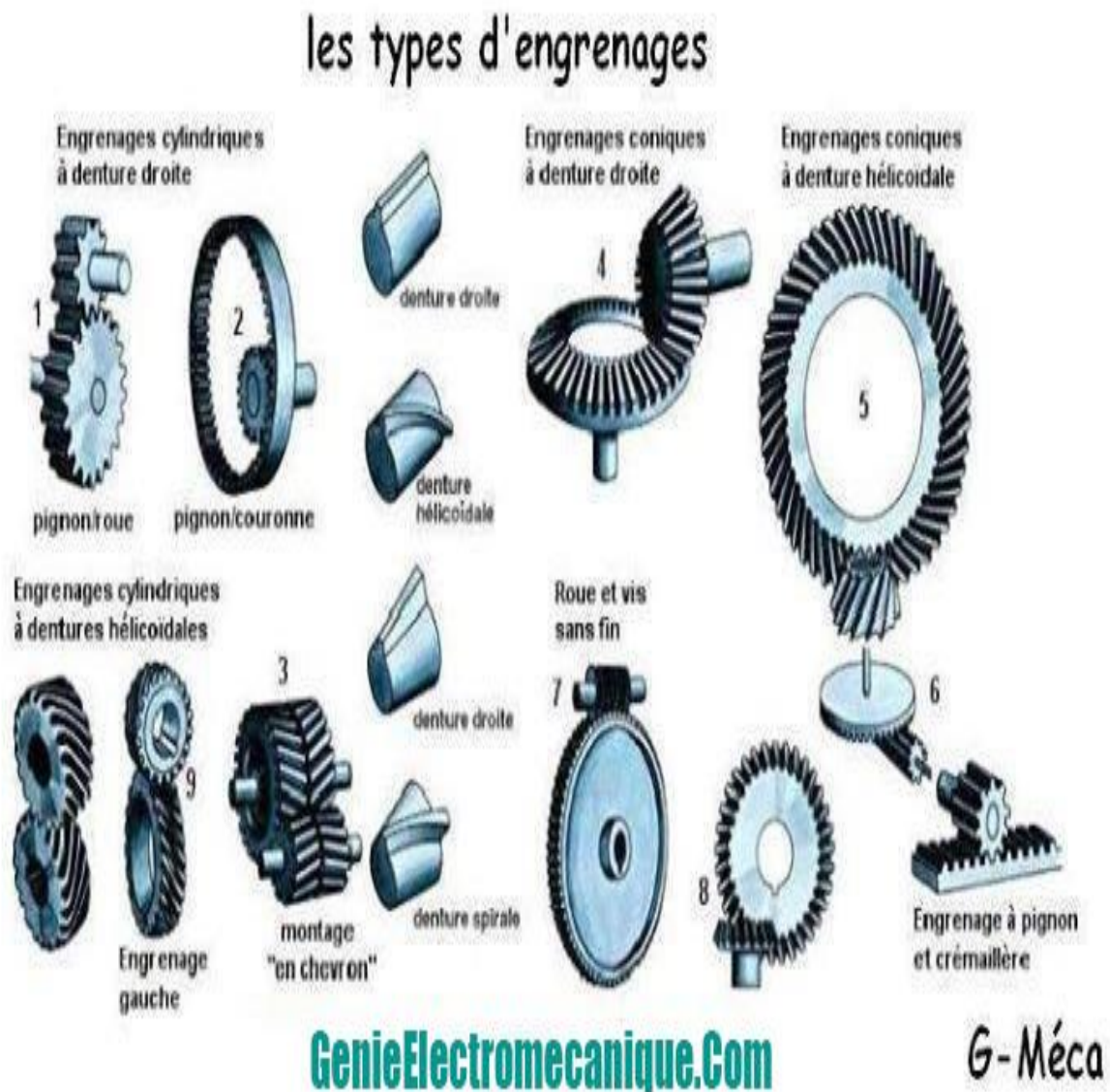


Figure II. 2: Différents types d'engrenages [3].

II.3. Les types de dentures d'engrenages

Il existe plusieurs types de dentures, aux propriétés particulières. La quasi-totalité des formes sont dites conjuguées : pendant la rotation, les dents restent en contact dans un plan sagittal, et quand le lieu géométrique de ce point de contact est une droite, les profils des dents sont des développantes de cercle. Une exception notable est l'engrenage « Novikov », dit aussi quelque fois de « Fisher », dans lequel le contact entre deux dents se fait pendant un temps « ponctuel » tout le long du profil.

Ces dentures sont donc toujours hélicoïdales permettent de transmettre des puissances importantes avec de très bons rendements, même si le pignon n'a que peu de dents, mais exigent un positionnement rigoureux ; la figure II.3 illustre les types de dentures.

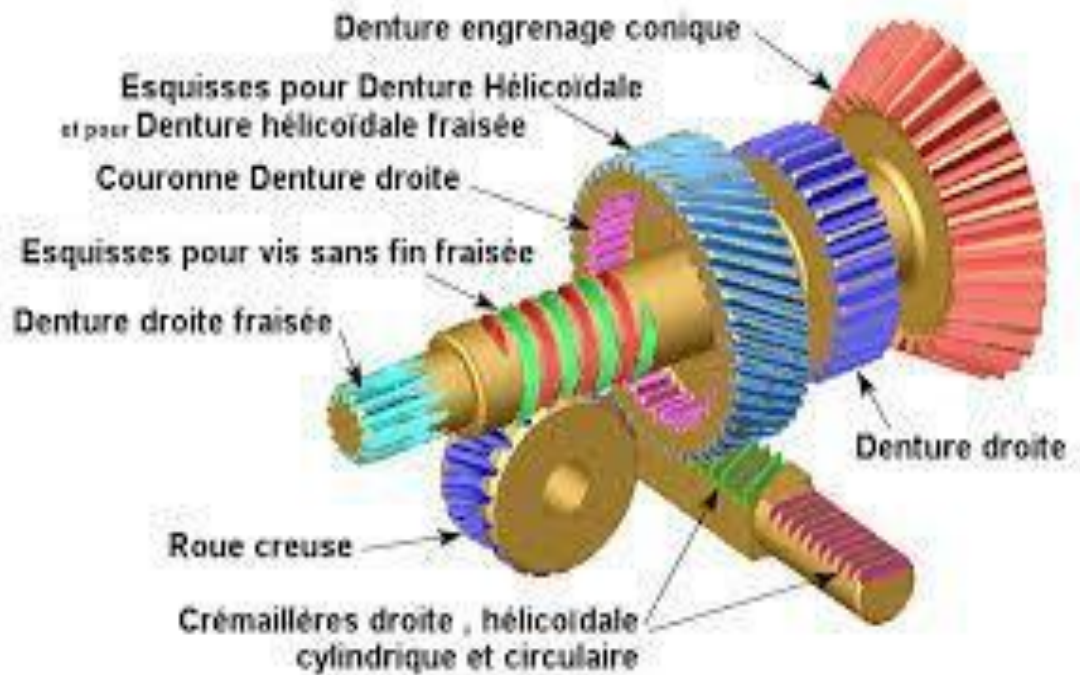


Figure II.3 : Les types de dentures [3].

II-4. Profil des dents

Les dents doivent permettre de toujours maintenir les deux roues en contact, d'assurer une rotation continue d'une roue par rapport à l'autre et de ne pas bloquer le fonctionnement de l'engrenage. Le profil d'une dent de roue dentée n'est ni une droite ni un arc de cercle (figure II.4) [3].

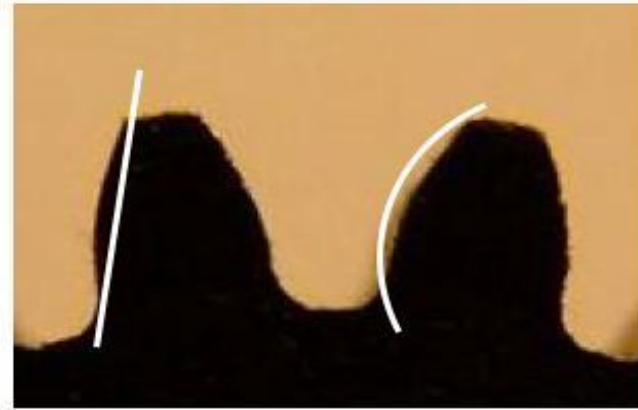


Figure. II.4 : Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle.

II-5 : Ligne d'engrènement ou ligne d'action

L'approche se définit comme étant la phase où le point de contact C entre une paire de dents sur la ligne d'action se déplace de $T1$ à O , soit du début du contact jusqu'au point primitif. La retraite se définit comme étant la phase où le point de contact C entre une paire de dents sur la ligne d'engrènement se déplace de O à $T2$, soit du point primitif jusqu'à la fin du contact ; la figure II.5 représente approche et retraite dans un couple d'engrenage.

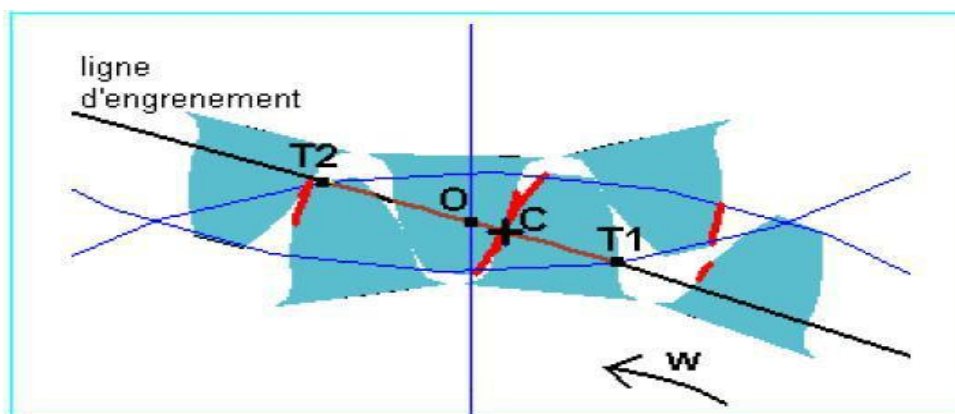


Figure II.5 : Approche et retraite dans un couple d'engrenage [3].

II-6. Caractéristiques d'une denture et terminologie

Le cercle primitif est celui représentant le diamètre de la roue de friction (figure 2.6). Le cercle de tête est le diamètre extérieur de la roue dentée au sommet des dents, le cercle de pied est à la base des dents : cercle de tête = cercle de pied + 2 x hauteurs des dents.

La hauteur des dents est décomposée en un creux et une saillie, proportionnels au module.

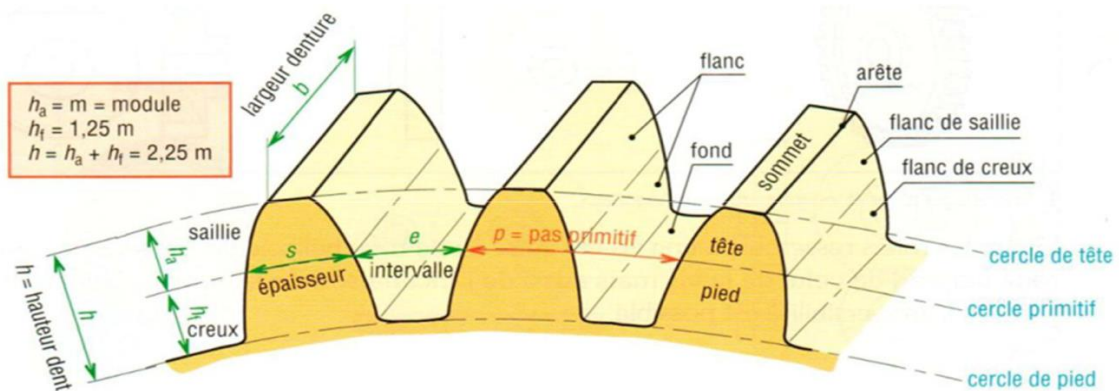


Figure II. 6 : Caractéristiques d'une denture [3].

II-7. Engrenages cylindriques à denture droite

Ces engrenages sont les plus simples et les plus répandus, leurs surfaces primitives sont des cylindres parallèles tangents et le contact entre les dents se fait suivant une ligne droite variable parallèle aux arbres (voir figure II.7).

Du fait de leur relative simplicité, ils sont souvent utilisés pour introduire les relations de cinématique et les définitions normalisées concernant la géométrie des engrenages [3].

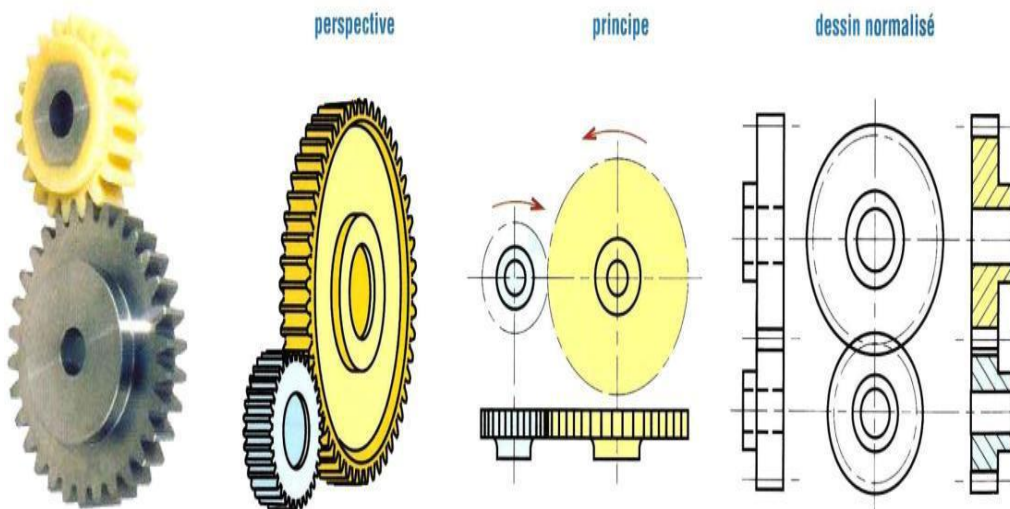


Figure. II. 7 : Engrenages cylindriques à denture droite [3].

II-7-1 Géométrie des engrenages

Les engrenages cylindriques à denture droite porte plusieurs cylindres sont (voir figure. II.8) :

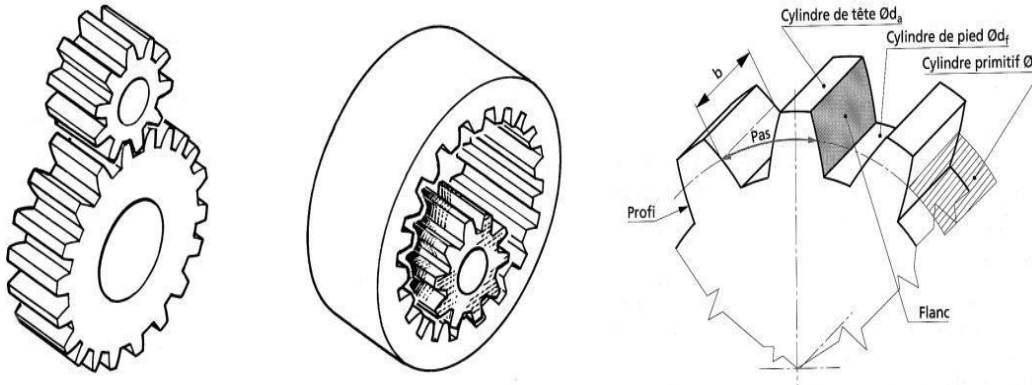


Figure. II. 8 : Les différents cylindres de roue dentée [3].

-Inconvénient de ce type de l'engrenage

Durant l'engrènement, les dents en prise fléchissent de plus leur nombre varie (2-3), ce qui engendre du bruit et des vibrations.

II-8. Systèmes d'engrenages cylindriques à denture droite

La figure II.9 représente les différents engrenages cylindriques à denture droite.

Engrenage à contact extérieur	Engrenage à contact intérieur	Système pignon crémaillère
$\frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = -\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = \frac{R_1}{R_2}$	$ V = R \cdot \omega $

Figure. II.9 : Différents engrenages cylindrique à denture droite [3].

II-9 : Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale

Les engrenages à denture hélicoïdale permettent une transmission plus souple, plus progressive et moins bruyante que les engrenages à dentures droite, La transmission des efforts est plus importante (nombre de dents en contacts plus élevés), y compris aux vitesses élevées, ils sont notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et multiplicateurs de vitesses. Les inconvénients de ce type d'engrenage sont (figure II.10): - Des efforts supplémentaires dus à l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers et augmentation des efforts de flexion).

- Rendement un peu moins bon.

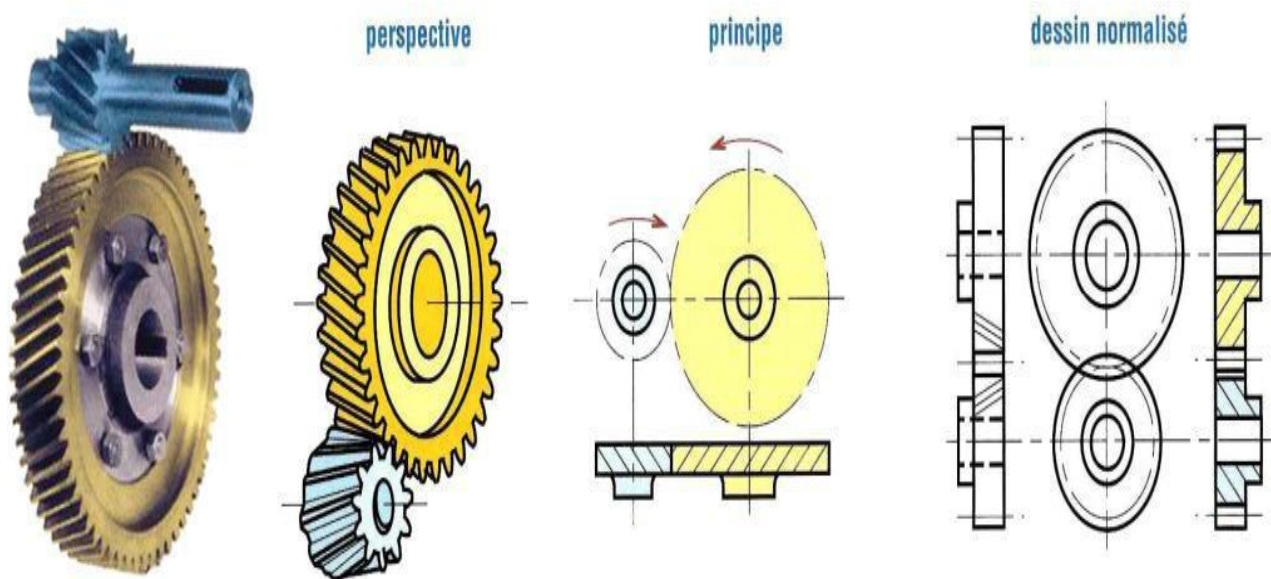


Figure. II.10 : Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale [3].

-Avantages et Inconvénient

Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale ont un rapport de conduite (nombre de dents en prises) plus important.

L'engrènement est plus progressif que pour les engrenages à denture droite, et de ce fait réduisent notablement les bruits et vibrations engendrés durant l'engrènement.

En revanche, ils sont plus chers et l'inclinaison de l'effort entre les dents du fait de l'hélice engendre un effort axial durant l'engrènement.

II-9-1. Les domaines d'applications

Les engrenages à denture hélicoïdale permettent un fonctionnement plus silencieux que celui des engrenages à denture droite ; ils présentent également un meilleur rendement. Ils sont notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et les multiplicateurs de vitesses (figure II.11).



Figure. II. 11 : Boite à vitesse automobile [3].

II-9-2. Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale

II-9-2-1. Géométrie

Toutes les roues à denture hélicoïdale de même module et de même angle d'hélice engrenant entre elles (quels que soient leurs diamètres ou leurs nombres de dents). Seules les hélices doivent être de sens contraire sur les roues.

Les dentures hélicoïdales provoquent une poussée axiale, d'où la nécessité de l'emploi de butées. La poussée axiale est proportionnelle à l'angle d'hélice β . On peut donc réduire la poussée axiale en diminuant l'angle d'hélice, mais on peut également la supprimer, en utilisant des roues jumelées dont les dentures sont inclinées en sens opposé ou encore par l'utilisation d'une denture en chevrons ; la figure II.12 représente les caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale[3].

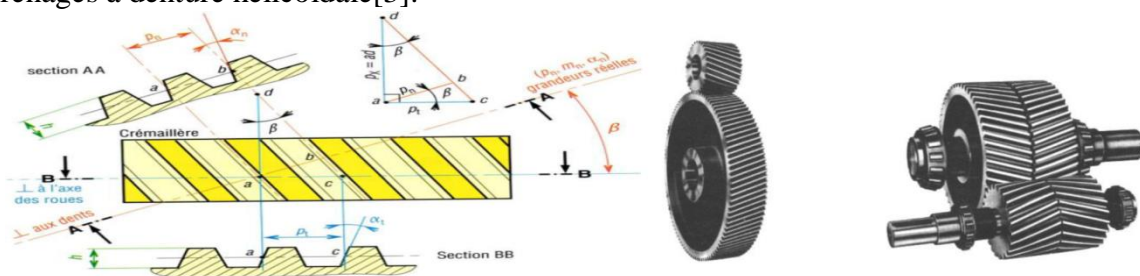


Figure II.12 : Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale [3].

II-10. Engrenage conique ou à axes concourants

Les engrenages coniques permettent la transmission du mouvement entre deux arbres concourants dont le point de rencontre est obligatoirement le sommet des deux cônes primitifs. Par conséquent, il y a un couple unique de surfaces coniques conjuguées pour chaque rapport de vitesse d'un couple conique sans changer ensemble les deux engrenages ; la figure II.13 illustre type d'engrenage conique ou à axes concourants.

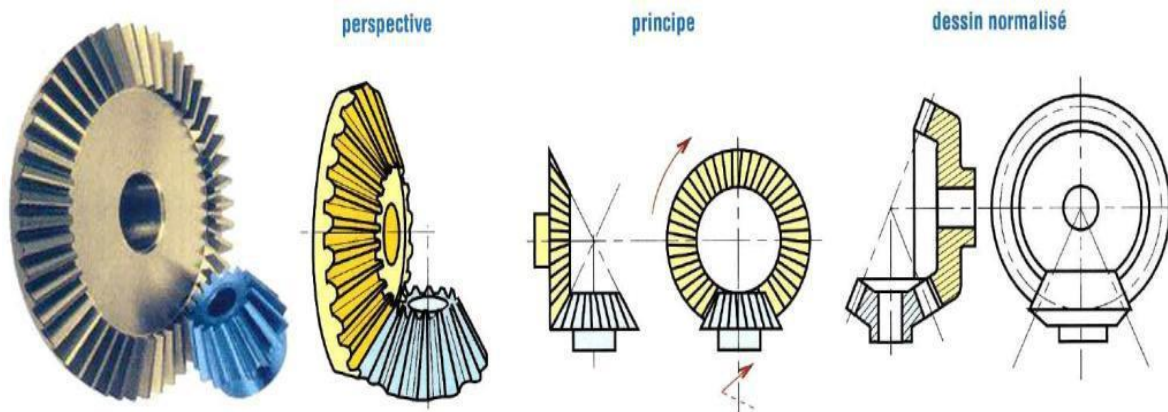


Figure II.13 : Engrenage conique ou à axes concourants [3].

II-10-1. Principaux types

a/Engrenages coniques à denture droite

Ce sont les plus simples. La direction des génératrices du profil de la denture passe par le sommet S . Aux vitesses élevées on retrouve les mêmes inconvénients que les engrenages droits à dentures droites (bruits de fonctionnement, fortes pressions sur les dents...) (voir figure II.14).

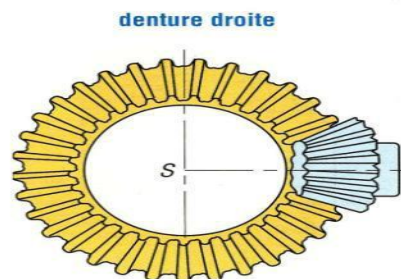


Figure. II.14 : Engrenages coniques à denture droite [3].

b/Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale

Les engrenages coniques à denture spirale Gleason tels que nous les usinons, se calculent comme les coniques à denture droite en ce qui concerne les cônes primitifs de référence uniquement et en considérant leur module apparent (voir figure. II.15).

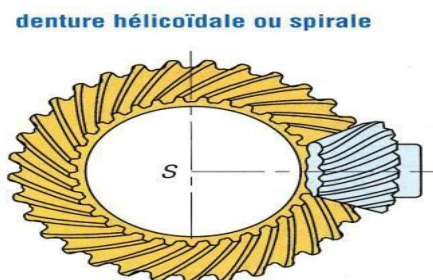


Figure .II .15 : Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale [3]

c/Engrenages hypoïdes

Ce sont des engrenages spiraux-coniques possédant un décalage (ou offset : E) entre les axes des engrenages (figure II.16).

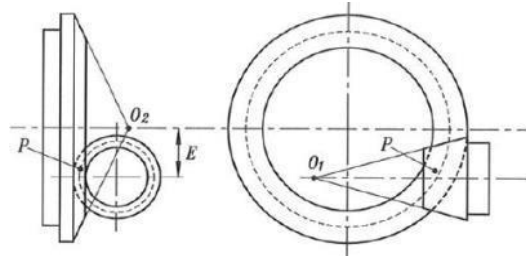


Figure II.16 : Offset E pour l'engrenage hypoïde [4].

II-11. Engrenages à roue et vis sans fin

La vis sans fin est constituée d'un long cylindre étroit, présentant une denture hélicoïdale continue, analogue au filetage d'une vis cylindrique, se mettant en prise avec une roue à denture hélicoïdale. Les engrenages à vis sans fin diffèrent des engrenages à roues à denture hélicoïdale.

En effet, les dents de la vis sans fin s'engagent continûment en glissant sur celles de la roue menée, mais ne leur appliquent pas directement un effort de rotation. Les vis sans fin servent principalement à transmettre une rotation, avec une forte réduction de vitesse, entre deux arbres orthogonaux (figure II.17).

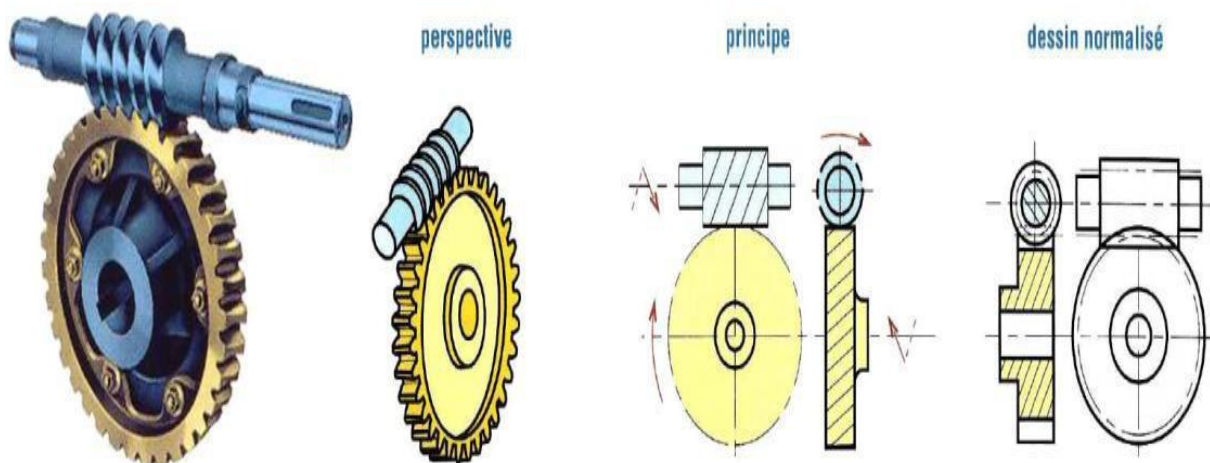


Figure II.17 : Principaux engrenages roue et vis [3].

Cas particulier des engrenages gauches hélicoïdaux, un système roue-vis sans fin est tel que l'une des roues a un très petit nombre de dents (1 à 8). Elle est alors appelée vis.

Pour engrener ensemble, la roue et la vis doivent avoir leurs hélices de même sens (voir figure II.18).



Figure II .18 : Engrenages gauche hélicoïdale [4].

II-11-1. Avantages – Inconvénients

- Ce mécanisme permet d'obtenir un grand rapport de réduction avec seulement deux roues dentées (1/200).
- Les systèmes roue-vis sans fin sont presque toujours irréversibles. On peut donc les utiliser pour maintenir une orientation.
- L'engrènement se fait avec beaucoup de glissement entre les dents, donc usure et rendement faible (60%).
- La vis supporte un effort axial important.

II-11-2. Caractéristiques cinématiques et géométriques

Particularité : le rapport des nombres de dents est différent du rapport des diamètres primitifs comme pour les engrenages hypoides.

Les caractéristiques de la roue sont celles d'une roue droite à denture hélicoïdale. Z_v représente le nombre de filets de la vis (de 1 à 8 filets et parfois plus).

Le pas axial p_x mesure la distance (suivant l'axe) entre deux filets consécutifs de la vis. Le pas de l'hélice p_z représente le pas du filet, ou d'un des filets, de la vis.

La vis et la roue n'ont même pas normal p_n . Le pas axial de la vis est égal au pas apparent de la roue ; la figure II.19 illustre les principaux paramètres du système roue et vis.

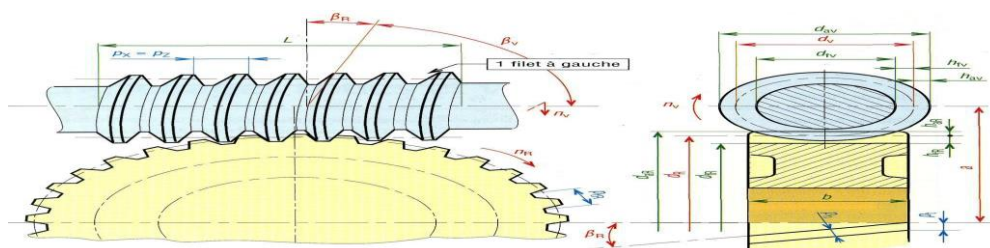


Figure. II.19 : Principaux paramètres du système roue et vis [3].

II-11-3. Différents types du système roue et vis sans fin

Afin d'augmenter la surface de contact des dentures, on utilise très souvent des systèmes à roue creuse.

L'utilisation d'une vis globique permet d'augmenter encore cette surface, mais le coût de la vis est important ; la figure II.20 représente les différents types du système roue et vis sans fin.

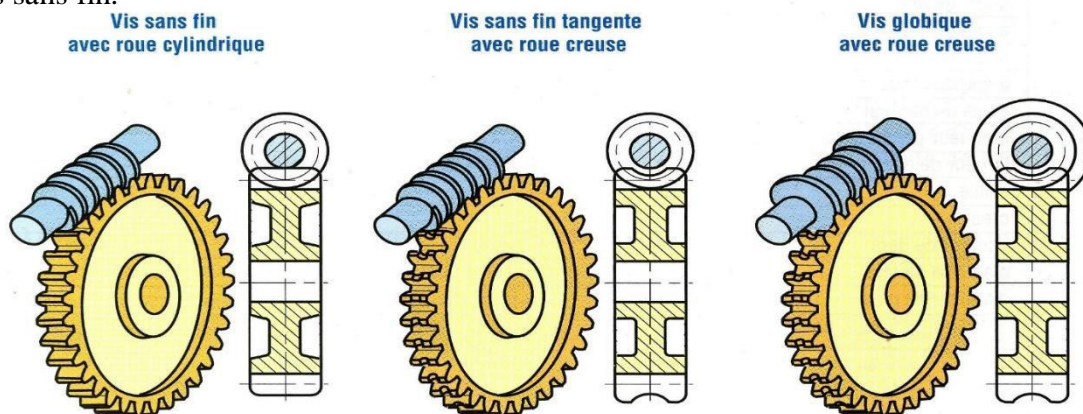


Figure. II.20 : Différents types du système roue et vis sans fin [3].

II-12. Conclusion

Utilisé depuis l'antiquité, l'engrenage a permis aux humains de surpasser leurs limitations physiques que leur imposait leur condition. L'utilisation de systèmes d'engrenage remonte à l'ère Égyptienne et Grecs, ce qui a permis des réalisations techniques remarquables qui impressionnent l'humanité jusqu'à ce jour.

Pour la révolution industrielle engagée au début du dix-huitième siècle par l'empire anglais, l'engrenage a facilité l'essor des entreprises par la polyvalence de son usage. Malgré l'avancement des technologies, ce mécanisme reste indispensable pour les entreprises modernes, par sa présence dans tous les mécanismes de commande.

Il existe différents types d'engrenage permettant l'accomplissement des différents objectifs qui sont dictés par la spécificité de chaque installation industrielle.

Cette polyvalence fait de l'engrenage un élément essentiel pour toutes les industries.

Il permet d'accomplir des travaux de précision ou des tâches qui demandent de la puissance (de l'horlogerie à l'industrie minière qui utilise également ces systèmes de transmission d'énergie).

Vu que les besoins ne sont pas les mêmes, c'est pourquoi l'entreprise doit concevoir des engrenages faits sur mesure afin d'optimiser la transformation énergétique.

CHAPITRE III

LES DIFFERENTS DEFAUTS DES ENGRENAGES

III-1 INTRODUCTION

Les sources d'excitation vibratoire ou acoustique d'une transmission sont multiples. On distingue les sources internes, propres au fonctionnement de la transmission, des sources externes mais la majeure partie des auteurs s'accorde à reconnaître la prééminence des engrenages à proprement parler et des conditions de contact instantanées sur les dentures. Concernant les sources externes, elles sont associées aux fluctuations des couples moteurs et résistants, aux variations de vitesses des mobiles mais également aux vibrations transmises via les points de fixation sur la structure d'accueil.

Les engrenages sont généralement soumis à des conditions sévères, d'où la nécessité de les soumettre à la surveillance d'une manière continue en vue de détecter les défaillances. La détection précoce des défauts dans les systèmes mécaniques est de grande importance pour les opérateurs; comme elle permet de planifier l'arrêt et la réparation du système au lieu d'un défaut catastrophique inattendu [McFadden, 1987]. A cet effet, il faut connaître les différents types des défauts des engrenages. Selon Fakhfakh et al, il existe trois types de défauts d'engrenages : les défauts de fabrication (l'erreur dans le profil des dents, excentricité de la roue, etc.), les défauts d'installation (alignement, etc.) . Et les défauts apparus pendant la transmission (usure, fissure, etc.) [21].

Au début la fissure des dents n'est pas considérée comme un problème sérieux ; mais comme elle va se propager, le défaut sera accéléré et peut causer un défaut dentaire catastrophique. Si le défaut est détecté, l'engrenage peut être remplacé avant que la denture sera complètement fracturée. A cet effet, plusieurs efforts ont été faits pour le développement des méthodes fiables pour la détection des défauts.

III-2. Principales sources des vibrations :

Parmi les sources essentielles d'excitation d'un engrenage en mouvement on peut noter :

_ * L'erreur de Co-axialité dans les roues à engrenage qui provoque des vibrations (balourd).

_ * La modification du profil due à l'erreur de fabrication et à la déformation des dents.

_ * L'influence des arbres et grandeurs des masses (accouplement, moteur,...) sur la charge dynamique

_ * Les chocs entre les dents à l'amorce de l'engrènement lorsque la dent non déformée supporte une fraction de la charge tandis que les autres dents se déchargent.

_ La déformation variable des dents produit la variation de la charge le long des profils des dents et une variation de la charge à travers la ligne d'engrènement pour une paire de dents en contact.

_ Les forces de frottement variables encens.

_ L'expulsion de l'huile et de l'air de l'entredent.

_ Les fluctuations de la charge sur les dents surviennent durant l'engrènement des dents même dans les conditions de la charge constante.

III-2-1. Défauts de montage

Ces défauts sont généralement sous-estimés alors qu'ils peuvent expliquer les différences de niveau sonore observées sur des transmissions d'architecture absolument identique (série de boîte de vitesse par exemple). L'ensemble de ces défauts caractérise le positionnement relatif des deux roues dentées résultant du montage ou de la déformation de la structure (arbre, palier et carter) lors de l'application de chargement. Ils sont représentés par le défaut d'entraxe et les défauts de parallélisme entre les axes des roues.

III-2-2 L'erreur de transmission

La notion d'erreur de transmission, introduite pour la première fois par Harris [6] en 1958, est une caractéristique fondamentale dans l'étude d'un réducteur à engrenage, aussi bien en régime statique que dynamique. L'erreur de transmission caractérise l'écart de la position de la roue menée, pour une position donnée du pignon, par rapport à la position qu'elle devrait occuper si les engrenages étaient rigides et indéformables. Elle peut être exprimée sous forme angulaire ou sous forme linéaire si elle est ramenée dans le plan d'action (Figure III.1) tangent aux cylindres de bases des engrenages ([7], [8] à [10], [11]).

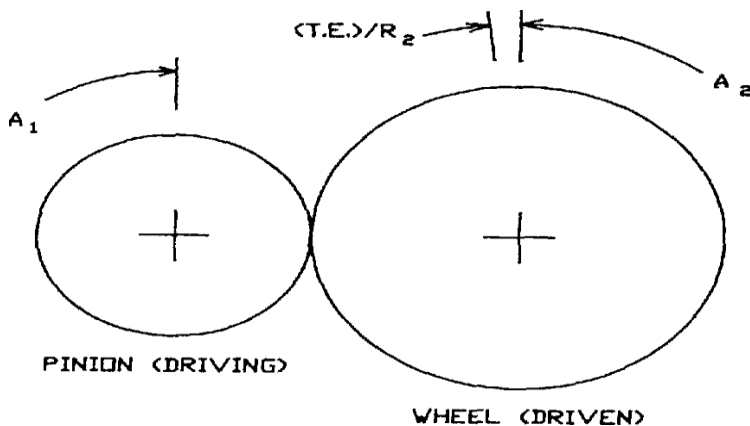


Figure III.1 : Définition de l'erreur de transmission [12].

On distingue classiquement :

- L'erreur de transmission statique ou quasi-statique sans charge ou erreur cinématique
- L'erreur de transmission statique ou quasi-statique sous charge.
- L'erreur de transmission dynamique

III-2-3. Erreurs de profil

Les erreurs de profil sont représentatives des écarts existant entre le profil théorique de la denture et le profil réel. Le profil théorique en développante de cercle, de forme parabolique ou présenter une dépouille s'il a subi une correction volontaire (Figure III.2). Ces erreurs peuvent être générées lors de la fabrication ou au cours du fonctionnement par l'usure et la détérioration des profils.

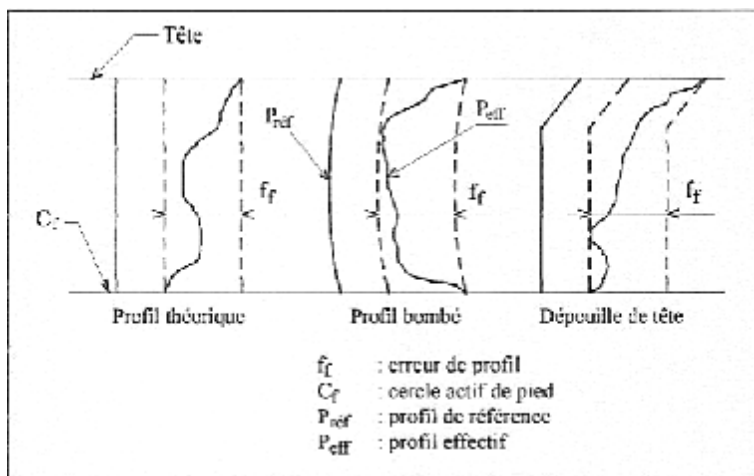


Figure III.2: Erreurs de profil, définition tirée de la norme ISO 1328

La présence d'un déphasage entre ces défauts introduits des modulations sur les signaux d'erreur de transmission et de bruit [7, 9].

III-3. Défauts de taillage

III-3-1. Excentricité ou erreur de faux-rond

Ce défaut traduit la non-concentricité entre l'axe du cylindre primitif de denture et l'axe de rotation de l'arbre auquel la denture est liée.

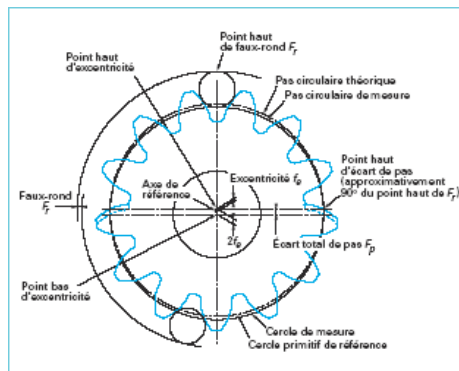


Figure III.3 : Faux-rond

Il faut remarquer qu'il n'est pas toujours aisé de distinguer les effets de l'excentricité de ceux d'autres erreurs harmoniques à la rotation des arbres comme les erreurs de pas cumulées.

Ce défaut est présent dans la totalité des transmissions par engrenage et reste la source principale de modulation du bruit d'engrènement. Notons également que les excentricités des roues dentées et des arbres supports peuvent se cumuler avec plus au moins de bonheur et conduire à des configurations de montage particulièrement bruyantes. Les différences observées sur le bruit d'engrènement peuvent atteindre 5dB. [13]

III-3-2. Les erreurs de pas

L'erreur de pas caractérise le défaut de localisation angulaire d'une dent par rapport à sa position théorique. Deux grandeurs représentatives de la qualité de réalisation d'un engrenage sont associées à cette erreur. Ces grandeurs sont l'erreur de pas individuelle et l'erreur de pas

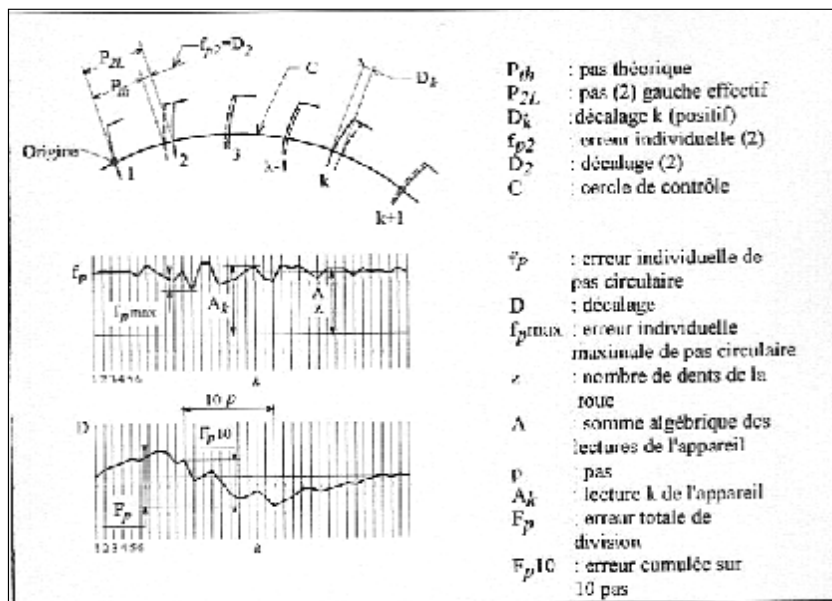


Figure III.4 : Définition de l'erreur de pas individuelle et de l'erreur de pas cumulée (norme ISO 132)

III-3-3. Erreur de l'épaisseur des dents

L'erreur d'épaisseur de dent est la différence entre l'épaisseur mesurée et l'épaisseur théorique.

La dimension de référence de l'épaisseur de dent s_n sur le cylindre de référence est égale à la valeur théorique d'engrènement sans jeu entre les dents avec une roue conjuguée, qui a également l'épaisseur de dent théorique, sur l'entraxe de référence [9].

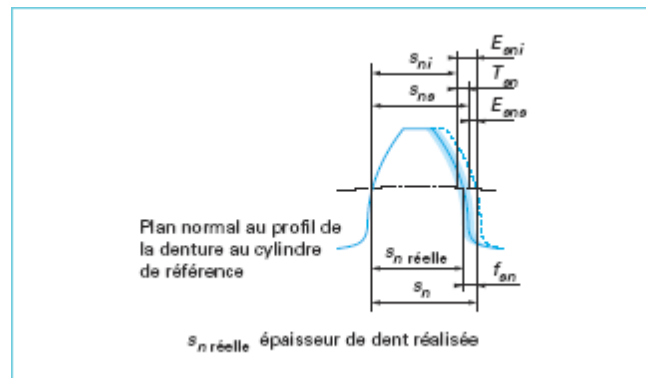


Figure III.5 : Ecarts d'épaisseur de denture Défauts de montage

Ces défauts sont généralement sous-estimés alors qu'ils peuvent expliquer les différences de niveau sonore observées sur des transmissions d'architecture absolument identique (série de boîte de vitesse par exemple). L'ensemble de ces défauts caractérise le positionnement relatif des deux roues dentées résultant du montage ou de la déformation de la structure (arbre, palier et carter) lors de l'application de chargement. Ils sont représentés par le défaut d'entraxe et les défauts de parallélisme entre les axes des roues.

III-4. Défaut d'entraxe

Différence, positive ou négative, entre la distance des deux axes et l'entraxe théorique de fonctionnement, mesuré dans le plan perpendiculaire à l'axe de la plus grande roue, passant par le milieu de la largeur de denture.

L'entraxe est un paramètre particulièrement important. Il agit directement sur le jeu de fonctionnement et modifie la géométrie du contact (localisation des points de contact). Ce paramètre est signalé comme étant particulièrement important mais aucune étude ne conforte ces indications [10].

Des résultats expérimentaux ont été mentionnés sur une boîte de transmission de camion qui est silencieuse avec un jeu minimum ou important et bruyante avec un jeu modéré [11, 12]. Autres résultats expérimentaux ont été observés sur plusieurs couples d'engrenages droits :

une réduction du niveau sonore voisine de 10 dB lorsque l'entraxe nominal de fonctionnement est diminué de 0.1mm [13].

III-5. Détérioration de l'ensemble de la denture

Lorsque l'ensemble de la denture est déféctueux, les chocs se produisent au passage de chacune des dents. Le spectre est constitué d'un peigne de raies dont la fréquence correspond à la fréquence d'engrènement, mais cette fois avec une amplitude élevée. Le spectre peut représenter des raies à la fréquence de rotation correspondant à des équilibrages imparfaits

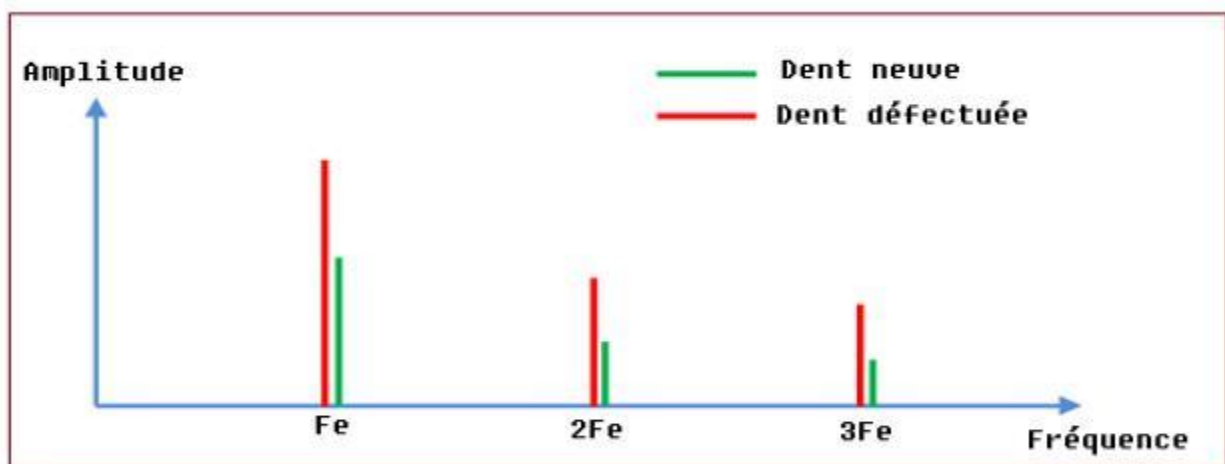


Figure III.6 : Spectre d'un engrenage avec dent neuve et dent défectueuse

III-5-1. Les différents types de détérioration des dentures d'engrenages :

Les principaux défauts survenant sur un couple d'engrenages d'un réducteur simple sont les défauts répartis sur toute la denture et les défauts localisés sur une partie de la denture [20].

a) Défauts de lubrification

La lubrification est l'un des problèmes le plus important et le plus délicats qui puissent se poser pour le bon fonctionnement des engrenages.

La lubrification à un triple but :

- Eviter le contact métal sur métal qui pourrait provoquer, au bout d'un temps très court, une sorte de soudage des dentures conjuguées. Nous savons en effet que les conditions de glissement et de pression superficielle sont souvent très sévères dans les engrenages. Il est donc nécessaire d'interposer un film d'huile résistant entre les dentures conjuguées.

Il ne faut pas perdre de vue que le soudage peut se produire à des températures bien au-dessous du point de fusion du métal si la pression de contact est élevée

2. la lubrification s'impose également pour la question du rendement de l'engrenage.

Un frottement métal sur métal entraînerait un coefficient de frottement beaucoup plus élevé.

3. Une autre fonction importante du lubrifiant consiste à absorber la chaleur dégagée durant l'engrènement (la perte de rendement est en effet matérialisée par un dégagement de chaleur).

Un volume d'huile souvent important est nécessaire pour éviter un échauffement anormal de l'engrenage [20].

La lubrification est une source des différentes détériorations superficielles des dentures :

b) L'usure

L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une contre l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge et à la vitesse de glissement en chaque point des surfaces de contact, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant.

Vitesse d'usure excessive

Cette avarie est très souvent liée à :

Une dureté insuffisante

- Une pollution de lubrifiant (carter ou joints inadaptés)
- Un mauvais choix de lubrifiant ou de débit

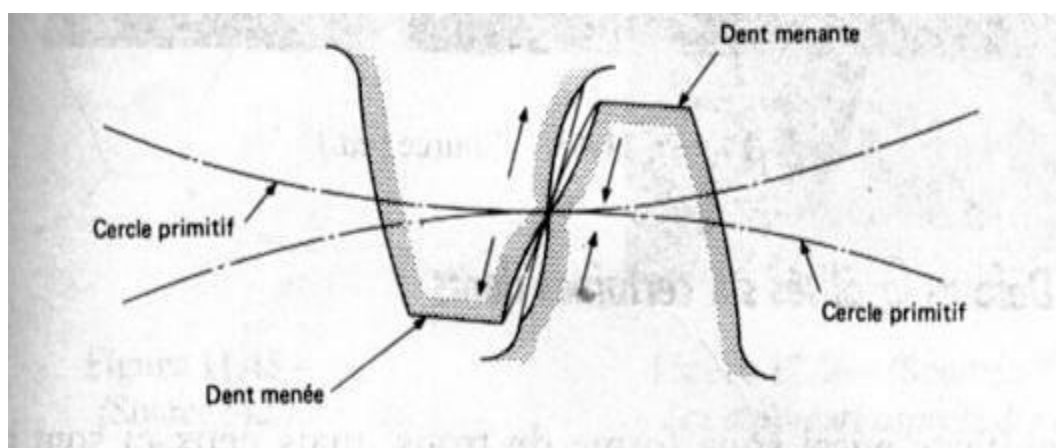


Figure III.7 : Usure des dentures après fonctionnement

c) Les piqûres

Ce phénomène est caractérisé par l'apparition sur toute la surface active des dents de petits trous peu profonds en forme d'éventail dont la pointe est tournée vers le pied des dents motrices ou vers le sommet des dents menées. La taille de ces trous est de 0.3 à 2 mm tandis que la profondeur est de l'ordre de 0.1 mm. C'est une avarie qui se produit surtout dans les engrenages en acier de construction relativement peu dur (figure III.8).

On peut y remédier en utilisant un lubrifiant à viscosité élevée. Le profil de la dent se perturbe, la surface active devient irrégulière, les charges dynamiques augmentent, la transmission s'échauffe et le bruit s'amplifie.

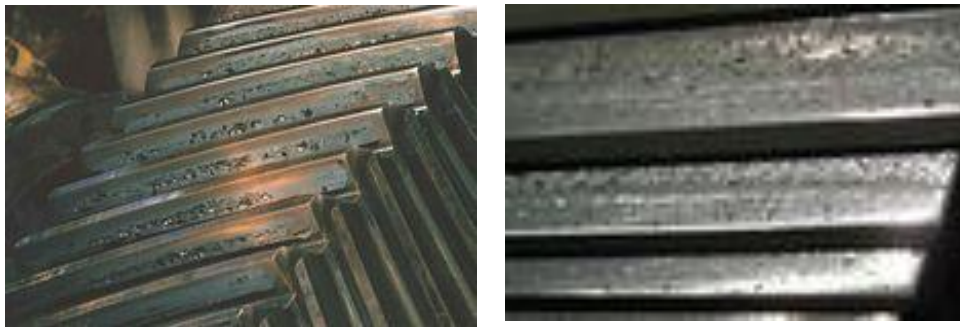


Figure III.8 : Piqûres des dents [20].

d) Ecaillage

Il s'agit également de trous mais ceux-ci sont moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux du putting. Les dégradations sont produites par fatigues en sous-couche, au point de cisaillement maximal. On rencontre ce type d'avarie dans les engrenages cémentés (couche superficielle durcie) [20] ; ces engrenages sont actuellement très répandus car ils permettent de passer des couples importants dans des dimensions raisonnables. L'écaillage qui est le défaut principal, évolue très rapidement vers la rupture, sans passer par une phase d'usure.



Figure III.9 : Ecaillage des dents

e) Le grippage

Il est la conséquence directe de la destruction brutale du film d'huile, sous l'effet de la température résultant d'un frottement sous charge. Le grippage est favorisé essentiellement par des vitesses élevées, de gros modules, un faible nombre de dents en contact. La probabilité de grippage est influencée par l'état physico-chimique du lubrifiant et par les conditions de mise en service.

f) Corrosion chimique

Elles provoquent des taches de couleur brune rouge, des irrégularités de surface, des piqûres souvent foisonnantes, plus ou moins bien réparties sur tout ou partie des zones exposées. Il s'agit évidemment d'attaques chimiques ou électrochimiques.

Souvent, cette attaque résulte de produits contaminants introduits dans le carter, mais très fréquemment elle est due à la présence d'eau amenée par des fuites ou par la condensation. Le lubrifiant peut lui aussi être incriminé, pour diverses raisons :

- acidification due au vieillissement,
- présence d'additive extrême pression trop agressive,
- activation de ces additifs par la présence d'eau ou par une température excessive,

Parfois les engrenages sont corrodés avant même leur introduction dans le carter, à cause d'un nettoyage avec des substances agressives, d'un mauvais stockage ou encore du simple contact avec des mains en sueur ...

g) Corrosion de contact

Elle concerne :

- d'une part les dentures ordinaires soumises, pendant le transport ou l'arrêt, à des vibrations d'origine extérieure,

- d'autre part les accouplements à denture soumis, avec une protection insuffisante, à des vibrations de torsion ou à de petits mouvements dus au désalignement.

La corrosion de contact produit des quantités importantes d'oxydes abrasifs qui vont polluer les lubrifiants et provoquer, dans les cas graves, une usure destructrice.

h) Fissures ou casses de dent

Elle progresse à chaque mise en charge [20], et elle est située en pied de dent. Elle apparait sur des aciers fins et durcis, qui sont sujets aux concentrations de contraintes. Leur apparition est due à un dépassement de la limite élastique en contrainte au pied de dent du côté de la dent en traction.



Figure II. 10. Fissure des dents

III-6 Conclusion

En sa qualité de composantes essentielles de toute machinerie, l'engrenage nécessite une fabrication spécifique à son application. Elle permet à l'entreprise d'atteindre un niveau de performance optimale nécessaire à différentes étapes de la production.

Un engrenage non conforme ou de mauvaises conceptions risque de compromettre la productivité de l'entreprise, il affecte la sécurité des employés et de la production.

Il existe des solutions pour optimiser les différentes opérations de calcul, de conception, de montage et d'entretien pour l'implantation d'un système d'engrenage sur mesure.

L'engrenage doit avoir un fonctionnement particulièrement doux ; exigeant une bonne précision de forme et une parfaite régularité de sa denture, car tout écart affecte surtout la douceur de la transmission. Les engrenages susceptibles de fonctionner dans les deux sens de rotation seront montés de sorte que le jeu avec la roue conjuguée soit le plus faible possible, pour éviter les chocs violents à l'inversion du sens de rotation. Il sera donc capital ici que des tolérances étroites sur l'épaisseur des dents soient respectées

CHAPITRE VI

LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

VI-1 Introduction

La surveillance est en effet avant tout un outil d'investigation sur lequel reposent certaines formes de maintenance et certains aspects de la sécurité et de la sûreté de fonctionnement. Cette réflexion doit s'appuyer sur de nombreux paramètres liés à la machine (criticité, sécurité, pathologies d'adaptation des techniques de surveillance associées à ces dernières, taux de disponibilité, coûts de surveillance et de non surveillance...). Si la maintenance conditionnelle ou prévisionnelle s'avère être la forme de maintenance la mieux adaptée ou si la sécurité ou la sûreté de fonctionnement nécessitent une mise sous surveillance permanente de la machine, la prise en compte de la surveillance doit alors être totalement intégrée au projet dès sa conception.

Surveiller une machine nécessite de choisir un certain nombre d'indicateurs, de les mesurer soit de manière continue (surveillance «on line») soit de manière périodique (surveillance «off line») et d'en suivre les évolutions dans le temps. Toute évolution significative de la valeur d'un indicateur doit conduire immédiatement à l'application d'une procédure adaptée (validation de l'évolution, identification de l'anomalie et de sa gravité, programmation d'actions correctives, arrêt d'urgence, exploitation en mode dégradé...). La fiabilité et le coût de la surveillance, la précocité de révélation des défauts sont fonctions du choix des indicateurs mais aussi de nombreux autres paramètres liés à la prise de mesures et à l'exploitation des résultats. Le coût de la surveillance et de la logistique à associer à cet acte (et malheureusement le degré de fiabilité qui en découle directement) doit être adapté à la criticité de chaque installation et aux enjeux économiques.

La surveillance peut en outre être continue ou périodique. Le type de surveillance à appliquer à une machine dépend plusieurs critères parmi lesquels :

- La criticité de la machine dans le processus.
- La maintenabilité de la machine.
- Les conséquences d'une panne en termes de sécurité.
- La stratégie de l'entreprise.

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

VI-2 Les types de surveillances

VI-2-1 La surveillance on-line

Les capteurs sont installés à demeure sur les machines et connectés à un système de surveillance.

VI-2-2 : La surveillance off-line :

Les mesures sont relevées à intervalles réguliers par un opérateur équipé d'un collecteur de données. [16]

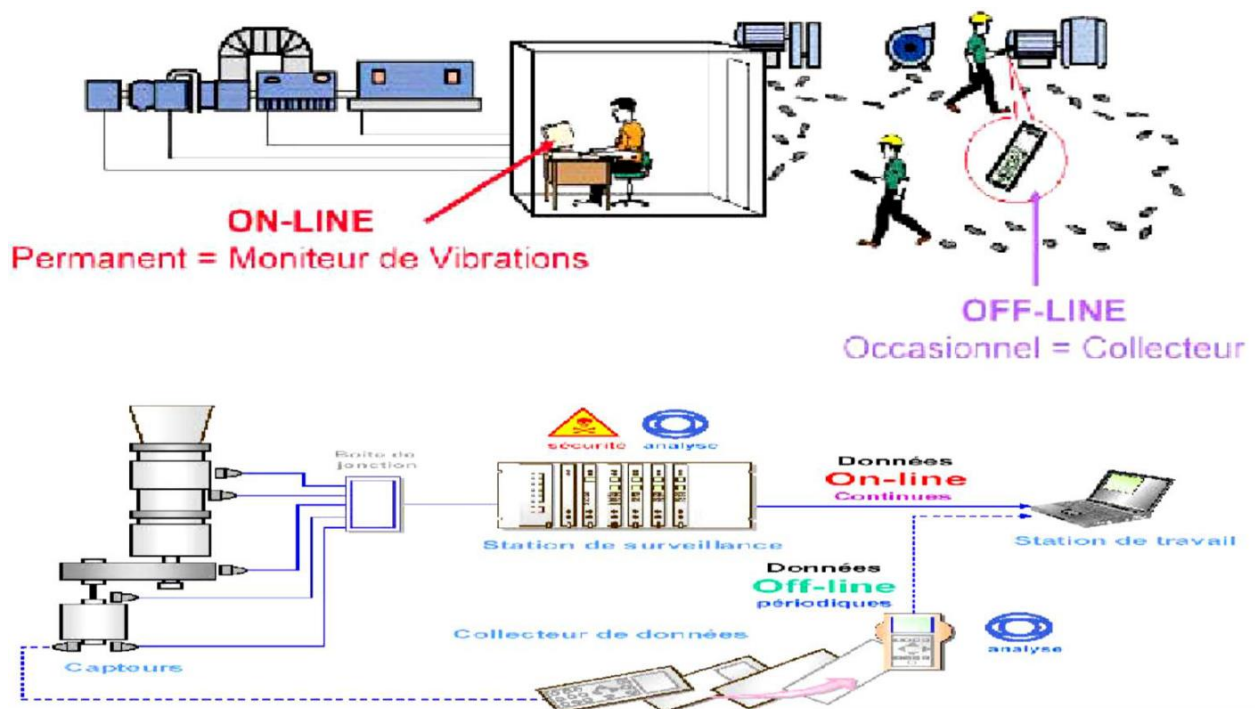


Figure VI.1: Surveillance on-line/ off-line

VI-2-3 : Les fonctionnalités des appareils de surveillance :

Les appareils de mesure, on-line ou off-line réalisent les fonctions Suivantes :

- Conditionnement des capteurs : Alimentation, surveillance de la ligne, filtrage.

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

- Filtrage (analogique et/ou numérique)
- Amplification
- Numérisation
- Stockage
- Traitements spécifiques : Intégration, calcul d'énergie, FFT, détection crête,...
- Comparaison à des seuils prédéfinis pour émission d'alarmes (systèmes on-line)

VI-3 : Surveillance par indicateurs énergétiques large bande:

Comparaison à un seuil d'une valeur caractéristique de l'amplitude et/ou de l'énergie du signal (valeur efficace, facteur de crête, kurtosis) préalablement définie, calculée ou mesurée dans le domaine temporel dans une bande fréquentielle plus ou moins étendue.

Les facilités de mise en œuvre, le faible niveau de connaissance requis, le poids des habitudes et ce, en dépit de son faible degré de fiabilité dès que la cinématique de l'installation devient quelque peu complexe, font que ce mode de surveillance est à ce jour de beaucoup le plus utilisé.

VI-4 : Surveillance par indicateurs spectraux :

Comparaison d'une image spectrale du signal à un gabarit défini à partir de la même image spectrale élaborée généralement lors de la recette de comportement vibratoire à la mise en service de l'équipement ou après remise en état. On entend par « Image spectrale » une représentation spectrale du signal « brut » (spectres de type [0-F] ou de type [F1-F2]) ou ayant fait l'objet d'un traitement préalable dans le domaine temporel (filtrage passe bande et démodulation (HFRT ou DAFT) ou fréquentiel.

En dépit de sa facilité en mise en œuvre avec la plupart des outils de surveillance actuels et de niveau de fiabilité sans commune mesure avec celui de la surveillance par indicateurs énergétiques « large bande », ce mode de surveillance reste à ce jour encore peu utilisé par les non-spécialistes.

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

VI-5 : Surveillance par indicateurs typologiques ou comportementaux :

Contrairement aux deux précédents modes de surveillance qui s'intéressent essentiellement au suivi d'évolution de l'énergie et de la forme du signal vibratoire, indépendamment de la nature des phénomènes induisant ces évolutions, ce mode de surveillance s'attache principalement à la détection de défauts particuliers (balourd, lignage, jeux de palier, engrènements, roulements, forces électromagnétiques, accouplement, pompage...)

A partir de leurs manifestations vibratoires spécifiques ou de leurs interactions avec d'autres grandeurs dynamiques issues de l'environnement actif et passif de la machine. Cette forme élaborée de surveillance permet la détection de défaut à un stade très précoce et son identification immédiate.

En dépit de son haut niveau de fiabilité, les connaissances et l'expérience nécessaires à sa mise en œuvre, l'inadaptation à ce mode de surveillance des logiciels d'exploitation des outils actuels qui offrent cependant pour certains toutes les techniques de traitement du signal nécessaires à l'élaboration de ces indicateurs (FFT, filtrage temporel, démodulation, cepstre, kurtosis, fonction de transfert...) font que, à ce jour, cette approche n'est mise en œuvre que par quelques experts.

VI-6. Les paramètres de surveillance :

Les paramètres de surveillance sont définis au niveau de la base de données. Ils fixent :

- ✓ Les caractéristiques du signal à mesurer :
 - Capteur, grandeur mesurée, type de détection
- ✓ Le format de l'acquisition :
 - Temporel, spectre, ordre, enveloppe.
- ✓ Les caractéristiques de l'acquisition :
 - Fréquence, taille du bloc, fenêtrage,...
- ✓ La nature et les caractéristiques des informations extraites des acquisitions :

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

- Amplitudes maxi, moyenne ou RMS, énergie, amplitude à une fréquence donnée, traitement du signal spécifique (Facteur défaut, Kurtosis,...). [15]

VI-7 : Choix des paramètres de surveillance :

Une analyse cinématique de la machine permet de définir les paramètres utiles à la surveillance. Elle repose sur la connaissance des éléments suivants :

VI-7-1 : Eléments constitutifs de la machine :

- Eléments mécaniques, chaînes cinématiques, dimensions

✓ Paramètres de fonctionnement :

- Vitesse, puissance, charge

✓ Manifestations des phénomènes attendus

- Fréquences caractéristiques, typologie spectrale

VI-7-2 : Le type de capteur :

Le type de capteur utilisé dépend du type de paliers de la machine :

✓ Accéléromètre pour les paliers à roulement

✓ Sonde de déplacement pour les paliers lisses

VI-7-3 La grandeur mesurée :

Selon le type de capteur utilisé, le signal utile peut être exprimé en :

- Accélération (g)
 - Vitesse (mm/s)
 - Déplacement (μm)
- } pour un accéléromètre.

Déplacement (μm) } pour une sonde de déplacement

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

VI-7-4 Les capteurs de vibration :

VI.8.1 : VIBROTEST : est un appareil de mesure portable, bi voie, fonctionnant avec batterie, pour le diagnostic et la maintenance conditionnelle des machines.



Figure VI.2 : Le VIBROTEST.

VI.9. La détection :

Pour détecter les défaillances d'un système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales.

Classification n'est pas triviale, étant donné le manque d'information qui caractérise généralement les situations anormales, amène à une simplification communément adaptée, qui consiste à considérer comme anormale toute situation qui n'est pas normale.

VI.9.1. Le type de détection :

Le type de détection doit être clairement identifié parmi :

— L'amplitude crête A_c

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

- L'amplitude crête à crête A_{cc}
- La valeur moyenne A_{moy}
- La valeur efficace A_{eff} ou A_{rms}

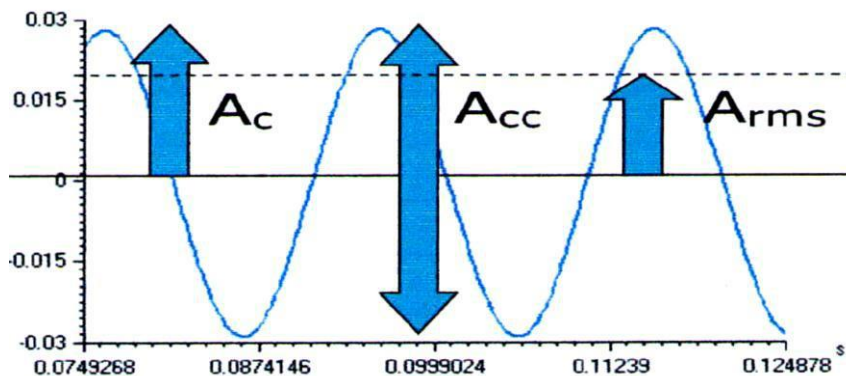


Figure VI.3 : Le type de détection

En pratique, on utilise Souvent :

- La valeur efficace ARMS pour les mesures issues d'accéléromètres (en accélération, vitesse ou déplacement);
- L'amplitude crête à crête A_{cc} pour les mesures issues de sondes de déplacement (en déplacement).

VI.10. CONCLUSION

Les engrenages fonctionnent dans des conditions en général sévères et sont par conséquent soumis à une détérioration progressive de leur état.

Il existe de nombreuses méthodes de surveillance des engrenages, ces méthodes reposent sur l'expertise faisant appel aux vibrations, au bruit et à la température externe des engrenages. L'analyse vibratoire, vu son efficacité, prend actuellement une place très importante dans le cadre de la mise en place d'une maintenance conditionnelle. Elle permet de suivre l'état de la machine tournante en fonctionnement afin d'éviter les arrêts indésirables.

Dans ce mémoire on retient la technique d'analyse vibratoire on line pour la surveillance du réducteur du moteur principal qui entraîne le caisson de cuisson de l'aggloméré de la PMA.

CHAPITRE VI : LES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION DES DEFAUTS DES ENGRENAGES

La finalité de la surveillance par analyse vibratoire a considérablement évolué ces dernières années. Cette surveillance était essentiellement destinée à permettre l'arrêt d'une machine avant qu'elle ne subisse des dégradations importantes. Cette protection est assurée par le déclenchement d'une alarme ou par l'arrêt de la machine si l'amplitude de la vibration atteint des valeurs jugées excessives pour le bon fonctionnement ou l'intégrité de cette dernière.

Dans ce concept, la surveillance doit seulement remplir sa fonction initiale de sécurité, qui devient alors secondaire, mais surtout permettre la détection précoce de défauts et le suivi de leur évolution dans le temps. La détection des défauts à un stade précoce offre la possibilité de planifier et de préparer les interventions nécessaires en les intégrant, si possible, dans les arrêts techniques en provoquant des arrêts programmés à des moments opportuns, en fonction notamment des impératifs de production.

La détection à un stade précoce du défaut et suivre son évolution présentent un intérêt majeur au cours de l'exploitation car elle permet la connaissance de la nature du défaut, sa gravité et la prise de décision appropriée pour venir à bout du problème.

Il lui est en effet impératif, dans un contexte industriel difficile où la disponibilité de l'outil de production, l'absence de stock, et la réduction des coûts sont des objectifs stratégiques.

CHAPITRE V

**ETUDE DE CAS (SURVEILLANCE ONLINE
DU REDUCTEUR DU MOTEUR
ENTRAINANT LA CHAINE DE CUISSON)**

V-1 introduction

La détection des défauts à un stade précoce offre la possibilité de planifier et de préparer les interventions nécessaires en les intégrant, si possible, dans les arrêts techniques de fabrication ou en provoquant des arrêts programmés à des moments opportuns, en fonction notamment des impératifs de production.

Si détecter l'apparition d'un stade précoce d'un défaut et suivre son évolution présentent déjà un grand intérêt, l'exploitant ou l'ingénieur de maintenance désire de plus en plus connaître la nature du défaut et sa gravité pour prendre une décision. Il lui est en effet impératif, dans un contexte industriel difficile ou la disponibilité de l'outil de production, l'absence de stock, et la réduction des coûts sont des objectifs stratégiques, de connaître de manière précise l'état du parc de machines dont il doit gérer la disponibilité et assurer la maintenance. La réponse à ces nouvelles exigences est du ressort du pré diagnostic.

La mise en pratique d'un système de surveillance nécessite des moyens spécifiques et un terrain d'application qui permet d'obtenir des résultats significatifs et c'est la raison pour laquelle nous avons trouvé nécessaire de faire notre stage pratique au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar et précisément au niveau de la division PMA qui représente pour le complexe la colonne vertébrale sur laquelle il doit son existence.

La continuité et le contrôle de la cuisson de l'aggloméré représente l'étape cruciale pour l'obtention d'un input pour les hauts Fournaux de bonne qualité et de façon permanente. Pour assurer ces objectifs le réducteur concerné par notre étude doit être surveillé en permanence afin d'éviter des pannes subites qui prendrons à défaut l'équipe technique ayant à sa charge la mission de surveillance et de maintenance des équipements de la division PMA.

Le stage nous a offert la possibilité de relever les signaux émis par le protocole de surveillance installé déjà par l'équipe de maintenance de la PMA et qui consiste en l'installation de capteurs de vibration (accéléromètres) sur les dix paliers du réducteur l'installation de ces capteurs est réalisée de manière à surveiller tout défaut qui peut surgir dans les trois directions (axiale, verticale et horizontale).

V-2 Etude du cas du réducteur de la chaine AG II site P.M.A

Schéma d'installation:

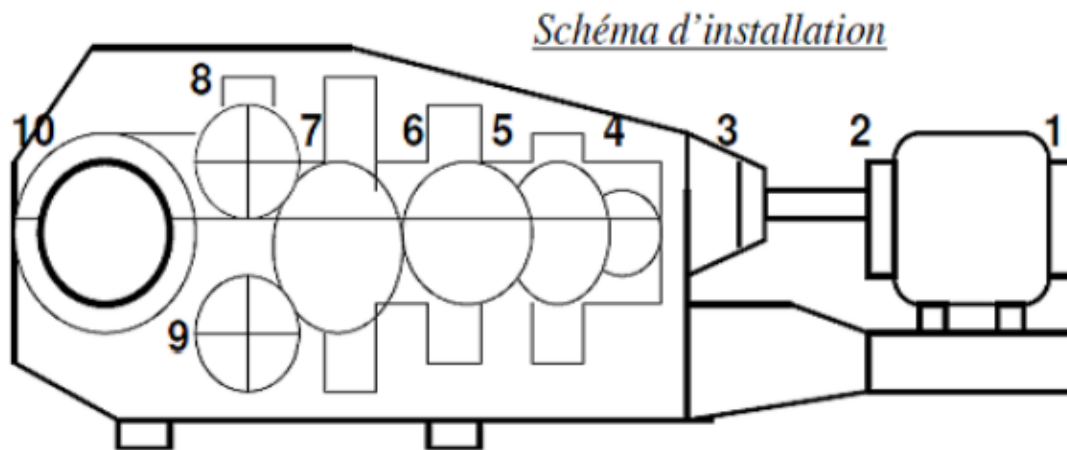


Figure V.1 : Schéma du réducteur de l'installation

Dans notre projet, on propose la surveillance ON-LINE au lieu de OFF-LINE en B.E, et cela dans le but d'augmenter le rendement de l'installation d'une part, et d'autre part, pour éviter la paralysie de la chaine AG II car ce réducteur occupe une place stratégique dans le maillon de production.

V-3 Détection du motoréducteur AG II:

La détection des défauts du motoréducteur est envisagée par la fixation des indicateurs significatifs et puissants:

La ligne d'arbre à engrenage du motoréducteur repose sur 10 paliers à roulement.

Pour mettre en évidence ces courbes de tendance émanant le comportement dynamique de la ligne d'arbre de l'installation, on juge impérative de faire appel à la recette des relevés vibratoires des 10 paliers en trois directions (V, H, A) effectuées à différentes périodes.

V-4 Courbes de vibration de dix palies de réducteur

Les relevés présentés sur courbes représentent l'état de la surveillance pour une période qui s'étale du 04 /01/2012 au 13/08/2015.

-les paliers sont représentés par des chiffres de 01 à 12

-la direction du capteur est représentée par la lettre A ou V ou H (axiale, verticale et horizontale).

-VIT, vitesse en mm/s

-ACC, accélération en g (m/s^2)

- A/VIT : Mesure axial par rapport à la vitesse (mm /s)
- V/VIT : Mesure vertical par rapport à la vitesse (mm/s)
- H/VIT : Mesure horizontal par rapport à la vitesse (mm/s)
- A/ACC : Mesure axial par rapport à l'accélération (g)
- V/ACC : Mesure vertical par rapport à l'accélération (g)
- H/VIT : Mesure horizontal par rapport à l'accélération (g)

• **Palier 01A/VIT**

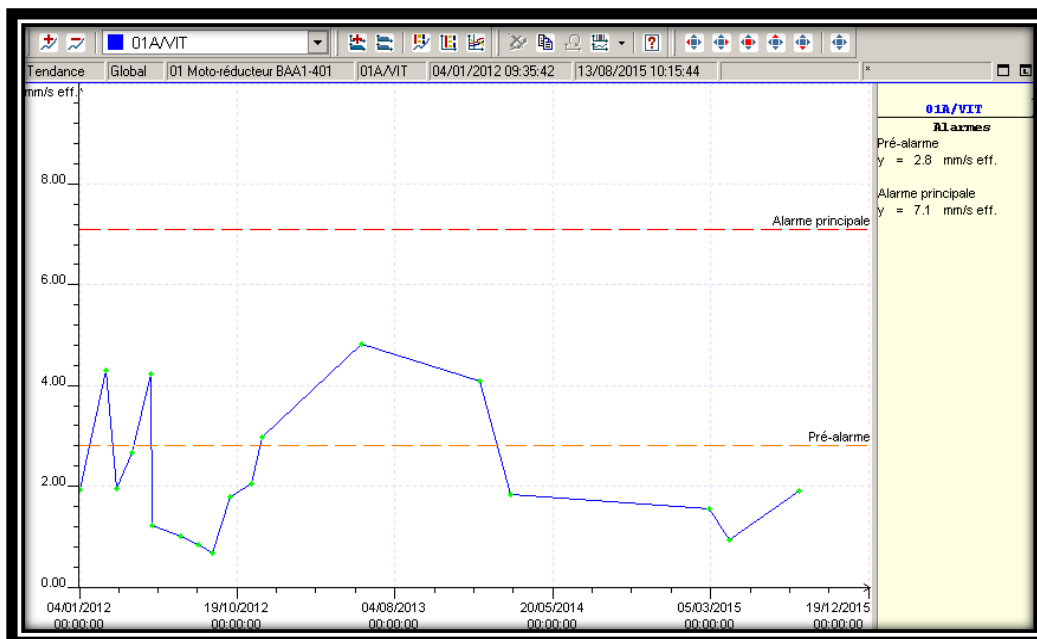


Figure V.2 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction axial par rapport la vitesse.

- Palier 01H/ACC

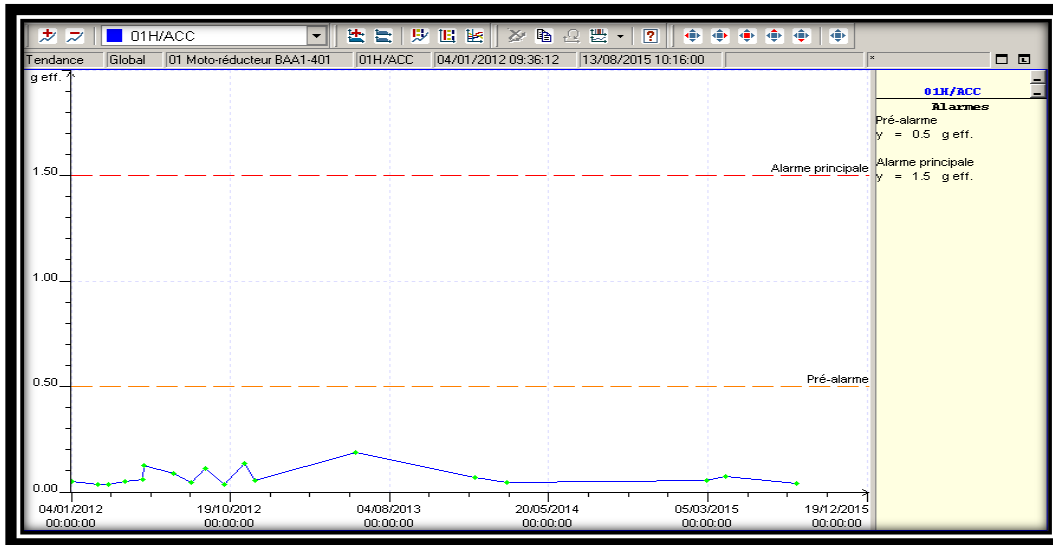


Figure V.3 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 01H/VIT

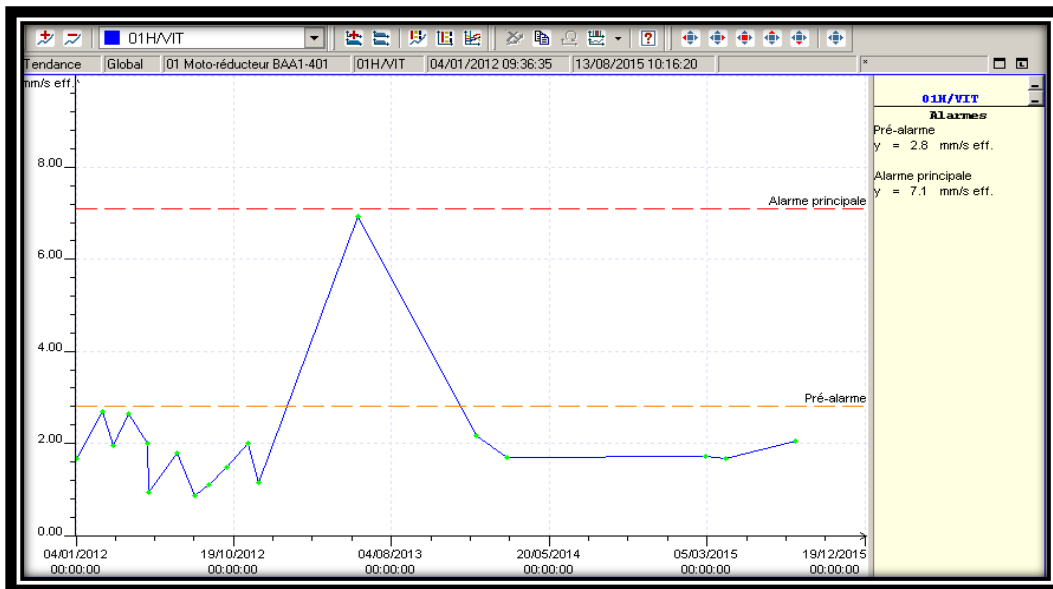


Figure V.4 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 01V/VIT

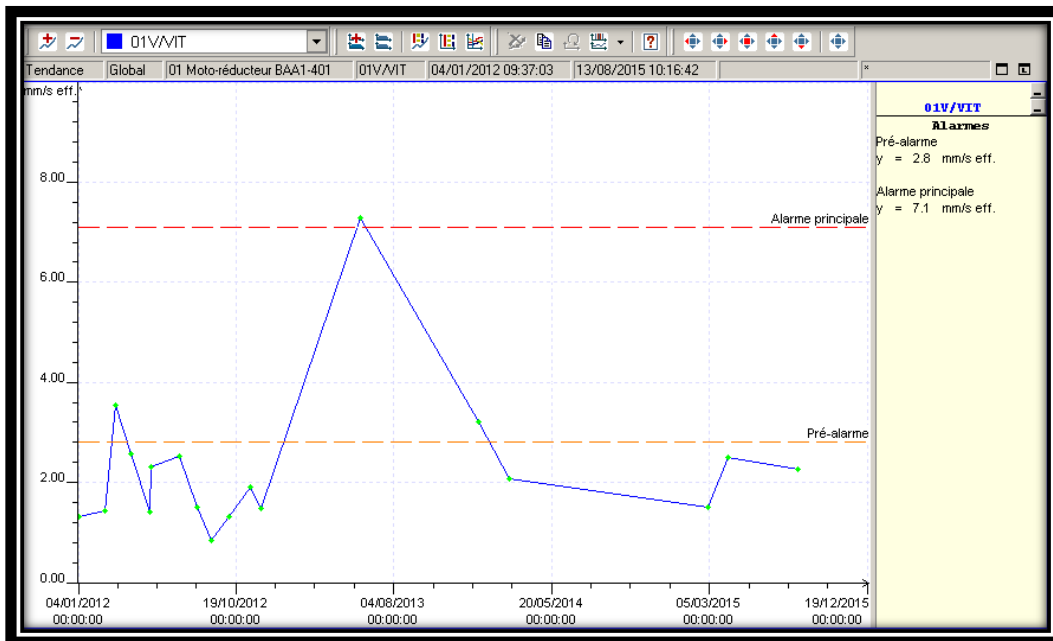


Figure V. 5: Courbe il montre les vibrations sur le palier 01 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 2V/VIT

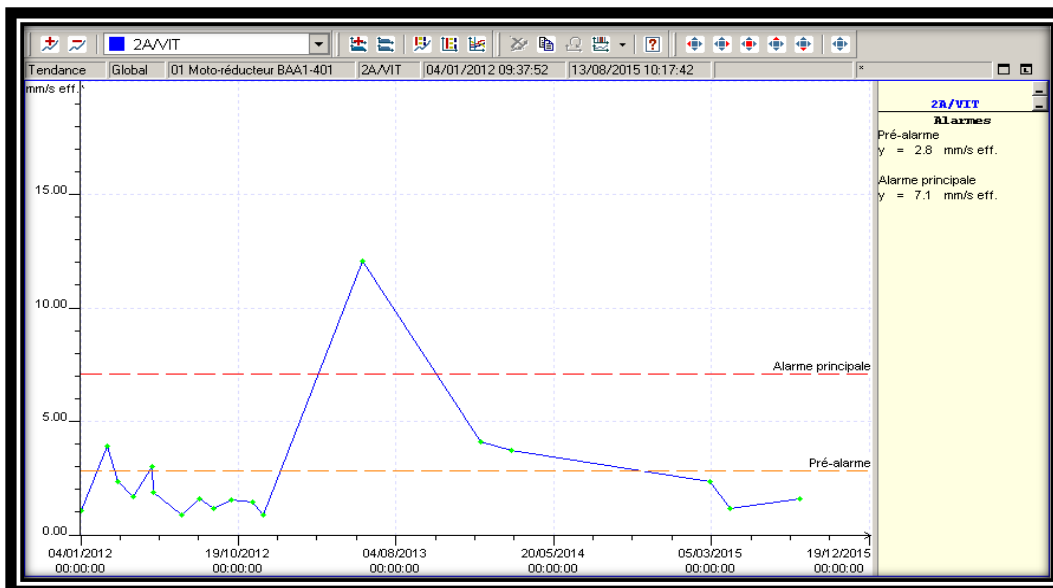


Figure V.6 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 2 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 02H/ACC

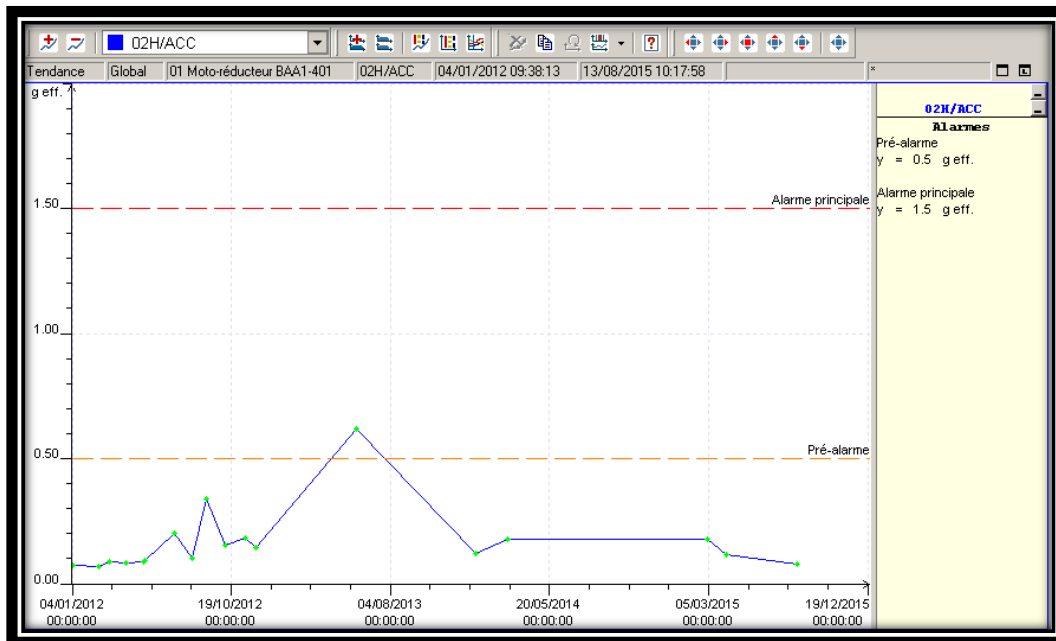


Figure V.7 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 2 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 02H/VIT

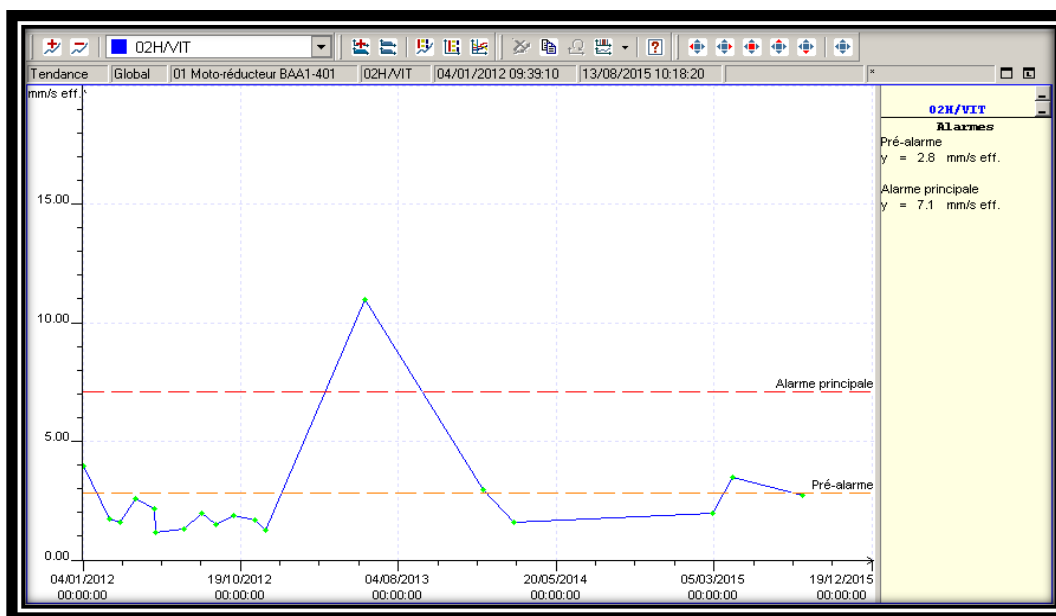


Figure V.8 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 2 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 02V/VIT

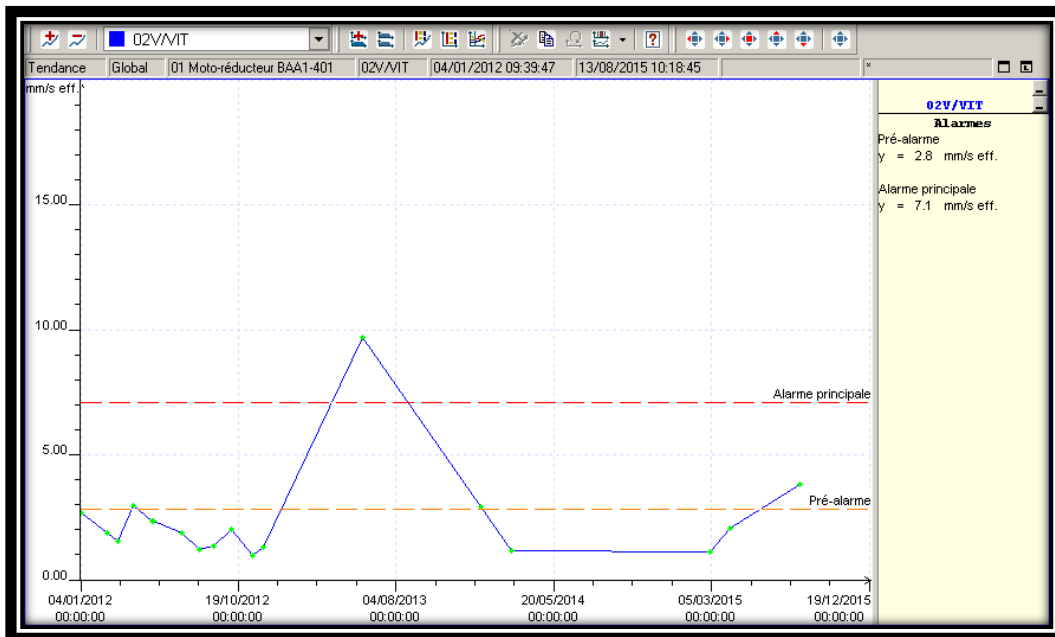


Figure V. 9 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 2 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 03A/VIT

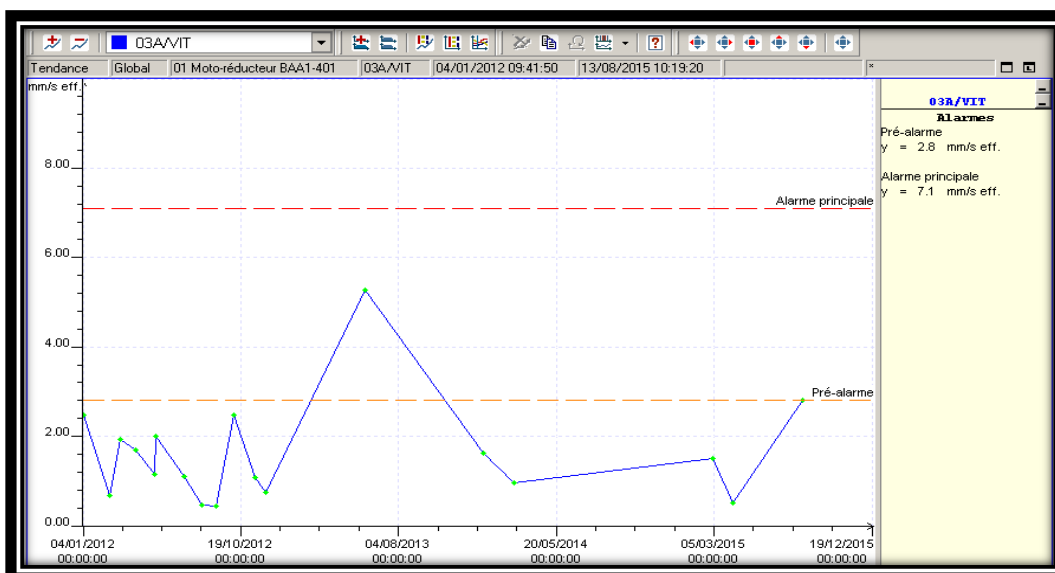


Figure V.10 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 3 direction axial par rapport la vitesse.

- Palier 03H/ACC

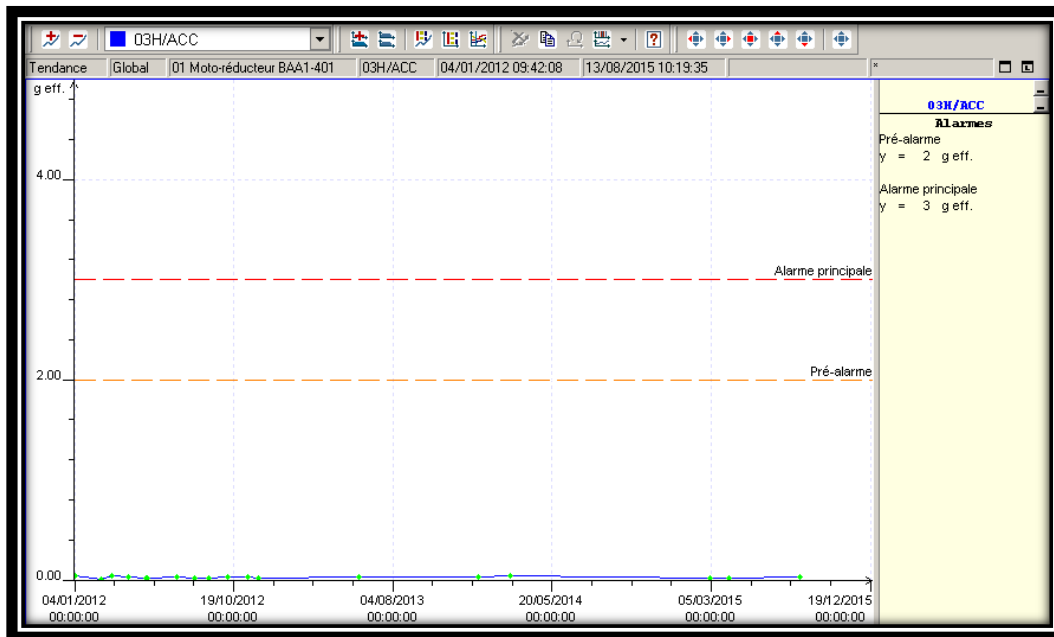


Figure V. 11: Courbe il montre les vibrations sur le palier 3 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 03H/VIT

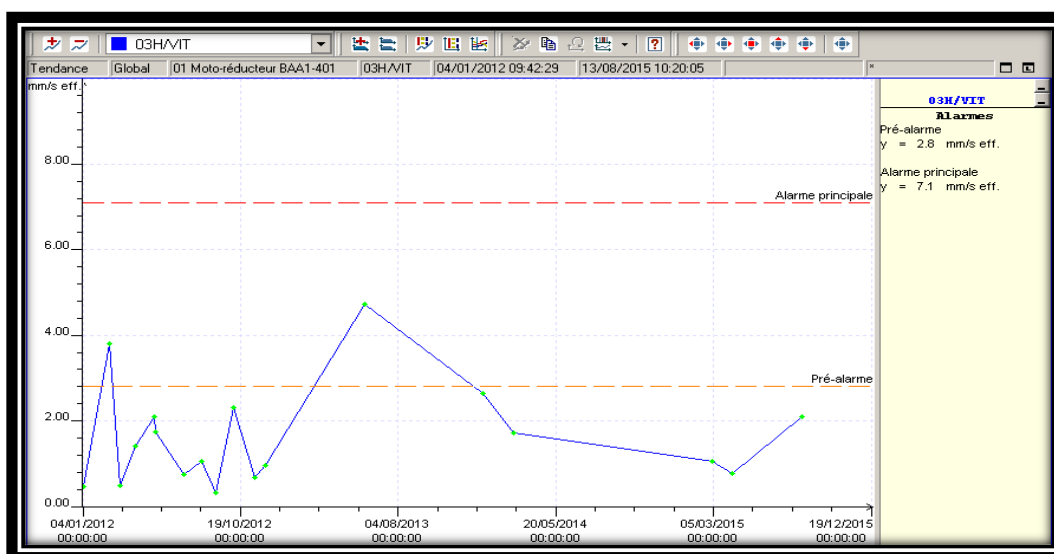


Figure V. 12: Courbe il montre les vibrations sur le palier 3 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 03V/VIT

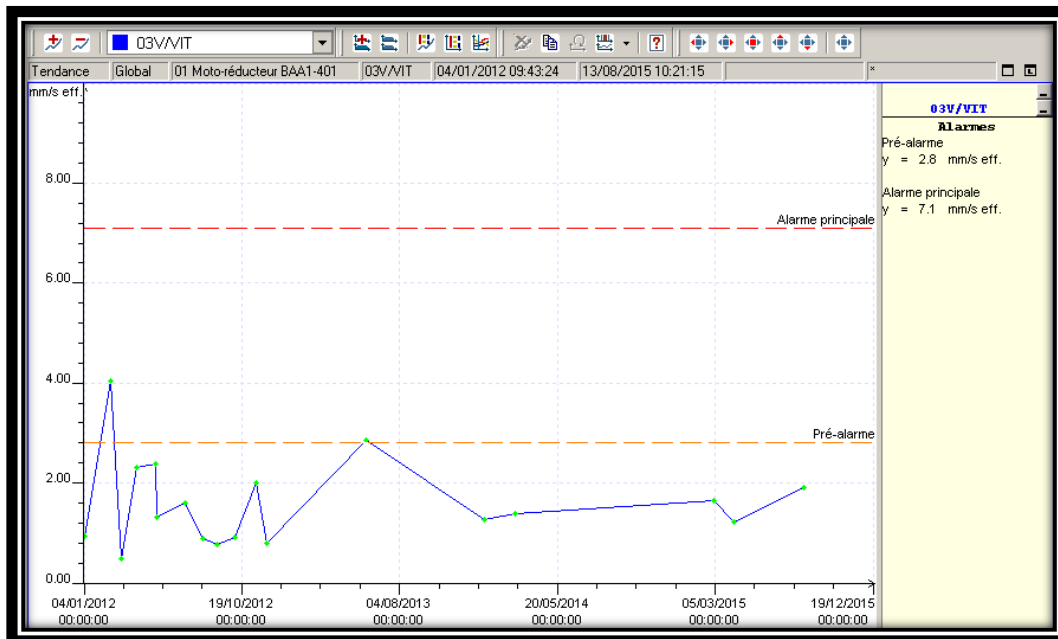


Figure V.13 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 3 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 04H/ACC

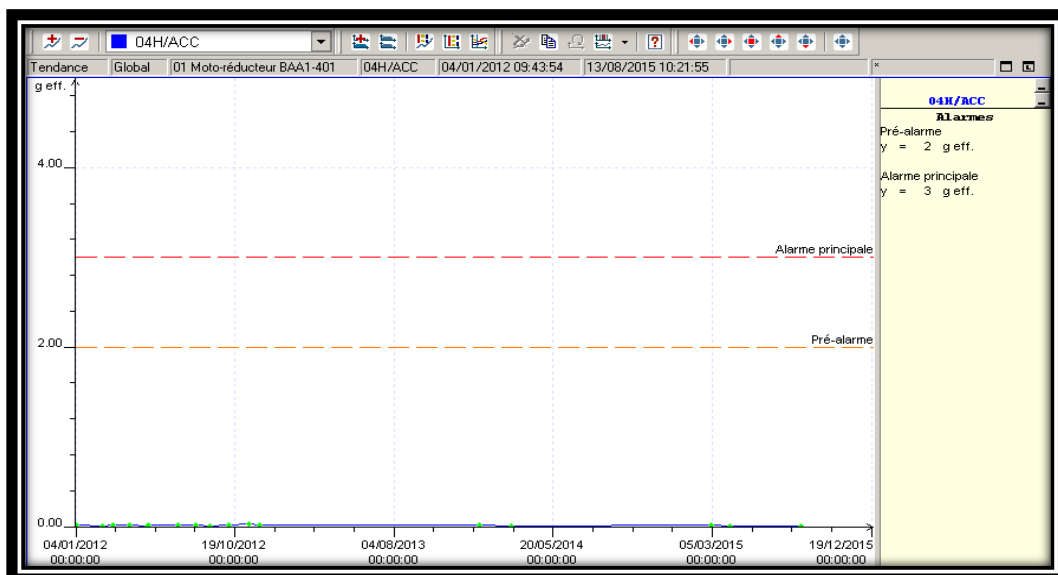


Figure V.14 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 4 direction horizontale par rapport a l'accélération.

- Palier 04H/VIT

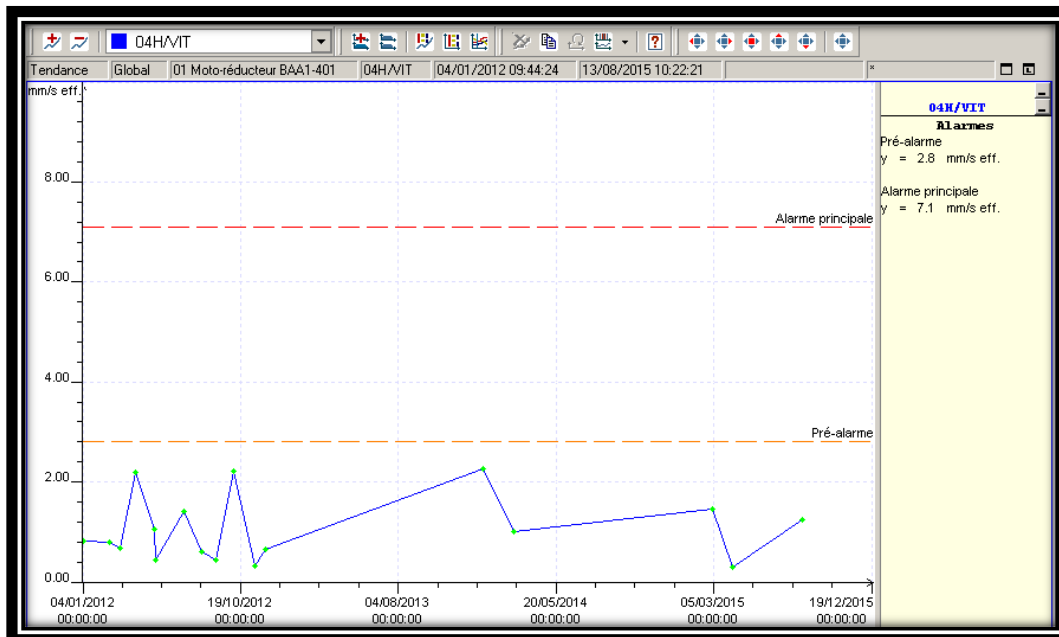


Figure V.15 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 4 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 04V/VIT

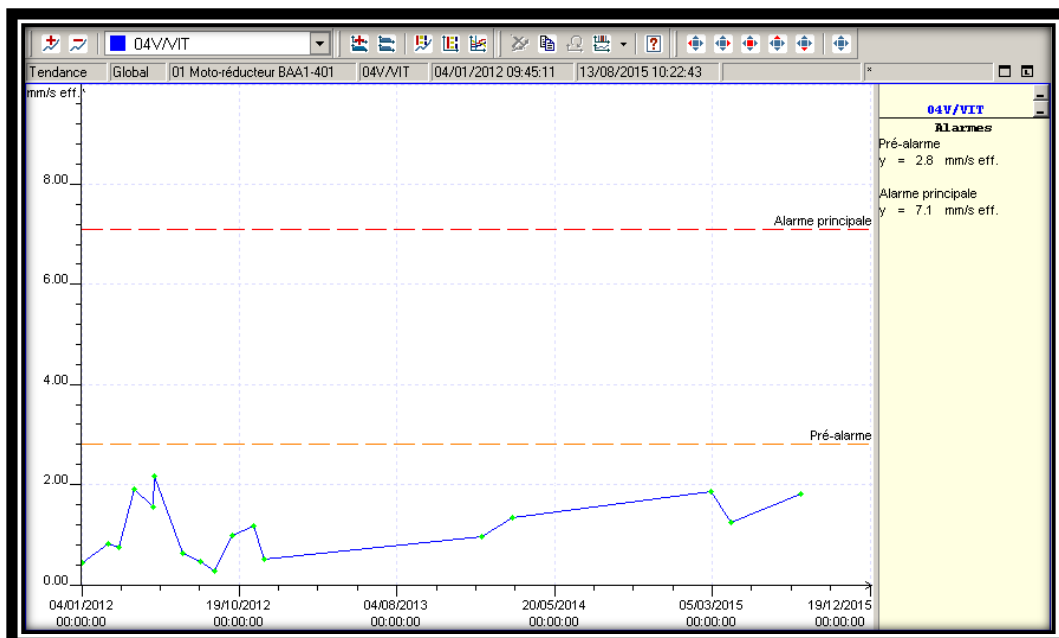


Figure V.16 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 4 direction verticale par rapport la vitesse.

- Palier 05H/ACC

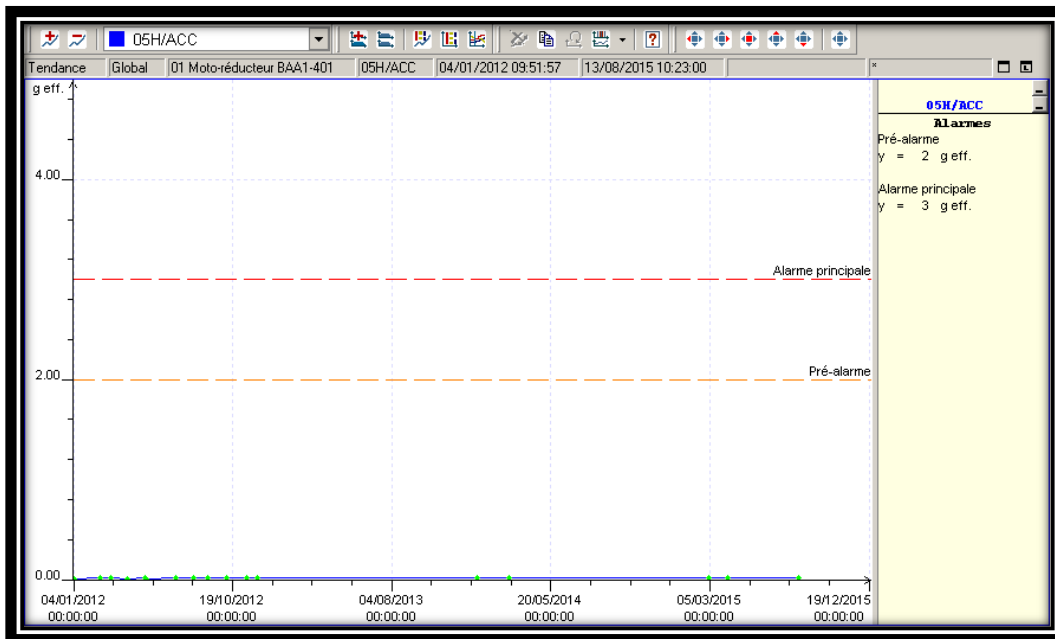


Figure V.17 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 05 direction horizontale par rapport à l'accélération.

- Palier 05V/VIT

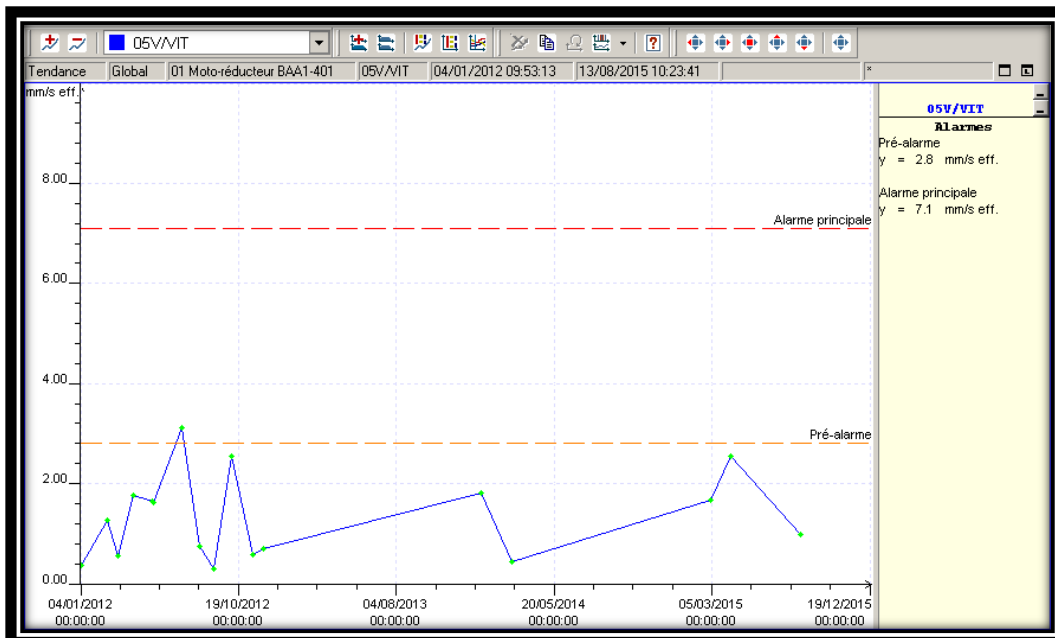


Figure V.18 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 05 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 06H/ACC

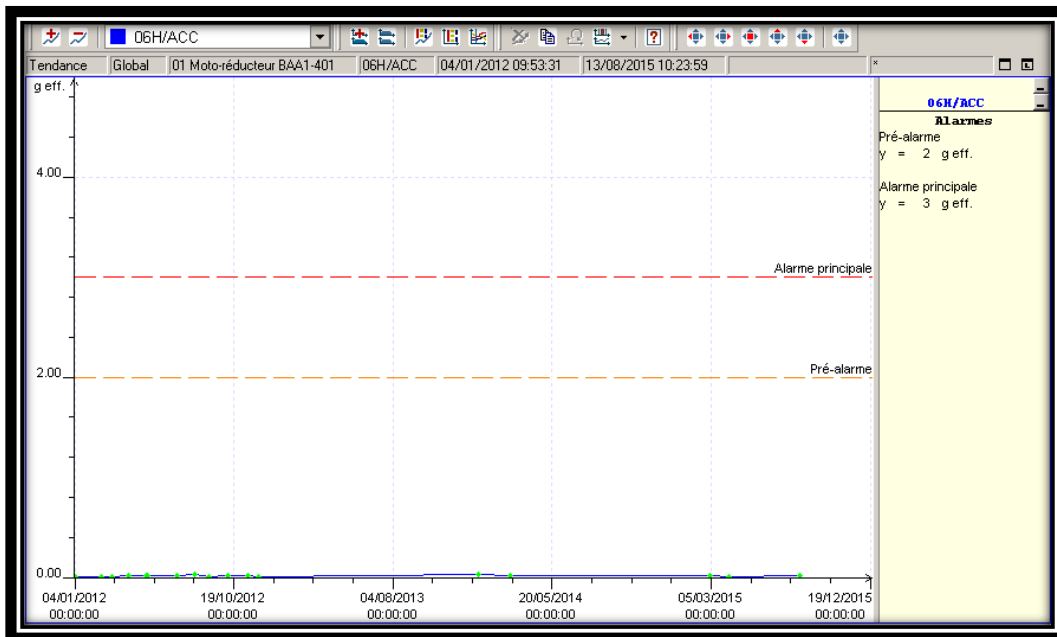


Figure V.19 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 06H/VIT

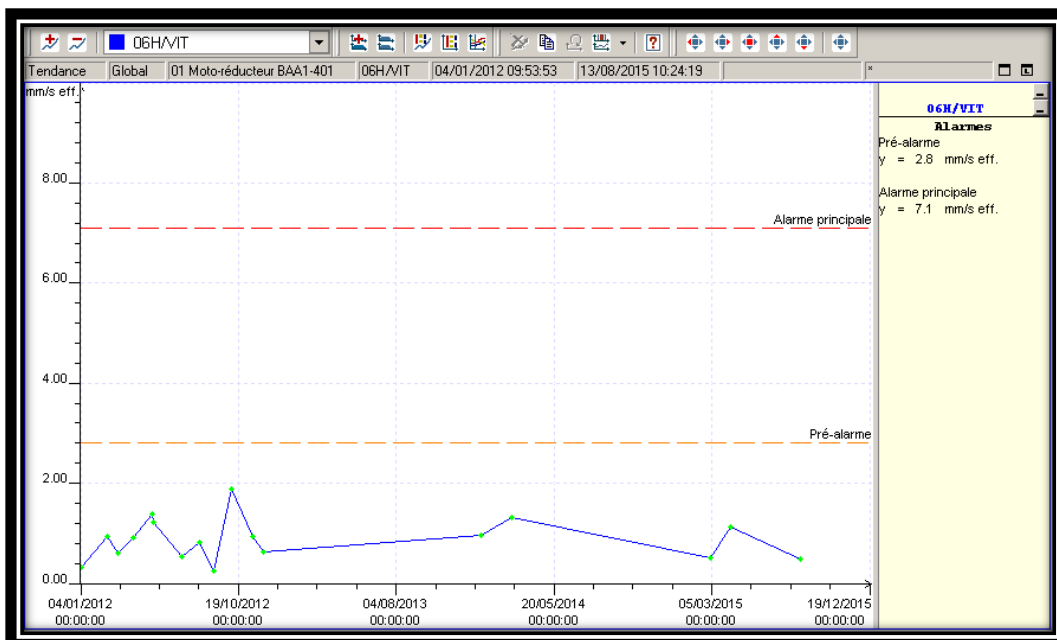


Figure V.20 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 06V/VIT

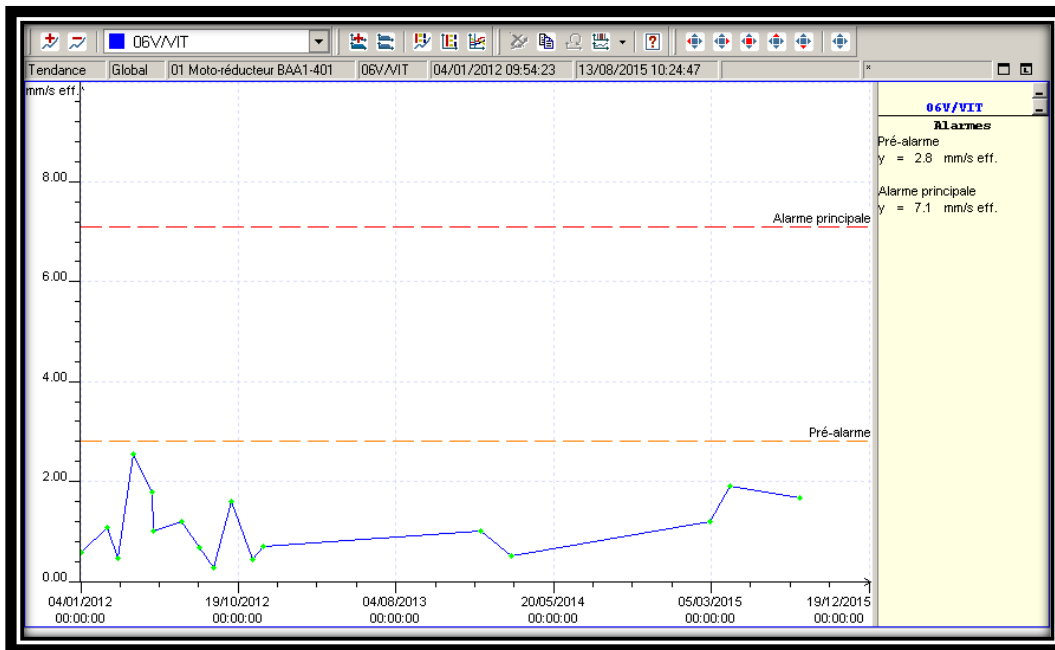


Figure V.21 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction verticale par rapport la vitesse.

- Palier 07H/ACC

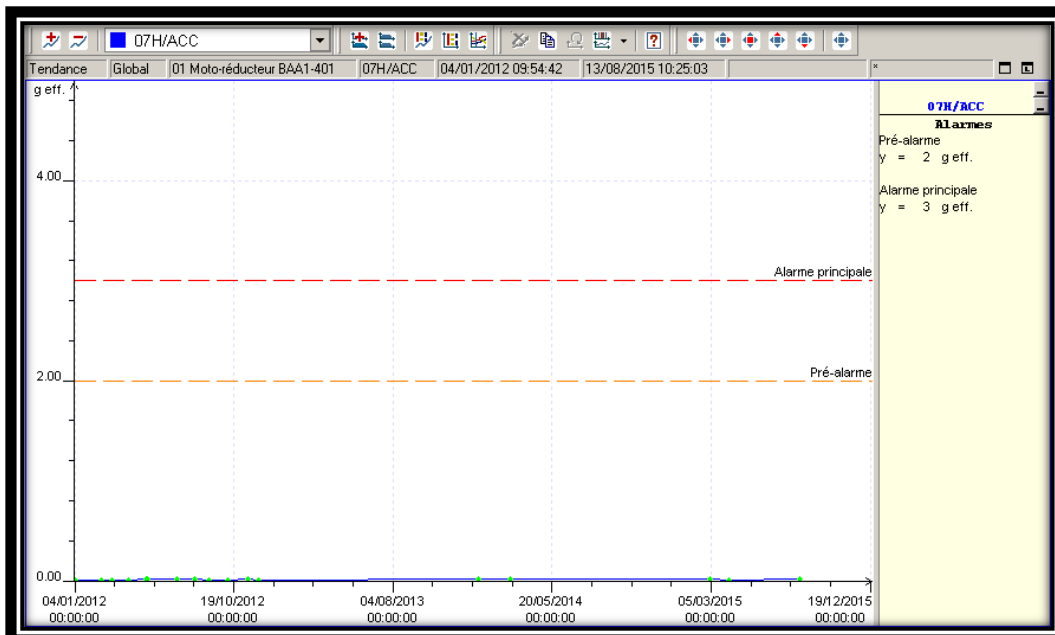


Figure V.22 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 07H/VIT

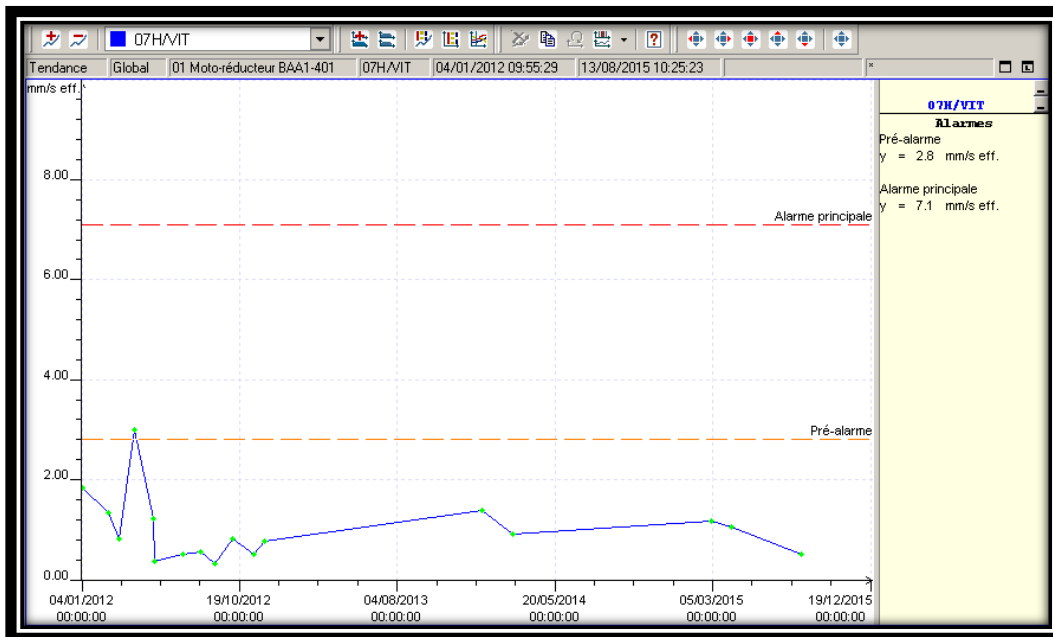


Figure V.23 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction horizontal par rapport la vitesse.

- Palier 07V/VIT

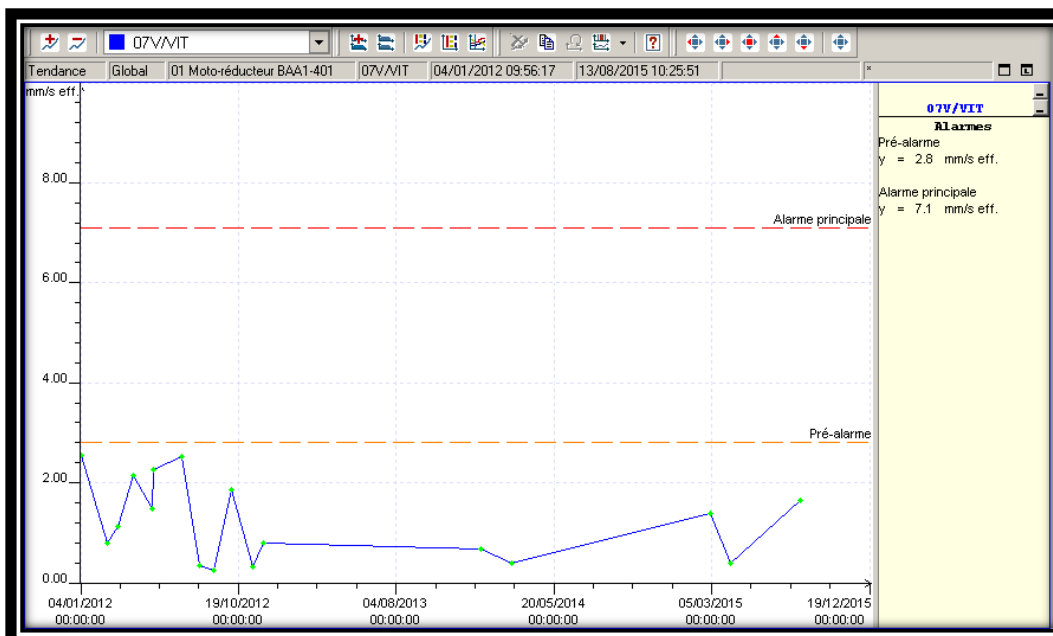


Figure V.24 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 07 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 06H/ACC

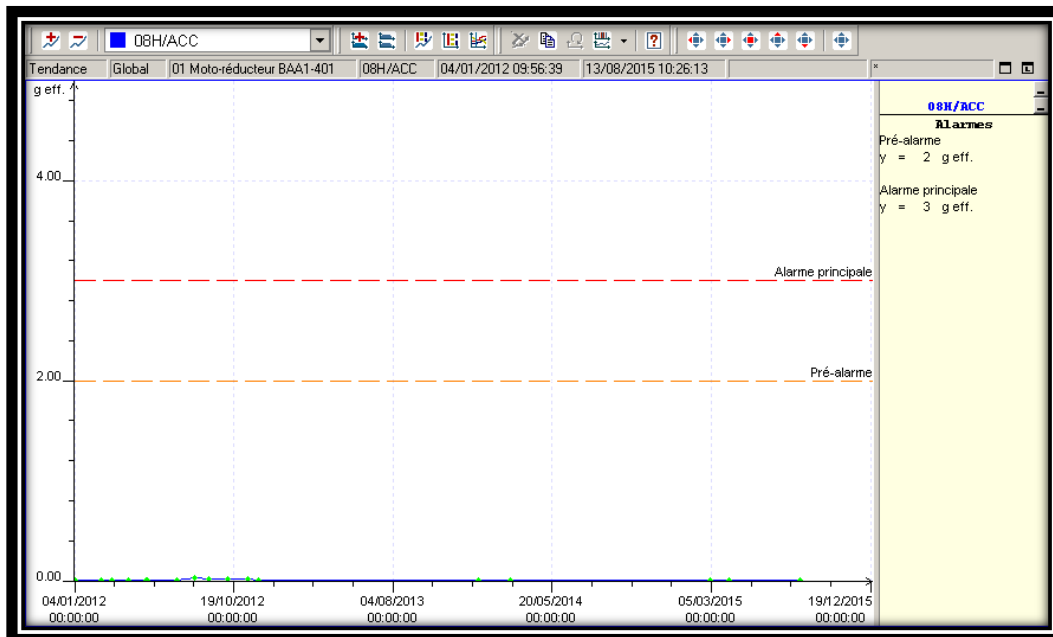


Figure V. 25: Courbe il montre les vibrations sur le palier 06 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 08H/VIT

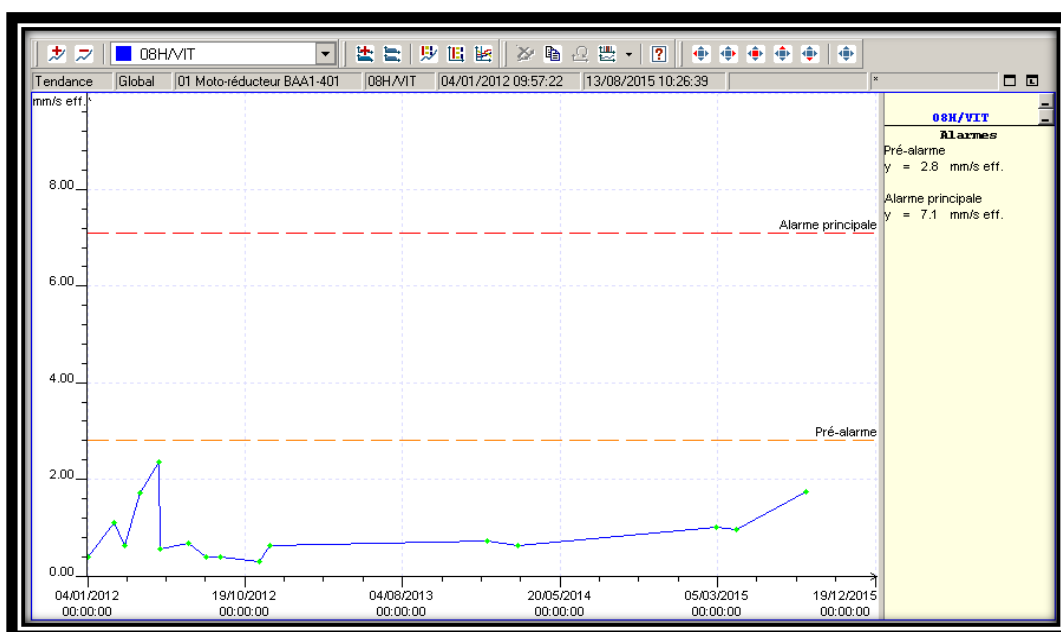


Figure V.26 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 8 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 08V/VIT

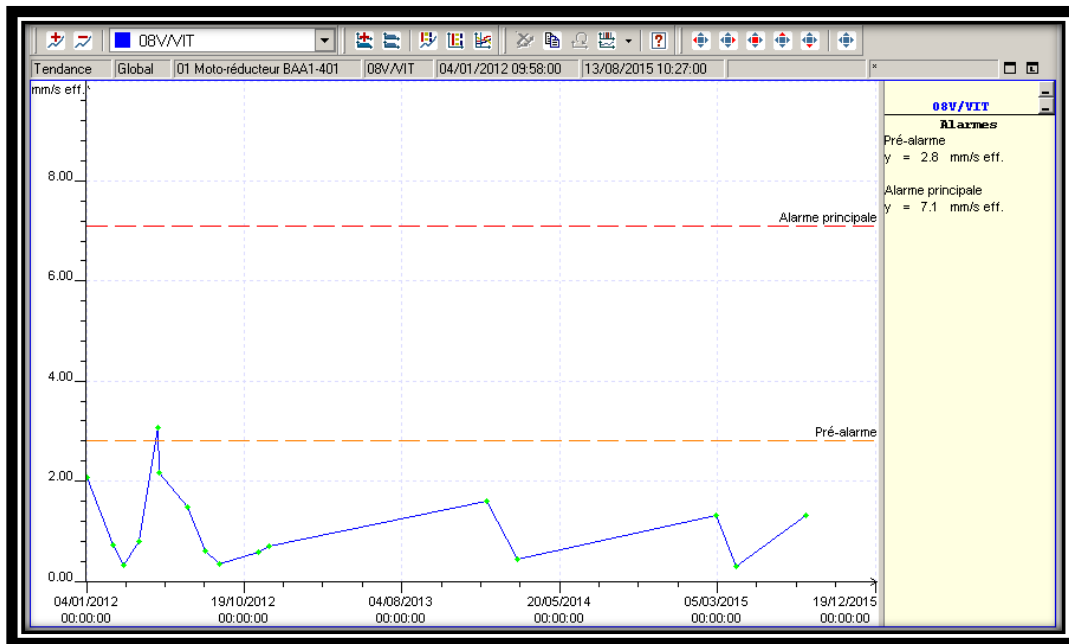


Figure V.27 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 08 direction vertical par rapport la vitesse.

- Palier 09H/ACC

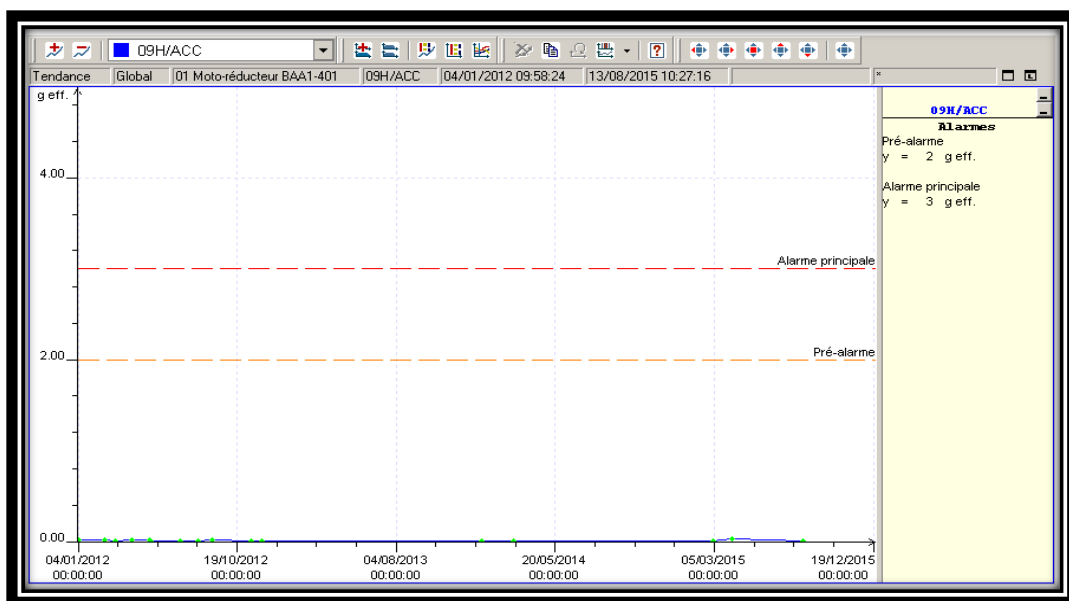


Figure V.28 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 09 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 09H/VIT

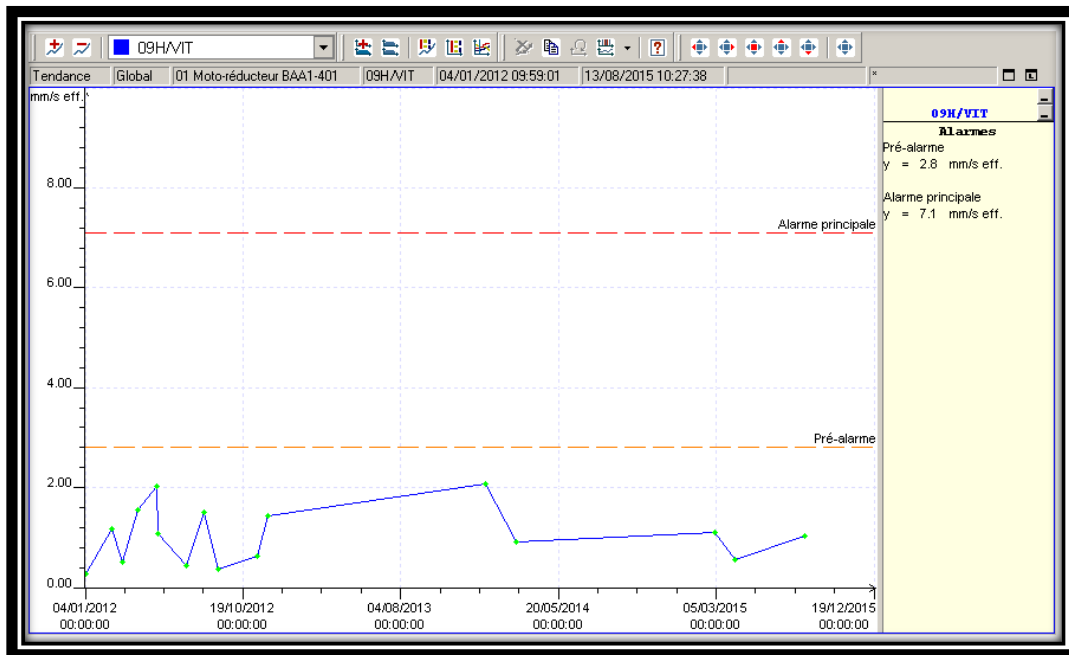


Figure V.29 : Courbe il montre les vibrations sur le palier 09 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 10A/VIT

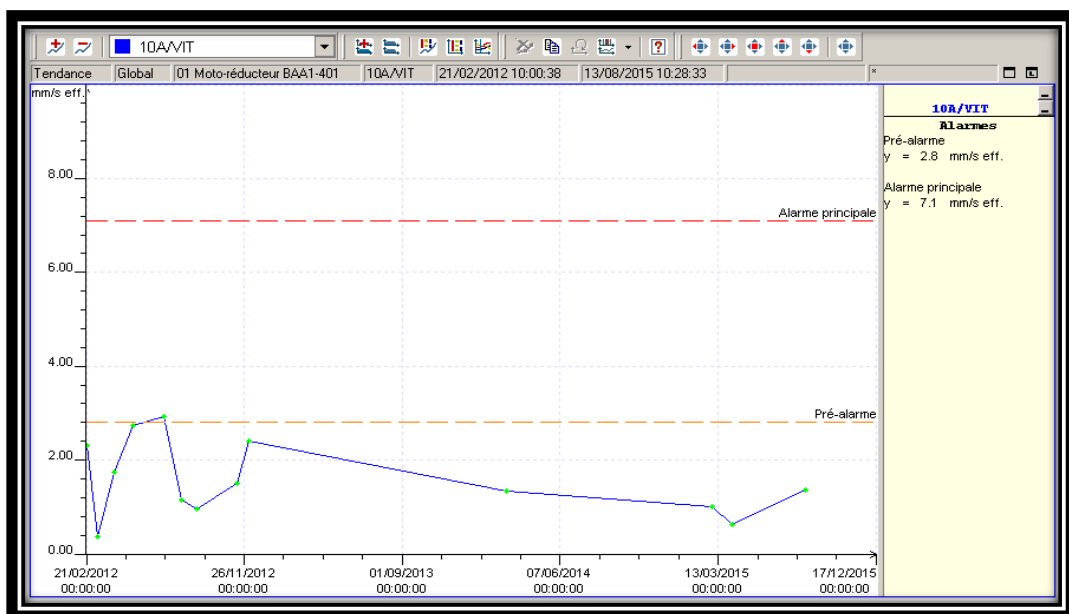


Figure V.30 : Courbe il montre les vibrations sur le palier10 direction axiale par rapport la vitesse.

- Palier 10H/ACC

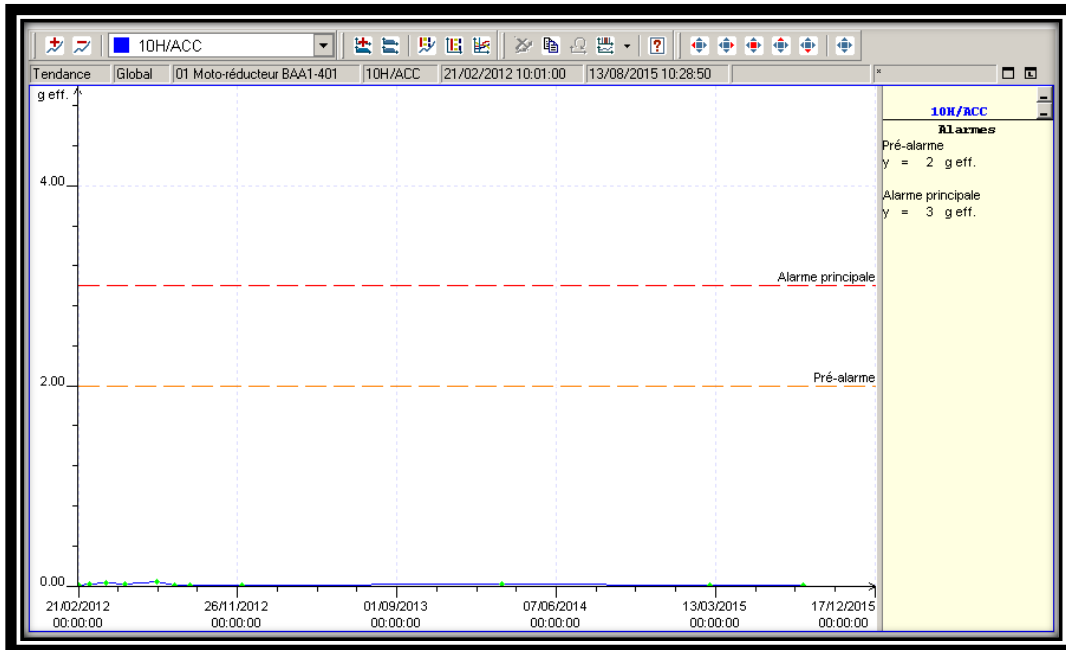


Figure V.31 : Courbe il montre les vibrations sur le palier10 direction horizontale par rapport l'accélération.

- Palier 10H/VIT

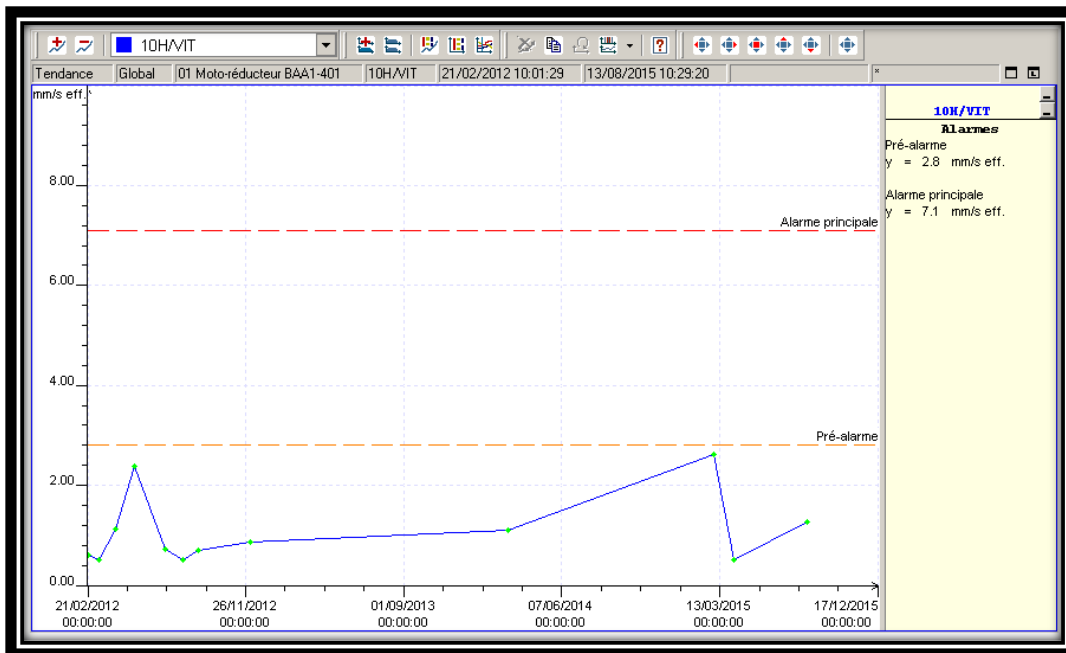


Figure V.32 : Courbe il montre les vibrations sur le palier10 direction horizontale par rapport la vitesse.

- Palier 10V/VIT

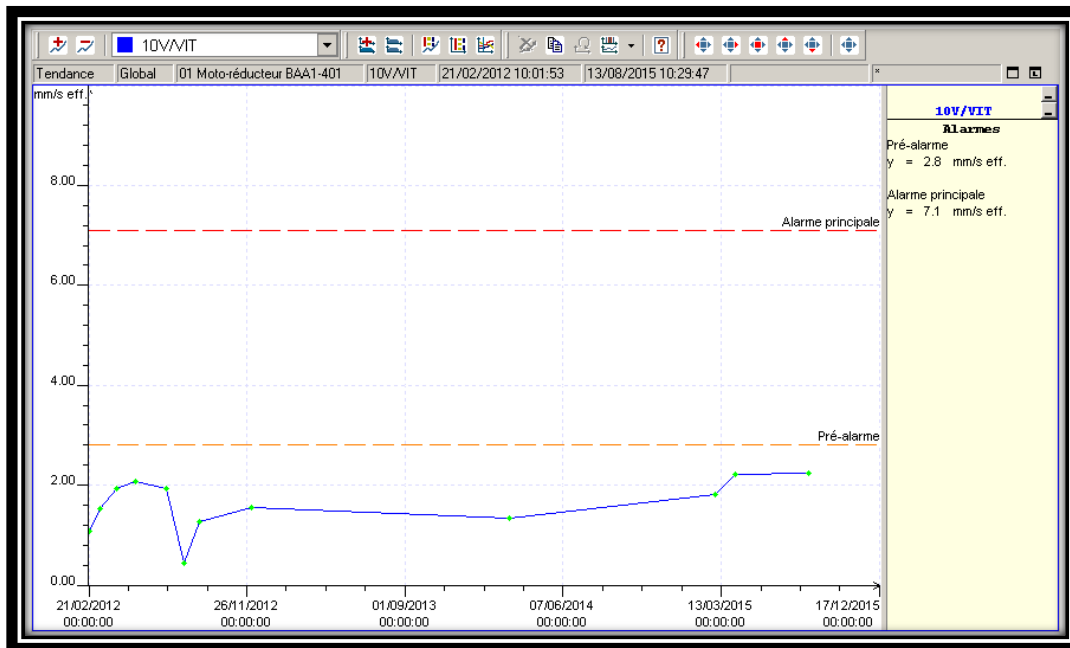


Figure V. 33 : Courbe il montre les vibrations sur le palier10 direction vertical par rapport la vitesse.

V.5. Discussion des résultats :

Palier 1et 2 : Ces graphiques nous montre comme les points de mesure 1 et 2 sont des points pour paliers du moteur. Là où on constate dans la période entre 2012 et 2014 que les vibrations sont élevées.

Une action de préventif général du moteur a été programmée au niveau d'atelier afin d'assurer le changement des roulements, après cette opération on constate une stabilité dans le moteur en général, ceci dans la période qui suite cette opération jusqu'à 2015, on en conclut que le problème était dans les roulements moteur.

Pour le palier 3 : Ce graphique nous montre comme on constate que les vibrations sont la même tendance du palier 2, ce qui signifie l'effet de défaut des roulements du moteur sur l'arbre de grande vitesse N 3 dans la même période.

Palier 4 à 10 : la vibration est admissible.

Cette analyse nous permet de détecter les défauts dans le réducteur et nous donne une information sur la gravité ou la sévérité des défauts.

V.6. Conclusion

Ce travail permis d'acquérir des signaux réels après avoir réalisé des courbes de tendances, ces dernières qui définissent l'évolution des vibrations. La simplicité de la mise en application, l'efficacité et la finesse de la technique de diagnostic vibratoire imposent cette dernière comme un outil indispensable dans toute élaboration d'une stratégie de maintenance préventive et conditionnelle. Cela permettra à l'avenir, de nous faciliter le diagnostic ; en comparant le spectre des engrenages sains avec ceux qui présentent des défauts.

Conclusion générale

Conclusion générale

La surveillance des machines tournantes se développe d'une manière continue, elle reste parmi les objectifs le plus importants dans les entreprises, car elle assure la disponibilité ainsi que la sécurité des équipements. Les différents techniques de surveillance est un outil plus efficace de la détection précoce des défauts.

Il existe différents types d'engrenage permettant l'accomplissement des différents objectifs qui sont dictés par la spécificité de chaque installation industrielle.

Cette polyvalence fait de l'engrenage un élément essentiel pour toutes les industries.

En sa qualité de composantes essentielles de toute machinerie, l'engrenage nécessite une fabrication spécifique à son application. Elle permet à l'entreprise d'atteindre un niveau de performance optimale nécessaire à différentes étapes de la production.

Un engrenage non conforme ou de mauvaises conceptions risque de compromettre la productivité de l'entreprise, il affecte la sécurité des employés et de la production.

Il existe des solutions pour optimiser les différentes opérations de calcul, de conception, de montage et d'entretien pour l'implantation d'un système d'engrenage sur mesure.

L'engrenage doit avoir un fonctionnement particulièrement doux ; exigeant une bonne précision de forme et une parfaite régularité de sa denture, car tout écarts affecte surtout la douceur de la transmission.

Les engrenages fonctionnent dans des conditions en général sévères et sont par conséquent soumis à une détérioration progressive de leur état.

L'analyse vibratoire, vu son efficacité, prend actuellement une place très importante dans le cadre de la mise en place d'une maintenance conditionnelle. Elle permet de suivre l'état de la machine tournante en fonctionnement afin d'éviter les arrêts indésirables.

La finalité de la surveillance par analyse vibratoire a considérablement évolué ces dernières années. Cette surveillance était essentiellement destinée à permettre l'arrêt d'une machine avant qu'elle ne subisse des dégradations importantes. Cette protection est assurée par le déclenchement d'une alarme ou par l'arrêt de la machine si l'amplitude de la vibration atteint des valeurs jugées excessives pour le bon fonctionnement ou l'intégrité de cette dernière.

La détection à un stade précoce du défaut et suivre son évolution présentent un intérêt majeur au cours de l'exploitation car elle permet la connaissance de la nature du défaut, sa gravité et la prise de décision appropriée pour venir à bout du problème.

Dans ce mémoire on retient la technique d'analyse vibratoire on line pour la surveillance du réducteur du moteur principal qui entraîne le caisson de cuisson de l'aggloméré de la PMA.

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est d'une importance stratégique de première catégorie car il représente la composante essentielle de l'industrie du pays.

Parmi les différentes divisions qui composent le complexe, la PMA constitue la division de base autour de laquelle s'articulent toutes les activités du complexe. La préparation du congloméré est l'étape cruciale pour la réussite du bon produit finale d'une part et l'alimentation des hauts Fournaux en continue pour assurer la continuité de la production de l'acier qui sont des objectifs fixés au départ par les dirigeants de l'entreprise afin de venir à bout des différentes commandes nationales et à l'international.

Pour ce faire on doit maintenir en bon état de fonctionnement les machines de la chaine de production, parmi ces dernières le réducteur de la chaine de commande de la chambre de cuisson qui est une pièce maitresse qu'il faut surveillé en permanence pour prévoir toutes anomalies susceptibles de provoquer un arrêt de la production. Cet objectif représente l'essentiel de notre modeste contribution pour la réalisation de ces objectifs.

Enfin, la mise en application de l'analyse vibratoire on-line, l'efficacité et la finesse de la technique de surveillance vibratoire imposent cette dernière comme un outil indispensable dans toute élaboration d'une stratégie de maintenance préventive conditionnelle.

Références bibliographiques

- [1] **M. Sidahmed**, “surveillance vibratoire des réducteurs à engrenages: apport des méthodes paramétriques du traitement du signal,” [12^{ième} colloque GRETSI-Juan-les pins, p.970,1989]
- [2] **K.Drouiche, M.Sidahmed, Y.Grenier**, “Détection de défauts d'engrenages par analyse vibratoire, ” Traitement du Signal, volume 8 - n° 5, pp.331-342.
- [3] **J. DUFALLY**, Ellipses. Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance.
- [4] **S. PRAYOONRAT and D. Walton**, "Practical approach to optimum gear train design", Computer Aided Design, 1988, Vol. 20, N° 2, pp. 83-92.
- [5] **G. LENORMAND, R. MIGNEE, J. TINEL, FOUCHER**, Construction mécanique, tome 3.
- [6] **HARRIS, S. L.** *Dynamic loads on the teeth of spur gears*. Proceedings Institution of Mechanical Engineers, 1958, Vol 172, p. 87-112.
- [7] **WELBOURN, D. B.** *Gear errors and their resultant noise spectra*. Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, 1969-70, Vol 184, Part 30, p.131-139.
- [8] **MARK, W.D.** Analysis of the vibratory excitation of gear systems: Basic theory. Journal of the Acoustical Society of America, 1978, Vol 63, N° 5, p.1409-1430.
- [9] **MARK, W. D.** Analysis of the vibratory excitation of gear systems II: Tooth error representations, approximations and applications. Journal of Acoustical Society of America, 1979, Vol 66, N° 6, p1758-1787.

- [10] **MARK, W. D.** The transfert function method for gear system dynamics applied to conventional and minimum excitation gearing designs. Cambridge (USA): NASA, 1982, Contract Report N° 3626, 107 p.
- [11] **ÖZGÜVEN, H. N., HOUSER, D. R.** *Mathematical models used in gear dynamics - A review.* Journal of Sound and Vibration, 1988, Vol 121, N° 3, p.383-411.
- [12] **MUNRO, R. G.** *The D.C. component of gear transmission error.* Proceedings of the 5PPASME International Power Transmission and Gearing, Chicago, 1989, Vol 1, p. 467-470.
- [13] **FAURE, L.** *Contrôle des engrenages, mesures de l'écart de transmission.* CETIM information, Février 1989, N° 109, p. 47 -55.
- [14] **GREGORY, R. W., HARRIS, S. L., MUNRO, R. G.** *Dynamic behaviour of spur gears.* Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, 1963-64, Vol 178, Part 1, N° 8, p.207-226.
- [15] **S. SELLAMI,** Analyse des défauts de denture et leurs influences sur les transmissions mécaniques par engrenages, mémoire de magister, Université de Constantine, 2010.
- [16] **GREGORY, R. W., HARRIS, S. L., MUNRO, R. G.** *Dynamic behaviour of spur gears.* Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, 1963-64, Vol 178, Part 1, N° 8, p.207-226.
- [17] **MARIE –LINEZANI,** la surveillance de la machine tournante, mesure 757, septembre 2003
- [18] **ANALYSE VIBRATOIRE DES MACHINES
TOURNANTES** www.silanus.fr/sin/formationSTI2D/ET22A-B/ET22A/Ressources/hubertfaigner.pdf

Références Bibliographiques

[19] **MOREL J.**-techniques de l'ingénieur, tritèmesurs et contrôle, surveillance vibratoire et maintenance prédictive, R6100.1999

[20] **[Fakhfakh, 2005]T. Fakhfakh, F. Chaari, andM. Haddar**, “Numerical and experimental analysis of a gear system with teeth defects”, International Journalof Advanced Manufacturing Technology, 25 (5), pp. 542-550, 2005