



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat
Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

Amélioration de la maintenance curative des réducteurs BROOK HANSEN

Effectué au sein de la société SMEM
Service Maintenance

Soutenu le 03 juillet 2015

Par :

Mr. Achraf EL FEHRI

Jury:

Pr. Mr. A. EL HAKIMI (FSTF)
Pr. Mr. A. EL KHALFI (FSTF)
Pr. Mr. A. SEDDOUKI (FSTF)

Encadré par :

- Pr. A. EL HAKIMI (FSTF)
- Mr. H. WADOUNI (SMEM)

Année Universitaire : 2014-2015



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DÉDICACES

Je dédie ce projet en premier lieu à mon créateur qui m'a offert la vie, l'âme et le cerveau pour s'utiliser pour le bien de l'être humain.

En deuxième lieu je dédie ce travail à ceux qui sont restés des nuits éveillées afin de m'assurer tout ce dont j'ai besoin et pour que j'aie une belle vie ; ce sont mes parents.

À mes frères et sœurs, merci pour votre soutien et vos conseils, vous avez toujours été à mes côtés.

À toute ma famille, merci pour le soutien que vous avez apporté.

À mes chers amis, avec qui j'ai passé d'agréables moments, vous resterez à jamais graver dans ma mémoire.



Remerciements

Au terme de ce travail, il s'avère courtois de prononcer en faveur des personnes qui m'ont porté conseil, aide et soutien, des mots éloquents de ma profonde gratitude qui puissent combler l'immense contrepartie qu'ils m'ont générée.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à **M. EL HAKIMI** professeur à la FST de FÈS, qui m'a encadré tout au long de ce travail. Je vous suis très reconnaissant pour vos précieux conseils, et pour le grand intérêt que vous avez porté à l'égard de mon projet, afin qu'il soit réalisé dans les meilleures conditions.

Je tiens à adresser ma gratitude à Société Marocaine d'Engrenages et de Mécanique dans la personne de son Directeur **M. LAALEJ** pour m'être accordé l'opportunité d'effectuer mon projet de fin d'études dans une aussi prestigieuse unité industrielle.

Je témoigne aussi mon profond respect à mon encadrant industriel **M. WADOUNI**, responsable de Maintenance, digne à tout éloges, de m'avoir guidé avec efficacité durant mon projet, malgré ses préoccupations et sa responsabilité.

Je tiens particulièrement à adresser mes sincères et chaleureux remerciements à **M. OUDLI** pour son accompagnement et ses directives constructives, ainsi que **M. ZOUGARI**, **M. BOUDRAISS**, et **M. HASSANINE** pour leur soutien permanent, et leurs conseils avisés qui ont fort contribué à l'accomplissement de ce travail.

Je remercie vivement **M. ARIBI**, chef de production de l'usine, pour sa collaboration et son assistance continue tout au long de mon stage, ainsi que **M. CHAKRAOUI** pour sa disponibilité permanente.

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à **M. EL KHALFI** et **M. SEDDOUKI** d'avoir l'honorée en tant que membre du jury.

Mes remerciements s'adressent également à tout le corps professoral de la FST de Fès, pour la qualité de son enseignement ainsi que sa disponibilité tout au long de ces trois années de formation.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements.



Résumé

Le présent projet de fin d'études traite un sujet de la maintenance industrielle et Plus précisément la maintenance curative des réducteurs au sein de SMEM, l'objectif de ce projet c'est de réduire le temps et la fréquence des arrêts des réducteurs.

Pour inscrire ce projet dans cette vision, l'ensemble des chapitres de ce rapport est scindé en trois principaux volets tout en suivant la démarche de résolution des problèmes :

Un premier volet dans lequel nous avons utilisé quelques outils d'analyse de l'existant aux équipements concernés pour présenter une formulation claire du besoin.

Un deuxième volet où l'on a justifié les causes fondamentales de défaillance des composants des réducteurs.

Un troisième volet qui a porté sur la proposition des solutions bénéfiques pour l'amélioration de la maintenance des réducteurs.



Abstract

His graduation's project deals with a subject of industrial maintenance and specifically corrective maintenance of reducers within SMEM, the objective of this project is to reduce the time and the frequency of reducers stops.

To register the report in this perspective, all chapters are divided into three main components:

The first one in which we demonstrate the interest to conduct a project about improving reducers under filter reliability, in order to enumerate the major causes of reducers failure.

The second one in which we justified the underlying causes of failure of reducers components.

The third one in which we provided beneficial solutions for improving of maintenance reducers.



Table des matières

Introduction générale.....	11
Chapitre I : Présentation de l'entreprise et contexte du projet	12
I.1 Présentation de la société d'accueil	13
I.2 La délocalisation de la société SMEM	13
I.2.1 Principaux clients au niveau national & client international	13
I.3 Présentation de l'environnement	14
I.3.1 Fiche signalétique	14
I.3.2 Création de SMEM	14
I.3.3 La vision de l'entreprise.....	15
I.4 Départements de SMEM	15
I.4.1 Organigramme général.....	15
I.5 Production au sein de SMEM.....	19
I.5.1 Activité de SMEM	19
I.5.2 Moyens de la SMEM	22
I.6 Organisation des machines	23
I.7 Présentation du sujet.....	24
I.7.1 Présentation de réducteur	24
I.7.2 Etude de cas	25
I.7.3 Objectif du projet	28
I.7.4 Méthodologie du travail.....	28
I.7.5 Planification du travail :.....	28
I.7.6 Énoncé du sujet et cadrage du problème :.....	29
I.8 Conclusion	29
Chapitre II : Analyse de l'existant.....	30
II.1 Présentation de la fonction maintenance de l'entreprise	31



II.1.1 Rappel succinct sur la fonction maintenance de l'entreprise	31
II.1.2 Types de la maintenance	31
II.1.3 Présentation de la maintenance des réducteurs au sein de SMEM	32
II.2 Diagrammes Ishikawa	35
II.3 Défauts recensés	35
II.3.1 Défauts recensés sur la méthode de montage de roulement :	36
II.3.2 Défauts recensés sur le graissage et la lubrification :	36
II.4 Conclusion	37
Chapitre III : Étude technique.....	38
III.1 les modes de dégradation du multiplicateur	39
III.1.1 Les types de dégradation.....	39
III.1.2 Les défaillances.....	40
III.2 Présentation de l'outil AMDEC :	42
III.2.1 Principe de base	42
III.2.2 But de l'analyse AMDEC	43
III.2.3 Analyse AMDEC	43
III.2.4 Application de l'AMDEC au multiplicateur.....	43
III.3 Analyse du pignon arbré MV	49
III.3.1 Modélisation par élément finis	49
III.3.2 Interprétation et Conclusion :	53
III.4 CONCLUSION	53
Chapitre IV : les solutions proposées	54
IV.1 Montage des roulements :.....	55
IV.1.1 Montage à chaud.....	55
IV.1.2 Chauffage par induction avec les appareils	56
IV.1.3 Refroidissement de l'arbre.....	56
IV.2 La lubrification	57



IV.2.1	lubrification des roulements	57
IV.2.2	Calcul des quantités de graisse et les fréquences de lubrification	57
IV.2.3	Choix du lubrifiant et du système de graissage des engrenages	63
IV.3	Conclusion	73
Chapitre V	: Approche organisationnelle	74
V.1	Élaboration outil d'aide pour la réparation	75
V.1.1	Tableau des défauts effets actions correctifs	75
V.1.2	Tableau des défauts effets mode de prévention	80
V.2	La mise en place d'une gamme de maintenance préventive	83
V.3	Conclusion	85
Conclusion générale	.....	86
RÉFÉRENCES	.....	87
ANNEXES	.....	88



Liste des figures

Figure 1 : Fiche signalétique de SMEM.....	14
Figure 2 : Organigramme général de SMEM.....	16
Figure 3 : Bras FARO	17
Figure 4 : Processus de travail du bureau d'études	18
Figure 5 : vérin d'un concasseur	19
Figure 6 : couple pignon spiro-conique.....	19
Figure 7 : couronne dentée	20
Figure 8 : la zone de commande numérique.....	20
Figure 9 : Réparation des réducteurs.....	20
Figure 10:Réparation des concasseurs	21
Figure 11:Régulage de coussinet.....	21
Figure 12:Plan de l'atelier	23
Figure 13:Multiplicateur HANSEN	25
Figure 14:Schéma cinématique du multiplicateur BROOK HANSEN	27
Figure 15 : Les types de la maintenance industrielle	32
Figure 16:mode de procédé pour la maintenance préventive des réducteurs.....	33
Figure 17:Diagramme d'Ishikawa de défaillance des composants du multiplicateur.....	35
Figure 18:chauffage de roulement.....	36
Figure 19 : Fatigue	39
Figure 21 : La surcharge.....	39
Figure 22 : L'écaillage	40
Figure 23:grippage	40
Figure 24 : Forces dans un engrenage cylindrique hélicoïdal.....	50
Figure 25 : les caractéristiques du pignon arbré.....	51
Figure 26:Schématisation de pignon arbré MV	51
Figure 27 : Conditions aux limites et chargement.....	52
Figure 28 : Contraintes équivalentes de Von Mises sur le pignon arbré MV	52
Figure 29: Déplacements résultants	53
Figure 30 : Température de chauffage	55
Figure 31 : Table chauffante	55
Figure 32 : Chauffage par induction	56



Figure 33 : Bain d'huile	56
Figure 34 : Les méthodes de graissage.....	57
Figure 35 : Abaque déterminant le coefficient c	62
Figure 36 : quantité de graisse à renouveler.....	62
Figure 37 : types de graisses et caractéristiques.....	63
Figure 37 : Viscosité cinématique de l'huile pour les engrenages	65
Figure 39:facteur de la longueur de contact $Z\varepsilon$	70
Figure 40:Facteur du point de roulement ZH	71
Figure 41 : Huiles utilisées pour lubrifier les engrenages	72



Liste des Tableaux

Tableau 1 : caractéristiques du multiplicateur.....	25
Tableau 2 : Nomenclature du multiplicateur.....	27
Tableau 3 : le mode procédé de la maintenance curative sa description.....	34
Tableau 4 : les défaillances du multiplicateur.....	42
Tableau 5 : La criticité des défaillances du multiplicateur.....	49
Tableau 6 : Caractéristiques du matériau.....	49
Tableau 7 : La quantité de graisse.....	58
Tableau 8 : Les vitesses des arbres.....	59
Tableau 9 : courbes pour définir les fréquences de graissage.....	59
Tableau 10:Fréquence de base.....	60
Tableau 11: Valeurs des facteurs de correction.....	60
Tableau 12: Fréquence de regraissage.....	61
Tableau 13 : la vitesse périphérique des pignons.....	64
Tableau 14:Rendements de quelques couples de frottements.....	66
Tableau 15 : la puissance transmise par l'arbre.....	67
Tableau 16 : les forces tangentielles des pignons.....	67
Tableau 17 : le rapport des nombres de dents.....	67
Tableau 18 : Distances entre les axes.....	68
Tableau 19 : L'angle d'engrènement des pignons.....	69
Tableau 20 : les paramètres des pignons.....	70
Tableau 21 : le degré de recouvrement et le rapport de recouvrement.....	70
Tableau 22 : Le coefficient de déport des pignons.....	71
Tableau 23 : facteurs d'engrènement.....	71
Tableau 24 : calcul de la pression Stribeck.....	72
Tableau 25 : Viscosité cinématique du multiplicateur.....	72



Introduction générale

Durant ces 2 dernières décennies, le secteur industriel au Maroc a connu une large croissance, cela impose aux sociétés de sous-traitances marocaines à diversifier leurs activités, tel est le cas pour la société marocaine d'engrenage et de mécanique (connu chez le public par l'abréviation SMEM).

Depuis 2012, la société marocaine d'engrenage et de mécanique à commencer une nouvelle activité, celle de la maintenance des réducteurs. Il est évident bien sûr que la SMEM choisisse une telle activité, puisque la plupart des grandes industries soit au niveau national ou mondial utilisent ce dernier pour l'alimentation de leurs machines.

L'augmentation continue de la compétitivité des entreprises impose aux entreprises d'adapter des outils et des méthodes de maintenance qui assurent plus d'efficacité tout en respectant les exigences des clients. Ainsi il apparait l'obligation de viser une politique d'amélioration continue transversale à travers les différents départements de l'entreprise. SMEM et l'une de ces entreprises qui présentent un développement maîtrisé dans la maintenance des réducteurs, en effet elle vise en permanence à améliorer la politique de maintenance pour assurer la fiabilité et la disponibilité de ses équipements de production. Dans ce cadre que le présent projet de fin d'études s'introduit sous l'intitulé : « l'amélioration de la maintenance curative des réducteurs ».

Le présent projet est organisé en cinq chapitres. Le premier chapitre contient une présentation générale de l'entreprise et une présentation du sujet. Ce chapitre termine par une introduction au contexte général du projet.

Le deuxième chapitre porte sur la présentation de la politique de la maintenance adoptée par l'entreprise et l'analyse de l'existant au niveau du troisième chapitre, nous allons présenter l'étude technique de multiplicateur et les plans d'action feront l'objet du quatrième chapitre.

Le cinquième chapitre sera axé sur l'approche organisationnelle. Finalement une conclusion générale.



Chapitre I: Présentation de l'entreprise et contexte du projet

Résumé

Le présent chapitre fournit une présentation succincte du lieu du projet de fin d'études à travers une description de la société SMEM. On présentera aussi les activités de l'entreprise et le processus de fabrication des pièces mécaniques, par la suite nous introduisons le sujet du projet en décrivant les éléments nécessaires à l'étude, et la méthodologie de travail qui sera adoptée.



I.1 Présentation de la société d'accueil

La Société Marocaine d'Engrenage et de Mécanique (SMEM) est une société anonyme créée en 1923 par son président, Monsieur LAALAJ. L'activité principale de la société est la fabrication de tout type d'engrenage ou pièce mécanique.

Ses autres activités sont :

- ✓ Réparation des réducteurs.
- ✓ Réparation des concasseurs.
- ✓ Chaudronnerie et mécano-soudure.
- ✓ Régulage de palier par antifricition.

I.2 La délocalisation de la société SMEM

Sur le marché d'usinage, SMEM figure parmi les leaders au niveau national, grâce au niveau de qualité/prix qu'elle offre, elle compte parmi ses clients des sociétés de réputation, telles que : Office chérifien de phosphate (O.C.P), Ciment du Maroc, Omnium national africain (ONA), Lafarge Maroc, O.N.E.E, O.N.C.F, Cosumar.....

I.2.1 Principaux clients au niveau national & client international

I.2.1.1 Les clients nationaux

- ✓ Office chérifien de phosphate (O.C.P)
- ✓ Ciment du Maroc
- ✓ Omnium nationale africain (ONA)
- ✓ Lafarge Maroc
- ✓ Ciment de l'oriental
- ✓ Compagnie marocaine de cartons et de papiers
- ✓ O.N.E
- ✓ O.N.C.F
- ✓ Carven
- ✓ Caplam
- ✓ Cosumar
- ✓ F.A.M
- ✓ Cellulose du Maroc
- ✓ Cimenteries de l'orientale C.I.O.R
- ✓ Di matit
- ✓ Gravel Maroc
- ✓ Cegelec
- ✓ Gravette et bâtiment
- ✓ Le plastique
- ✓ First plastique
- ✓ Maroc chimique

- ✓ O.N.A
- ✓ Somafaco
- ✓ Snifa
- ✓ Samir
- ✓ Socoteur
- ✓ Outillage assistance
- ✓ Maroc Métaux

I.2.1.2 Les clients internationaux

- ✓ Sumpar
- ✓ IDE-ATECH
- ✓ Lymac
- ✓ Malichad Atlantique

I.3 Présentation de l'environnement

I.3.1 Fiche signalétique

La fiche signalétique de la société est illustrée comme suit :

Raison sociale	Société Marocaine d'Engrenage et de Mécanique
Forme juridique	S.A
Date de constitution	1923
Capital social	4 600.000, 00 DH
Effectif global	100 personnes
Registre du commerce	27653 CASABLANCA
Affiliation à la CNSS	167 276
E-mail	smem@iam.net.ma
Siège social	15 Boulevard FOUARAT BP 21950 CASABLANCA
Certificat	NM ISO 9001-2000

Figure 1 : Fiche signalétique de SMEM

I.3.2 Création de SMEM

Au sien de la société, un département de commande numérique a été créé par la société SUMPARG France. Cette nouvelle unité permet la réalisation des ensembles et des pièces mécaniques de très haute précision, destinées principalement aux industries aéronautiques, civiles, militaires, spatiales et d'armement. Par ailleurs, ce département consacre une partie de ses activités aux industries marocaines, plus précisément le secteur minier, sucrier et cimentier.



L'atelier de mécanique est équipé de machines-outils hautement perfectionnées et de techniciens qualifiés permettent de réparer, d'usiner, d'ajuster et de confectionner des pièces, ensembles et mécanismes destinés à des clients aussi bien marocains qu'étrangers.

La SMEM occupe une place de premier plan dans le domaine des travaux industriels. À l'écoute des besoins de ses clients et pour garantir une amélioration continue, la SMEM a mis en place un système de management certifié ISO 9001 version 2000 depuis l'année 2005.

Une volonté constante de formation, d'investissement en moyens de production et de contrôle a permis de maintenir l'entreprise au meilleur niveau de technicité et de productivité.

1.3.3 La vision de l'entreprise

La vision de l'entreprise SMEM s'articule sur différents points clés :

- La communication : le rôle du management est d'assurer un meilleur partage de l'information.
- Le client : la satisfaction du client est au centre d'intérêt de la société, c'est la raison de son efficacité.
- La qualité : le personnel de SMEM ne doit accepter que la qualité supérieure dans l'ensemble des tâches qu'il entreprend.
- Citoyenneté : SMEM est une entreprise citoyenne. Entre autres, des actions managériales y sont développées. Elles vont dans le sens d'une prise de connaissance de la protection de l'environnement.

1.4 Départements de SMEM

1.4.1 Organigramme général

La hiérarchie de la société se représente par l'organigramme de la figure 2.

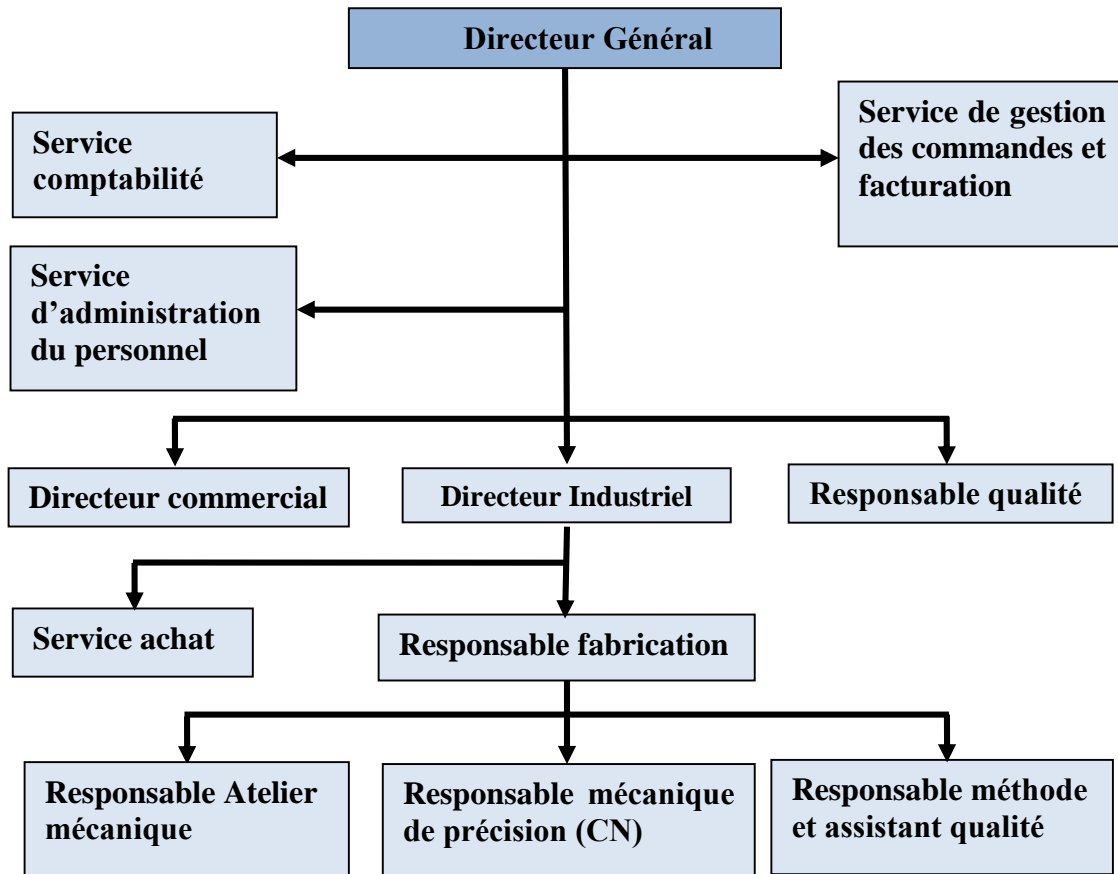


Figure 2 : Organigramme général de SMEM

1.4.1.1 Mission des services

L'entreprise SMEM est organisée selon des services qui sont en relation avec la direction.

▪ Service production

C'est le service qui veille à assurer la production et garantir les flux de fabrication, le service exige ainsi la définition de :

- L'implantation des machines ;
- Les moyens de fabrication ;
- Les gammes ;
- Les qualités à produire ;
- La maîtrise du processus.

- **Service qualité**

Le rôle de ce service est de veiller à améliorer la qualité du produit, des processus et d'assurer des produits conformes suivant les exigences des clients ainsi que de faire le contrôle de la matière première en réception.

Pour garantir la qualité des produits la société SMEM a mis en place le système de management qualité ISO 9001 V 2008 et des moyens de contrôle et de mesure permettant d'assurer et de garantir un contrôle dans toutes les phases de production.

La SMEM est dotée d'un laboratoire de métrologie avec marbre de contrôle, machine de contrôle tridimensionnelle, cales étalons et divers matériels de contrôle qualité.



Figure 3 : Bras FARO

- **Service méthodes/études**

Pour maîtriser le processus de production, il a fallu trouver des méthodes de production optimales tout en gardant les mêmes qualités exigées par le client. C'est le souci du service méthode, ce dernier reçoit directement tous les documents contractuels du produit (plan budgétaire, nomenclature...) et valide par la suite tous les documents de la production (cycles de travail, les gammes...).

⇒ Processus de travail dans le bureau d'étude

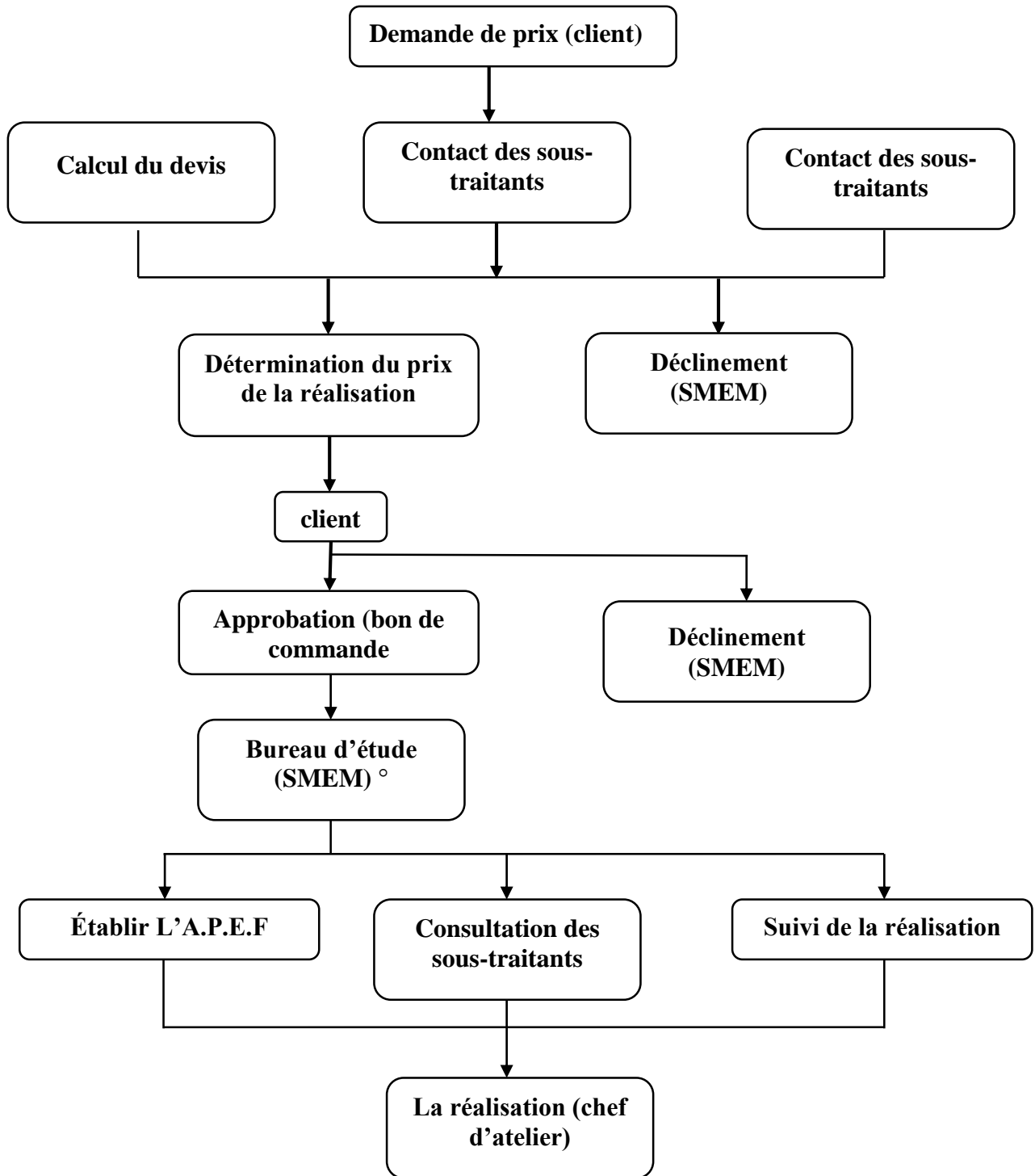


Figure 4 : Processus de travail du bureau d'études

- **Service de maintenance**

Ce service assure l'installation et la maintenance de tous les équipements de l'usine avec une fiabilité optimale et une efficacité maximale d'équipement de SMEM, et c'est au sein de ce service que mon stage de fin d'études a eu lieu.

I.5 Production au sein de SMEM

I.5.1 Activité de SMEM

La Société Marocaine d'Engrenages et Mécaniques (SMEM) assure avec maîtrise la chaîne complète de fabrication de tout type d'engrenage ou pièce mécanique :

- **Fabrication de pièces suivant plan ou modèle**

Réalisation des pièces suivant le plan ou modèle fourni par le client (exemple fig.)

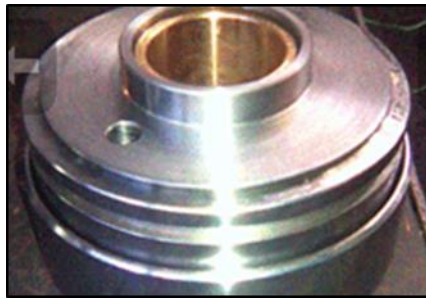


Figure 5 : vérin d'un concasseur

- **Taillage d'engrenage jusqu'au diamètre 5000 modèle 40**

La SMEM est spécialisée dans le domaine de taillage de tous types d'engrenage soit conique, spiro — conique, chevron jusqu'au modèle 40 diamètres 5000 (exemple fig.).



Figure 6 : couple pignon spiro-conique

- **Usinage couronne jusqu'au diamètre 6000 :**

La SMEM usine des couronnes jusqu'au diamètre 6000 mm.



Figure 7 : couronne dentée

- Usinage de pièces de précision sur tour numérique et centre usinage :



Figure 8 : la zone de commande numérique

- Réparation des réducteurs :

Réparation des réducteurs expertise changement des roulements, fabrication des engrenages, reprises des portées de roulement, passage sur banc de test et élaboration du dossier de contrôle.

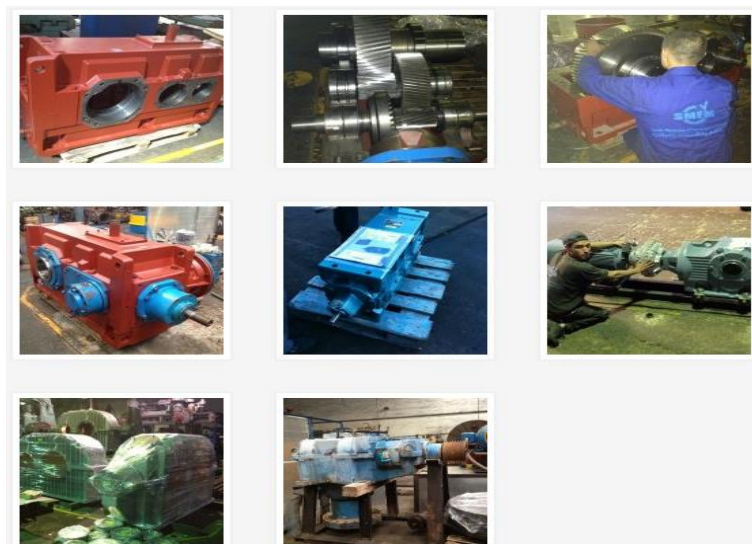


Figure 9 : Réparation des réducteurs

➤ **Réparation des concasseurs :**

Le Premier centre d'expertise et de réparation de tous types de concasseurs au Maroc.

- Extraction des organes.
- Expertise dimensionnelle et géométrique.
- Examen des pièces constitutives (châssis concasseur, bielle, cône giratoire)
- Examen magnétoscopique, ou par ressuage (mobiles, carters)
- Fabrication et/ou reconditionnement des organes usés.
- Montage et essais de performance.



Figure 10: Réparation des concasseurs

➤ **Chaudronnerie et mécano-soudure.**

Réalisation d'ensemble en chaudronnerie ou mécano soudure suivant plan ou modèle.

➤ **Régulage de palier par antifriction.**

Régulage de palier ou coussinet avec métal antifriction.



Figure 11: Régulage de coussinet



I.5.2 Moyens de la SMEM

I.5.2.1 Moyens de production

Pour satisfaire les besoins de ses clients, la SMEM est dotée de moyens très importants :

- Usine de superficie de 2500 m² pour la fabrication et maintenance mécanique, et pour la construction métallique et chaudronnerie
- Zone de chaudronnerie équipée
- Plus de 50 machines-outils d'usinage et taillage :
 - Tours parallèles
 - Tours verticales
 - Tours en l'air
 - Fraiseuses verticales
 - Centre d'usinage
 - Tours CN
 - Tailleuses à couteaux
 - Tailleuses à fraise mère.

I.5.2.2 Moyens de contrôle de qualité

Consciente de l'importance de la qualité pour garantir sa continuité et sa forte présence, la SMEM a mis en place une salle de contrôle équipé de matériels cité ci-après :

- Pieds à coulisse
- Micromètres
- Comparateur
- Jauges de profondeur
- Appareil de mesure tridimensionnel FARO GAGE
- Appareil d'analyse vibratoire (vibromètre)
- Caméra thermo-infrarouge

I.5.2.3 Moyens informatiques

- ⇒ Ordinateurs,
- ⇒ Imprimantes laser et matricielles ;
- ⇒ Imprimantes jet d'encre couleur ;
- ⇒ Logiciel de comptabilité et de gestion ;
- ⇒ Logiciel de DAO, CAO ;
- ⇒ Appareils photo numériques ;
- ⇒ Pointeuses électroniques pour la gestion de temps de présence ;

I.6 Organisation des machines

L'organisation des machines au sein de SMEM est composée en 3 zones (figure).



Figure 12: Plan de l'atelier

- GM : grosse mécanique
- CN : commande numérique
- P.S : poste de soudage
- S.M : scie mécanique



I.7 Présentation du sujet

I.7.1 Présentation de réducteur

I.7.1.1 Définition

C'est un groupement particulier de roues dentées permettant d'assurer une transmission de puissance entre des arbres coaxiaux avec des combinaisons d'utilisations multiples correspondant à des rapports de réduction ou de multiplication très variables.

I.7.1.2 Généralités sur le fonctionnement des réducteurs

Ces appareils ont pour but de transmettre le mouvement de l'arbre moteur à l'arbre récepteur avec modification de la vitesse. Le rapport entre les vitesses des deux arbres étant constant :

- ✓ $N_s/N_e = r$ constant.
- ✓ Si $r > 1$, l'appareil est un multiplicateur de vitesse.
- ✓ Si $r < 1$, l'appareil est un réducteur de vitesse.

Ces appareils sont le plus souvent réversibles sauf ceux qui utilisent le système roue-vis sans fin qui ne sont, en général, que réducteurs ; le même appareil peut donc être souvent réducteur ou multiplicateur de vitesse, mais le réducteur est plus fréquent par suite de la grande vitesse des moteurs électriques.

I.7.1.3 Réducteurs à train de roues dentées

Le rapport de vitesses entre deux roues dentées varie de $1/6$ à 6 environ, au-delà de ces valeurs, on intercale entre la roue motrice et la roue réceptrice des couples de roues dentées, l'ensemble porte le nom de « train » ou « équipage » de roue dentée, avec un train de 4 roues, le rapport de transformation variera donc de $(1/6)^2$ à 6^2 , avec un train de 6 roues, il variera de $(1/6)^3$ à 6^3 , etc....

On est limité par la considération du rendement, qui diminue rapidement avec la multiplication du nombre de roues, et du prix, qui augmente rapidement. On ne dépasse guère la limite $1/250-250$, ce qui correspond à 3 ou 4 couples de roues dentées, au-delà de ces valeurs, on utilise le réducteur à roue et vis sans fin, ou à train épicycloïde.

I.7.2 Etude de cas

L'étude que nous avons menée durant mon stage porte sur un multiplicateur de type EH55G21-BN-52.66

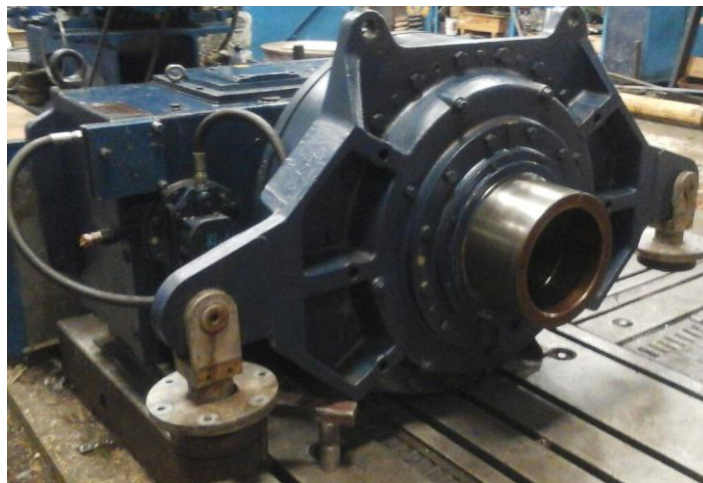


Figure 13: Multiplicateur HANSEN

I.7.2.1 Description

Le multiplicateur est un système qui multiplie la vitesse, en transmettant l'effort traction du moteur à un arbre de sortie avec un rapport de multiplication de $R=1600/163 = 9.81$.

I.7.2.2 Caractéristiques

Constructeur	BROOK HANSEN
Type	EH55G21-BN-52.66
N° de série	01/2010
masse	3020 kg
puissance	660kw
longueur	1500 mm
largeur	1000 mm
hauteur	800 mm

Tableau 1 : caractéristiques du multiplicateur



I.7.2.3 Composition

Le réducteur comprend essentiellement un bâti en construction mécano soudée contenant :

- Les paliers des boîtards d'arbre moteur et des roues intermédiaires.
- Les augets d'alimentation par l'huile des paliers des roues dentées principales.
- La partie inférieure centrale du bâti forme un réservoir d'huile et est reliée à une pompe hydraulique.
- Les extrémités du bâti portent les plaques de fixation des Silentblocs servant à la liaison avec le châssis.
- Une Jauge qui indique le niveau d'huile
- Un disque de freinage de l'arbre de sortie
- Un radiateur

Le bâti de transmission doit avoir des tolérances d'usinage très strict pour :

- Permettre le jeu de fonctionnement des engrenages ;
- L'alignement des alésages recevant les boîtards des roulements ;
- La position et l'alignement des axes des arbres tournants ;
- Les goulottes de récupération de l'huile permettant la lubrification des organes tournants roulements, engrenages
- Permettre la fixation de bouchons aimants pouvant récupérer des particules métalliques polluant l'huile
- Maintenir l'huile en circuit fermé.

I.7.2.4 Schéma cinématique du multiplicateur :

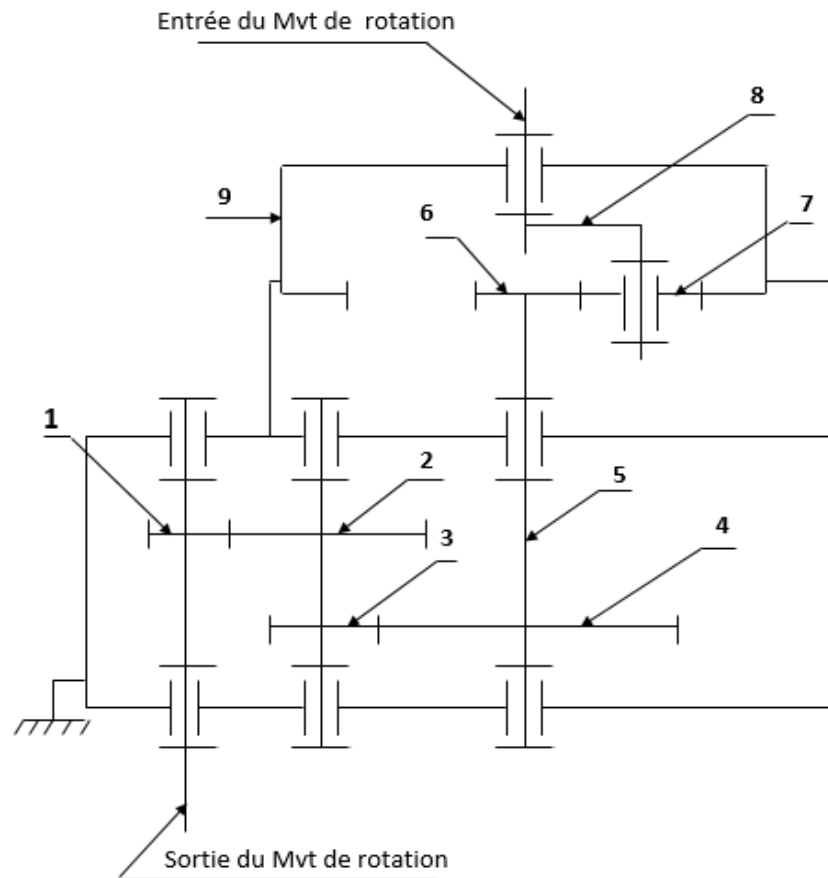


Figure 14:Schéma cinématique du multiplicateur BROOK HANSEN

9	01	Couronne dentée (Z 75)	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
8	01	Porte satellite	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
7	03	Satellite	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
6	01	Planétaire	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
5	01	Arbre creux PV***	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
4	01	Roue dentée PV***	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
3	01	Pignon arbré MV**	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
2	01	Roue dentée MV**	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
1	01	Pignon arbré GV*	18 Cr Mo Ni 17-6	Trempe
Rp	Nb	Désignation	Matière	Observation

Tableau 2 : Nomenclature du multiplicateur



- * : Grande vitesse
- ** : Moyenne vitesse
- *** : Petite vitesse

Dessin et caractéristique des composants du multiplicateur (voir annexe C).

1.7.3 Objectif du projet

Les réducteurs sont parmi les plus anciens et plus répandus des équipements de production ainsi son présent dans tous les processus critiques de l'industrie, comme élément qui engendre la plus grande part de valeur ajoutée par le processus de production, toute amélioration même très petite sera significative et influencera d'une façon remarquable les performances du système.

Au niveau de la zone de production, nous nous retrouvons toujours avec des arrêts de production dont la grande partie est induite par des défaillances des réducteurs. Leur défaillance engendre fréquemment un arrêt de l'ensemble du processus ainsi, il est important, afin d'augmenter la production, d'améliorer la disponibilité de ce dernier, ce qui mène vers la nécessité de poser une démarche rigoureuse et structurée visant l'amélioration de maintenance de ce dernier et donc d'augmenter sa disponibilité et sa fiabilité.

1.7.4 Méthodologie du travail

Comme l'indique l'énoncé du sujet, l'objectif consiste à améliorer la maintenance des réducteurs, afin de répondre correctement à la problématique posée par le cahier des charges, nous avons adopté une méthodologie de travail structurée. En effet, en première étape nous procéderons par une analyse détaillée de la situation en se basant sur les informations collectées à travers les techniciens expérimentés. La synthèse de cette analyse sera la base de toute action d'amélioration. Et finalement on réalisera l'implantation de ces actions.

1.7.5 Planification du travail :

Cette étape est aussi particulièrement importante non seulement parce qu'elle fait partie des objectifs, mais aussi, car elle structure par avance notre travail et nous fixe des dates butoirs qui motivent mes recherches. Cette planification a été formalisée par le diagramme Gantt présenté en annexe A.



1.7.6 Énoncé du sujet et cadrage du problème :

L'énoncé du sujet de stage est : l'amélioration curative de la maintenance des réducteurs. L'utilisation de l'outil **QOQCP** permettra de mieux appréhender la problématique.

- **Qui ?** Le service maintenance de la Société SMEM.
- **Quoi ?** Amélioration de la maintenance des réducteurs.
- **Où ?** Dans la zone de production.
- **Quand ?** Durant la période du projet de fin d'études.
- **Comment ?** Proposer des solutions et par la suite implanter des plans d'actions sur terrain.
- **Pourquoi ?** Pour améliorer la disponibilité et la fiabilité des réducteurs.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise où nous avons réalisé le stage, la problématique posée, les éléments clés du sujet et la méthodologie suivie durant l'étude. Cela nous a amené à l'objectif prédéfini par le sujet du projet, qui est l'amélioration de la maintenance des réducteurs. Dans cet objectif, nous commençons par une analyse de l'existant qui sera l'objet du chapitre suivant.



Chapitre II: Analyse de l'existant

Résumé

Le présent chapitre contient deux volets, le premier c'est une présentation de la politique de la maintenance adoptée par l'entreprise, et le deuxième contient une analyse cause à effet (Ishikawa) et les défauts recensés.



II.1 **Présentation de la fonction maintenance de l'entreprise**

II.1.1 **Rappel succinct sur la fonction maintenance de l'entreprise**

Selon la norme AFNOR X60-011, la maintenance est « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management ».

L'objectif de la maintenance ne se limite pas au maintien ou au rétablissement de l'état d'un produit, mais tient aussi en compte, la mise en œuvre des modifications et améliorations lorsque l'entretien s'avère inefficace pour assurer le service demandé.

II.1.2 **Types de la maintenance**

Contrairement à toute sorte de maintenance traditionnelle, que cela est :

- **Une maintenance corrective** dans laquelle nous attendons que l'équipement tombe en panne, puis nous le réparons. Dans ce cas de figure, nous profitons au maximum de la durée de vie des composants en oubliant les conséquences qui peuvent être engendrées par cette panne.
- **Une maintenance préventive** systématique dans laquelle nous entretenons suivant un planning. Ce dernier permet de réduire les arrêts imprévus en programmant des arrêts systématiques. Ceci engendre plusieurs pertes vu que nous ne profitons pas de la durée de vie des équipements, ceci d'une part. D'une autre part, une des pannes imprévues peut toujours se manifester, ceci engendre un correctif résiduel, Donc des coûts supplémentaires.
- **La maintenance conditionnelle** prévisionnelle permet à la fois d'étudier des tendances pour estimer la date présumée d'une défaillance, et d'éviter les pannes imprévues, elle permet aussi de détecter les défauts et leurs degrés de gravité. Donc, grâce à cette politique de maintenance, nous pouvons déduire l'instant précis de la défaillance. Ainsi, nous allons profiter de la durée de vie des composants et éviter les arrêts imprévus. Par conséquent, l'entreprise génère des gains en terme de :
 - Temps d'arrêt : réduis seulement au temps de réparation technique.
 - Coût des pièces de rechange : exploitation des pièces jusqu'à la fin de leur durée de vie.

- Coût de main-d'œuvre : puisque nous connaissons la source exacte de défaillance, nous affectons la tâche de réparation ou de changement à la personne la plus qualifiée.

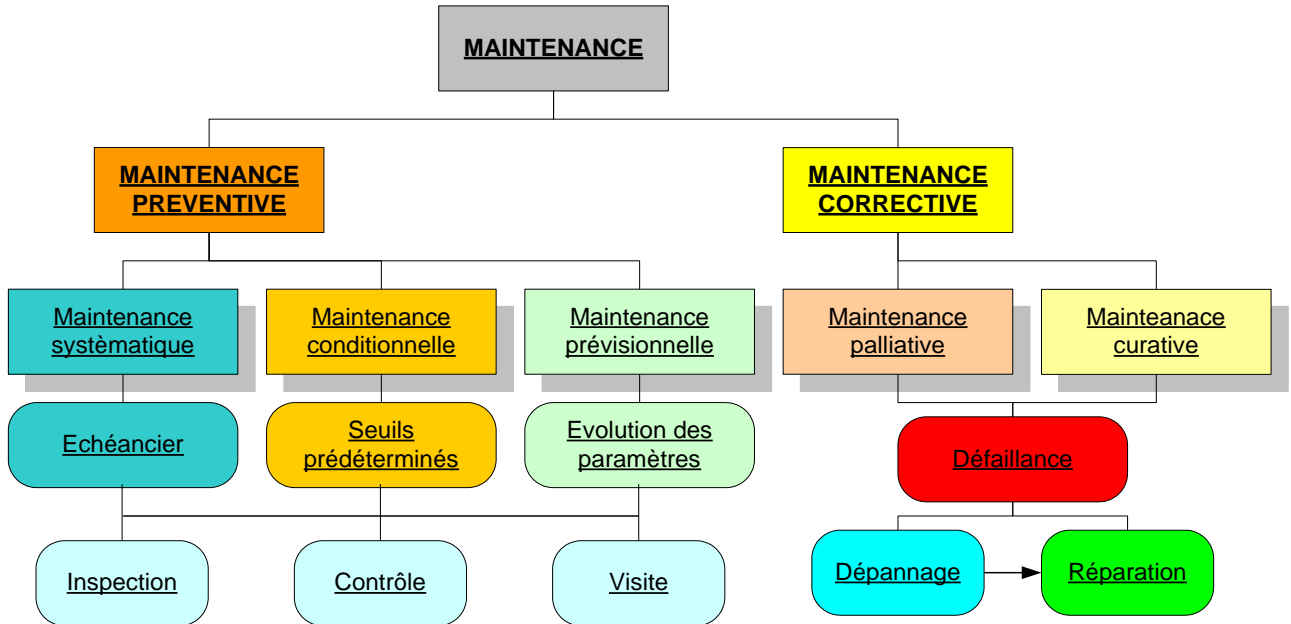


Figure 15 : Les types de la maintenance industrielle

II.1.3 Présentation de la maintenance des réducteurs au sein de SMEM

À SMEM, on retrouve un département maintenance dépendant aux autres départements constitutifs de l'entreprise. La politique adoptée est préventive complétée par la maintenance curative.

- **Mode de procédé**

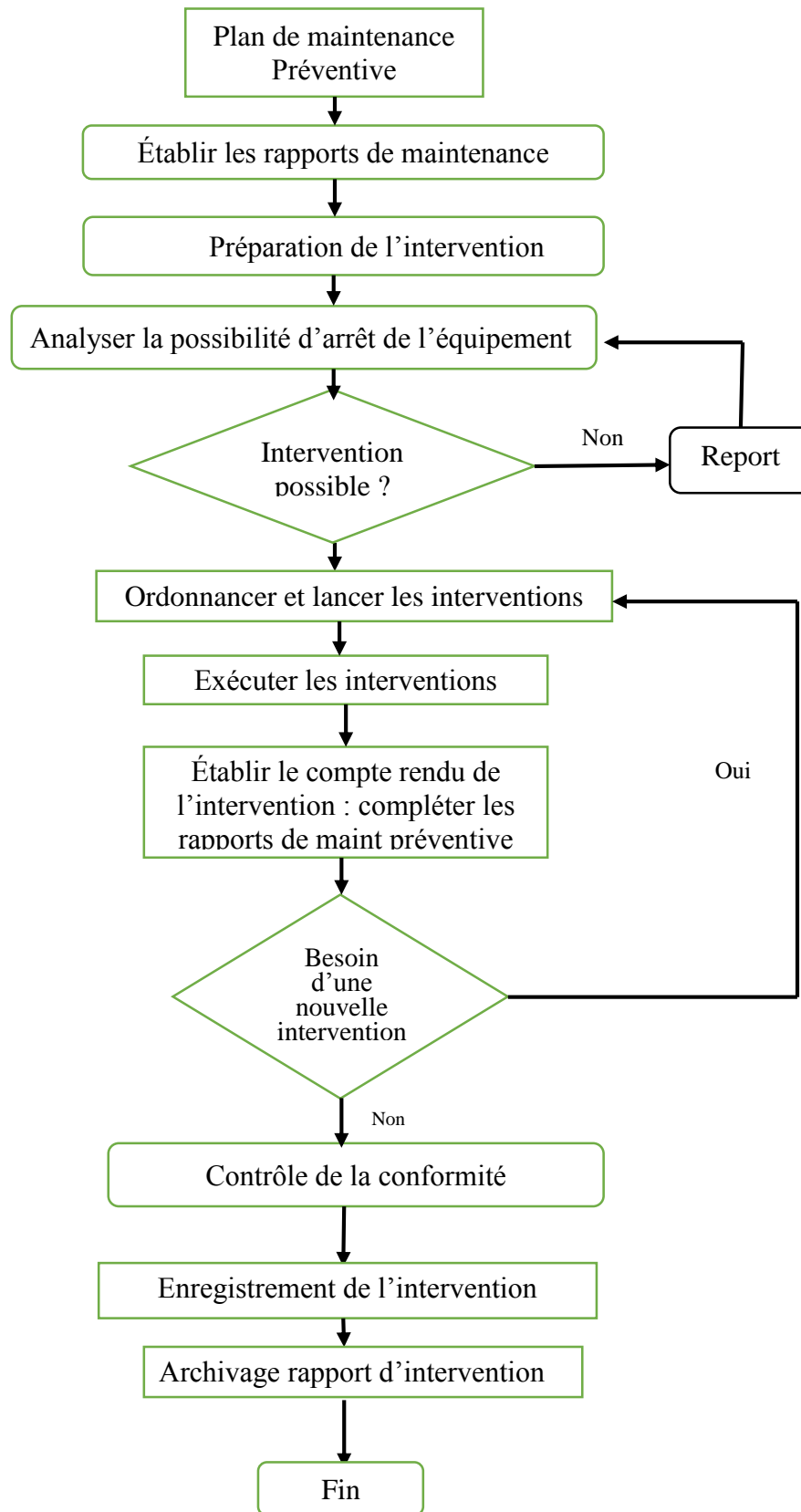


Figure 16: mode de procédé pour la maintenance préventive des réducteurs

• **La maintenance curative**

Le tableau donne la procédure de la maintenance curative accompagnée d'une description des actions à faire au niveau de chaque étape.

Le mode de procédé	description
<pre> graph TD A[Déclaration de la défaillance] --> B[Diagnostic de la défaillance] B --> C[Exécuter l'intervention] C --> D[Établir le compte rendu de l'intervention : compléter renseignements dans le CI] D --> E{Besoin de nouvelle intervention} E --> F[Procédure de maintenance préventive] F --> A E -- Non --> G[Contrôle de la conformité de l'intervention] G --> H[Enregistrement de CI] H --> I[Archivage de CI] </pre>	<p>Lors d'une défaillance dans un équipement utilisé, trouvée lors de la vérification journalière ou suite à une demande par téléphone</p> <p>Diagnostic de la défaillance</p> <p>Exécution de l'intervention (réparation de la panne sur l'équipement)</p> <p>Établir le compte rendu de l'intervention et compléter les renseignements de la fiche d'œuvre</p> <p>En cas de panne répétitive, on procède à son ajout au niveau du plan préventif sinon on contrôle la conformité de l'intervention</p> <p>Si l'intervention est conforme, on l'enregistre sur fiche d'œuvre</p> <p>contrôle des interventions</p> <p>Archivage des fiches d'œuvre</p>

Tableau 3 : le mode procédé de la maintenance curative sa description

II.2 Diagrammes Ishikawa

Le diagramme causes/effet (appelé aussi diagramme d'Ishikawa ou arête de poisson) se pratique en groupe de travail. Il consiste à classer par famille les causes susceptibles d'être à l'origine d'un problème afin de rechercher des solutions pertinentes.

Dans notre cas l'effet étudié est la défaillance des composants du multiplicateur. Après la réalisation d'un Brainstorming avec une équipe de techniciens, nous avons énuméré les causes possibles de cet effet en les organisant sous cinq catégories que le multiplicateur exige et qui sont Milieu, Main-d'œuvre, Matières, Moyens et Méthodes.

Le résultat obtenu est schématisé sur la figure 17 :

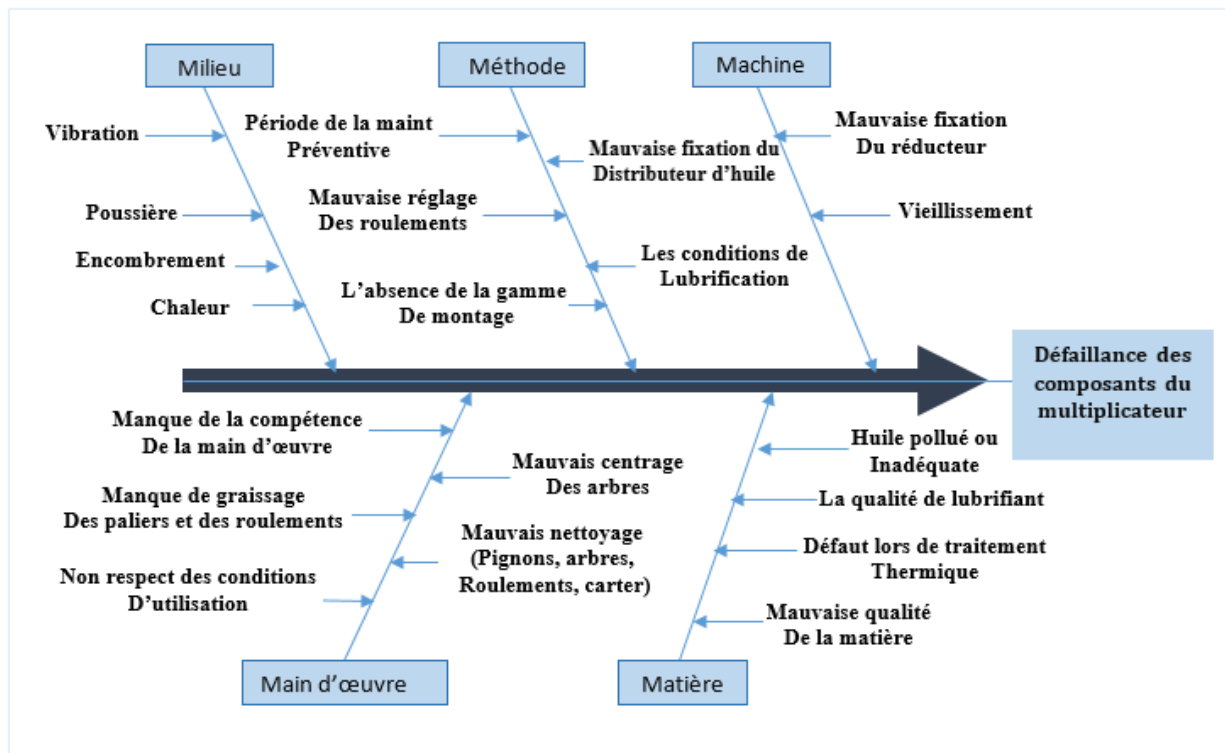


Figure 17: Diagramme d'Ishikawa de défaillance des composants du multiplicateur

II.3 Défauts recensés

Pendant le séjour que j'ai passé au sein du service maintenance. J'ai visité tous les ateliers concernés par l'usinage et le montage de réducteur et j'ai expertisé les défauts qui se produisent.

II.3.1 Défauts recensés sur la méthode de montage de roulement :

- Chauffage des roulements par des chalumeaux ce qui peut influencer sur les caractéristiques des roulements.



Figure 18: chauffage de roulement

- Le couple de serrage se fait arbitrairement
- Pas de vérification des jeux
- État de surface n'est pas propre ainsi que les roulements sont parfois rouillés

II.3.2 Défauts recensés sur le graissage et la lubrification :

- Les rainures et les trous de graissage n'ont aucune utilité, car le graissage se fait axialement
- La méthode de graissage se fait comme suit : l'opérateur remplit l'espace entre les paliers et le roulement jusqu'au que la graisse sort de l'autre côté puis le graissage se fait automatiquement après un certain temps, ils ne savent pas est-ce que la quantité envoyée est suffisante, et la période entre les deux graissages est longue ou pas ??
- le choix du lubrifiant et du système de graissage des engrenages se fait arbitrairement



II.4 Conclusion

Après avoir défini les causes possibles qui donnent comme effet défaillance des composants du multiplicateur, nous avons enquêté sur la validité de ces causes. C'est ainsi que nous avons éliminé un certain nombre de causes, car elles n'ont aucune influence sur le problème. On doit déterminer les causes les plus critiques, on va utiliser le vote pondéré, chaque technicien choisit les causes les plus importantes à ses yeux pour les classes par ordre d'importance, et après discussion avec les personnes concernées, on a trouvé que les causes racines sont les suivantes :

- ✓ Manque de la compétence de la main d'œuvre.
- ✓ Les conditions de lubrification et la qualité de lubrifiant et la lubrification mal choisie.
- ✓ Non-respect des conditions d'utilisation du réducteur.
- ✓ Non-respect de Période de la maintenance préventive.

Finalement, nous avons maintenant déterminé les causes racines et les défauts recensés.



Chapitre III : Étude technique

Résumé

Ce chapitre fait l'objet d'une étude technique des multiplicateurs. Ainsi, on a ciblé deux critères afin d'améliorer la fiabilité et la disponibilité.

- ✓ Analyse des modes de dégradation.
- ✓ Analyse du pignon arbré.

Pour le premier critère, on a établi un outil d'analyse des défaillances représenté par analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité.

III.1 les modes de dégradation du multiplicateur

III.1.1 Les types de dégradation

- **Fatigue** : c'est quand une pièce a atteint sa limite d'endurance. Il s'agit d'efforts (vibrations) alternés et répétés entraînant une rupture, même en dessous de la limite élastique du matériau.
- **Fatigue thermique** : c'est une fatigue engendrée par des contraintes thermiques. Elle entraîne dilatations, déformations plastiques, brûlures ou fusion.



Figure 19 : Fatigue

- **Surcharge** : dépassement de la charge nominale entraînant une déformation permanente ou une rupture (traction, flexion, etc.). Elle résulte généralement d'une fatigue des dents causée par les efforts continuellement répétés après un temps de fonctionnement plus ou moins long. La rupture peut aussi être causée par un fragment de métal introduit accidentellement dans la zone d'engrènement. Elle peut aussi résulter d'une trempe défectueuse, d'une mauvaise répartition des charges, etc.



Figure 20 : La surcharge

- **L'écaillage** : enlèvement de grosses écailles de matière. Il apparaît sur les dentures cémentées ou trempées, à l'intérieur du métal, entre la partie traitée et non traitée. Les causes possibles sont une épaisseur insuffisante de la couche traitée ou une transition trop brusque de la dureté entre couche traitée et non traitée.



Figure 21 : L'écaillage

- **Grippage** : soudure de larges zones de surface de contact, avec arrachement massif de matière. Il résulte de la rupture du film de lubrifiant dans la zone d'engrènement. Il se produit lorsque les charges et les vitesses de glissement sont élevées ou lorsque la lubrification est mal choisie. Conditions de lubrification, la qualité du lubrifiant, sa pollution ou l'efficacité du système de refroidissement.

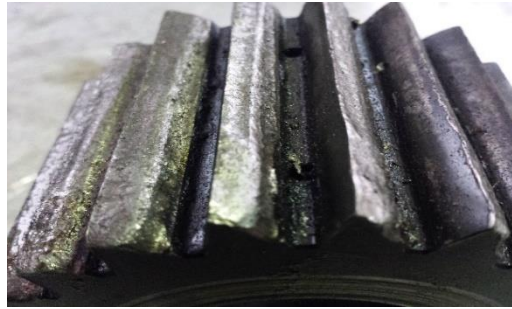

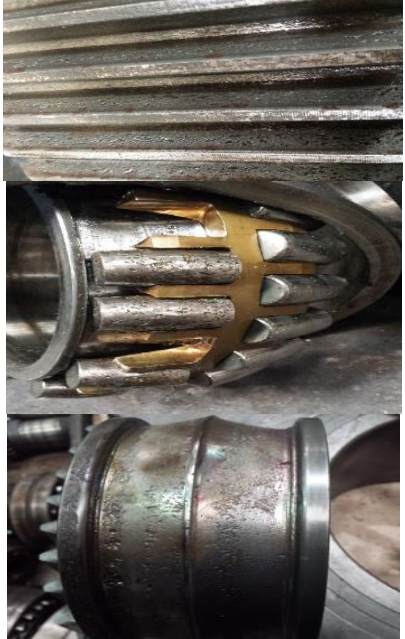



Figure 22:grippage

III.1.2 Les défaillances

D'après le département de maintenance, on a pu énumérer les défaillances du réducteur. Le Tableau 4 décrit l'ensemble des défaillances.

défaillance	Image/description
<ul style="list-style-type: none">▪ Fatigue	
<ul style="list-style-type: none">▪ L'écaillage	
<ul style="list-style-type: none">▪ grippage	

	
▪ La rupture de la bague extérieure	
▪ La rupture en Cisaillement du pignon arbré MV	
▪ matage	

Tableau 4 : les défaillances du multiplicateur

III.2 Présentation de l'outil AMDEC :

III.2.1 Principe de base

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail. Cette méthode fait ressortir les actions correctives à mettre en place.



III.2.2 But de l'analyse AMDEC

L'objectif principal de cette étude est l'identification des différents modes de défaillances avec leurs effets et leurs criticités qui peuvent subvenir au niveau des différents composants de réducteur et par la suite ressortir les actions correctives correspondantes.

III.2.3 Analyse AMDEC

Elle consiste à déterminer, pour un système, les modes de défaillance potentiels ou qui se sont déjà produits, à déterminer les causes, les effets ainsi que la criticité selon des critères préalablement établis. Elle consiste ensuite à déterminer les actions aussi bien préventives que correctives à adopter pour ces modes de défaillances.

La Criticité est en fait **la gravité des conséquences** de la défaillance, déterminée par :

$$C = D \times G \times F$$

- ✓ **F** : Fréquence d'apparition de la défaillance
 - ✓ **D** : Fréquence de non-détection de la défaillance
 - ✓ **G** : Gravité des effets de la défaillance
- Chaque critère comporte différents niveaux de gravité affectés d'une note ;
 - L'évaluation de la criticité permettra de hiérarchiser les modes de défaillance et de déterminer les points les plus critiques sur lesquels on doit focaliser l'attention et déterminer les actions préventives et correctives à mener pour les fiabiliser.

III.2.4 Application de l'AMDEC au multiplicateur

Afin de connaître les principaux organes qui constituent un multiplicateur et les types des pannes affectant ces organes, ainsi que les actions correctives à mener afin de minimiser la fréquence des pannes, nous allons appliquer la méthode AMDEC.

Pour appliquer la méthode d'AMDEC on a recensé l'historique des pannes.



Indice de fréquence	Critère F
1	plus d'une fois par 2 ans
2	plus d'une fois par 1 an
3	plus d'une fois par 6mois
4	plus d'une fois par 3mois

Indice de gravité	Critère G
1	Temps total d'arrêt inférieur à 12 heures
2	Temps total d'arrêt inférieur à 24 heures
3	Temps total d'arrêt inférieur à 3 jours
4	Temps total d'arrêt supérieur à 3 jours

Indice de la non-détection	Critère D
1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance
2	Il y a un risque que la détection ne soit pas efficace
3	le moyen de détection n'est pas fiable
4	Il n'y a aucun moyen de détection



Date de l'analyse	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement				page :
	Système :		Sous — Ensemble :							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	
pignon	transmettre un mouvement de rotation	la dégradation des dents par rupture	<ul style="list-style-type: none"> Fatigue Trempe défectueuse Mauvaise répartition des charges 	Bruit et vibration	Analyse Vibratoire	2	4	1	8	<ul style="list-style-type: none"> Contrôler la dureté avant le montage
pignon	transmettre un mouvement de rotation	L'écaillage	<ul style="list-style-type: none"> une épaisseur insuffisante de la couche traitée (mauvaise trempe superficielle) 	Vibration	Analyse Vibratoire	1	4	1	4	<ul style="list-style-type: none"> Vérification de l'épaisseur de la couche traitée avant le montage
pignon	transmettre un mouvement de rotation	Grippage	<ul style="list-style-type: none"> Conditions de lubrification, la qualité du lubrifiant, sa pollution ou l'efficacité du système de refroidissement 	Bruit et Vibration et température accrue au niveau des paliers	Analyse Vibratoire et analyse thermique	4	4	1	16	<ul style="list-style-type: none"> Contrôler la température de l'huile: Température max du bain d'huile 55°C Contrôler le niveau d'huile



			<ul style="list-style-type: none"> ▪ mauvais lubrification 							<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réaliser premier changement d'huile ▪ vidange chaque 2 ans ▪ Injecter de la graisse dans les paliers chaque 800 h lorsque le réducteur est encore chaud ▪ Contrôler la teneur d'eau de l'huile chaque année ▪ Nettoyage du filtre à huile chaque vidange
Pignon arbré MV	Transmission du mouvement	La rupture en cisaillement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rupture par fatigue de l'arbre <p>Sollicitation en flexion rotative</p>	Arrêt du réducteur	visuel	2	4	1	8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier l'absence de détérioration après un incident
Roulement	Assure le Guidage en rotation	Mauvais guidage de l'arbre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grippage ou du fatigue roulement 	Réduction de la durée de vie des roulements Détérioration du système d'entraînement	Analyse vibratoire	4	4	1	16	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôler le système de graissage. ▪ Respecter les tolérances de montage des roulements.



										<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôle régulier de l'alignement des arbres. ▪ Changement systématique des roulements.
Roulement	Assure le Guidage en rotation	La rupture de la bague extérieure	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mauvais alignement ▪ corps étrange entré ▪ outillage inadapté 	vibration	Analyse vibratoire	2	4	1	8	<ul style="list-style-type: none"> 1— Arrêter la machine 2— Remplacer roulement complet 3— chercher l'origine de la surcharge 4— vérifier l'alignement <p style="color: red;">Désalignement axial=+-2,5 mm</p> <p style="color: red;">Désalignement radial=1,9 mm</p>
Arbre	Transmission du mouvement	Mauvaise transmission	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Torsion de l'arbre ▪ Désalignement d'arbre 	Vibration et détérioration rapide du système d'entraînement.	Analyse vibratoire	1	4	1	4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôle régulier de la géométrie d'arbre (verticalité + centralité) ▪ Contrôle d'alignement



roulement	Assure le guidage en rotation	Déformation plastique	▪ Précontrainte excessive (non-respect des instructions de montage et de manutention	Défaut d'entraînement de l'arbre	Analyse vibratoire	1	4	1	4	▪ Expertise des roulements et changements de ceux qui ont dépassé leurs durées de vie
-----------	-------------------------------	-----------------------	--	----------------------------------	--------------------	---	---	---	---	---



Et d'après l'étude AMDEC, nous avons pu établir le tableau des défaillances les plus critiques relatives au multiplicateur.

Les défaillances	criticité
Grippage des pignons	16
Grippage ou fatigue des roulements	16
La rupture de la bague extérieure du roulement	8
La rupture en cisaillement du pignon arbré	8
la dégradation des dents par rupture	8
Déformation plastique	4
L'écaillage du pignon	4

Tableau 5 : La criticité des défaillances du multiplicateur

III.3 Analyse du pignon arbré MV

III.3.1 Modélisation par élément finis

III.3.1.1 Caractéristiques du matériau

Le matériau est défini comme suit :

Matériau	18CrNiMo7-6
Module d'Young	$2.1 \cdot 10^5$ MPa
Coefficient de Poisson	0.28
Densité	Masse volumique : 7800 kg/m ³
Limite élastique	785.593 MPa

Tableau 6 : Caractéristiques du matériau

On réalise une simulation par la méthode des éléments finis en utilisant le module éléments finis de Solidworks 2013. Cette simulation a pour but la détermination de la déformation de la concentration des contraintes.

III.3.1.2 Conditions aux limites :

- **Les charges appliqués dans un engrenage cylindrique hélicoïdale :**

Une force normale F_n apparaît au contact de deux dents. Celle-ci peut être décomposée en trois composantes selon trois directions orthogonales : la force tangentielle F_t , la force radiale F_r et la force axiale F_a conformément à la figure. On calcule les trois composantes sur le cercle primitif de la roue.

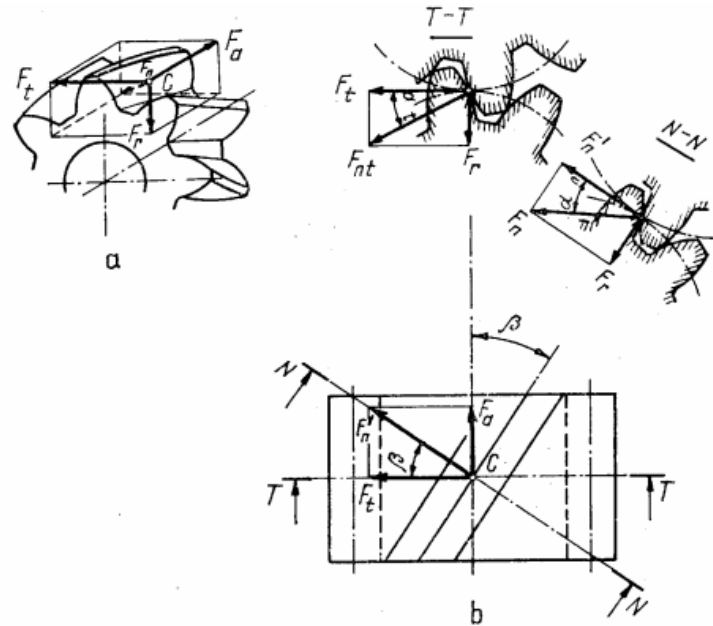


Figure 23 : Forces dans un engrenage cylindrique hélicoïdal.

On néglige les pertes de puissance dans les engrenages, les forces de frottements étant faibles. Par conséquent, on calcule les forces actionnant le pignon en utilisant le moment de torsion, et les forces qui agissent sur la roue menée sont prises égales en module et de sens contraire (conformément au principe de l'action et de la réaction).

Les relations de calcul des forces dans un engrenage cylindrique hélicoïdal sont :

- Pour les forces tangentielles: $F_{t1} = F_{t2} = \frac{2M_{t1}}{d_1}$
- Pour les forces radiales: $F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = F_{t1} \tan \alpha_t$
- Pour les forces axiales: $F_{a1} = F_{a2} = F_{t1} \tan \beta$
- Pour la force normale: $F_n = \sqrt{F_{t1}^2 + F_{a1}^2 + F_{r1}^2} = \frac{F_{t1}}{\cos \alpha_n \cos \beta}$

	Diamètre primitif d (mm)	Moment de torsion M (N. m)	L'angle de pression	L'angle d'hélice	La force tangentielle (kN)	La force radiale (kN)	La force axiale (KN)	La force normale (kN)
Pignon arbré VI	155.86	11063.169	20°	11°	141.962	52.62	27.594	153.901

Figure 24 : les caractéristiques du pignon arbré

- Pour les charges des roulements aux extrémités du pignon arbré :

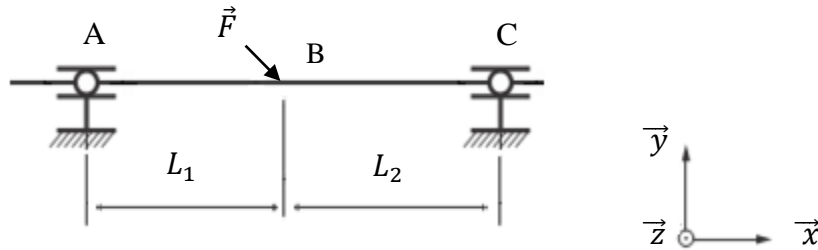


Figure 25:Schématisation de pignon arbré MV

$$L_1 = 301,5 \text{ mm}$$

$$L_2 = 231 \text{ mm}$$

$$\{\tau_A\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ Y_A \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\{\tau_B\} = \begin{Bmatrix} X_B \\ Y_B \\ 0 \\ Z_B \end{Bmatrix}$$

$$\{\tau_C\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ Y_C \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

- Appliquant le principe fondamental de la statique :

$$Y_A + Y_B + Y_C = 0$$

$$\Sigma \vec{M} = \vec{0}$$

$$\begin{vmatrix} 301.5 & X_B \\ 0 & Y_B \\ 0 & Z_B \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 532.5 & 0 \\ 0 & Y_C \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 0 \\ -301.5 \times Z_B \\ 301.5 \times Y_B \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 532.5 \times Y_C \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Donc $|Y_C = -0.566 \times Y_B$ avec $|Y_B = F_{r1} = -52.62 \text{ KN}$

D'où $\begin{cases} Y_C = 29.78 \text{ KN} \\ Y_A = 22.84 \text{ KN} \end{cases}$

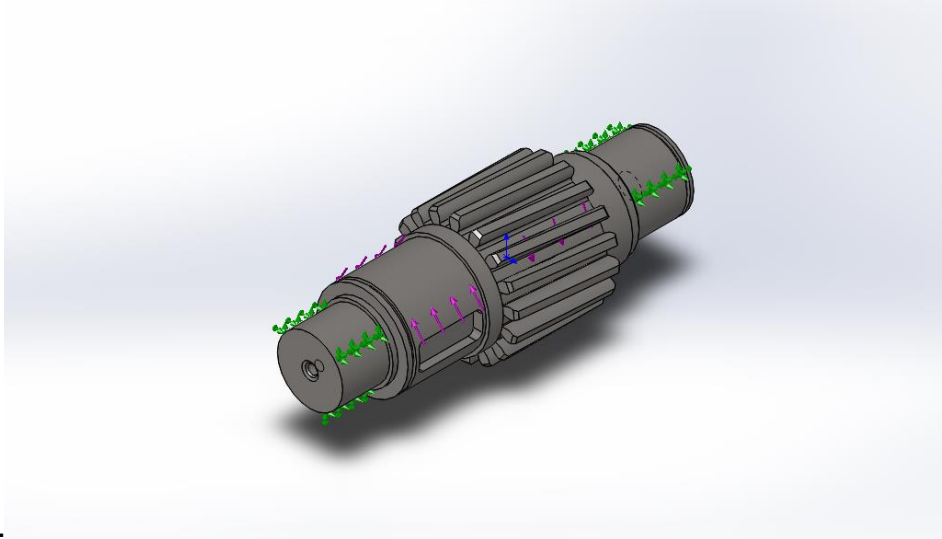


Figure 26 : Conditions aux limites et chargement

III.3.1.3 Résultat de la simulation :

- Contraintes équivalentes de Von mises :

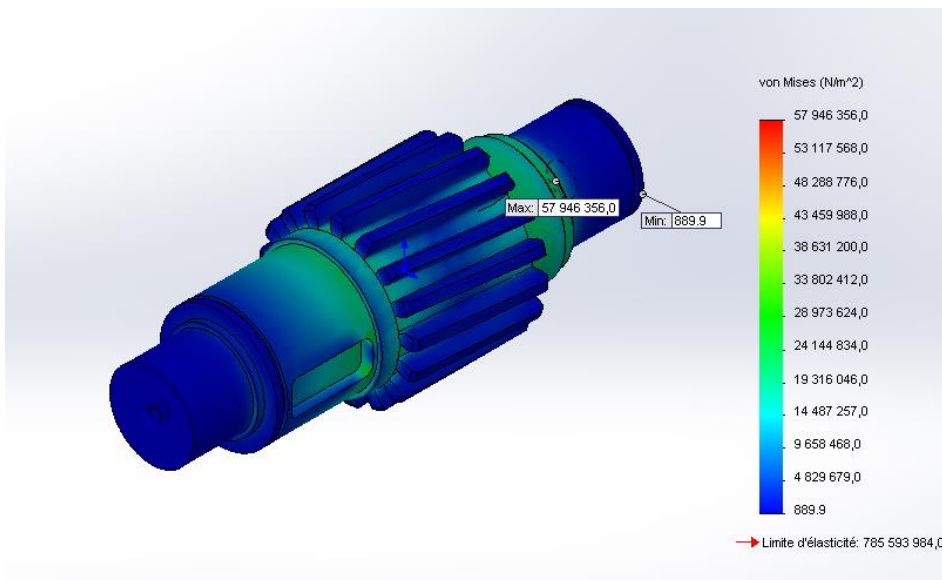


Figure 27 : Contraintes équivalentes de Von Mises sur le pignon arbré MV

La contrainte maximale de Von Mises est de l'ordre de 57.946 MPa, la condition de résistance s'écrit : $\sigma_{eq} \leq R_{pe}$.

$\sigma_{max} = 57.946 \text{ Mpa} < \frac{\sigma_e}{s} = \frac{785.593 \text{ MPa}}{s}$ Avec $s=13$ alors la condition de résistance est vérifiée.

- **Déformation :**

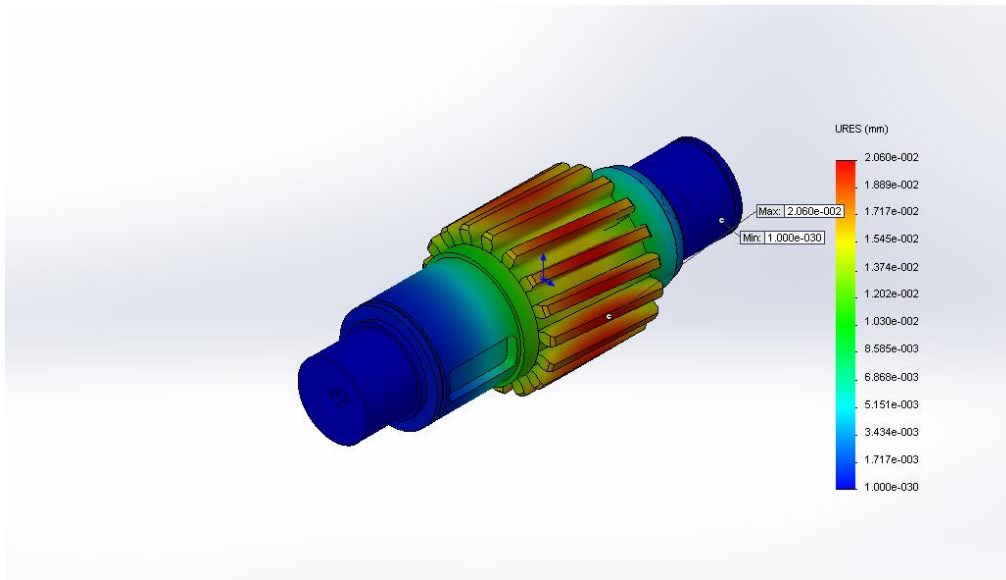


Figure 28: Déplacements résultants

La déformation maximale est de l'ordre de $2,060.10^{-2}$ mm, cette déformation n'influe en aucun cas sur le fonctionnement de rotation du pignon arbré.

III.3.2 *Interprétation et Conclusion :*

Pour les éléments tournants, théoriquement si l'arbre est bien guidé, il n'y a pas de dégradation de matériau. La simulation par solideworks montre qu'il n'y a pas de défaillance. Mais en réalité et durant le fonctionnement du multiplicateur, les problèmes de vibration qui apparaissent avec le temps, provoque la dégradation du matériau du pignon arbré.

III.4 **CONCLUSION**

Après avoir effectué une analyse générale de l'existant dans le chapitre précédent, nous avons envisagé d'orienter nos plans d'action vers les défauts recensés qui représentent le plus critique en terme de dégradation des composants de multiplicateur.



Chapitre IV : les solutions proposées

Résumé

D'après la détermination des causes et les causes racines du problème et le recensement de défauts, on va essayer maintenant de trouver des solutions optimales qui répondent aux exigences de notre cahier des charges, et en prenant aussi en considération nos moyens. De nombreuses conceptions sont possibles, parmi les différentes configurations, nous notons dans ce rapport, celles qui nous parues les plus pertinentes.

IV.1 Montage des roulements :

On a vu que les montages des roulements, ils ont l'habitude de le faire seulement par chalumeau, cela produit une chauffe irrégulière et immesurable ce qui influence sur les caractéristiques des roulements donc on propose la méthode suivante.

IV.1.1 Montage à chaud

Le montage à chaud permet de dilater le roulement et de le monter sur son arbre sans effort. La température ne doit pas être trop élevée, de façon à ne pas modifier les caractéristiques de l'acier (maximum 130 °C) ou des composants internes du roulement.

D'autre part, elle doit être suffisante pour provoquer une dilatation convenable permettant une mise en place facile du roulement par annulation temporaire du serrage.

La température de chauffage est fonction d'une part de la dimension et d'autre part de l'ajustement et du matériau de la portée.

En règle générale, les valeurs de température suivantes peuvent être appliquées :	Diamètre d'alésage	Température de chauffage maxi
	jusqu'à 100 mm	+ 90°C
	de 100 à 150 mm	+120°C
	au-delà de 150 mm	+130°C

Figure 29 : Température de chauffage

▪ Conception et réalisation d'une table chauffante :

Conception d'une table chauffante permettant le chauffage des roulements.



Figure 30 : Table chauffante

Le dessin de définition de cette table est en annexe B

Remarque : Éviter le contact direct du roulement avec la plaque au moyen d'une cale

IV.1.2 Chauffage par induction avec les appareils

Le chauffage par induction est le mode de mise en Température le plus rationnel et le plus sûr :

- **Sécurité de l'opérateur :**

Seule la pièce à chauffer subit une élévation de température, ce qui facilite la manipulation et réduit le risque de brûlure.

- **Contrôle de la température :**

La température est contrôlée par une sonde intégrée, les qualités initiales du roulement sont ainsi totalement sauvegardées.

Démagnétisation en fin de cycle : Une démagnétisation automatique est pilotée par l'électronique de l'appareil.



Figure 31 : Chauffage par induction

IV.1.3 Refroidissement de l'arbre

Le montage peut aussi se faire à froid par contraction de l'arbre au moyen d'un bain d'azote liquide ($-170\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- **Méthode de montage de refroidissement :**

L'huile et le récipient doivent être propres. L'huile doit être fluide (huile F par exemple). Des températures localement plus élevées pouvant se produire dans le bain.



Figure 32 : Bain d'huile

IV.2 La lubrification

IV.2.1 lubrification des roulements

La lubrification a pour mission, en premier lieu, de former un film séparateur de haute capacité entre les pièces de roulement l'une sur l'autre, de telle sorte que le frottement et l'usure sont réduits à un minimum. Il doit, de plus, protéger le roulement contre la corrosion. En outre, les graisses lubrifiantes contribuent à l'étanchéité. Un système de circulation d'huile permet d'évacuer des calories.

Les constructeurs de roulements ont établi des formules simples qui permettant de calculer, avec une bonne approximation, la quantité de graisse devant assurer une lubrification rationnelle

IV.2.2 Calcul des quantités de graisse et les fréquences de lubrification

La lubrification est un élément essentiel pour le bon fonctionnement du roulement. La lubrification a pour objectif d'interposer un film de lubrifiant entre les corps roulants et le chemin de roulement, afin d'éviter l'usure et le grippage des éléments en contact. Vu les contraintes de fonctionnement, la lubrification se fait par la graisse comme il est indiqué au paravent.

Les conditions de service générales sont comme suit :

- Température : Elle varie entre 55 à 60 C.
- La vitesse de la rotation : $\omega_1=163$ tr/min, $\omega_2=586$ tr/min, $\omega_2=1600$ tr/min
- Présence de la vibration.

Donc, pour le roulement, la lubrification se fait avec la graisse pour lutter contre les phénomènes citer au paravent.

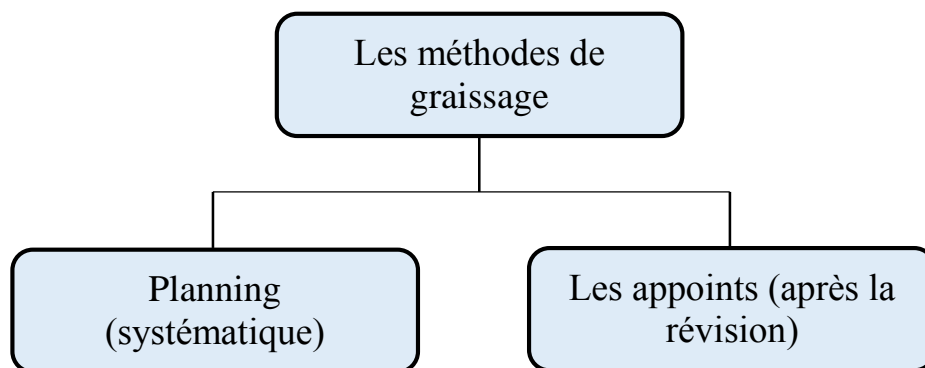


Figure 33 : Les méthodes de graissage



- Graissage initial selon le type de roulement ;
- Graissage d'appoint selon le type de roulement ; Quantité de graisse à ajouter, Fréquence de regraissage.

IV.2.2.1 Quantité de Graissage initial

Pour le graissage initial des roulements, la quantité de graisse nécessaire au bon fonctionnement est calculée par la formule suivante :

$$G=0.005 \times D \times B$$

- ✓ G : quantité de graisse en g ou cm³.
- ✓ D : Diamètre extérieur du roulement en mm
- ✓ B : Largeur du roulement en mm

En ce qui concerne les roulements montés sur le multiplicateur (voir annexe C), on a :

Portée N°	Diamètre D (mm)	Largeur B (mm)	Graisse G (cm ³)
1	200	53	53
2	240	80	96
3	280	88	123.2
4	200	56	56
5	200	41	41
6	215	73	78.475
7	320	60	96
8	460	56	128.8

Tableau 7 : La quantité de graisse

Remarque : la graisse occupe un volume de 20 % à 30 % du volume interne du roulement.

IV.2.2.2 Graissage d'appoint

L'appoint en graisse doit se faire selon un intervalle et une quantité déterminée

D'après les critères de bon fonctionnement, on a :

	La vitesse d'utilisation (tr/min)	La vitesse limite (tr/min)
L'arbre grand vitesse GV	1600	1650
L'arbre intermédiaire VI	586	604
L'arbre petit vitesse PV	163	169

Tableau 8 : Les vitesses des arbres

IV.2.2.3 Fréquence de regraissage :

À l'aide de ces deux critères, on peut calculer la fréquence de regraissage sous l'aide de ce graphe.



Tableau 9 : courbes pour définir les fréquences de graissage

Dans notre cas on a :

Portée N°	Les arbres	Vitesse d'utilisation W_u	Vitesse limite W_l	$\frac{W_u}{W_l}$	Les types des roulements	Fréquence de base F_b en h
1	GV	1600	1650	0.97	Roulement à billes	5000
2	VI	586	604	0.97	Roulement à rouleaux cylindriques	1700
3	PV	163	169	0.96	Roulement à rotule sur rouleaux	230
4	GV	1600	1650	0.97	Roulement à rouleaux coniques	600
5	GV	1600	1650	0.97	Roulement à rouleaux coniques	600
6	VI	586	604	0.97	Roulement à rouleaux cylindriques	1700
7	PV	163	169	0.96	Roulement à rotule sur rouleaux	230
8	PV	163	169	0.96	Roulement à billes	5100

Tableau 10: Fréquence de base

Cette fréquence de base doit être corrigée par les coefficients ci-dessous en fonction des conditions d'environnement particulières du mécanisme (poussière, humidité, chocs, vibrations, axe vertical, température de fonctionnement...).

Selon la relation : $F_c = F_b \times T_e \times T_a \times T_t$

Cette opération effectuée à l'aide du tableau suivant :

Coefficient	Conditions	Niveau	Valeur du coefficient		
T_e	Environnement - poussière - humidité - condensation	- moyen	0,8		
		- fort	0,5		
		- très fort	0,3		
T_a	Application - avec chocs - avec vibrations - avec arbre vertical	- moyen	0,8		
		- fort	0,5		
		- très fort	0,3		
T_t	Températures	75°C	0,8	avec graisse standard	0,8
		75° à 85°C	0,5		0,5
		85° à 120°C	0,3		0,5
		120° à 170°C			0,3	avec graisse haute température

Tableau 11: Valeurs des facteurs de correction



En ce qui concerne les facteurs d'environnement **Te**, de type d'application **Ta** et le facteur de température **Tt**, ils ont été choisis après un brainstorming avec les gens concernés dans le milieu de travail que ce soit le responsable maintenance.

- $T_e=0.8$ (poussière).
- $T_a=0.5$ (vibration).
- $T_t=0.8$ (55° à 60° avec graisse standard)

D'après les données qu'on a récoltées, on pourrait appliquer relation citée pour en tirer les fréquences de regraissage. On résume les résultats dans le tableau suivant :

Portée N°	Coefficient d'environnement T_e	Coefficient d'application T_a	Coefficient de température T_t	la fréquence de graissage corrigé F_c en h
1	0.8	0.5	0.8	1600
2	0.8	0.5	0.8	544
3	0.8	0.5	0.8	73.6
4	0.8	0.5	0.8	192
5	0.8	0.5	0.8	192
6	0.8	0.5	0.8	544
7	0.8	0.5	0.8	73.6
8	0.8	0.5	0.8	1632

Tableau 12: Fréquence de regraissage

IV.2.2.4 Le poids de la graisse à ajouter :

Après l'obtention de F_c , on utilise le tableau suivant pour déterminer le coefficient C , en fonction de F_c , pour obtenir le poids de la graisse à renouveler à l'aide de la formule suivante :

$$P=D \times B \times C$$

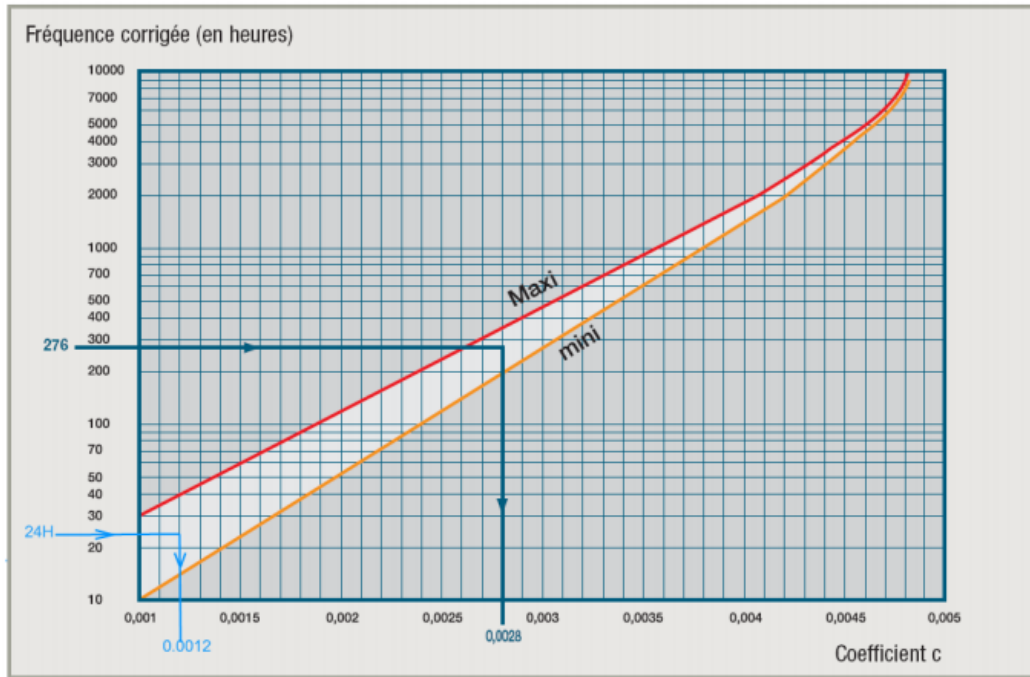


Figure 34 : Abaque déterminant le coefficient c

D'après le diagramme, on pourrait appliquer la relation citée pour en tirer le poids de la graisse à ajouter, on résume les résultats dans le tableau suivant :

Portée N°	Diamètre D (mm)	Largeur B (mm)	Coefficient C	Le poids de la graisse à ajouter P (g)
1	200	53	0.0039	41.34
2	240	80	0.0034	65.28
3	280	88	0.00195	48.048
4	200	56	0.0026	29.12
5	200	41	0.0026	21.32
6	215	73	0.0034	53.363
7	320	60	0.00195	37.44
8	460	56	0.00395	101.752

Figure 35 : quantité de graisse à renouveler

IV.2.2.5 Méthodes de graissage

- Toujours nettoyer le raccord de graissage avant de procéder ;
- Faire le graissage pendant que le roulement tourne ;

- Utiliser une graisse répondant aux spécifications du roulement.

IV.2.2.6 Choix du lubrifiant des roulements :

En général, on préfère la lubrification à la graisse à cause de la simplicité d'entretien et de l'étanchéité qu'elle assure, mais on doit prendre en considération la température du fonctionnement.

Type de graisse	Graisse au savon de lithium			Graisse au savon de sodium (graisse fibreuse)	Graisse au savon de calcium	Graisse au savon d'aluminium	Graisse sans savon	
Epaississant	Savon Li			Savon Na	Savon Ca+Na Savon Ca+Li	savon Al	Bentonite, gel de silice, urée, noir de carbone, etc.	
Huile de base	Minérale	Diester	Silicone	Minérale	Minérale	Minérale	Minérale	Synthétique
Point de goutte en C	170 ~ 190	170 ~ 190	200 ~ 250	150 ~ 180	150 ~ 180	70 ~ 90	250 or more	250 or more
Température d'utilisation en °C	-30 ~ +130	-50 ~ +130	-50 ~ +160	-20 ~ +130	-20 ~ +120	-10 ~ +80	-10 ~ +130	-50 ~ + 200
Caractéristiques mécaniques	Excellentes	Bonnes	Bonnes	Bonnes à excellentes	Bonnes à excellentes	Bonne à mauvaise	Bonnes	Bonnes
Résistance à la pression	Bonne	Bonne	Mauvaise	Bonne	Bonne à excellente	Bonne	Bonne	Bonne
Résistance à l'eau	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne à mauvaise	Bonne à mauvaise	Bonne	Bonne	Bonne
Exemples d'application	Champs d'applications très vastes. Pour roulements à rouleaux.	Températures très basses Bonne tenue à l'usure	Basses et hautes températures. Faible tenue du film d'huile. Ne convient pas pour charges élevées.	Certaines graisses émulsionnent avec l'eau. Tenue relativement bonne en présence de températures élevées.	Excellente résistance à l'eau et stabilité mécanique. Convient pour charges élevées.	Bonnes caractéristiques de viscosité. Convient pour roulements soumis à des oscillations.	Pour basses et hautes températures. Certaines graisses ont une excellente résistance à la chaleur, au froid, résistance chimique, etc. Fabrication de la graisse possible, avec une vaste gamme d'huiles de base. Pour roulements à rouleaux.	

Figure 36 : types de graisses et caractéristiques

D'après le tableau au-dessus, les graisses à base de savon de lithium ont une excellente résistance à la corrosion en mécanique, ils sont utilisables dans les grandes températures jusqu'à 130 °C, et ont une bonne résistance à la pression.

IV.2.3 Choix du lubrifiant et du système de graissage des engrenages

IV.2.3.1 Choix du lubrifiant

Le choix du lubrifiant pour les engrenages est réalisé en tenant compte des paramètres cinématiques, des paramètres de chargement des engrenages, du type d'engrenages et des caractéristiques des matériaux constitutifs. (Cette étude est basée sur la thèse de GINA STOICA)

Un paramètre important dans le choix du type de lubrifiant est la vitesse périphérique des roues dentées qui a la valeur suivante au niveau du cercle primitif :

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60000} \text{ (m/s)}$$

Où :



- d : est le diamètre du cercle primitif du pignon (en mm).
- n : est la vitesse du pignon (en tr/min).

On peut faire les recommandations suivantes au sujet du type du lubrifiant utilisé. Il dépend de la vitesse périphérique des roues dentées :

- pour $v = (0 \dots 4,0)$ m/s \Rightarrow graphite ou bisulfure de molybdène ;
- pour $v = (0 \dots 0,8)$ m/s \Rightarrow graisse ;
- pour $v = (0,8 \dots 4)$ m/s \Rightarrow graisse ou huile ;
- pour $v > 4$ m/s \Rightarrow huiles minérales ou synthétiques, additives ou non additives ;

On pourrait appliquer la relation citée pour en tirer la vitesse périphérique des pignons

	Diamètre primitif d (mm)	Vitesse de rotation n (tr/min)	Vitesse périphérique v (m/s)
Pignon arbré VI	155.86	586	4.77
Pignon arbré GV	137.49	1600	11.51
Pignon PV	559.275	163	4.77
Pignon VI	375.448	586	11.51

on résume les résultats dans le tableau suivant :

Tableau 13 : la vitesse périphérique des pignons

Lorsqu'on utilise de l'huile comme lubrifiant pour les engrenages cylindriques et coniques, on peut déterminer sa viscosité cinématique en utilisant le diagramme de Viscosité cinématique de l'huile pour les engrenages cylindriques et coniques.

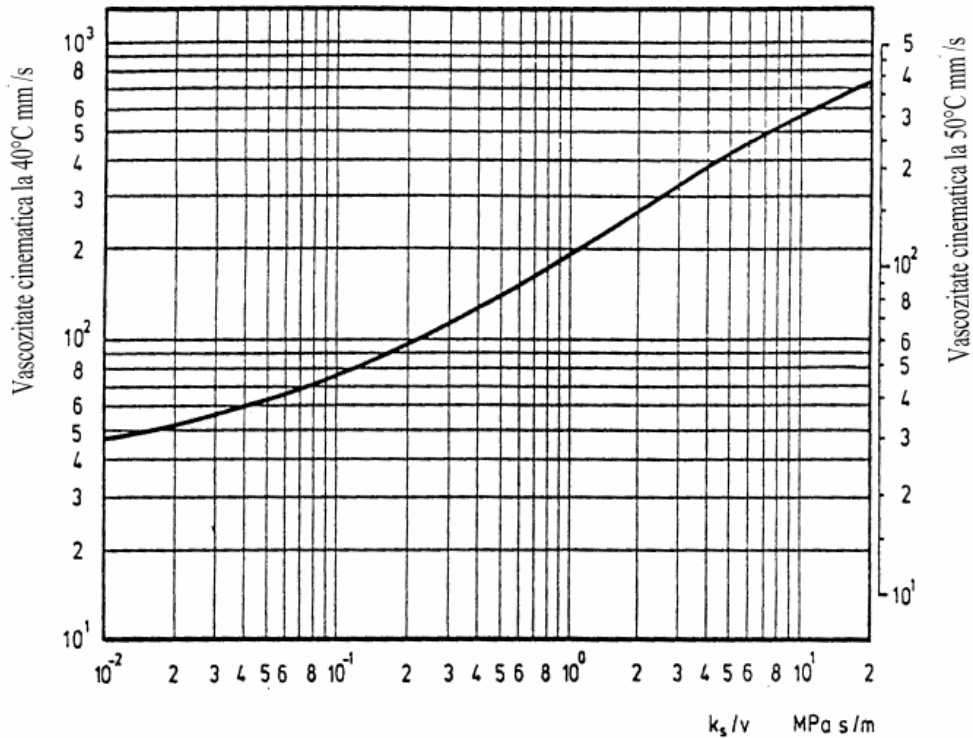


Figure 37 : Viscosité cinématique de l'huile pour les engrenages

En abscisse, on a le facteur de chargement – vitesse K_S/v (en MPa/m)

K_S est la pression Stribeck donnée par la relation :

$$K_S = \frac{F_t u + 1}{bd} Z_H^2 Z_\varepsilon^2 K_A$$

Où:

- $M_t = M_{tpignon}$ Moment de torsion à l'arbre du pignon
- K_A : Le facteur de la charge dynamique extérieur ou (facteur d'application). pour un réducteur d'utilisation générale, on considère que $K_A = 1$
- F_t : La force tangentielle au niveau de cercle primitif
- b : la largeur de la denture de la roue menée
- d : le diamètre primitif du pignon
- u : le rapport des nombres de dents. Pour les engrenages réducteurs où
- $u = \frac{Z_{grand}}{Z_{petit}}$ Rapport des nombres de dents ($u > 1$)
- β : l'angle d'inclinaison sur le cylindre primitif également appelé angle d'hélice



- a_0 : La distance de référence entre les axes ou l'entraxe
- Z_ε : Le facteur de la longueur de contact (ou facteur de conduite)
- Z_H : Le facteur de point de roulement
- m_n : Le module normal ou module réel
- m_t : Le module frontal ou module apparent $m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$
- α_n : L'angle de pression sur le cylindre primitif sur le plan normal $\alpha_n = \alpha_0 = 20^\circ$
(α_0 angle du profil de référence)
- α_t : L'angle de pression sur le cylindre primitif sur le plan frontal
- $\alpha_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \right)$
- α_{wt} : L'angle d'engrènement sur le plan frontal
- x : coefficient de déport
- v : est la vitesse tangentielle des roues au niveau des cercles primitifs (en m/s).

Pour calculer le moment de torsion à l'arbre, il faut calculer la puissance transmise par l'arbre, en partant de la puissance de sortie du réducteur P_3 (donnée initialement), on calcule les puissances reçues par chacun des arbres de la transmission:

✓ La puissance reçue par l'arbre 2:

$$P_2 = \frac{P_3}{\eta_a \eta_r} \text{ On a } P_3 = P_{GV} = 660 \text{KW}$$

- η_a : est le rendement de l'engrenage
- η_r : est le rendement d'une paire de roulements

Couples de frottement	rendement
Engrenage cylindrique	0.97... 0.99
Paire de roulements	0.99... 0.995

Tableau 14: Rendements de quelques couples de frottements

On applique la relation citée pour en tirer la puissance transmise par l'arbre. On résume les résultats dans le tableau suivant :

	η_a	η_r	La puissance (KW)
Pignon arbré GV			660
Pignon arbré VI	0.98	0.992	678.9
Arbre PV	0.98	0.992	698.34

Tableau 15 : la puissance transmise par l'arbre

✓ calcul de moment de torsion, on utilise la relation suivante :

$$P = \frac{2\pi \times C \times n}{60}$$

On résume les résultats dans le tableau suivant :

	Diamètre primitif d (mm)	Moment de torsion M (N. m)	La force tangentielle F (kN)
Pignon arbré VI	155.86	11 063.169	141.96
Pignon arbré GV	137.49	3939.08	57.3
Pignon PV	559.275	40 911.998	146.3
Pignon VI	375.448	11 063.169	58.93

Tableau 16 : les forces tangentielles des pignons

✓ le rapport des nombres de dents :

	Le nombre de dents Z	la largeur de la denture b (mm)	le rapport des nombres de dents u	angle d'hélice β
Pignon arbré VI	17	186	3.58	11°
Pignon arbré GV	26	130	2.73	19°
Pignon PV	61	158	3.58	11°
Pignon VI	71	108	2.73	19°

Tableau 17 : le rapport des nombres de dents

✓ On calcule l'angle d'engrènement sur le plan frontal α_{wt} (angle de pression sur le cylindre de roulement en plan frontal)

$$\alpha_{wt} = \cos^{-1} \left(\frac{a_0}{a_{norme}} \cos \alpha_t \right)$$

$$\alpha_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \right)$$



✓ $a_0 = \frac{d_1+d_2}{2}$ et pour a_{norme} on a le tableau suivant :

Valeurs nominales en mm

I	II
40	40
	45
50	50
	56
63	63
	71
80	80
	90
100	100
	112
125	125
	140
160	160
	180
200	200
	225
250	250
	280
315	315
	355

Tableau 18 : Distances entre les axes

Avec :

I - Valeurs recommandées

II - Valeurs admises

On résume les résultats dans le tableau suivant :



L'engrènement	l'entraxe a_0	a_{norme}	L'angle d'engrènement α_{wt}
Pignon arbré VI et Pignon PV	357.567	355	19.19°
Pignon arbré GV et Pignon VI	256.469	250	21.83°

Tableau 19 : L'angle d'engrènement des pignons

Pour calculer Z_ε il faut calculer ε_α et ε_β :

Où :

- ε_α : Le degré de recouvrement du profil en plan frontal (ou rapport de conduite apparent)
- ε_β : Le degré de recouvrement supplémentaire du à l'inclinaison des dents [avancement des flancs]. Il est également appelé rapport de recouvrement.

Pour l'engrenage cylindrique à denture hélicoïdale, le degré de recouvrement total [ou rapport total de conduite) ε_γ est donné par la relation :

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$$

Donc on utilise les relations suivantes :

$$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_a = \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}}{2\pi m_t \cos \alpha_t} + \frac{\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2}}{2\pi m_t \cos \alpha_t} - \frac{a \sin \alpha_{wt}}{\pi m_t \cos \alpha_t}$$

- $\varepsilon_\beta = \frac{b_2 \sin \beta}{\pi m_n}$
- m_t : Le module frontal ou module apparent $m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$
- d_a : Diamètre du cercle de tête $d_a = d + 2 m_n$
- d_b : Diamètre du cercle de base $d_b = d \cos \alpha_t$

	Diamètre primitif d (mm)	Le module normal m_n	α_t	Diamètre de tête d_a	Diamètre de base d_b
Pignon arbré VI	155.86	9	20.34	173.86	146.14
Pignon arbré GV	137.49	5	21.05	147.49	128.31
Pignon PV	559.275	9	20.34	577.275	524.4
Pignon VI	375.448	5	21.05	385.448	350.39

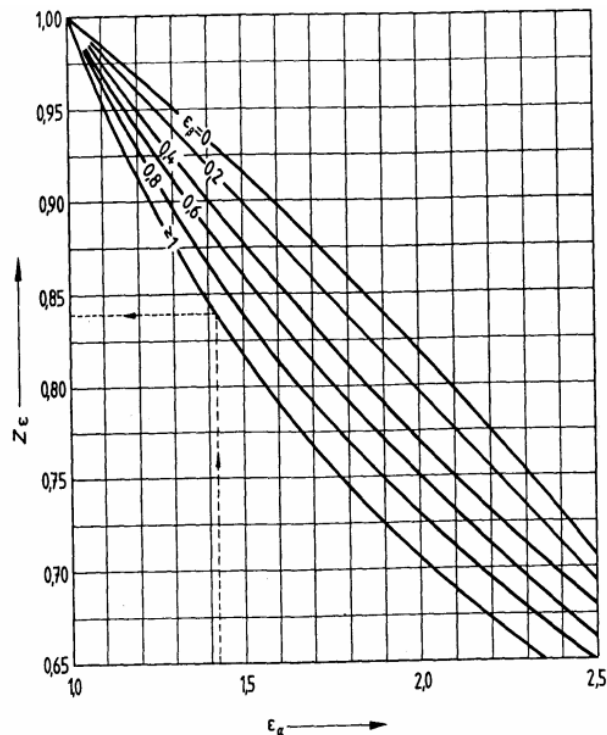
Tableau 20 : les paramètres des pignons

D'après les données qu'on a récoltées, on pourrait appliquer les relations citées pour calculer ε_α et ε_β . On résume les résultats dans les tableaux suivants :

L'engrènement	module apparent m_t	ε_α	ε_β
Pignon arbré VI et Pignon PV	9.168	1.86	1.25
Pignon arbré GV et Pignon VI	5.288	1.34	2.69

Tableau 21 : le degré de recouvrement et le rapport de recouvrement

Après l'obtention de ε_α et ε_β , on utilise la courbe suivante pour déterminer le facteur de la longueur de contact Z_ε


Figure 38:facteur de la longueur de contact Z_ε

Et pour le calcul du facteur de point de roulement Z_H on utilise la courbe suivante :

	Le coefficient de déport x	Le Nombre de dents Z	$\frac{x_1 + x_2}{Z_1 + Z_2}$
Pignon arbré VI	0.8	17	0.0195
Pignon arbré GV	0.521	26	0.01
Pignon PV	0.72	61	0.0195
Pignon VI	0.46	71	0.01

Tableau 22 : Le coefficient de déport des pignons

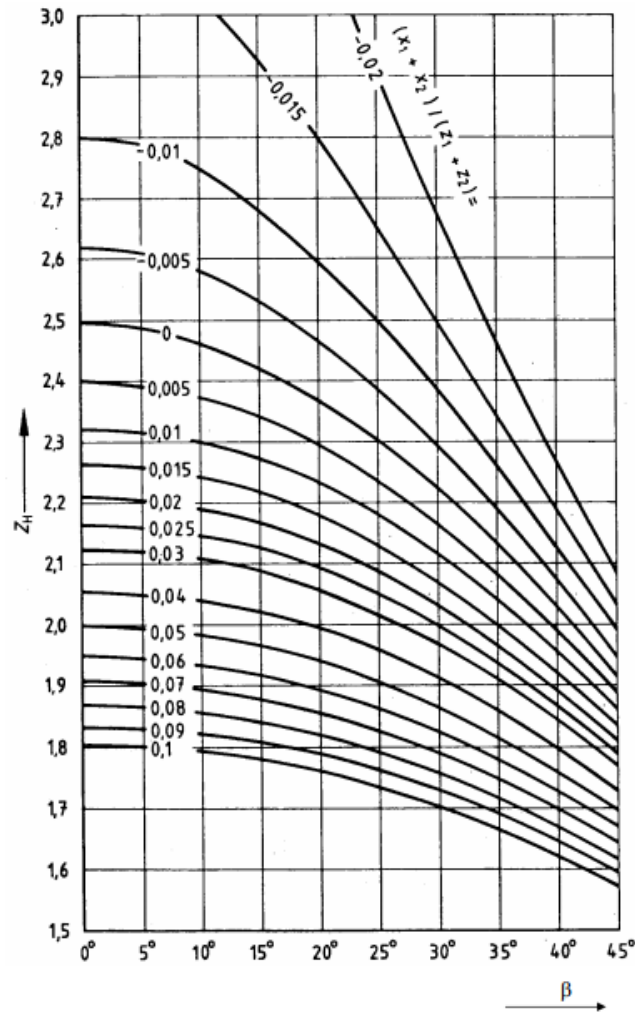


Figure 39: Facteur du point de roulement Z_H

À l'aide de ces deux graphes, on peut calculer les facteurs Z_ϵ et Z_H :

L'engrènement	Z_ϵ	Z_H
Pignon arbré VI et Pignon PV	0.73	2.18
Pignon arbré GV et Pignon VI	0.865	2.24

Tableau 23 : facteurs d'engrènement

Après l'obtention de facteurs Z_ε et Z_H , on utilise la relation suivante pour déterminer K_S :

$$K_S = \frac{Ft}{bd1} \frac{u+1}{u} Z_H^2 Z_\varepsilon^2 K_A$$

L'engrènement	Ft	b	$d1$	u	Z_H^2	Z_ε^2	K_S
Pignon arbré GV et pignon VI	57.3	130	137.49	2.73	2.24	0.865	16.44
Pignon PV et pignon arbre VI	146.3	158	559.275	3.58	2.18	0.73	5.36

Tableau 24 : calcul de la pression Stribeck

D'après le diagramme de la viscosité cinématique (figure 37) on trouve que :

L'engrènement	K_S	ν	K_S/ν	Viscosité cinématique
Pignon arbré VI et Pignon PV	5.36	4.77	1.12	40
Pignon arbré GV et Pignon VI	16.44	11.51	1.43	45

Tableau 25 : Viscosité cinématique du multiplicateur

Après le calcul de la viscosité, on peut choisir l'huile adéquate sur le tableau Représentant diverses huiles utilisées pour des transmissions industrielles.

Symbole de l'huile	Viscosité cinématique à 50°C ν_{50} (cSt)	Indice de viscosité IV	Température de solidification (°C)	Température de combustion (°C)
TIN 25 EP	21-26	60	-25	195
TIN 42 EP	37-45	60	-25	210
TIN 55 EP	50-57,5	60	-20	220
TIN 82 EP	82-90	60	-20	230
TIN 125 EP	130-140	60	-15	235
TIN 200 EP	200-220	70	-10	240
TIN 300 EP	230-300	70	0	255

Figure 40 : Huiles utilisées pour lubrifier les engrenages

Dans notre cas on utilise huile de symbole **TIN 42 EP**



IV.2.3.2 Choix du système de graissage des engrenages

Le choix du système de graissage, c'est-à-dire la manière d'apporter le lubrifiant dans la zone d'engrènement, est fait en fonction du type et de la géométrie des roues ainsi que de leur vitesse périphérique.

- **Le graissage par immersion (barbotage)** est utilisé pour des vitesses inférieures à 12 m/s. Pour un graissage efficace, la roue doit pénétrer dans l'huile. La profondeur d'immersion vaut au minimum un module et au maximum six module pour l'étage le plus rapide ; elle vaut un tiers du diamètre de la roue ou 100 mm pour l'étage le plus lent. Dans le cas d'un engrenage conique, la dent doit pénétrer dans l'huile sur toute sa largeur. La quantité d'huile sera prise égale à (7,0... 35,0) litres pour chaque kW transmis et l'intervalle de changement de l'huile est usuellement (3000... 2500) heures de fonctionnement.
- **Le graissage par circulation forcée d'huile** est utilisé pour des vitesses inférieures à 20 m/s. On pulvérise l'huile à l'aide de gicleurs dirigés vers la zone d'engrènement. Pour des vitesses supérieures à 20 m/s, on utilise plutôt des gicleurs placés avant la zone d'engrènement. L'intervalle de recirculation de l'huile est situé entre 0,5 et 2,5 minutes dans le cas du pompage de l'huile du bain. Il varie de 4 à 30 minutes lorsqu'on utilise un circuit extérieur.

IV.3 Conclusion

Le présent chapitre on a proposé des solutions au niveau technique de l'applicateur, ainsi on a pu concevoir des outils d'aide au montage des roulements et cela afin de réduire la dégradation des composants de multiplicateur. Ces solutions viennent pour améliorer la fiabilité des composants du multiplicateur.

Dans le but de compléter les solutions techniques proposées, on était amenés à traiter aussi l'aspect gestion et organisation de la fonction maintenance, ainsi on a élaboré des plans d'action en suivant une approche organisationnelle, et cela fera l'objet du chapitre cinq.



Chapitre V: Approche organisationnelle

Résumé

Ce chapitre contient la description des actions d'amélioration qui interviennent au niveau du côté organisationnelle, et qui sont :

- Élaboration des outils d'aide pour la réparation et pour anticiper toutes défaillances du système.
- La mise en place d'une gamme de maintenance préventive.



V.1 *Élaboration outil d'aide pour la réparation*

V.1.1 *Tableau des défauts effets actions correctifs*

En se basant sur l'étude AMDEC, sur l'analyse des causes racines et sur les défaillances critiques du multiplicateur, on a pu établir un tableau Des défauts et les actions correctives correspondantes, et cela dans le but d'améliorer les compétences des techniciens de la maintenance curative.



organe	problème	causes	Ordonnancement des actions correctives
carter	<ul style="list-style-type: none">▪ Les défauts de carters et couvercles▪ Les fuites d'huile occasionnée par les carters et couvercles de réducteur	<ul style="list-style-type: none">▪ Les carters de réducteurs peuvent être poreux▪ L'entretien ou les travaux de réparation peuvent occasionner des dégâts aux carters et couvercles de réducteur	<ul style="list-style-type: none">▪ Étanchéité de porosités▪ Rechargements des zones endommagées
carter	<ul style="list-style-type: none">▪ Les logements de roulements endommagés	<ul style="list-style-type: none">▪ Pièces soumises à micro mouvements et phénomènes d'usure▪ Charges produisant des forces axiales plus élevées que celles estimées par calcul▪ Roulement endommagé par grippage ou soumis à charges inappropriées	<ul style="list-style-type: none">▪ Reconstruction des surfaces endommagées du logement
Assemblage couvercle sur carter	<ul style="list-style-type: none">▪ Les fuites aux joints des deux pièces du réducteur (carter, couvercle)▪ Une mauvaise tolérance de la liaison▪ Étanchéité des surfaces endommagées	<ul style="list-style-type: none">▪ Des fuites apparaissent au joint par suintement▪ Plans de joints endommagés pouvant donner des chemins de fuites▪ Étanchéité imparfaite des joints, où les deux pièces sont assemblées (couvercle, carter)	<ul style="list-style-type: none">▪ Utiliser le produit d'étanchéité▪ Rigidité optimale entre deux surfaces en contact signifie élimination des micromouvements



	<ul style="list-style-type: none">▪ Les joints découpés	<ul style="list-style-type: none">▪ Les problèmes inhérents à la technologie des joints découpés tels que la relaxation, le retrait, le fluage et la rupture peuvent conduire à la fuite du plan de joint	<ul style="list-style-type: none">▪ Remplacement des joints découpés
Circuit de lubrification et de refroidissement	<ul style="list-style-type: none">▪ Les fuites provenant des raccords et circuits de lubrification et de refroidissement▪ Circuit de lubrification : les fuites d'huile provenant des bouchons de vidange,▪ de remplissage, de mise à l'air, du filtre à huile et du bouchon de niveau▪ circuit de refroidissement :▪ les fuites provenant de la pompe à huile, des capteurs de température et de pression et de l'ensemble des canalisations	<ul style="list-style-type: none">▪ Les joints d'étanchéité traditionnels ont tendance à suinter▪ La pression permanente et les variations de température dans les réducteurs peuvent augmenter les risques de fuites▪ Les vibrations présentes entre réducteur et circuits de lubrification/refroidissement sollicitent les canalisations	<ul style="list-style-type: none">▪ Étancher les raccords avec les produits d'étanchéité fileté▪ Les produits d'étanchéité fileté s'opposent au desserrage des raccords en autorisant un démontage facile avec l'outillage standard
Les roulements	<ul style="list-style-type: none">▪ Le laminage du roulement▪ Les arbres cylindriques endommagés	<ul style="list-style-type: none">▪ Les roulements sont sujets à laminer sur leur arbre, entraînant des dégâts▪ Les charges produisant des efforts axiaux plus importants que ceux estimés par le calcul	<ul style="list-style-type: none">▪ Fixer en utilisant les résines de fixation (tolérant aux huiles, haute résistance)



		<ul style="list-style-type: none">▪ Roulement endommagé par un serrage insuffisant ou soumis à charges inappropriées	
Les roulements	<ul style="list-style-type: none">▪ Les rayures axiales sur les portées cylindriques de l'arbre▪ La liaison entre un arbre endommagé et roulement	<ul style="list-style-type: none">▪ Le démontage des roulements et des pignons occasionne fréquemment des rayures sur les portées de l'arbre▪ Roulement et pignons assemblés par frettage s'ils sont démontés sans l'aide d'une chauffe, le frottement occasionnera un grippage et donnera des rayures axiales	<ul style="list-style-type: none">▪ Rayures modérées▪ Renforcer la liaison entre l'arbre endommagé et le roulement avec la résine de fixation▪ Rayures profondes▪ Remplir les rayures avec la résine pour reconstituer une surface uniforme et assurer que le roulement sera monté sur l'arbre et sur une surface saine
Arbre équipé : engrenage	<ul style="list-style-type: none">▪ La fiabilité et la transmission d'efforts des engrenages montés sur l'arbre▪ Les portées endommagées des liaisons coniques	<ul style="list-style-type: none">▪ Des liaisons mal remontées au cours de la maintenance entraînant des micro-mouvements▪ Conditions de surcharge et température de service élevée	<ul style="list-style-type: none">▪ Fixation par collage des roues dentées sur arbre avec la résine de fixation haute résistance
Arbre équipé : engrenage	<ul style="list-style-type: none">▪ Les clavetages endommagés	<ul style="list-style-type: none">▪ Sollicitations et charges combinées génèrent des micro-mouvements, de l'usure et la ruine des pièces▪ Avec le temps, l'usure entraîne un déchaussement des clavetages occasionnant des dégâts de la rainure de clavetage	<ul style="list-style-type: none">▪ Pièce neuve▪ Appliquer un produit pour éliminer toute usure de clavetage



	<ul style="list-style-type: none">▪ Détérioration de l'étanchéité	<ul style="list-style-type: none">▪ Fuite d'huile et infiltration de corps étranger dans le réducteur	<ul style="list-style-type: none">▪ Contrôler l'étanchéité du réducteur
Boulon rondelle Assemblage des brides de fixation	<ul style="list-style-type: none">▪ desserrage des boulons	<ul style="list-style-type: none">▪ Mauvais assemblage	<ul style="list-style-type: none">▪ Contrôle du serrage des boulons d'assemblage des brides
réducteur	<ul style="list-style-type: none">▪ Échauffement anormal de réducteur	<ul style="list-style-type: none">▪ Manque de lubrifiant	<ul style="list-style-type: none">▪ Compléter le niveau



V.1.2 Tableau des défauts effets mode de prévention

On a pu établir un tableau Des défauts et le mode de prévention correspondant de chaque organe du multiplicateur et cela dans le but d'anticiper toutes défaillances du système « des multiplicateurs ».

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Pignon arbré GV	▪ Rupture denture	▪ Trempabilité défectueuse	▪ Détérioration d'engrenages	▪ Contrôler la dureté avant le montage
	▪ Fissurations	▪ Mauvais nettoyage	▪ Grippage de roulements	▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de nettoyage
		▪ Fatigue		▪ Contrôler par radiographie
	▪ Piqûres	▪ Huile polluée ou inappropriée ▪ Balourd/faux rond	▪ Défaillance des engrenages	▪ Contrôler et analyser systématiquement l'huile
	▪ Écaillages	▪ Défaut des conditions d'engrènement	▪ Fissurations	▪ Contrôler régulièrement les vibrations du système
▪ Désalignement des paliers				
▪ Grippages	▪ Grippage des roulements			

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Pignon arbré MV	▪ Arrachement dentures	▪ Trempabilité défectueuse	▪ Détérioration d'engrenages	▪ Contrôler la dureté avant le montage
		▪ Jeu fonctionnel d'engrènement insuffisant		▪ Contrôler le jeu fonctionnel d'engrènement avant démarrage
		▪ Mauvais nettoyage		▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de nettoyage
	▪ Cisaillement de section	▪ Huile polluée ou inappropriée	▪ La rupture du pignon	▪ Contrôler et analyser systématiquement l'huile
		▪ Balourd/faux rond ▪ Concentration des contraintes		
	▪ Fissuration de denture	▪ Défaut des conditions d'engrènement	▪ Défaillance des paliers	▪ Contrôler régulièrement les vibrations du système
▪ Désalignement des paliers				
▪ Grippage	▪ Grippage des roulements	▪ Fissuration		

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Arbre creux PV	▪ Porté roulement hors tolérance	▪ Fatigue	▪ État de surface défectueux	▪ Contrôler par radiographie
	▪ Arrachement de matière	▪ Serrage	▪ Difficultés de montage et démontage	▪ Contrôler les portées avant le montage
	▪ Porté de la roue dentée hors tolérance	▪ Montage et démontage répétitifs des roulements et de la roue dentée PV	▪ Grippage	▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de montage et démontage

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Pignon MV	▪ Rupture denture	▪ Trempabilité défectueuse	▪ Détérioration d'engrenages	▪ Contrôler la dureté avant le montage
	▪ Fissurations	▪ Mauvais nettoyage	▪ Grippage des roulements	▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de nettoyage
		▪ Fatigue		▪ Contrôler par radiographie
	▪ Piqûres	▪ Huile polluée ou inappropriée	▪ Défaillance des paliers	▪ Contrôler et analyser systématiquement l'huile
		▪ Balourd/faux rond		
▪ Défaut des conditions d'engrènement		▪ Rupture des dents pour des engrenages du système	▪ Contrôler régulièrement les vibrations du système	
▪ Désalignement des paliers				
▪ Grippages	Grippage des roulements			

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Roue dentée PV	▪ Rupture denture	▪ Trempabilité défectueuse	▪ Détérioration d'engrenages	▪ Contrôler la dureté avant le montage
	▪ Fissurations	▪ Mauvais nettoyage	▪ Grippage des roulements	▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de nettoyage
		▪ Fatigue		▪ Contrôler par radiographie
	▪ Piqûres	▪ Huile polluée ou inappropriée	▪ Défaillance des engrenages	▪ Contrôler et analyser systématiquement l'huile
		▪ Balourd/faux rond		
▪ Écaillages	▪ Défaut des conditions d'engrènement	▪ Fissurations	▪ Contrôler régulièrement les vibrations du système	
	▪ Désalignement des paliers			
▪ Grippages	▪ Grippage des roulements			

Pièce	Anomalies	Causes	Conséquences	Mode de prévention
Roulements	▪ Grippages	▪ Jeux fonctionnels insuffisants	▪ Dégradation rapide	▪ Contrôler les jeux axiaux avant le démarrage
		▪ Mauvais nettoyage		▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie de nettoyage
		▪ Huile polluée ou visqueuse		▪ Contrôler régulièrement l'huile, et choisir l'huile appropriée
	▪ Écaillages	▪ Température élevée de l'huile	▪ Taux de défaillance devient plus élevé que celui prévu par le constructeur	▪ Contrôler la température du système à l'aide d'une caméra thermique
		▪ Niveau de l'huile insuffisant ou trop élevé		▪ Vérifier que l'huile remplie est dans l'intervalle donnée par le constructeur
	▪ Fissurations	▪ Défaut de montage	▪ Bruit perturbant	▪ Former les agents de maintenance sur la méthodologie d'entretien
		▪ Désalignement des paliers		▪ Contrôler la coaxialité des alésages avant montage
		▪ Cotes des portées de roulements hors intervalle de tolérance		▪ Contrôler les cotes avant montage
		▪ Vibration		▪ Contrôle vibratoire

V.2 La mise en place d'une gamme de maintenance préventive

D'après l'analyse AMDEC, une mise en place d'une maintenance préventive est nécessaire pour anticiper toutes défaillances du système « des multiplicateurs ». Le programme d'entretien préventif suivant doit être respecté :



Type d'actions	Action corrective
Maintenance préventive par le personnel	<ul style="list-style-type: none">▪ Respect des normes de montage et démontage lors des actions de maintenances▪ Vérifier que les dimensions et l'exactitude des formes et positions des portées de roulements correspondent aux plans et spécifications.▪ Préparer tout le matériel, les pièces, les outillages nécessaires avant de commencer la mise en place.▪ S'assurer de propreté des roulements▪ contrôle de dureté des pièces avant le montage▪ Sortir le roulement de son emballage au dernier moment, dans une zone de travail parfaitement propre.▪ Après montage et avant mise en route définitive, faire une vérification en fonctionnement, de manière à détecter les anomalies éventuelles (bruit, vibrations, température, jeu anormal...).
Maintenance préventive quotidienne	<ul style="list-style-type: none">▪ Contrôle des fuites▪ Contrôle du bruit▪ Contrôle des vibrations▪ Contrôle des paramètres de fonctionnement (température, pression d'huile...)
Maintenance préventive hebdomadaire	<ul style="list-style-type: none">▪ Contrôle du niveau d'huile▪ La lubrification des roulements▪ Mesure de niveau vibratoire globale
Maintenance préventive mensuelle	<ul style="list-style-type: none">▪ Nettoyage du carter et de la centrale de lubrification▪ Nettoyage de filtre▪ Injecter de la graisse dans les paliers lorsque le réducteur est encore chaud▪ Changement des filtres si nécessaire▪ Inspection du reniflard



Modification à effectuer chaque année	<ul style="list-style-type: none">▪ Examen dentures par spécialiste▪ Contrôle des jeux roulements et roulement/alésages▪ Contrôle des lignages
---------------------------------------	--

V.3 Conclusion

Les actions traitées dans ce chapitre ont visé l'amélioration d'un côté importante qui est le côté organisationnel.

Les actions réalisées ont permis d'éviter certains arrêts qui sont critiques, ces arrêts sont causés par la Manque de la compétence de la main d'œuvre. Comme perspectives d'amélioration de ces actions, on peut envisager quelques points à développer dans de futures études, parmi ces améliorations on cite :

- La réalisation d'un plan de formation pour les intervenants de la maintenance préventive et curative.



Conclusion générale

L'objectif visé du projet c'était l'amélioration de la maintenance curative des réducteurs, ce dernier est atteint en trois volets : le volet technique est concrétisé par la réalisation d'une étude technique de multiplicateur. Le deuxième volet est représenté par l'application des solutions proposées. Le troisième volet porte sur l'application des actions d'ordres organisationnelles.

L'approche technique nous a permis de maîtriser le multiplicateur du cote fonctionnement technique et de cerner les modes de défaillances, leurs effets et leurs actions correctives et les défauts recensés, le plan d'action de cette approche est concrétisé par la réalisation d'une table chauffante permettant de chauffer les roulements d'une manière régulière, réalisation d'un planning de graissage et réalisation d'une étude pour le choix de lubrifiant des engrenages.

L'approche organisationnelle qui avait comme objectif d'éliminer des problèmes d'ordre de gestion et aussi d'améliorer la fonction maintenance, nous avons réalisé comme première action directe

Élaboration des outils d'aide à la réparation (le tableau des problèmes, causes, actions correctives) et la mise en place d'une gamme de maintenance préventive.

Mon séjour à SMEM m'a permis d'apprendre beaucoup de choses sur le plan professionnel. La confiance et le soutien de mes encadrants, ainsi que ma forte implication et dévouement m'ont poussé à contribuer pleinement au développement du projet. En outre, il fallait s'intégrer le plus rapidement possible avec le potentiel humain pour pouvoir bénéficier de sa collaboration, ses conseils et sa convivialité.

Cette période avait été sûrement marquée par quelques contraintes et difficultés, toutefois je reconnais que c'était une expérience très enrichissante et une opportunité à saisir dans cette école de formation : SMEM.



RÉFÉRENCES

Bibliographie

[1] GALLAIRE, Jean-Marc, les outils de la performance industrielle, EYROLLES, 2008, page 83 « *Diagrammes d'Ishikawa* ».

[2] GALLAIRE, Jean-Marc, les outils de la performance industrielle, EYROLLES, 2008, page 34 « *AMDEC moyenne* ».

[3] Manuel d'entretien mécanique

[4] SÉNÉCHAL, Olivier, cours maintenance générale

[5] **Thèse** : « Méthodologie de calcul et de conception d'un réducteur d'engrenage cylindrique et conique », présenté par GINA STOICA

Webographie

[1] www.skf.com

[2] www.techniques-ingenieur.fr

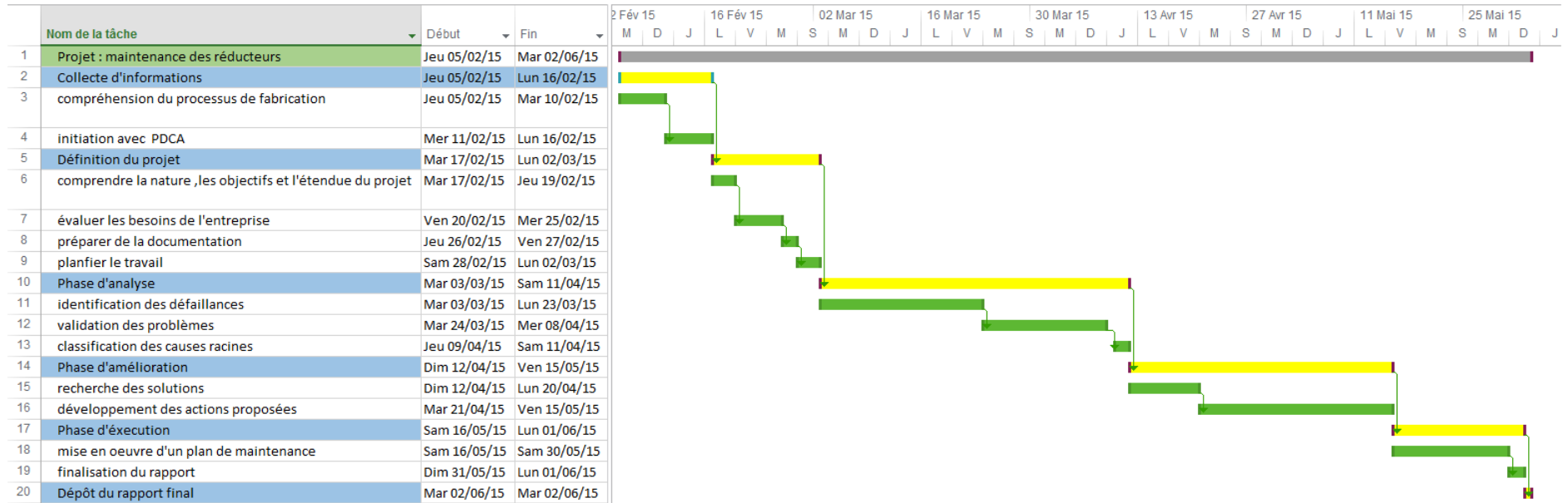
[3] www.traceparts.com

[4] www.smem.ma

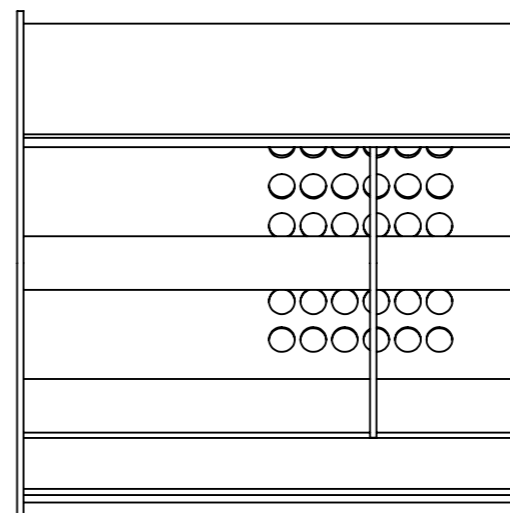
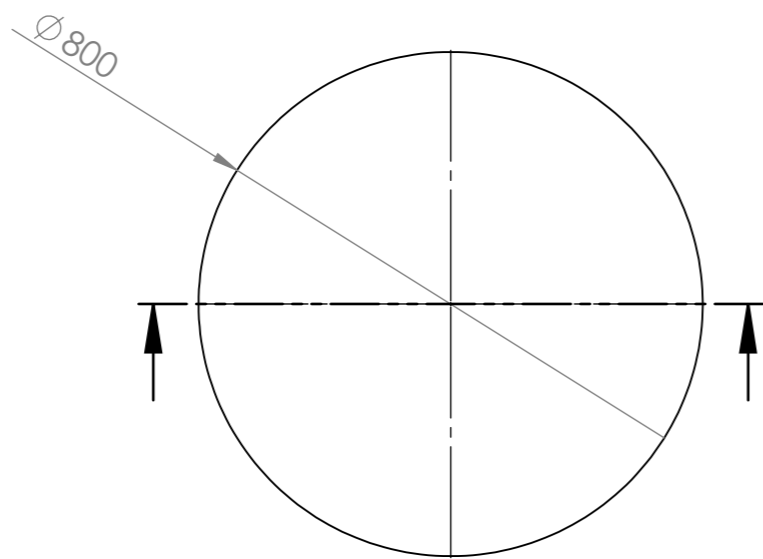
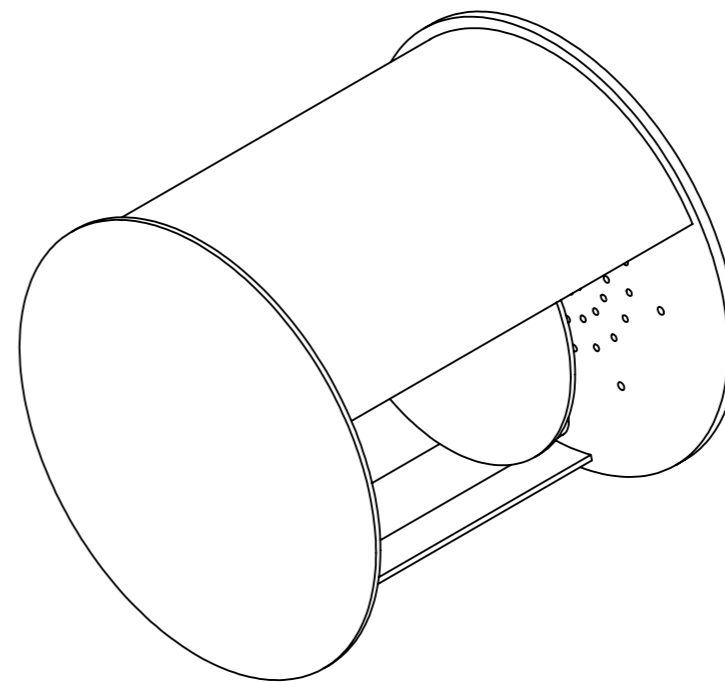
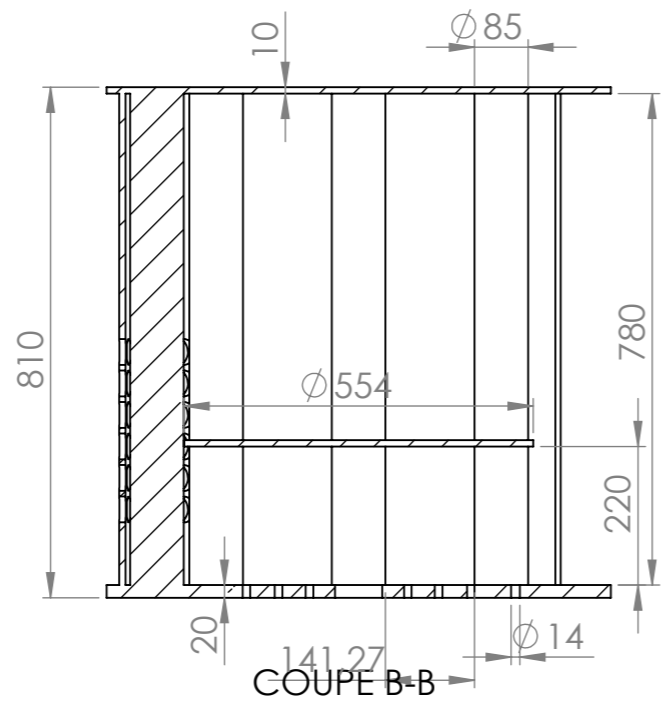



ANNEXES

Annexe A : Planification du projet



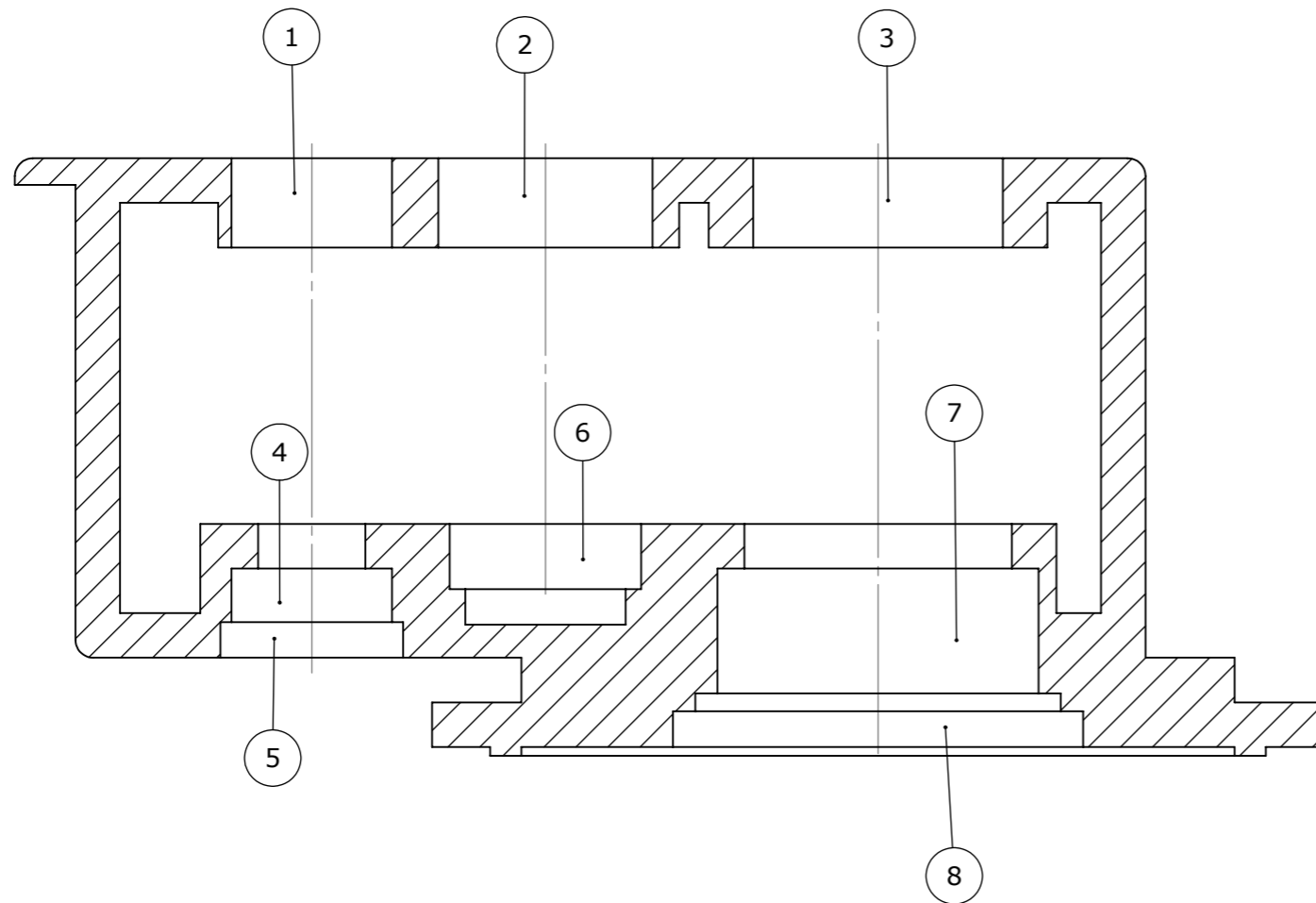
Annexe B : Table chauffante



A	Date	10/04/2015	10/04/2015	10/04/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	S.CHAKRAOUI	S.CHAKRAOUI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	TABLE CHAUFFANTE				AFF N°
					9016
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

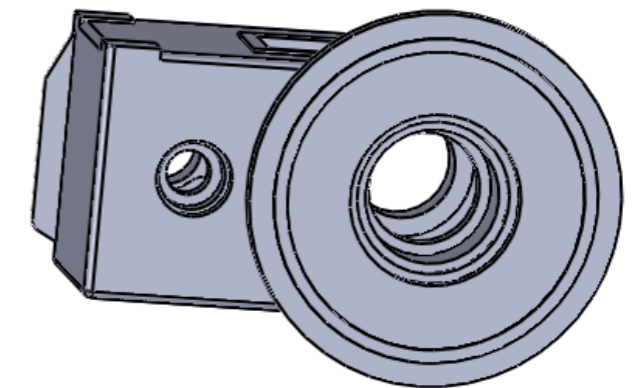
Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit etre reproduit ou communique sans son autorisation


**Annexe C : Dessin et caractéristique
des composants du multiplicateur**



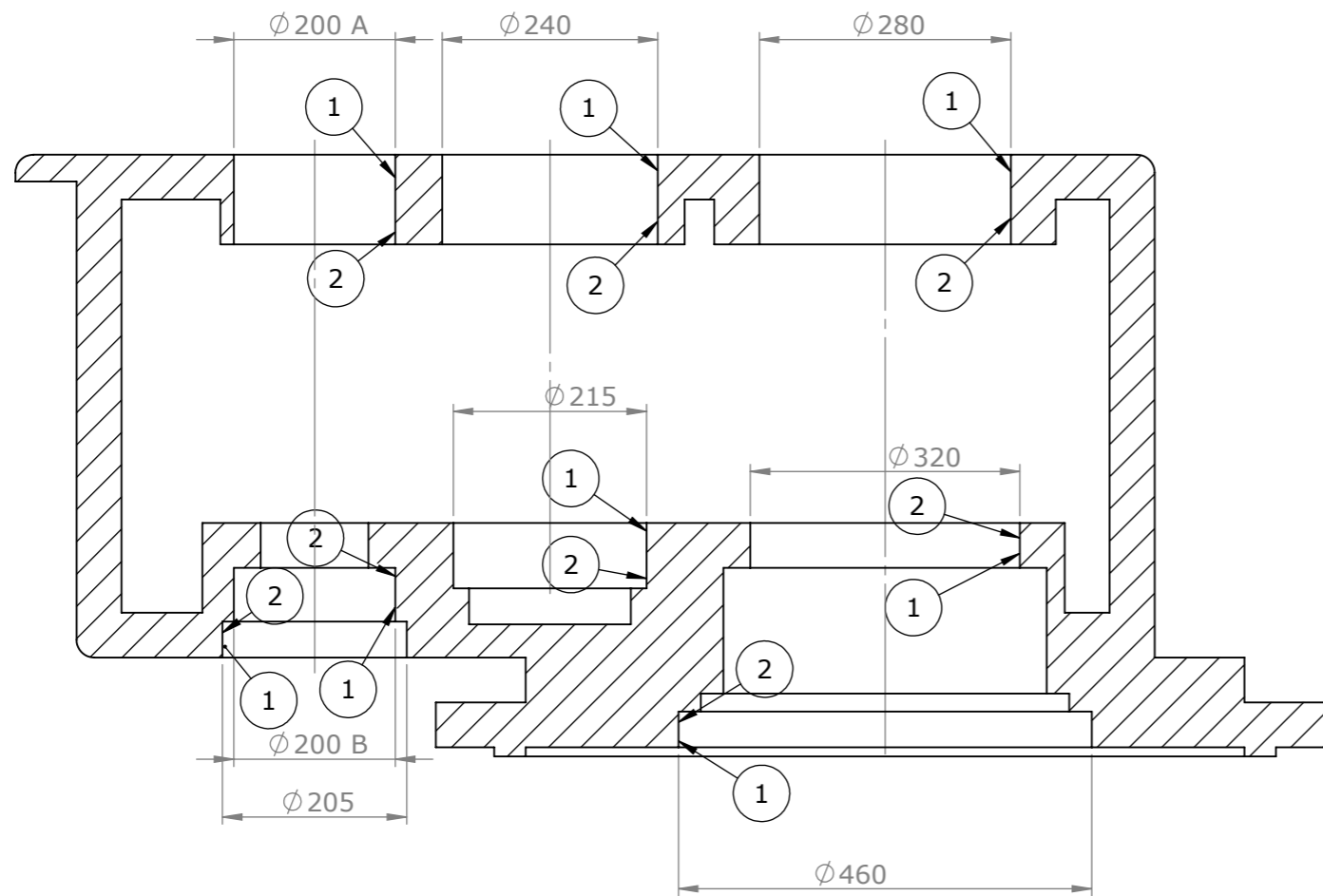
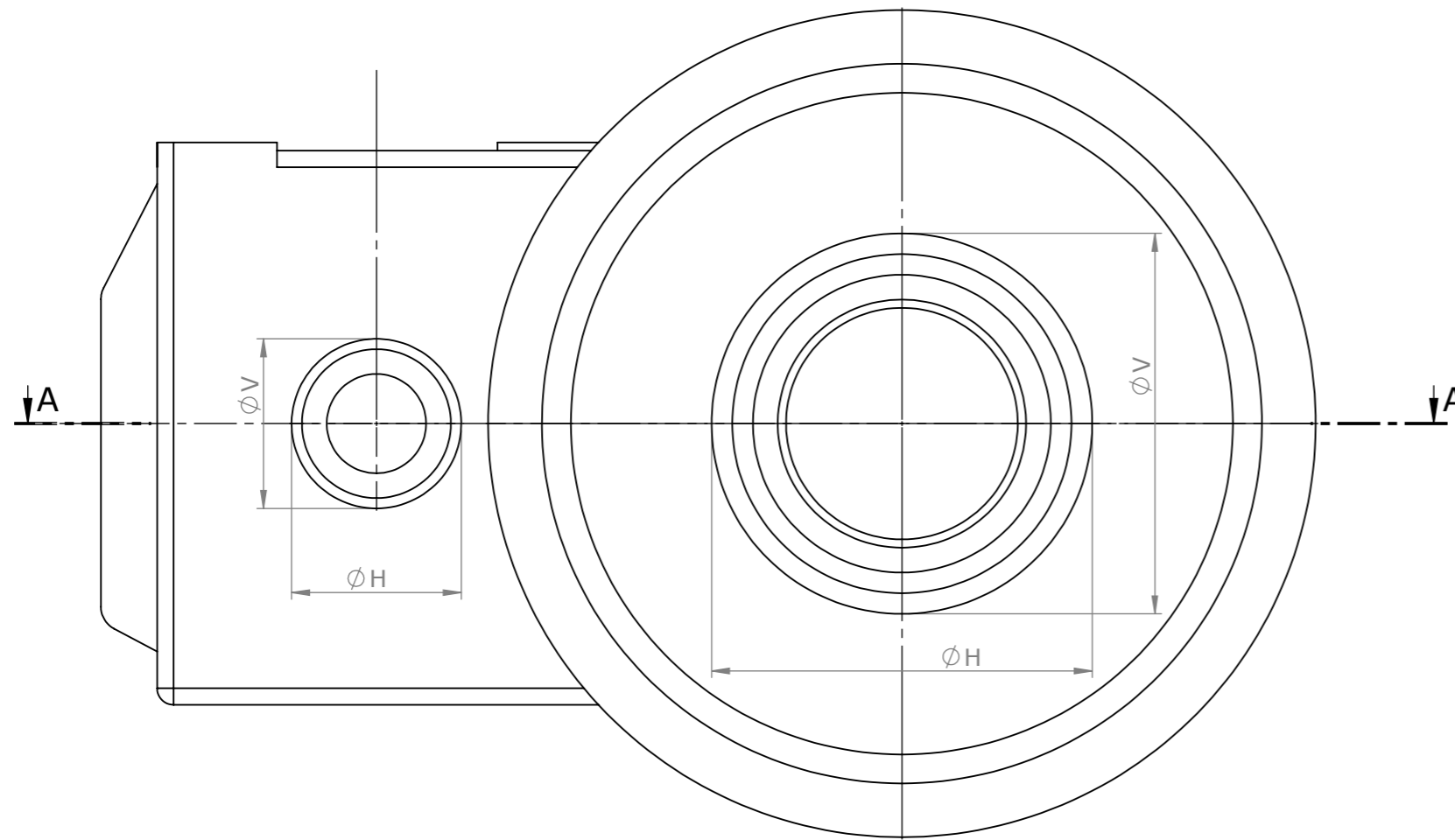
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 8

MULTIPLICATEUR TYPE: EH 55AG21-BN-52.66 N°: 01/2010	
Porté N°	Reference
1	SKF 2222 EC
2	A33 M74 INA LSL19 2322 TB XL X- LiFe C3 GERMANY 72/D
3	SKF 23134 CC/W33
4	SKF 32222
5	SKF 30222
6	INA LSL19 2320 A GERMANY 72/W1228
7	FAG 23948-MB
8	SKF 61968 MA



A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	Reference des roulement				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

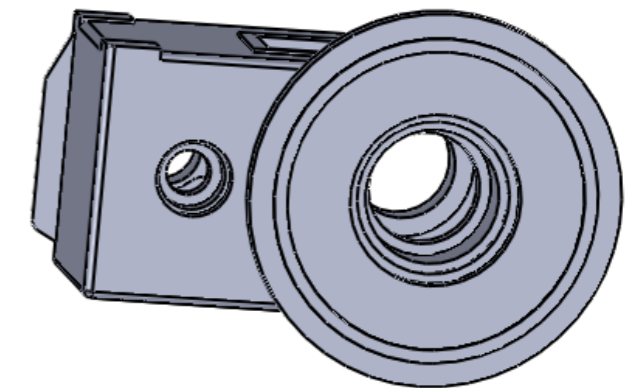
Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 8

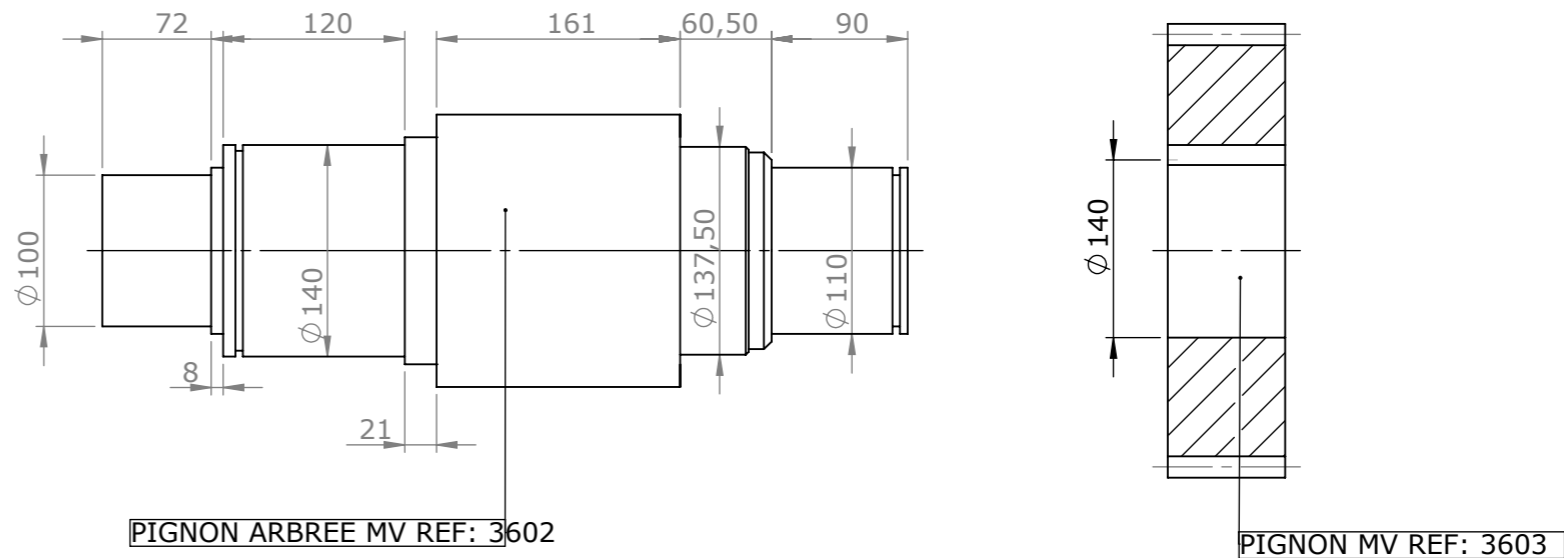
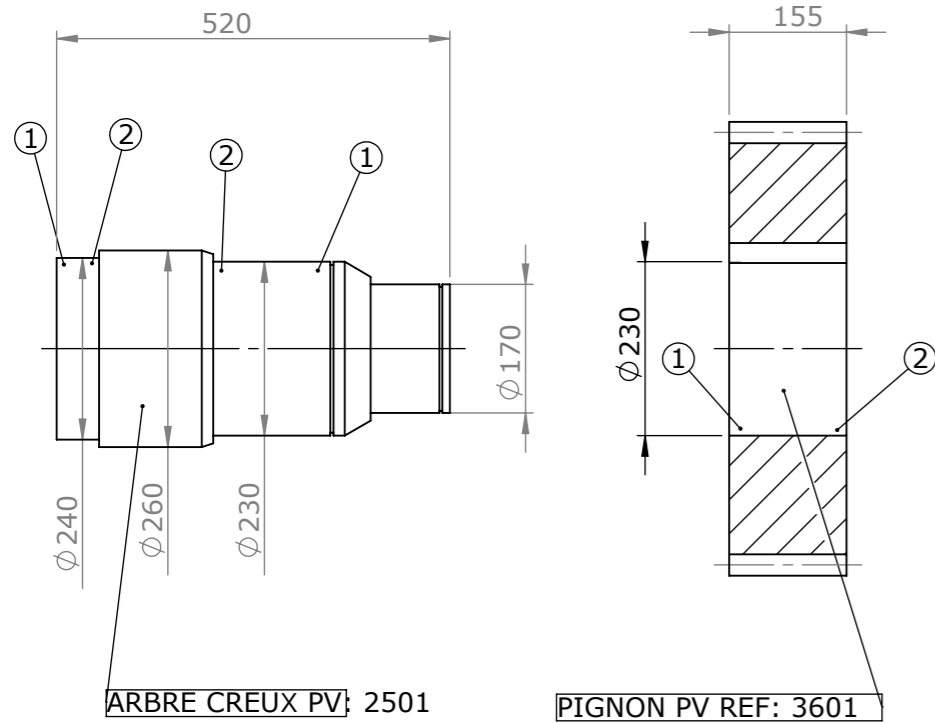
MULTIPLICATEUR
TYPE:EH55G21-BN-52,66
N°: 01/2010

N°du palier	Diamètre		Diamètre V	Diamètre H
6006	200H7 ^{+0.046} ₀	1	200.02	200.02
		2	200.02	200.02
6005	200H7 ^{+0.046} ₀	1	200.02	200.03
		2	200.02	200.02
6025	200H7 ^{+0.046} ₀	1	200.02	200.02
		2	200.02	200.02
6003	215H7 ^{+0.046} ₀	1	215.11	215.02
		2	215.11	215.02
6004	240H7 ^{+0.046} ₀	1	239.95	239.95
		2	239.97	239.97
6001	280H7 ^{+0.052} ₀	1	280.03	280.03
		2	280.04	280.04
6002	320H7 ^{+0.057} ₀	1	320.10	320.10
		2	320.08	320.08
6022	460H7 ^{+0.063} ₀	1	460.04	460.05
		2	460.04	460.05



A	Date	09/03/2015	09/03/2015	09/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	S.CHAKRAOUI	S.CHAKRAOUI	
Index	Dessine	Verification	Approbation	Modification	
	Titre				AFF N°
Relevé dimensionnel des logements de roulement sur carter MV				8674	
				Client	
Matière:	Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique			Index	
Traitement:	15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma			A	
Quantité:					
Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°	
/	A4		Svt Model	

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation



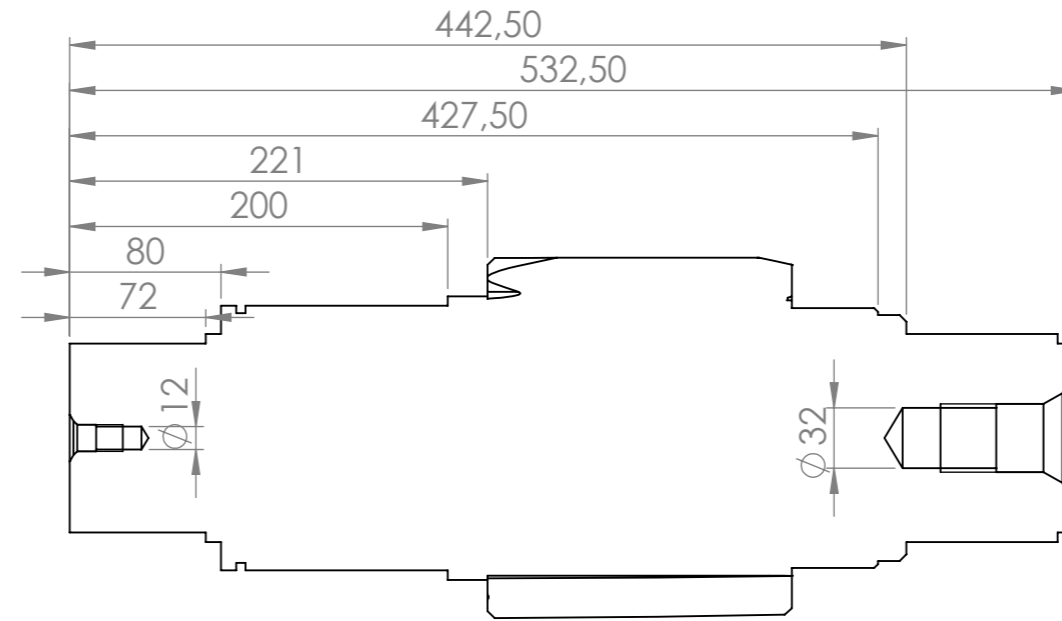
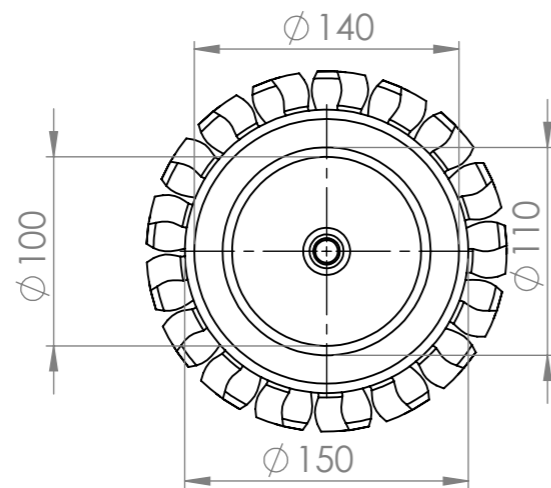
MULTIPLICATEUR TYPE: EH55G21-BN-52.66 N°: 01/2010				
	Diamètre	Diamètre V	Diamètre H	
ARBER	230	1	230.08	230.08
		2	230.09	230.09
	240	1	240.12	240.1
		2	240.1	240.1
ROUE	230	1	230.08	230.07
		2	230.11	230.09

MULTIPLICATEUR TYPE: EH55G21-BN-52.66 N°: 01/2010				
	Diamètre	Diamètre V	Diamètre H	
ARBER	110	1	110.06	110.06
		2	110.06	110.05
	140	1	140.04	140.04
		2	140.05	140.075
ROUE	140	1	140.04	140.04
		2	140.03	140.03

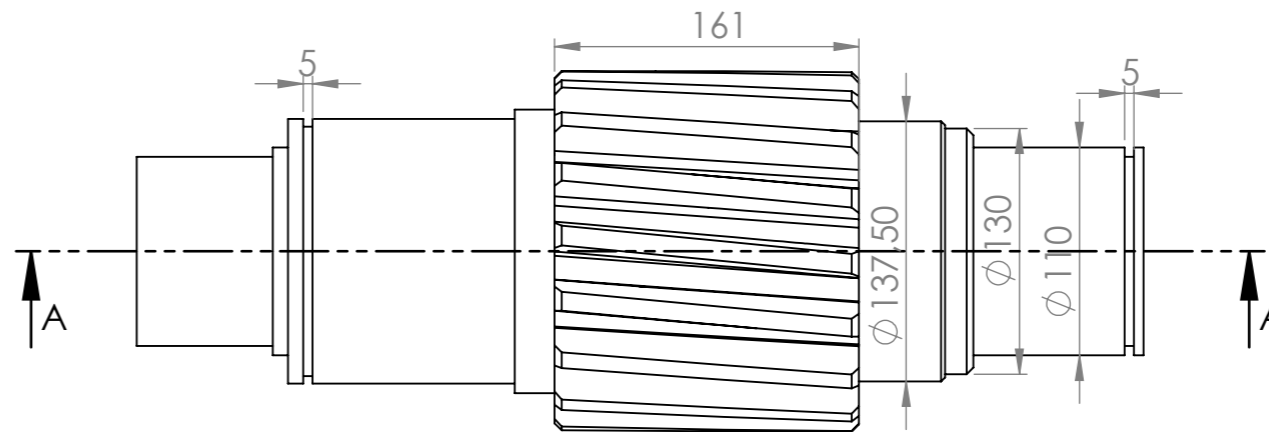
A	Date	21/03/2015	21/03/2015	21/03/2013	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	S.CHAKRAOUI	S.CHAKRAOUI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
	AFF N°				
Titre	RELEVÉ DE COTE SUR REF:2501-3601-3602-3603				Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....


Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

Le nombre de dents z	17
module normal m_n	9
angle d'hélice β	11°
la largeur de la denture b	186
Diamètre primitif d	155.86

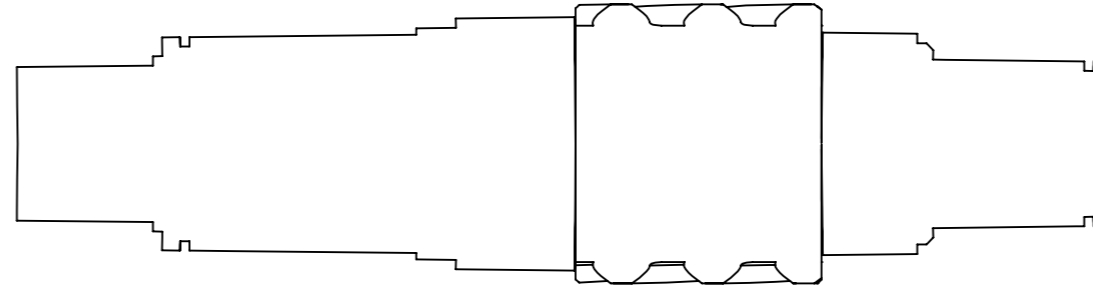


COUPE A-A

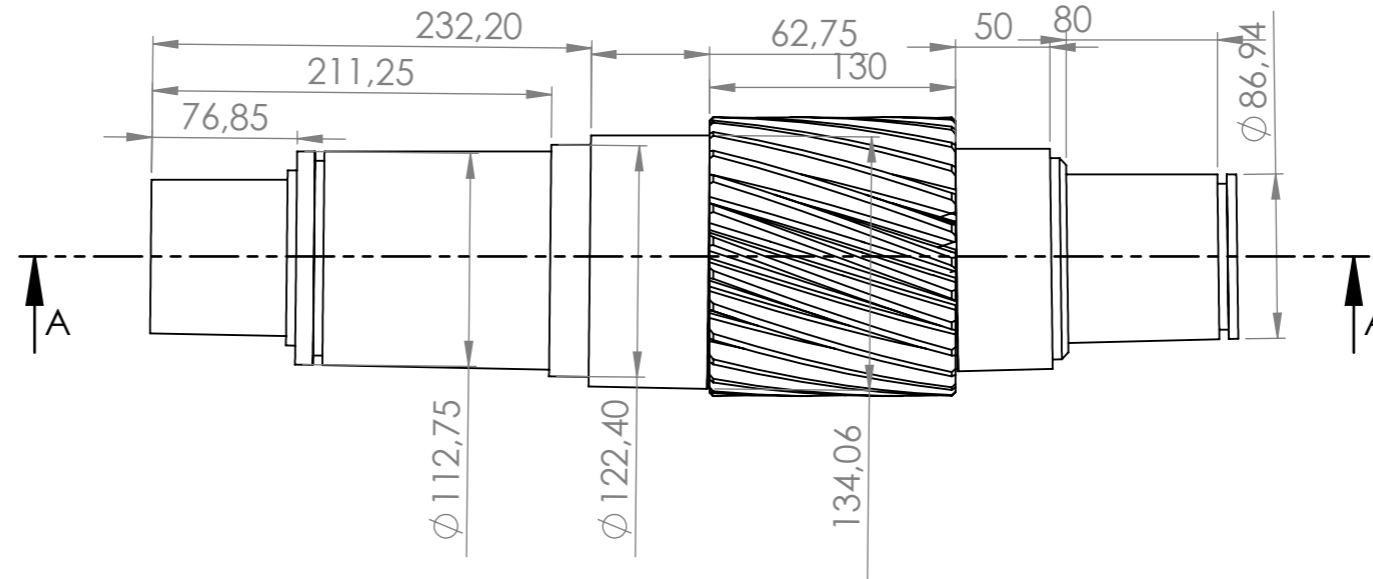
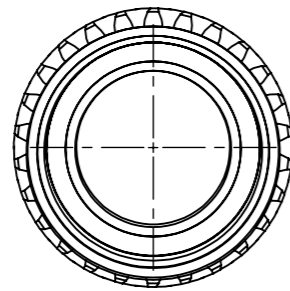



A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index	Dessine	Verification	Approbation	Modification	
	AFF N°				
Titre	PIGNON ARBRE VI				Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°	
	/	A4		Svt Model	.....

Le nombre de dents z	26
module normal m_n	5
angle d'hélice β	19°
la largeur de la denture b	130
Diamètre primitif d	137.49



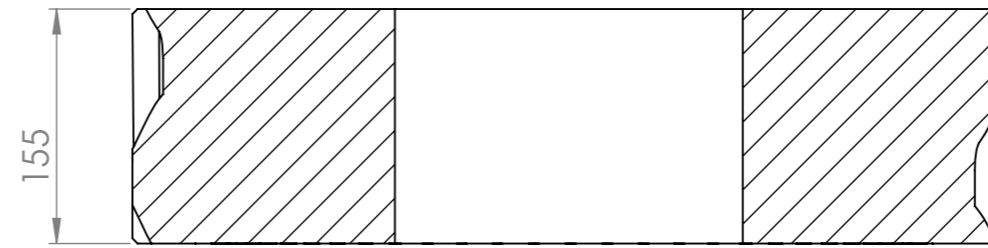
COUPE A-A



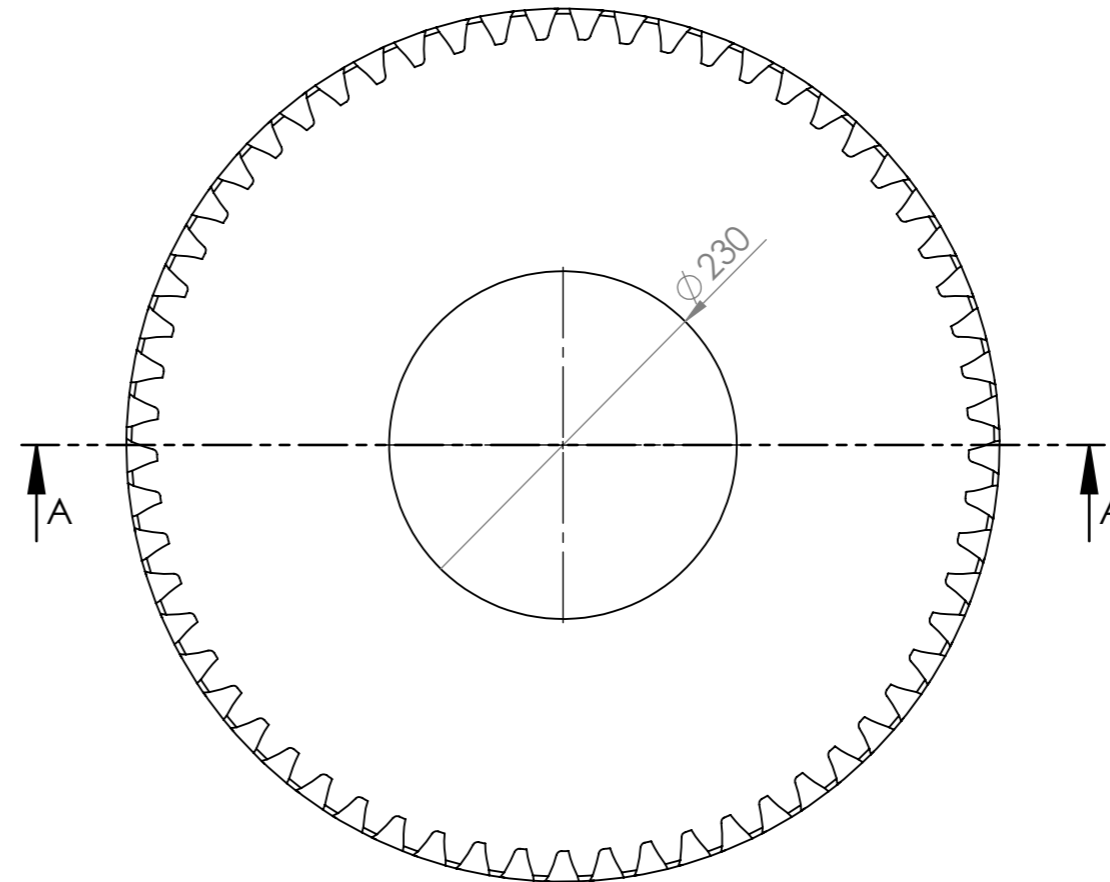
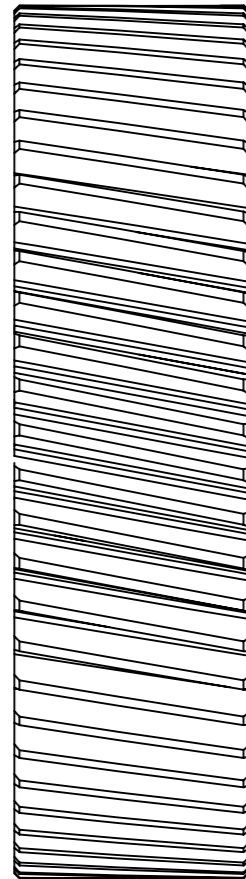
A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index	Dessine	Verification	Approbation	Modification	
	AFF N°				Client
Titre	PIGNON ARBRE GV				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°	
	/	A4		Svt Model	.....


Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

Le nombre de dents z	61
module normal m_n	9
angle d'hélice β	11°
la largeur de la denture b	158
Diamètre primitif d	559.275

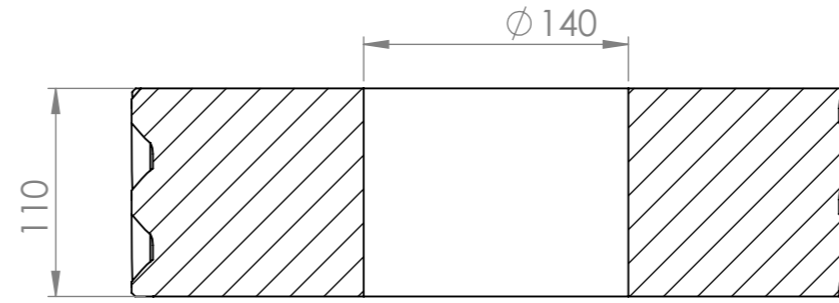
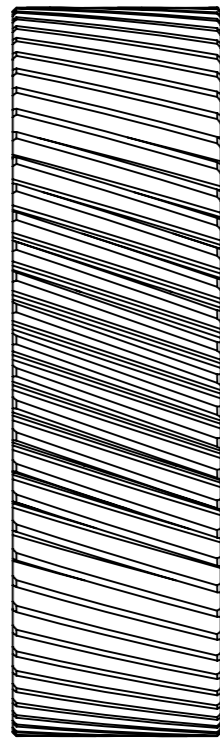


COUPE A-A

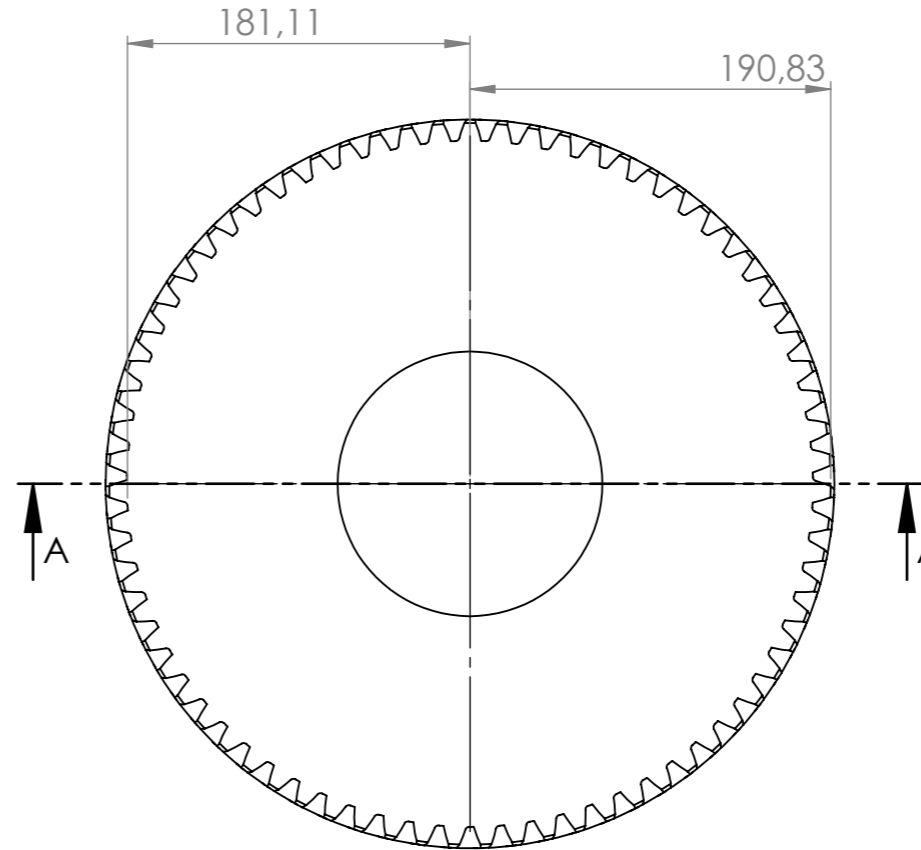



A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	PIGNON PV				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Le nombre de dents z	71
module normal m_n	5
angle d'hélice β	19°
la largeur de la denture b	108
Diamètre primitif d	375.448

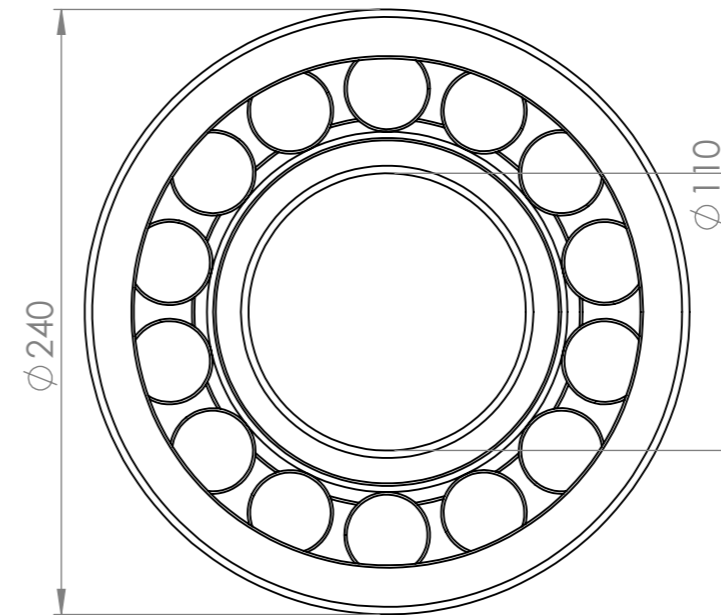
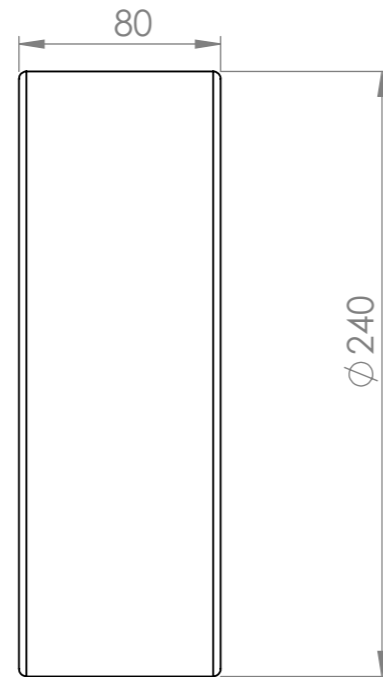
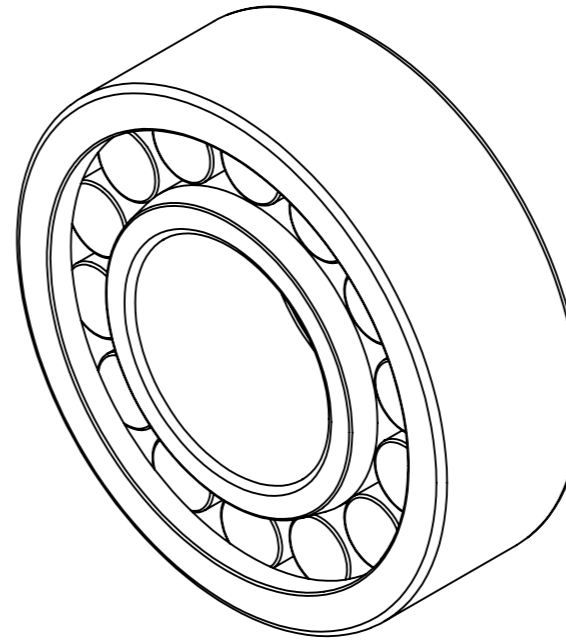



COUPE A-A



A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	PIGNON MV				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

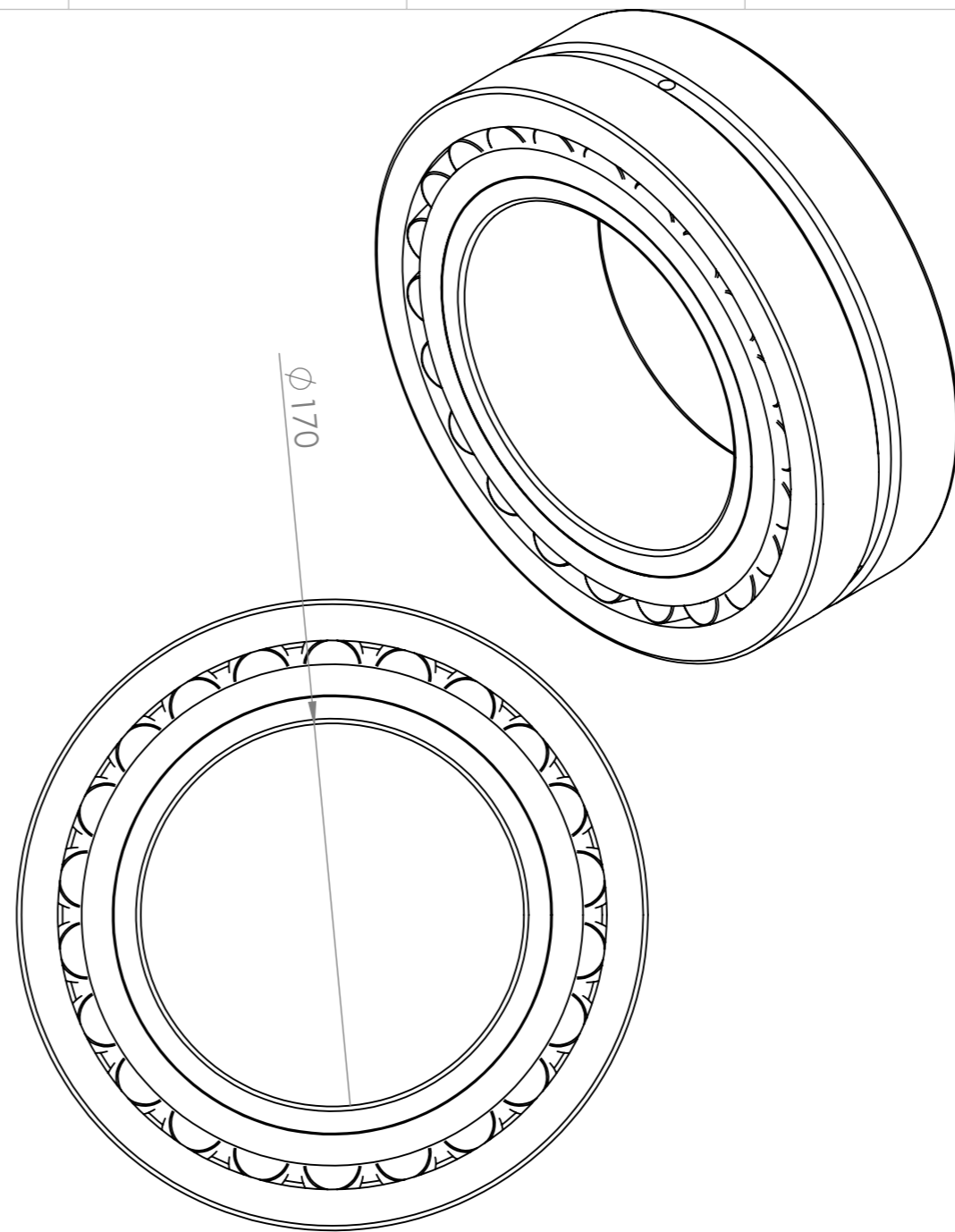
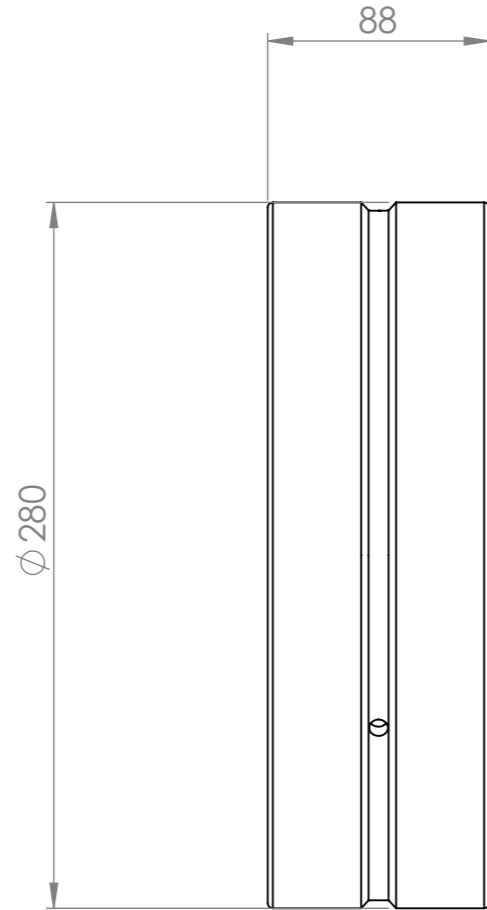
Diamètre extérieur D	240mm
Diamètre intérieur D	110mm
Largeur B	80mm
La charge de base dynamique C	780kN
La charge de base statique C0	900 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index	Dessine	Verification	Approbation	Modification	
	Titre				AFF N°
INA LSL19 2322 TB					Client
Matière:		 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma			Index
Traitement:					A
Quantité:					
Echelle		Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
/		A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

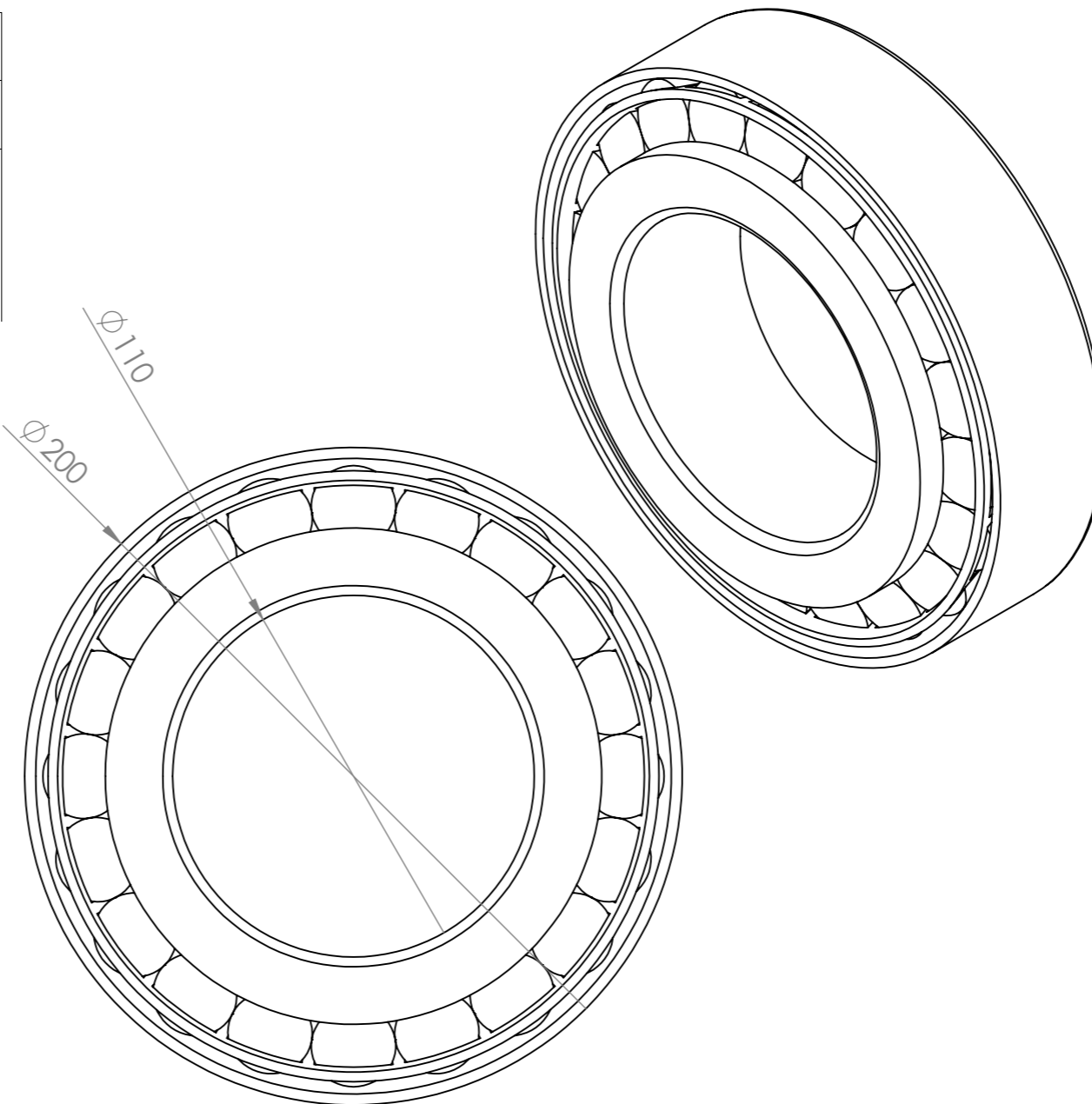
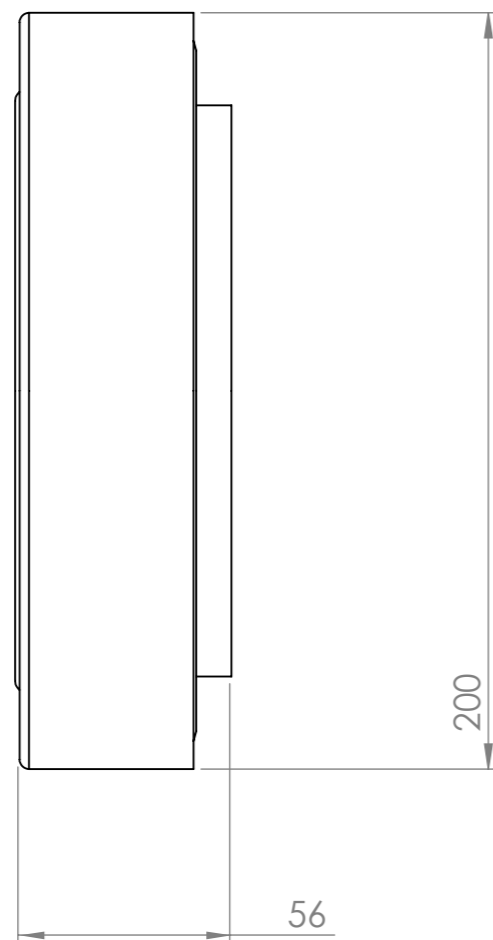
Diamètre extérieur D	280mm
Diamètre intérieur D	170mm
Largeur B	88mm
La charge de base dynamique C	1086kN
La charge de base statique C0	1500 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	SKF 23134 CC/W33				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

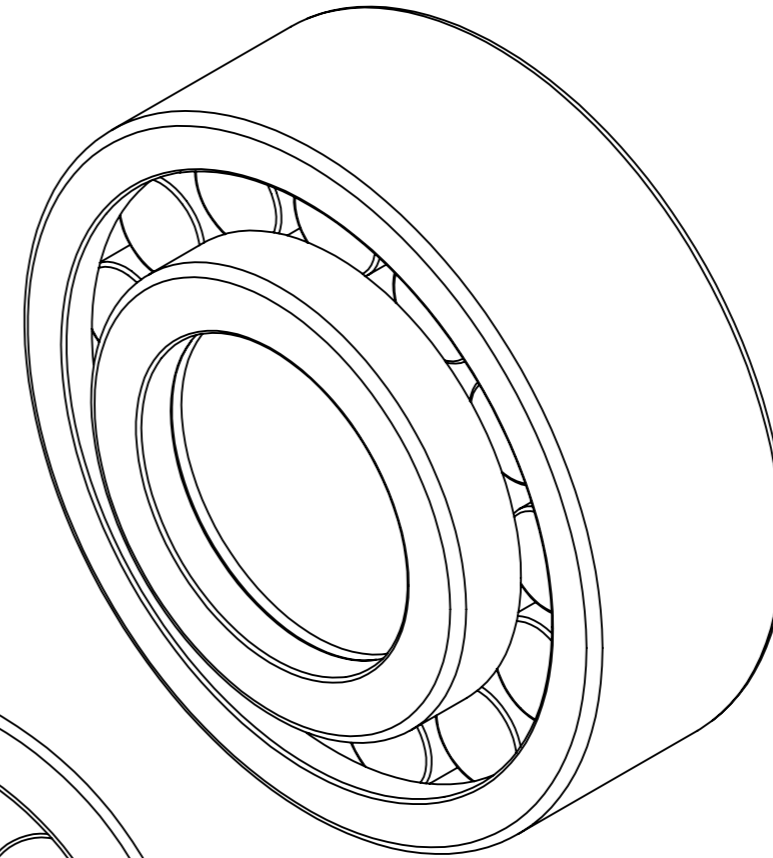
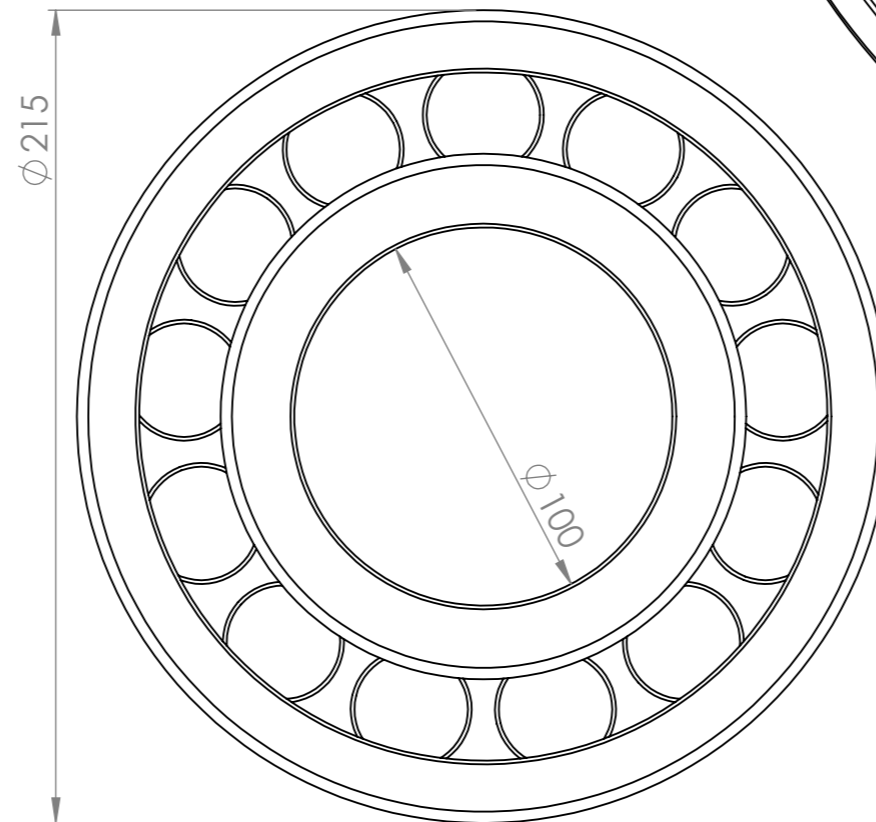
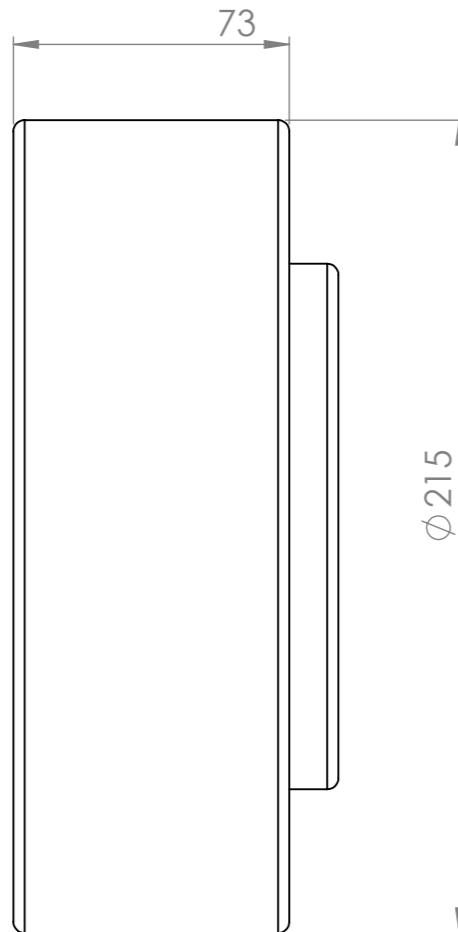
Diamètre extérieur D	200mm
Diamètre intérieur D	110mm
Largeur B	56mm
La charge de base dynamique C	402kN
La charge de base statique C0	507 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	SKF 32222				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

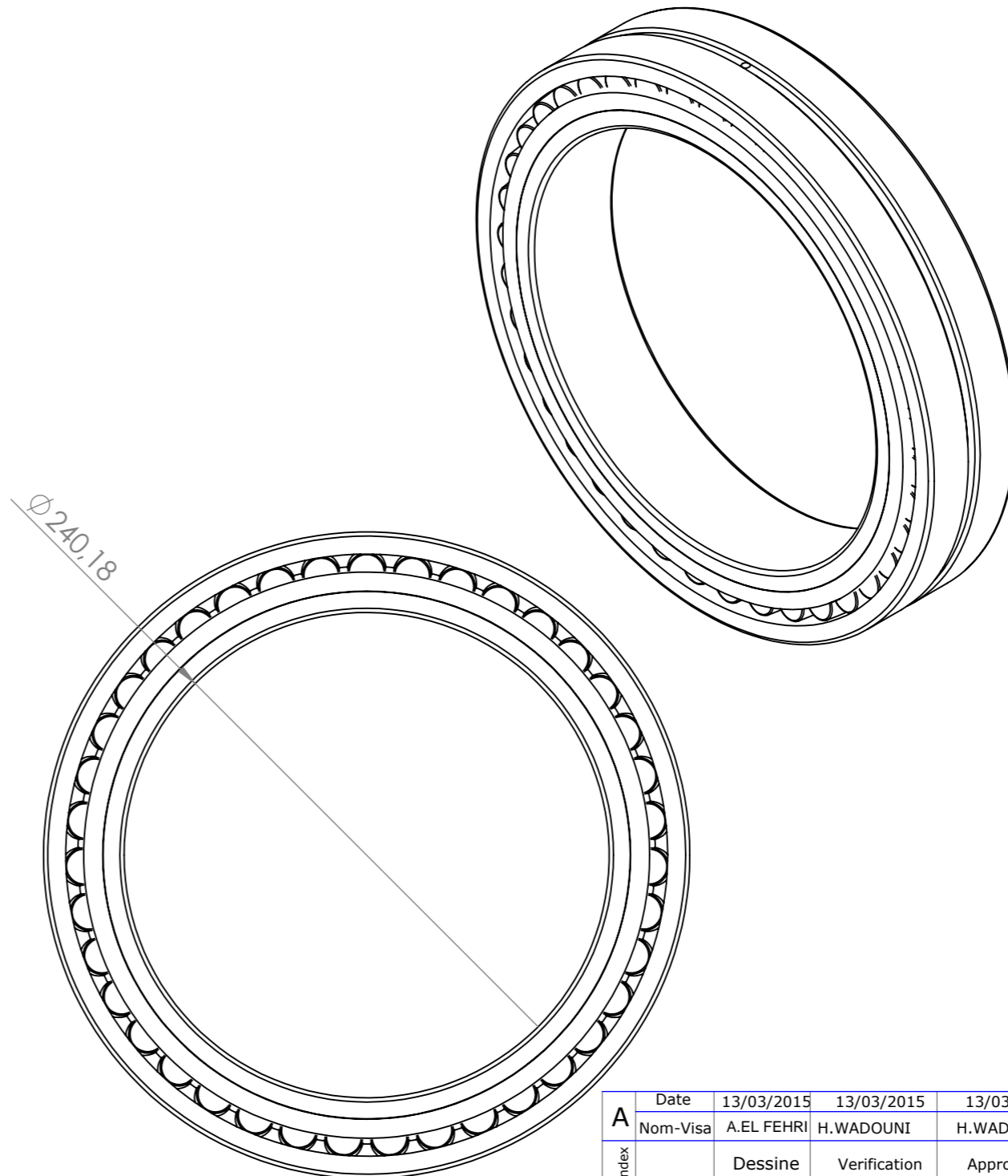
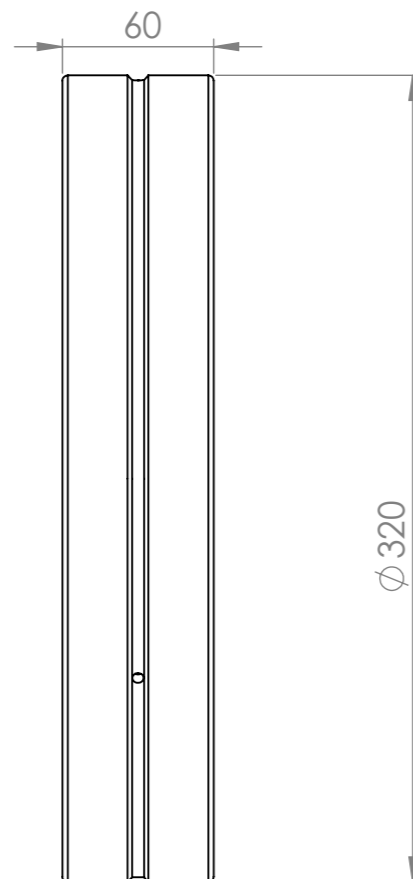
Diamètre extérieur D	215mm
Diamètre intérieur D	110mm
Largeur B	73mm
La charge de base dynamique C	670kN
La charge de base statique C0	735 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index	Dessine	Verification	Approbation	Modification	
	Titre				AFF N°
INA LSL 19 2320 A					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
Echelle		Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
/		A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

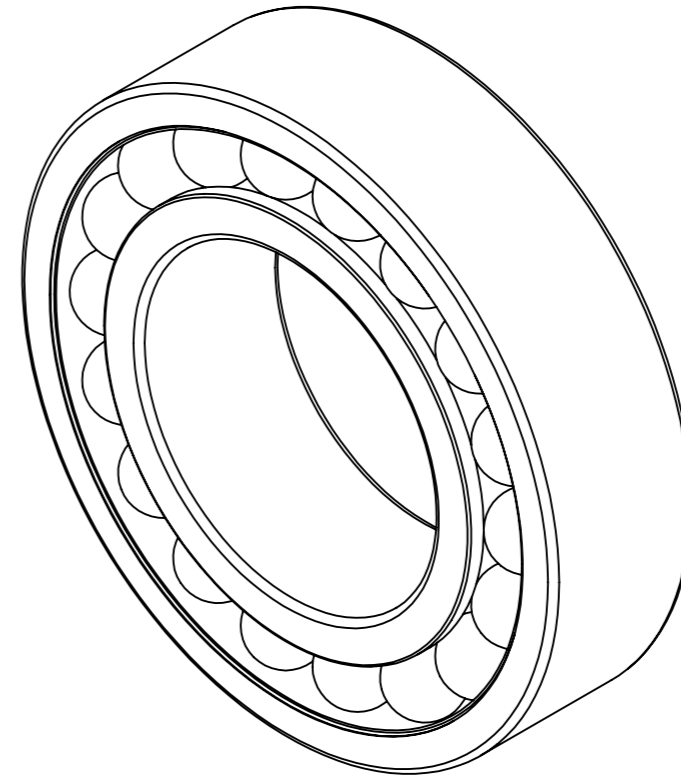
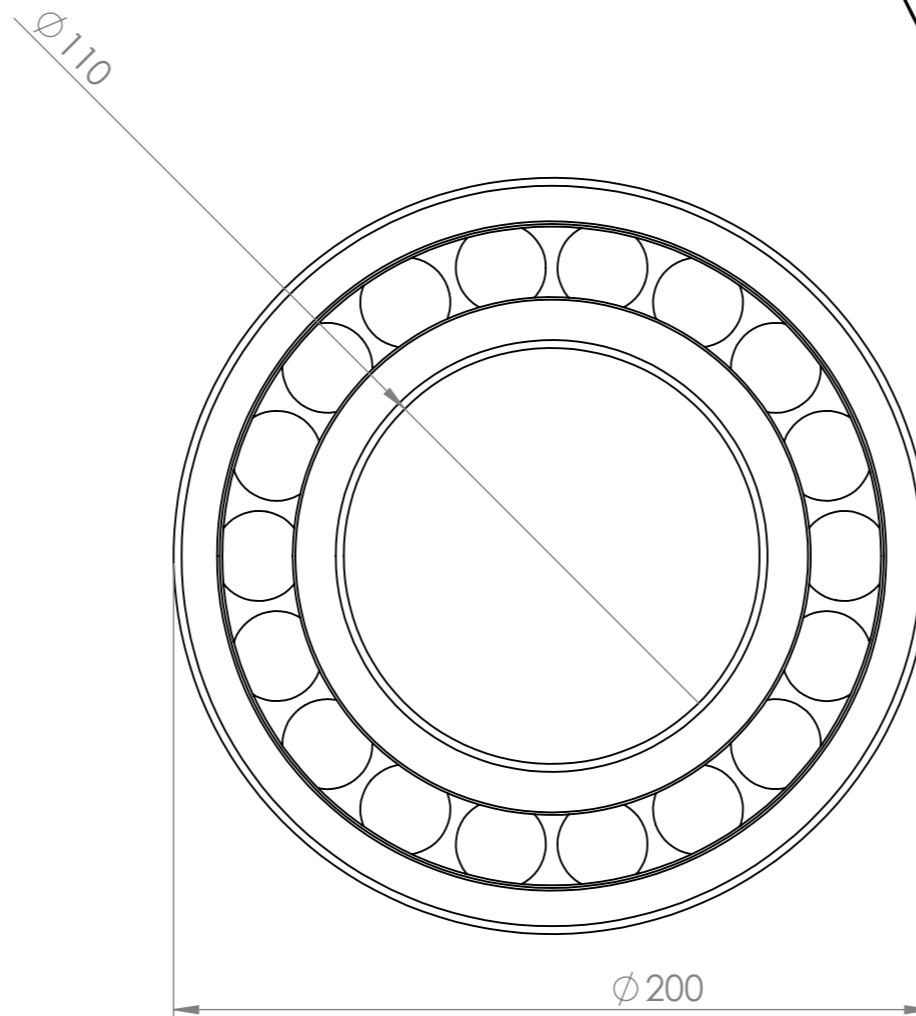
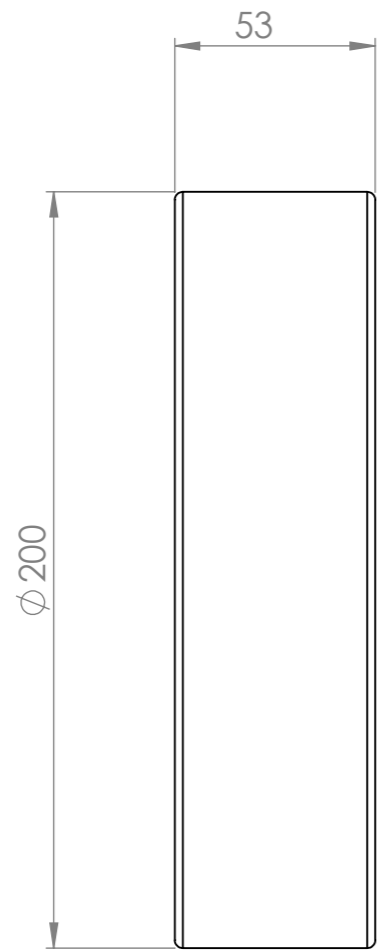
Diamètre extérieur D	320mm
Diamètre intérieur D	240mm
Largeur B	60mm
La charge de base dynamique C	685kN
La charge de base statique C0	1160 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	FAG 23948 MB				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

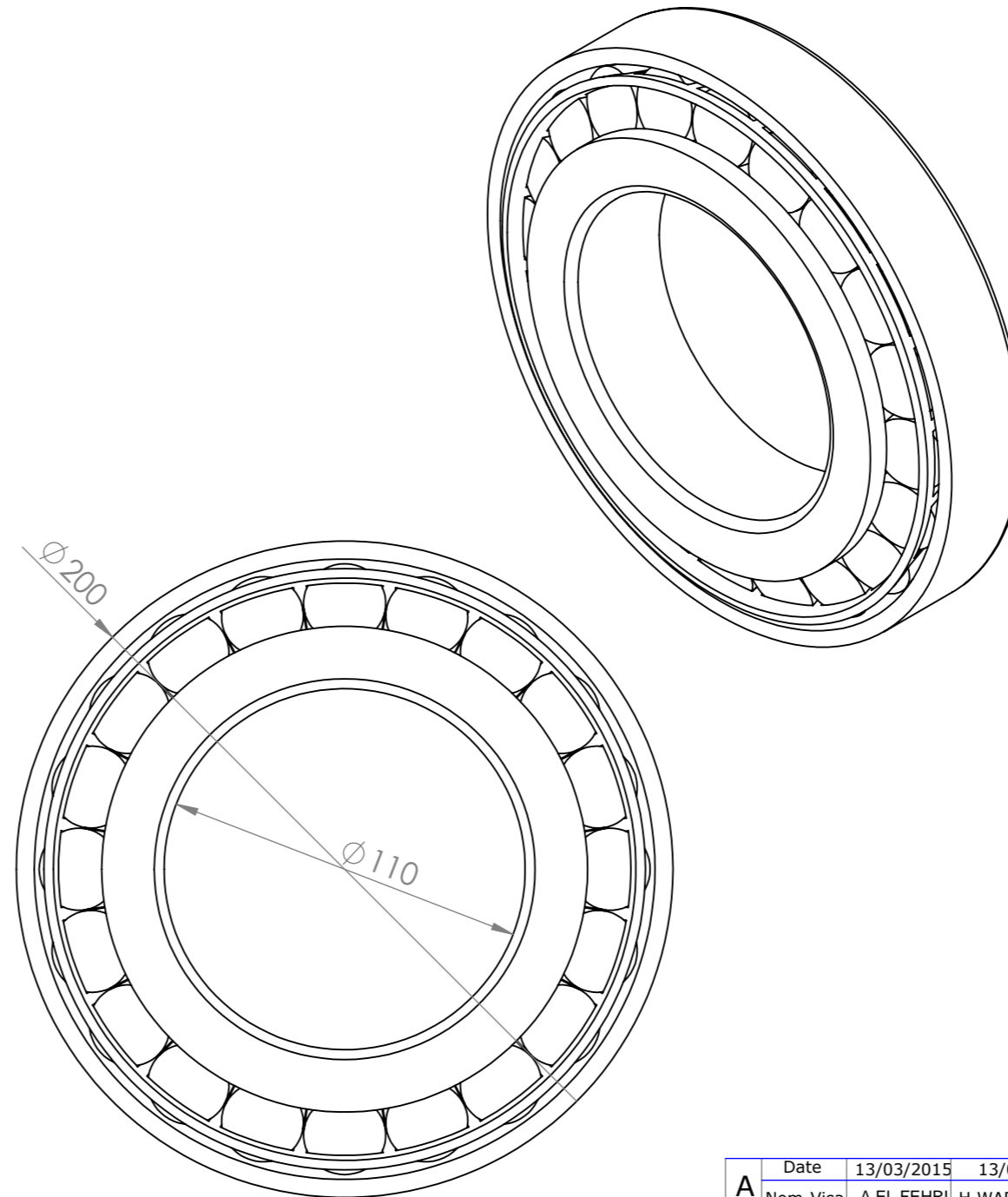
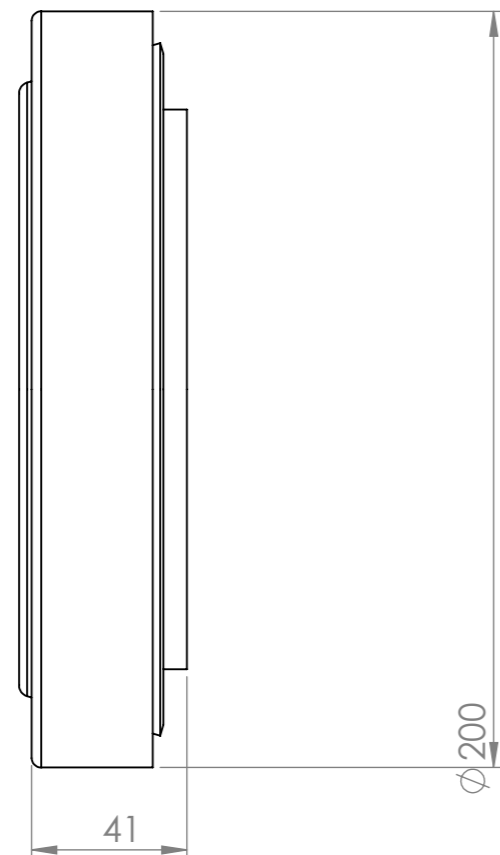
Diamètre extérieur D	200mm
Diamètre intérieur D	110mm
Largeur B	53mm
La charge de base dynamique C	124kN
La charge de base statique C0	52 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	SKF 2222 EC				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

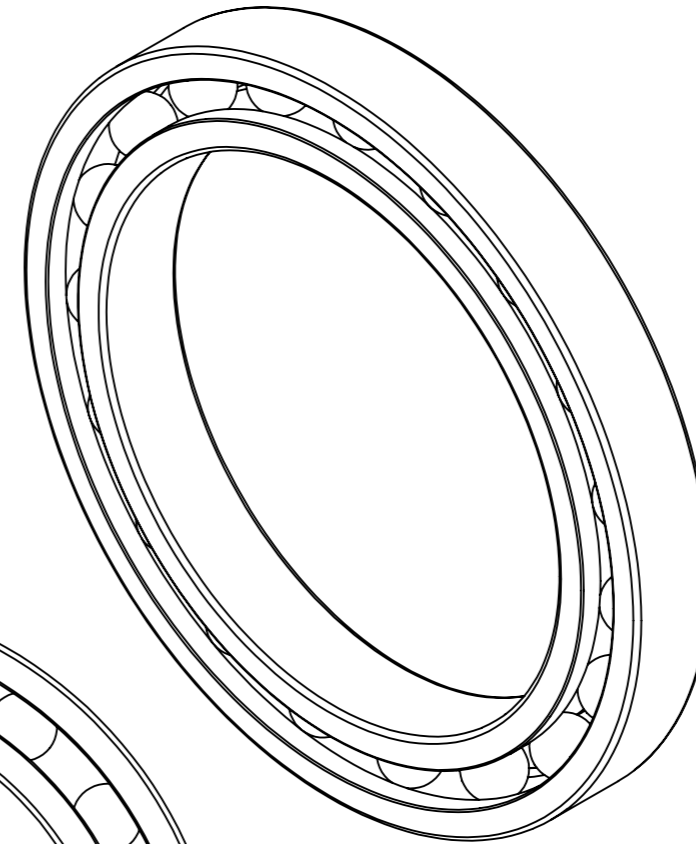
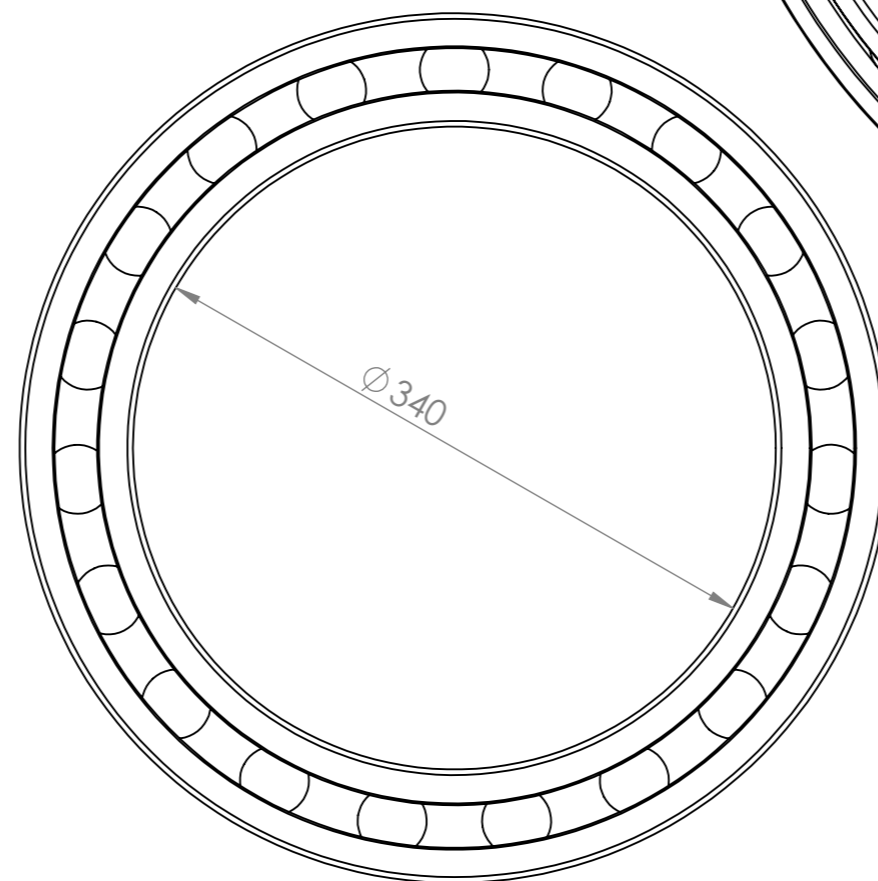
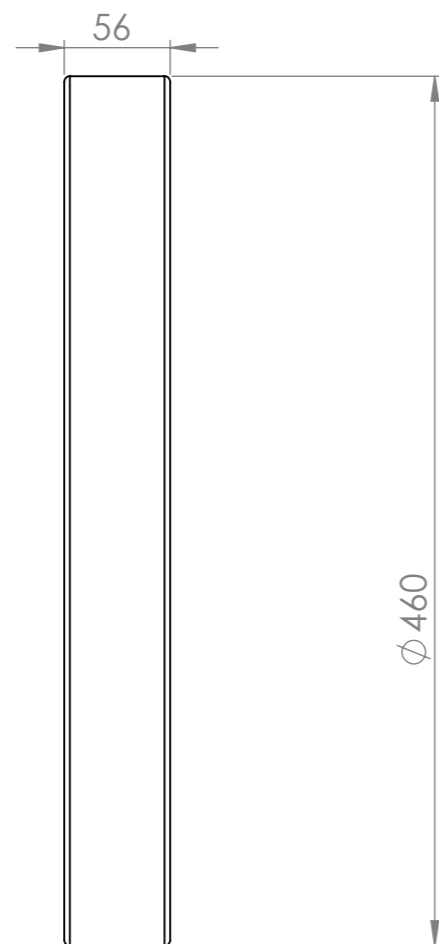
Diamètre extérieur D	200mm
Diamètre intérieur D	110mm
Largeur B	41mm
La charge de base dynamique C	308kN
La charge de base statique C0	405 KN




A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
Titre	SKF 30222				AFF N°
					Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation

Diamètre extérieur D	460mm
Diamètre intérieur D	340mm
Largeur B	56mm
La charge de base dynamique C	281kN
La charge de base statique C0	425 KN



A	Date	13/03/2015	13/03/2015	13/03/2015	Création
	Nom-Visa	A.EL FEHRI	H.WADOUNI	H.WADOUNI	
Index		Dessine	Verification	Approbation	Modification
	AFF N°				
Titre	SKF 61968 MB				Client
Matière:	 Société Marocaine d'Engrainages et de Mécanique 15, Boulevard du Fouarat 29150 Casablanca-Maroc Tél: 212 (0) 5 22 60.10.20/21 Fax: 212 (0) 5 22 60.10.76 E-mail: smem@menara.ma				Index
Traitement:					A
Quantité:					
	Echelle	Format	Devis N°	Réf Plan Client N°	Identification Plan N°
	/	A4		Svt Model	.....

Ce document est la propriété de la sté SMEM et ne doit être reproduit ou communiqué sans son autorisation