

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierat
Département : Génie mécanique
Domaine : Sciences et techniques
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**CONTRIBUTION À L'ÉLABORATION D'UNE GAMME
D'USINAGE D'UN ARBRE PIGNON D'UNE BOITE DE
VITESSES À TROIS ÉTAGES.**

Présenté par : *CHERGUI ABD EL GHANI*

Encadrant : *AMIRAT ABDELAZIZ. Professeur Université Badji Mokhtar-Annaba*

Jury de Soutenance :

BENGHERSALLAH. MOHIEDDINE	MC-A-	Université Badji Mokhtar-Annaba	Président
AMIRAT. ABDELAZIZ	Professeur	Université Badji Mokhtar-Annaba	Encadrant
/	/	/	Co-encadrant
LAOUAR. LAKHDAR	Professeur	Université Badji Mokhtar-Annaba	Examineur
/	/	/	Deuxième examinateur / Membre invité

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier Dieu le tout puissant de m' avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Pr AMIRAT Abdelaziz. Je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous les travailleurs du bureau de méthode au niveau de "ETRAG" pour leurs fructueuses informations et aides pratiques et leurs soutiens moraux et leurs encouragements.

Mes remerciements vont également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

A tous mes enseignants qui m'ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect.

Merci à vous tous.

Dédicaces

*A toute ma famille, particulièrement mes chers parents
Pour leurs sacrifices.*

*A ma belle-famille et particulièrement à Noureddine
pour*

son soutien moral et son aide.

A toutes mes amies.

RESUME

A l'égard de l'entreprise des tracteurs agricoles (ETRAG) d'Oued Hmimine Constantine, toutes les entreprises de fabrication mécaniques sont en phases de modernisation des moyens de leurs moyens de production. L'entreprise des tracteurs agricoles (ETRAG) d'Oued Hmimine Constantine, a connu une phase de modernisation de son parc machine qui a coûté un investissement colossal dans l'acquisition des équipements de haute technologie afin d'améliorer les conditions de travail et les coûts de production. Cependant l'acquisition de nouvelles machines demande une intégrité dans les procédés de fabrication. La stratégie d'usinage de chaque pièce doit s'intégrer dans les systèmes usinant de l'entreprise.

Le travail dans ce mémoire est une contribution à l'élaboration de la gamme d'usinage d'un arbre pignon d'une boîte de vitesses à 3 étages. L'objectif est de répondre à un besoin de l'entreprise de tracteurs agricoles de Constantine qui consiste à déterminer une stratégie d'usinage de l'arbre pignon en fonction des moyens de production de l'entreprise.

Les données de l'engrenage sont composées de l'arbre pignon qui transmet le mouvement de rotation à la couronne dentée un entraxe de 160 mm. et le rapport de transmission est de 11/69 et un module de 4 et un angle de pression de 20°. L'analyse géométrique de l'engrenage montre qu'il y a une interférence qu'il faut éliminer par déport. Ce déport a été calculé avec la méthode de Défailly sous une application Excel (développé au sein du Laboratoire de recherche LRTAPM) et vérifié avec les données de l'ETRAG et a donné un coefficient de déport de 0.54714, pour un angle de pression de 20°.

La mise en plan a été réalisée en détail sous SolidWorks. La stratégie d'usinage consiste en 9 phases depuis la préparation du brute jusqu'au contrôle de la pièce finie. Le choix de la matière est portée sur l'acier 20MNCr5, la production est en série, le brute est obtenu par forgeage, la surépaisseur d'usinage a été déterminée sur la cote sur les diamètres 30p6 et 40p6. Les outils de coupe sont choisis sur la base de la recommandation de Sandvick. L'outil pignon doit être fabriqué ou bien commandé en fonction de la nouvelle géométrie de la denture déportée

Toutes les phases d'usinage impliquent les moyens de production de l'entreprise

Mots Clés : Usinage, Gamme, Surépaisseur, Taillage, Correction Dentures, SolidWork

Abstract

With regard to the agricultural tractor company (ETRAG) of Oued Hmimine Constantine, all the mechanical manufacturing companies are in the process of modernizing the means of their means of production. Oued Hmimine Constantine went through a phase of modernizing its machine park which cost a colossal investment in the acquisition of high-tech equipment in order to improve working conditions and production costs. However, the acquisition of new machinery requires integrity in the manufacturing process. The machining strategy for each part must fit into the company's machining systems.

The work in this thesis is a contribution to the development of the machining range of a pinion shaft of a 3-stage gearbox. The goal is to meet a need of the Constantine farm tractor company to determine a pinion shaft machining strategy based on the company's means of production. The data of the gear is composed of the pinion shaft which transmits the rotational movement to the ring gear with a centre distance of 160 mm. And the transmission ratio is 24/45 and a modulus of 4 and a pressure angle of 20 °. Geometric analysis of the gear shows that there is interference that needs to be offset. This offset was calculated with the Défailly method under an Excel application (developed within the LRTAPM research laboratory) and verified with data from ETRAG and gave an offset coefficient of 0.54714, for a pressure angle of 20 °. The setting in plan was carried out in detail under SolidWorks. The strategy of machining consists of 8 phases since the preparation of rough until the control of the finished part. The choice of the matter is related to steel 20MNCr5, the production is in series, the rough one is obtained by forging; the machining stock allowance was given on the dimension of diameters 30p6 and 40p6. The cutting tools are selected on the basis of recommendation of Sandvick. The pinion tool must be manufactured or ordered according to the new geometry of the offset of tooth.

All the phases of machining imply the means of production of the company

Keywords: Machining, Strategy, Stock allowance, Cutting, Gear correction, SolidWork

Sommaire :

REMERCIEMENTS
Dédicace
Résumé
ABSTRACT
SOMMAIRE
Liste de figure
Liste de tableau
Introduction générale

CHAPITRE I**Etude bibliographique de centre de tournage**

I.1 Le centre de tournage	16
I.1.1 Définition	16
I.1.2 Les opérations réalisées au centre d'usinage	16
I.2 Isostatisme	20
I.2.1 Prise de pièce	20
I.2.2 La pièce est un des maillons de la chaîne technologique	21
I.2.3. L'isostatisme	22
I.2.4. L'étude théorique du repérage isostatique	22
I.3 Repérage d'un solide dans un référentiel	23
I.3.1 La détermination du référentiel	23
I.3.2 Le trièdre de référence	24
I.3.3 Symbolisation géométrique	24
I.3.4 Choix des surfaces de mise en position	24
I.4 Symbolisation technologique	27
I.4.1 Exemples d'application	28
I.4.2 Cotation de fabrication	28
I.4.3 Cote de fabrication	28
I.4.4 Les cotes machine	28
I.5 Les cotes outils	29
I.5.1 Les cotes appareillage	29
I.5.2 Transfert de cote et d'orientation	30
I.5.3 Exemple de transfère	30
I.5.4 Matériaux outils	31
I.6 Les matériaux des outils	32

I.6.1 Principaux paramètres de coupe	32
---	-----------

Chapitre II

Condition fonctionnelle de l'arbre pignon

II.1 analyse de dessin de définition	35
II.1.2 Le dessin de définition	35
II.1.3 donné de départ	36
II.1.4 Généralités SUR LES engrenages	36
II.1.5 Les avantages de la transmission par engrenage sont	36
II.1.6 Les inconvénients sont	36
II.1.7 D'après la forme du profil, il existe plusieurs dentures	37
II.2 Engrenages parallèles à dentures droites	37
II.2.1 Définition	37
II.2.2 Caractéristiques des dentures	38
II.2.3 Dentures	38
II.3 Géométrie et technologie	38
II.3.1 Définition de la développante	41
II.3.2 interférence de dentures	42
II.3.3 Interférence de fonctionnement	42
II.3.4. Interférence de taillage	42
II.4. Les différents outils de taillage	43
II.4.1. Taillage par outil pignon (ou procédé FELLOWS)	43
II.4.2. Description de l'outil pignon	44
II.4.3. Conditions d'usinage	44
II.4.4. Avantages et inconvénients	45
II.5. Conclusion	45
II.5.1. Caractéristique de la denture normale	45
II.5.2. Caractéristique de la denture déportée	46
II.5.3 Description des cannelures de l'arbre pignon	47

II.6 Présentation de l'entreprise tracteurs agricoles (epe etrag spa)	48
II.6.1 Historique	48
II.6.2 PRESENTATION DES DIFFERENTES DIVISION ET	48
II.6.3 DEPARTEMENT	48
Les différents métiers et activités	48
II.6.4 Bâtiment 6 (chaudronnerie et construction métallique)	49
La forge	49
II.6.5 Bâtiment 5 : (Usinage mécanique et traitements thermiques)	50

CHAPITRE III

CONCEPTION DE L'arbre pignon SUR SOLIDWORKS

III.1 Définition du logiciel CAO SolidWorks	54
III.1.2 Modélisation géométrique	54
III.1.3 Procédure de travail sous SolidWorks	54
III.2 Modélisation géométrique de L'arbre pignon	54
III.2.1 Défilement chronologique des différentes étapes en fonction de la progression du dessin	54
III.3. Mise en page de arbre pignon et la grand roue	68
III.3.1. Chronologie de montage de l'ensemble arbre creux de renvoi	70

Chapitre IV

Élaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

IV.1. Définition de l'arbre pignon	72
IV.1.1 Analyse du dessin de définition de l'arbre pignon	73
IV.1.2 Tolérances dimensionnelles	73
IV.1.3 Les tolérances géométriques	73
IV.1.4 Etat de surface	74
IV.2. -Matériau de la pièce étudiée (FK20MnCr5)	74
IV.2.1. -Différentes désignation du matériau	74
IV.2.2 Description du matériau	75
IV.2.3 Choix du matériau	75
IV.2.4 Composition chimique	76
IV.2.5 Caractéristique mécanique	76
IV.3. Forgeage	76
IV.3.1. Définition	76
IV.3.2. Schéma du procédé de forgeage	77
IV.3.3 Avantage de forgeage	77
IV.3.4. Surépaisseur d'usinage	78
IV.3.5 Différente surépaisseur d'usinage	78
IV.4 Calcul de la surépaisseur d'usinage pour le diamètre Ø40p6	79
IV.4.1 Cotes technologiques et arrondissements des cotes pour l'obtention du diamètre Ø40p6	80
IV.4.2 Dessin de du brut forgé	83
IV.4.3 Calcule volume et la masse du brut forgé	83
IV.5 Stratège de la gamme d'usinage de l'arbre pignon	84

Liste des figures :

CHAPITRE I

Etude bibliographique de centre de tournage

Figure. I- 1 : l'opération de chariotage .	16
Figure. I- 2 : l'opération de dressage.	17
Figure. I- 3 : l'opération de perçage.	17
Figure. I- 4 : l'opération de L'alésage.	18
Figure. I- 5: l'opération de rainurage .	18
Figure. I- 6: l'opération de chanfreinage.	18
Figure. I- 7 : l'opération de tronçonnage	19
Figure. I- 8 : l'opération de filetage.	19
Figure. I-9 : la machine okuma de centre de tournage.	20
Figure. I- 10 : Prise de pièce.	21
Figure. I-11: La pièce à usiner doit être orientée correctement .	21
Figure. I-12 : L'étude théorique du repérage isostatique.	23
Figure. I-13: axe de rotation x, y, z .	24
Figure. I-14 : les vue .	24
Figure. I-15: Choix de la liaison selon la taille de la surface .	25
Figure. I-16 : la surface usinée à la surface de mise en position.	25
Figure. I-17 : stabilité de la pièce durant l'usinage.2	26
Figure. I-18 : Mise en position hyperstatique.	26
Figure. I-19: des pièces cylindriques montées en l'air.	27
Figure. I-20 : Symbolisation technologique.	27
Figure. I-21 : Exemples d'application sur la pièce.	28
Figure. I-22 : Exemples des cotes machines.	29
Figure. I-23 : Exemples des cotes outils.	29
Figure. I-24 : Exemple de cote appareillage.	30
Figure. I-25 : Exemple de transfère.	30
Figure. I-26 : Illustration des aptitudes des matériaux à outil	32

Chapitre II

Condition fonctionnelle de l'arbre pignon

Figure. II- 1 : de définition de l'arbre pignon.	36
Figure. II- 2 : Caractéristiques géométriques des roues dentées	37
Figure. II- 3 : Géométrie de la dent	38
Figure. II- 4 : la développante de cercle	41
Figure. II- 5: Interférence de fonctionnement	42
Figure. II- 6 : Interférence de taillage	43
Figure. II- 7 : Taillage par outil pignon	44
Figure. II- 8: l'outil pignon	44

CHAPITRE III

CONCEPTION DE L'arbre pignon SUR SOLIDWORKS

Figure. III- 1 : Étape 1.	55
Figure. III- 2 : électionner le plan de face.	55
Figure. III- 3 : Dessiner sur l'esquisse en 2D.	56
Figure. III- 4 : Bossage avec révolution.	57
Figure. III- 5 : réaliser filetage.	57
Figure. III- 6 : réaliser la denture	58
Figure. III- 7: la symétrie du profil.	59
Figure. III- 8 : "enlèvement de matière'.	59
Figure. III- 9: sur répétition circulaire.	60
Figure. III- 10: le plan et la surface.	60
Figure. III- 11: "enlèvement de matière'.	61
Figure. III- 12: répétition circulaire.	61
Figure. III- 13: "enlèvement de matière'.	62
Figure. III- 14: réaliser la rainure.	62
Figure. III- 15: "enlèvement de matière extrudè.	63
Figure. III- 16 : "enlèvement de matière .	63
Figure. III- 17: sélectionne les éléments à chanfreiner	63
Figure. III- 18: réalisation du chanfrein de (0,5 * 45°).	64
Figure. III- 19: la cotation du côtes.	64
Figure. III- 20: sélectionne le plan	65
Figure. III- 21: la cotation du côtes.	65
Figure. III- 22: la Choisir le matériau.	
Figure. III- 23: La pièce finie .	66
Figure. III- 24: Mise en page de arbre pingon.	66
Figure. III- 25: Mise en page de la grand rouc.	67
Figure. III- 26: l'ensemble arbre creux de renvoi	70

Chapitre IV

Élaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Figure. IV - 1: dessin définition de l'arbre pignon.	72
Figure. IV - 2: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5). (DIN)	74
Figure. IV -3: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5). (ISO)	74
Figure. IV -4: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5) (AFNOR)	75
Figure. IV -5: Schéma du procédé de forgeage	77
Figure. IV -6: surépaisseur d'usinage	79
Figure. IV -7: figure présente le schéma de disposition des surépaisseurs, cotes et tolérance intermédiaires lors de l'usinage de l'arbre Ø40p6	82
Figure. IV -8: Dessin de du brut forgé.	83
Figure. IV -9: le volume et la masse du brut forgé	83

Liste de tableaux :

Chapitre II

Condition fonctionnelle de l'arbre pignon

Tableau 1 : caractéristique de la dent normal calculée par Excel .	45
Tableau 2 : caractéristique de la dent normale calculée par Excel	45
Tableau 3 : caractéristique de la dent déportée calculée par Excel	46
Tableau 4 : caractéristique de la dent déportée calculée par Excel	46

Chapitre IV

Élaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Tableau 2 : Etat de surface	74
Tableau 2: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5).	74
Tableau 3: Calcul de la surépaisseur d'usinage pour le diamètre Ø40p6.	80
Tableau 4 : Cotes Technologiques pour l'obtention du diamètre Ø40p6	81

Introduction générale :

Ce travail s'intègre dans la préparation de diplôme de fin d'études en Master de fabrication mécanique et productique au département de Génie Mécanique de l'université Badji Mokhtar Annaba.

La fabrication mécanique est un maillon important dans l'industrie mécanique en Algérie. Les différentes entreprises son continuellement à la recherche de compétences pour es intégrer dans leurs bureaux d'études et bureaux de méthodes. A l'égard de l'entreprise des tracteurs agricoles (ETRAG) d'Oued Hmimine Constantine est une entreprise modèle dans la fabrication des pièces d'ensembles de tracteurs avant de les monter. Une gamme variée des pièces comme les arbres, les roues dentées, les leviers les carters, les tôles est produite dans différents ateliers depuis la production de la pièce brute par moulage ou forgeage ou bien débitage de produits laminées jusqu'aux opérations complexes telles que le taillage et la rectification des roues dentées qu'elles soient droite, hélicoïdales à axes concourants ou axes parallèles.

Le sujet de ce mémoire est une partie d'un thème principale sur la fabrication d'une boîte de vitesses à trois étages composée du bloc, d'arbres, de roues dentées de baladeurs, de couvercles de roulements, de joints etc...

Le département de Génie Mécanique en partenariat avec l'ETRAG sont convenus en commun accord pour que les étudiants fin de cycle contribuent dans l'élaboration de la gamme d'usinage de certains pièces de la boîte de vitesses.

A cet effet, l'ETRAG a pris en charge 3 étudiants pour étudier trois pièces particulières de la boîte des vitesses à savoir :

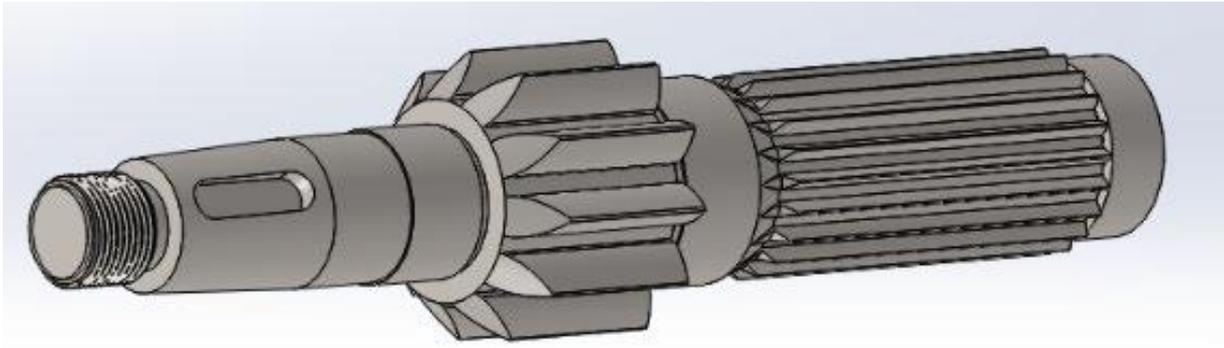
- 1) L'arbre pignon confié à CHERGUI Abdelghani
- 2) Roue Baladeur confié à BERRIA Aymen
- 3) Roue double confiée à MAKHLOUF Amer.

Ce mémoire est préparé par CHERGUI Abdelghani et a pour titre :

Contribution à l'élaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon d'une boîte de vitesses à trois étages.

Le mémoire est composé de 4 chapitres dont le premier est l'introduction générale du contexte de ce mémoire

Le premier : est dédié à l'étude bibliographique qui forme un complément d'information bibliographique avec la bibliographie présentée dans les 2 autres mémoires des sujets cités ci-dessus. Il est composé de 2 parties : la première présente l'isostatisme et la deuxième parties met en évidence les centre de tournage et son importance dans la fabrication des pièces de types arbres.



Vue 3D de l'arbre pignon

Le deuxième chapitre : présent les conditions fonctionnelles de l'arbre pignon. Elles consistent en l'analyse du dessin de définition de la pièce sur la base de document de départ de l'entreprise. Cette analyse révèle les différentes surfaces fonctionnelles de la pièce et apporte des modifications nécessaires pour le bon fonctionnement de la pièce. La modification concerne la correction du pignon denté à travers un calcul de déport de la denture. Une fois les modifications sont réalisées.

Le troisième chapitre : conception de la pièce est réalisée sous le logiciel SolidWorks. L'arbre chronologique de la conception est détaillé. Et enfin la mise en plan est réalisée.

Le quatrième chapitre forme le chapitre clef de ce mémoire car il présente la stratégie d'usinage de l'arbre pignon. La stratégie est étalée depuis la pièce brute jusqu'à la pièce finie en passant par le choix de la matière, la détermination de la cadence de production, la détermination de la surépaisseur d'usinage, les régimes de coupe, les différentes phases d'usinage et de contrôle, le traitement thermique et le contrôle.

Une conclusion du mémoire rapporte les principaux résultats de ce travail.

Le mémoire est clôturé par une liste de référence bibliographique.

Un annexe sur type de programmation en langage ISO sur le centre d'usinage est donnée.

CHAPITRE I

Etude bibliographique de centre de tournage

I.1 Le centre de tournage :

Les centres d'usinage, qu'ils soient horizontaux ou verticaux sont utilisés pour la production de pièces en grande quantité mais ils sont aussi très utiles dans l'usinage lourd et particulièrement adaptés aux pièces de grandes dimensions. Leurs avantages résident dans un premier temps dans leur rapidité et également dans leur précision la possibilité de les équiper avec différents outils leur permet de répondre à différents types de projets. [1].

I.1.1 Définition :

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- L'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- Les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- Les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- Les dispositifs de changement de pièce,
- Les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux,

Les commandes numériques sont employées le plus fréquemment :

- En fraisage à commande numérique (FCN)
- En tournage à commande numérique (TCN)
- Dans les centres d'usinage à commande numérique (CUCN). [1]

I.1.2 Les opérations réalisées au centre d'usinage :

Le **chariotage** est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure [2].

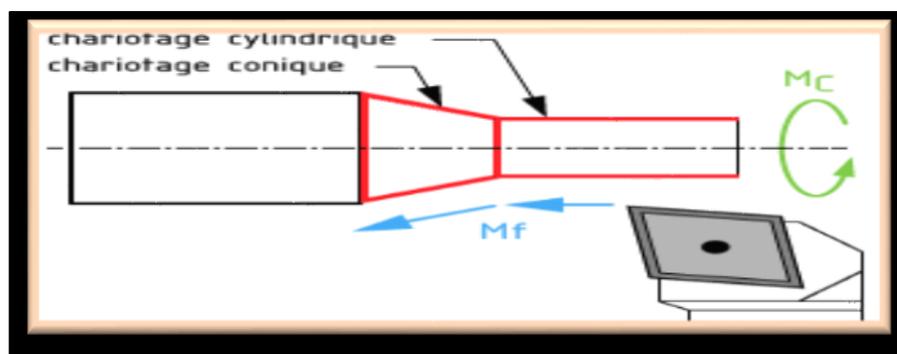


Figure. I- 1 : l'opération de chariotage [2].

Le **dressage** est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche

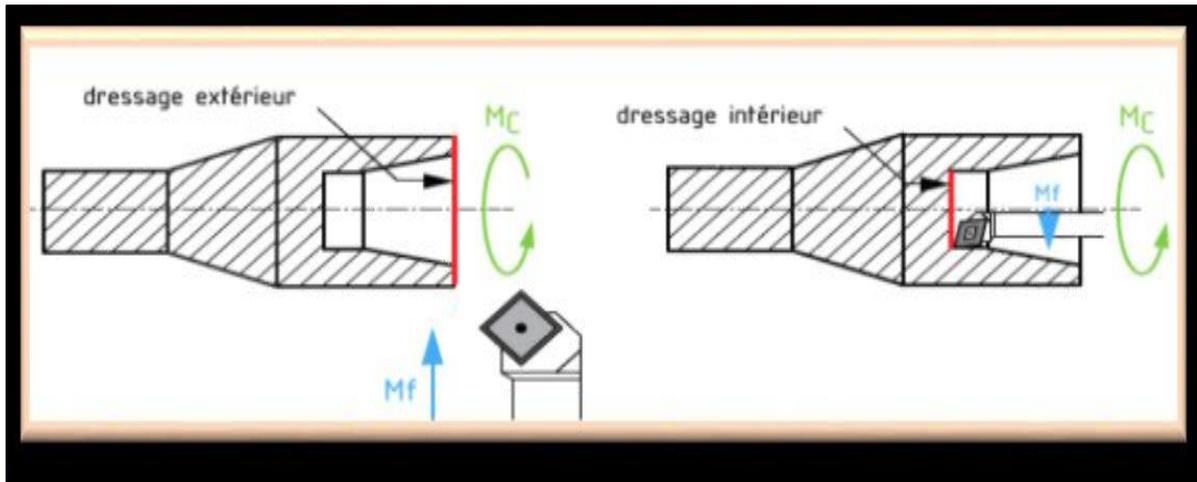


Figure. I- 2 : l'opération de dressage.

Le **perçage** est l'opération qui consiste à usiner un trou dans la pièce (débouchant ou borgne) à l'aide d'une forêt. Souvent, l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce.

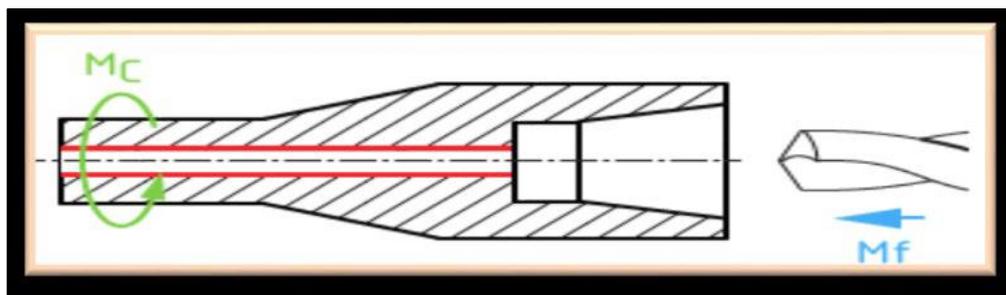


Figure. I- 3 : l'opération de perçage.

L'**alésage** est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce.

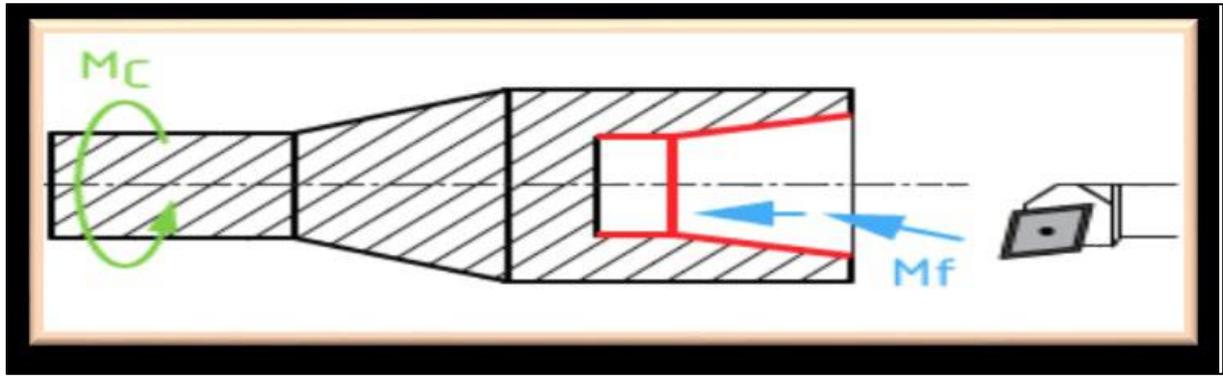


Figure. I- 4 : l'opération de L'alésage.

Le **rainurage** est l'opération qui consiste à usiner une rainure (association de 3 plans) intérieure ou extérieure. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique.

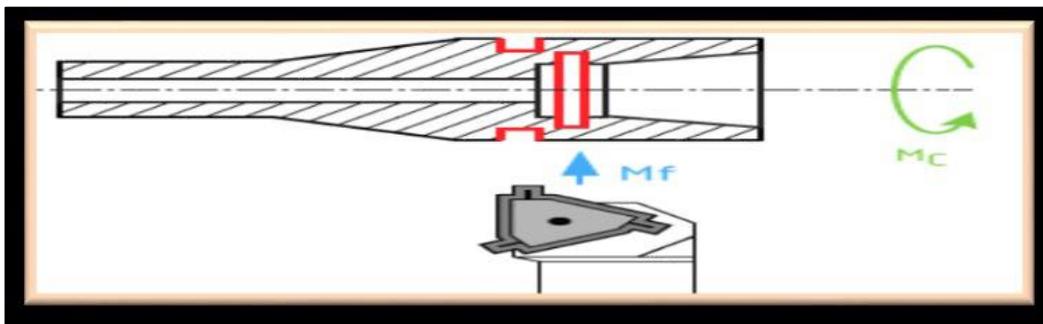


Figure. I- 5: l'opération de rainurage .

Le **chanfreinage** est l'opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif.

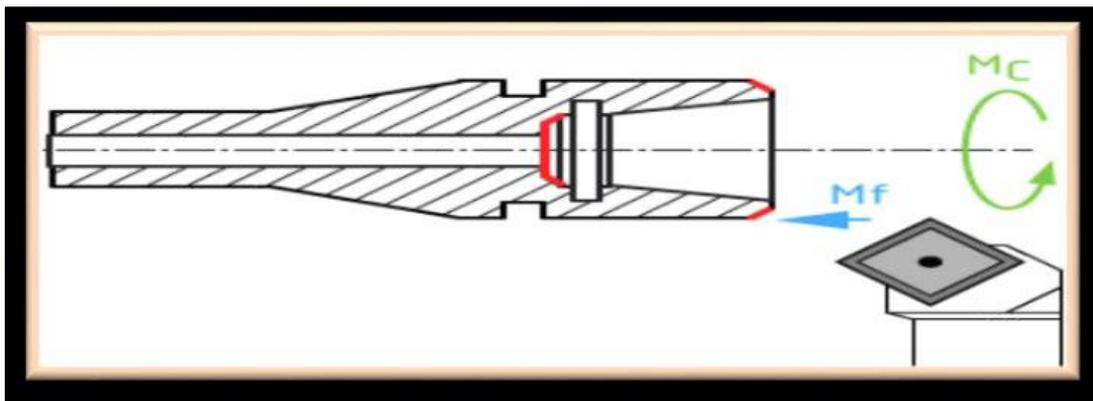


Figure. I- 6: l'opération de chanfreinage [2].

Le tronçonnage est l'opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin de détacher un tronçon

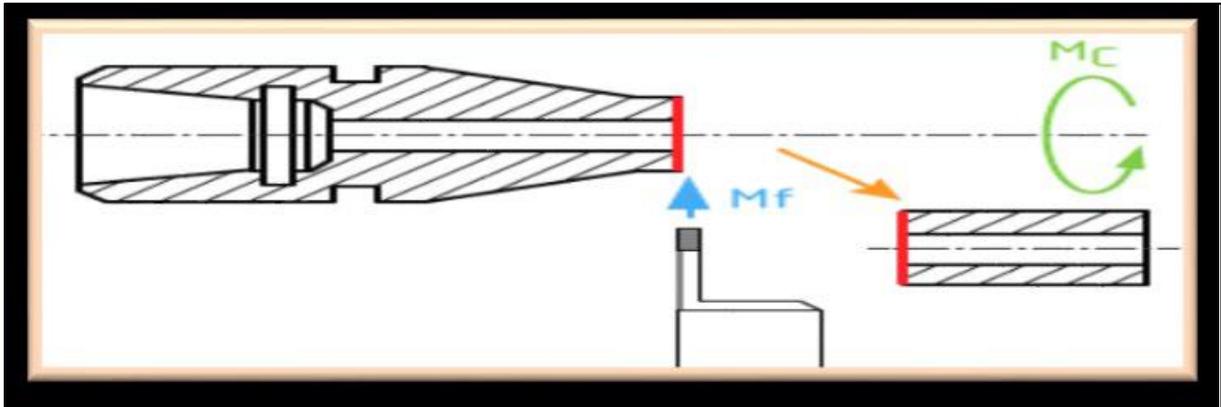


Figure. I- 7 : l'opération de tronçonnage.

Le filetage est l'usinage consistant à réaliser un filetage extérieur ou intérieur

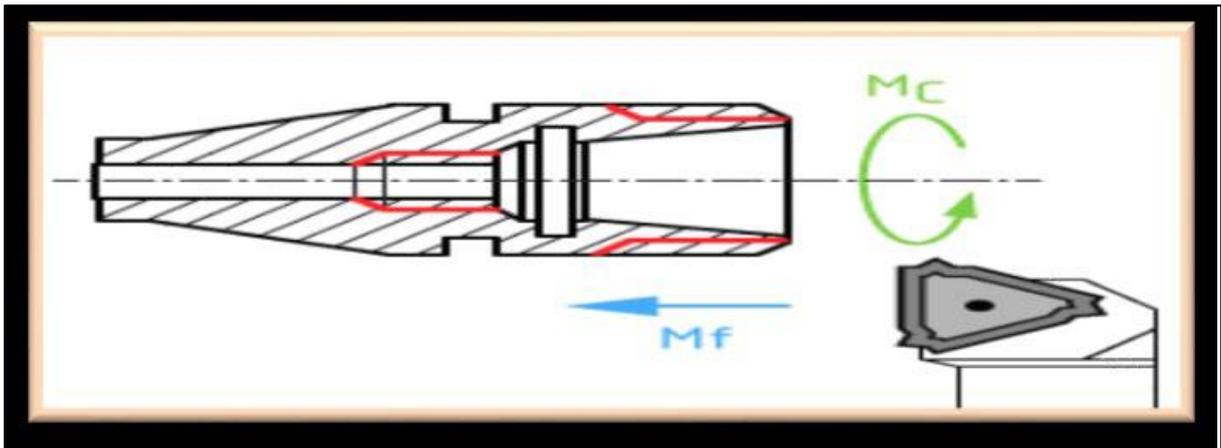


Figure. I- 8 : l'opération de filetage.

Tour à Commande Numérique OKUMA LU 3000 EX MYC 1000 4 axes (OSP – P300 L) Constructeur OKUMA (Japon) Tournage, perçage et fraisage des rainurés dé clavetté, sur les roués et arbres

➤ Capacité s d'usinagé :

φ Diamé tré maximum de passage580 mm

φ Diamé tré maximum d'usinagé410 mm

φ Longéur d'usinagé1000 mm

φ Coursé Axé X : Xa (touréllé supé riéuré) :.....260 mm

φ Coursé Axé Y : (sur tourelle supé riéuré): 120 mm (+70/-50)

φ Coursé Axé Za (tourelle supé riéuré) :.....1085 mm

➤Passage dé Broché Diamé tré 80: possibilité dé tournage dés arbres longeurs sup. a 1 000 mm Passage dé Broché Diamé tré 80:

Possibilité dé tournage dés arbres longeurs sup. a 1 000 mm



Figure. I-9 : la machine okuma de centre de tournage.

I.2 isostatisme :

I.2.1 Prise de pièce :

Lors de l'usinage d'une pièce sur une machine-outil l'ensemble constitué par la pièce à usiner, le porte-pièce utilisé (mandrin, étau ou montage d'usinage), la machine-outil, le porte-outil et l'outil forme un système bouclé. La pièce étant un des maillons de cette chaîne elle joue un rôle important car c'est sur celle-ci que le régleur interviendra afin de positionner correctement les surfaces à usiner S_u par rapport aux surfaces S qui participent à la mise en position de la pièce dans son support [3].

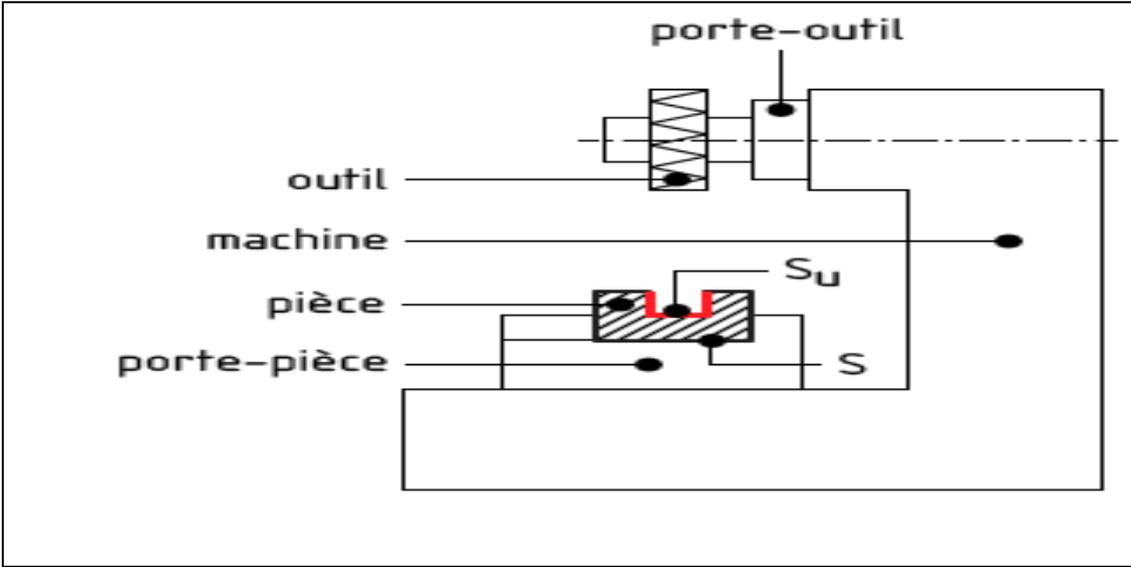


Figure. I- 10 : Prise de pièce.

I.2 2 La pièce est un des maillons de la chaîne technologique :

Notons le fait que la liaison pièce/porte-pièce doit remplir simultanément les trois fonctions suivantes :

a) orientation correcte de la pièce, pour permettre à ce que les surfaces S_u usinées dans la phase d'usinage considérée aient les meilleures chances d'occuper par rapport à d'autres surfaces S existant déjà sur la pièce une position imposée par le dessin [3].

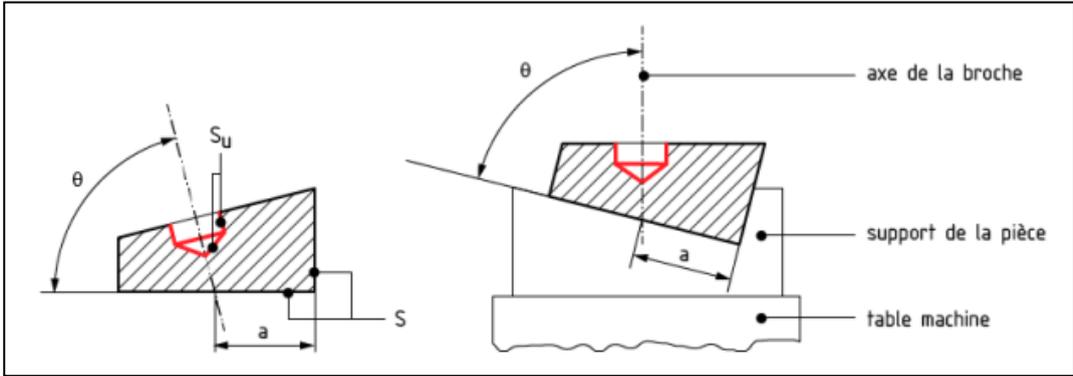


Figure. I-11: La pièce à usiner doit être orientée correctement .

b) mise en position isostatique de la pièce dans son porte-pièce pour que, lors d'une fabrication en série, toutes les pièces prennent, par rapport au porte-pièce, des positions qui

ne remettent pas en cause pour chaque pièce le réglage initial des outils, tout en conservant une position correcte des surfaces usinées S_u par rapport aux surfaces S .

c) maintien de la pièce dans le porte-pièce pour que les efforts de coupe perturbent le moins possible la position initiale pièce/porte-pièce[3]..

I.2.3 L'isostatisme :

Les déplacements des machines-outils sont définis par un système d'axes qui constitue le référentiel de base $OXYZ$, O étant l'origine du système et X, Y, Z les axes.

La fabrication des pièces en série impose :

- que les pièces soient toujours situées de la même façon par rapport aux outils et dans le référentiel,
- que soient respectées les conditions du bureau d'études (BE) :
 - cotation fonctionnelle,
 - tolérances de forme et de position,
 - indice de rugosité en fonction du procédé d'obtention,
- l'interchangeabilité,
- d'avoir des formes simples (pour avoir, si possible, une prise de pièce facile),
- de réduire les usinages,
- de simplifier les montages d'usinage,
- d'utiliser des outils normalisés.

I.2.4 L'étude théorique du repérage isostatique :

Déterminer les surfaces d'appui sur la pièce à usiner, dans le but :

- de respecter les spécifications du dessin de définition (DD),

- de tenir compte de la répétitivité de l'usinage, dans un travail de série.

Le problème posé sera donc de repérer un solide dans un référentiel.

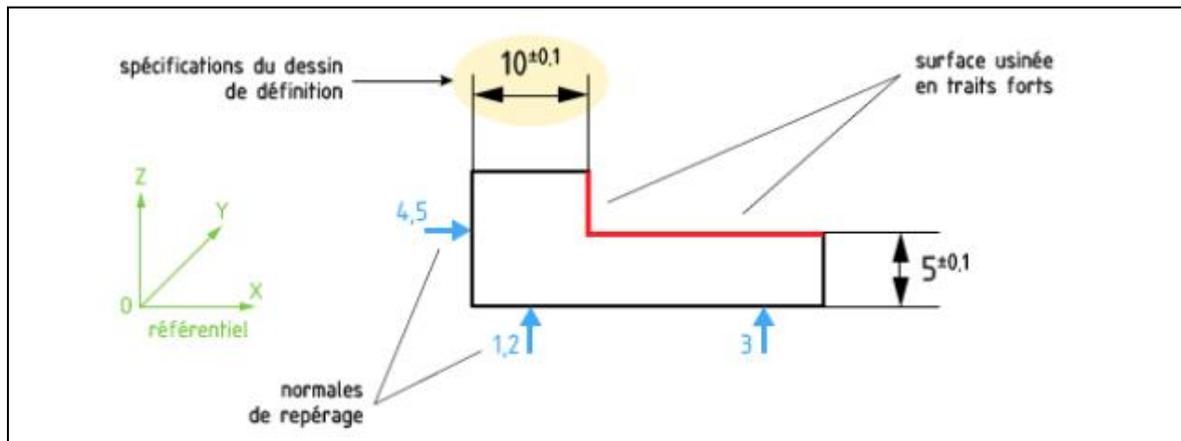


Figure. I-12 : L'étude théorique du repérage isostatique.

I.3 Repérage d'un solide dans un référentiel :

I.3.1 La détermination du référentiel :

Un solide doit être situé dans un référentiel par un certain nombre de contacts ponctuels, qui représentent des liaisons.

Le référentiel est constitué par l'ensemble des objets mécaniques permettant d'assurer la mise en place correcte de la pièce pour un usinage déterminé. On utilise les axes normalisés des machines - outils (MO) :

- Axe Z → axe de la broche principale,
- Axe Y → axe formant un trièdre de sens direct avec X et Z .

Les degrés de liberté ; principe de Kelvin

Un solide libre dans l'espace (cas d'une pièce à usiner avant sa mise en position sur une machine) possède 6 degrés de liberté, que l'on définit ainsi, par rapport à un système d'axes orthogonaux :

3 Translations : T_x, T_y, T_z , 3 Rotations : R_x, R_y, R_z

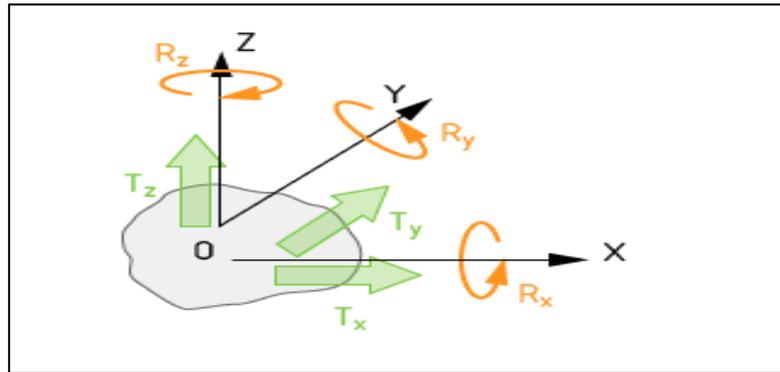


Figure. I-13: axe de rotation x , y , z .

I.3.2 Le trièdre de référence :

I.3.3 Symbolisation géométrique :

Elle concerne les symboles de base utilisés dans la définition d'une mise en position géométrique d'une pièce. Elle ne permet pas de connaître les technologies utilisées pour la mise en position

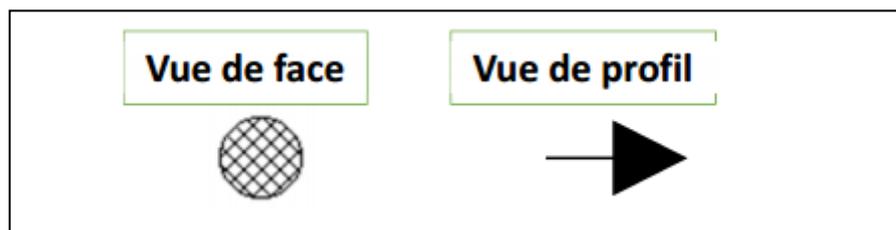


Figure. I-14 : les vue .

I.3.4 Choix des surfaces de mise en position :

Une mise en position est isostatique si :

- le n° des degrés de liaisons (normales) est égal au nombre de degrés de libertés supprimés,
- chacune des normales contribue à éliminer un degré de liberté.

Règle 1 : La surface choisie doit être suffisamment importante pour recevoir le nombre de normales choisi.

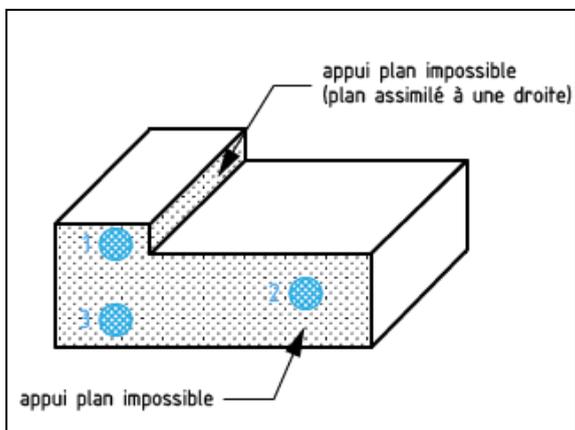


Figure. I-15: Choix de la liaison selon la taille de la surface .

Règle 2 : Une cote relie la surface usinée à la surface de mise en position.

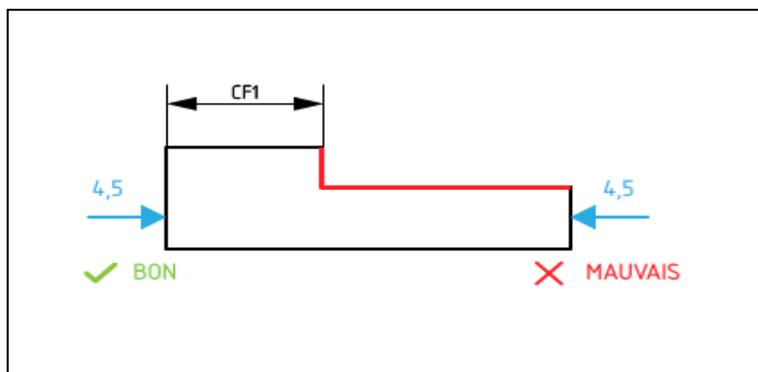


Figure. I-16 : la surface usinée à la surface de mise en position.

La cote fabriquée Cf1 relie la surface usinée et celle de mise en position.

Règle 3 : Le nombre de normales sur chaque surface est fonction de la précision de la cote. Plus la cote est précise, plus le nombre de normales est important

Règle 4 : Les normales de repérages doivent être les plus espacées possibles afin d'assurer une meilleure stabilité de la pièce durant l'usinage.

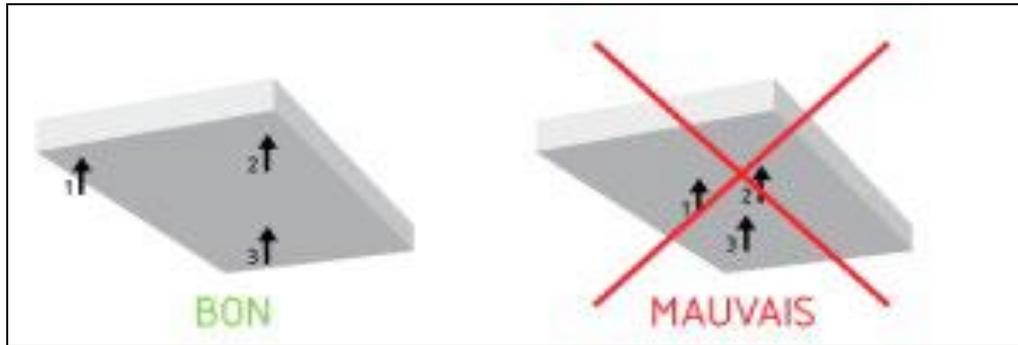


Figure. I-17 : stabilité de la pièce durant l'usinage.²

Règle 5 : L'emplacement d'une normale de repérage est déterminé afin que le degré de liberté qu'elle supprime ne soit pas déjà interdit par une autre normale.

Règle 6 : Ne jamais placer plus de trois normales parallèles ; dans ce cas, les points de contact ne doivent pas être en ligne droite.

Règle 7 : Ne jamais placer plus de six normales pour obtenir une mise en position isostatique.

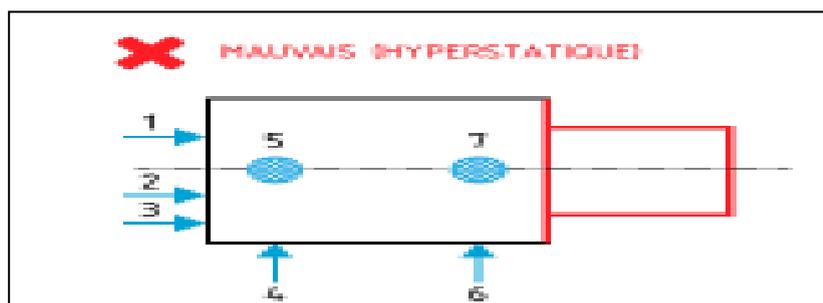


Figure. I-18 : Mise en position hyperstatique.

Règle 8 : Seule exception autorisée : l'hypostatisme, pour l'usinage des pièces cylindriques montées en l'air.

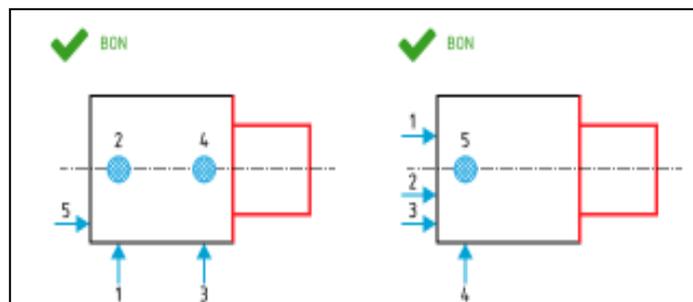


Figure. I-19: des pièces cylindriques montées en l'air.

I.4 Symbolisation technologique :

La deuxième partie de la norme NFE 04-013 définit les symboles représentant sur la partie graphique des contrats de phases, les éléments d'appui et de maintien des pièces pendant les opérations d'usinage, de contrôle ou de manutention. Chaque symbole (voir figure suivante) est construit à l'aide d'un certain nombre d'éléments additifs dont le rôle est de préciser :

- la fonction de l'élément technologique ;
- la nature du contact avec la surface ;
- la nature de la surface de la pièce ;
- le type de technologie de l'élément.

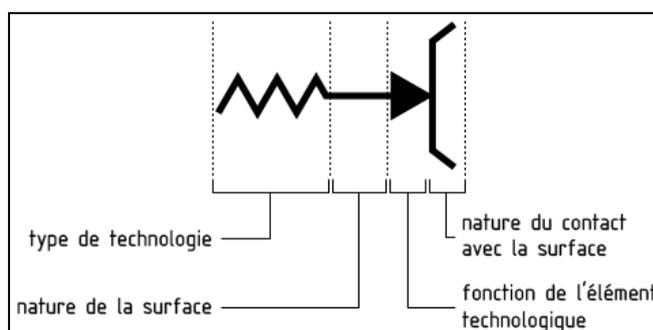


Figure. I-20 : Symbolisation technologique.

I.4.1 - Exemples d'application :

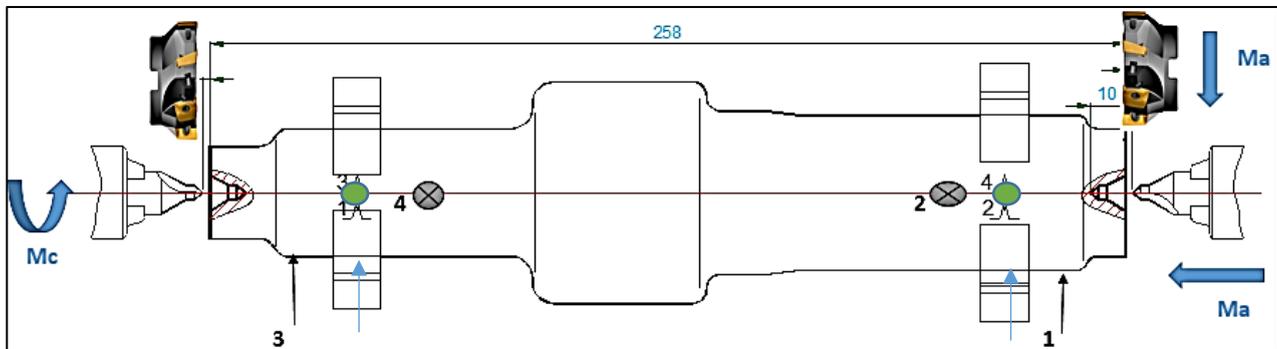


Figure. I-21 : Exemple d'une mauvaise application sur la pièce. En couleur verte la bonne représentation

I.4.2 Cotation de fabrication :

I.4.3 Cote de fabrication : cote-outil, cote-machine et cote-appareillage :

Selon les éléments référentiels utilisés pour effectuer les réglages des outils coupants, et parce que dans chaque cas dispersions qui interviennent sont différentes, les cotes de fabrication (Cf) sont classées en trois catégories :

- Les cotes machines (Cm)
- Les cotes outils (Co)
- Les cotes appareillage (Ca)

I.4.4 Les cotes machine :

Cotes réalisées en contrôlant les déplacements entre l'outil et la pièce produit par la machine.

La cote machine est obtenue par réglage, de l'outil par rapport au référentiel de mise en position de la pièce [3].

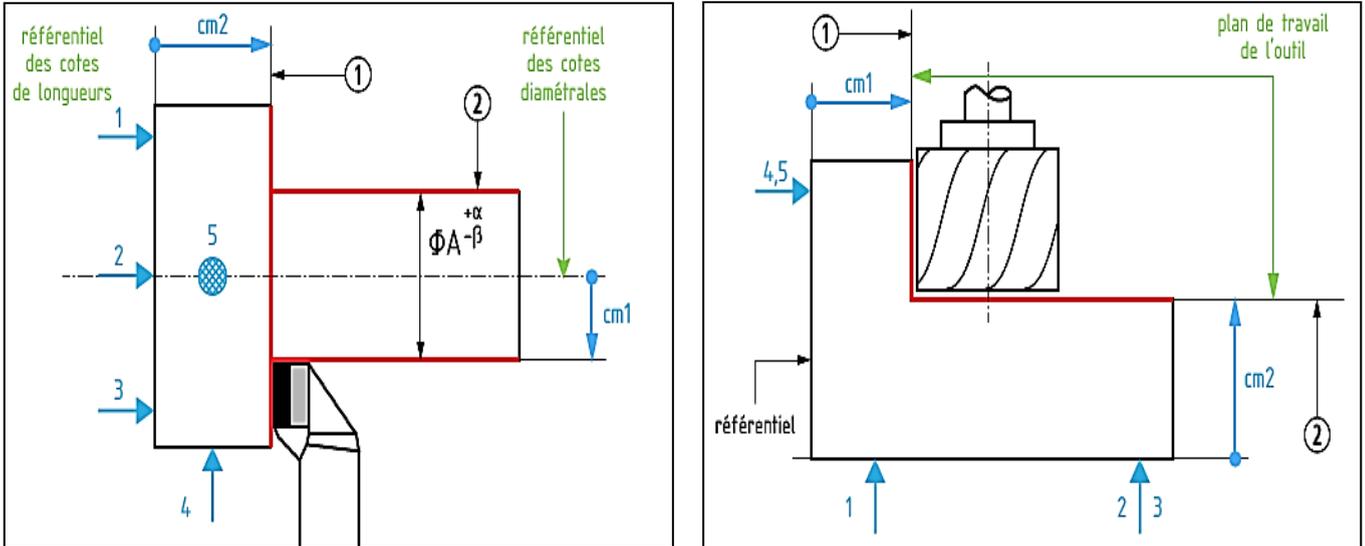


Figure. I-22 : Exemples des cotes machines.

I.5 Les cotes outils :

Cotes sur la pièce qui reproduisent les dimensions des outils ou sur des réglages les outils exemple le diamètre d'un trou percé avec un foret.

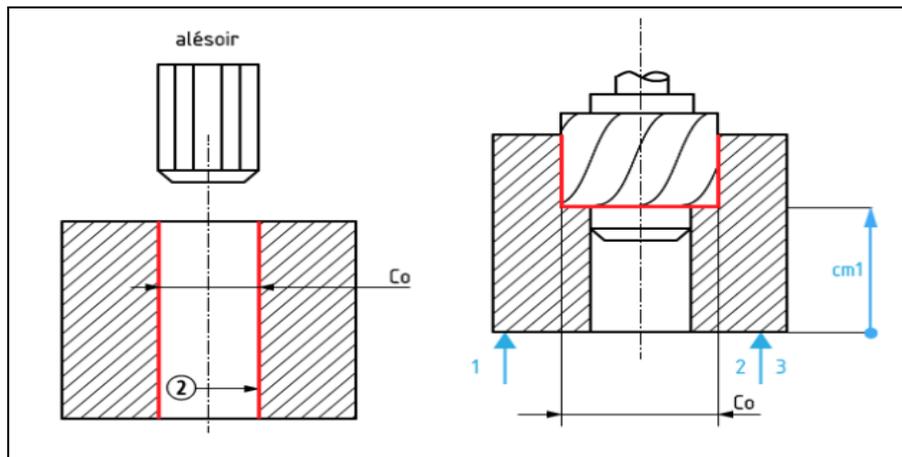


Figure. I-23 : Exemples des cotes outils.

I.5.1 Les cotes appareillage :

Cotes sur les pièces résultant des dimensions d'appareillages, de montages, etc.

Exemples : Distances entre-axes sur une perceuses multibroches ou profil sur machines à copier.

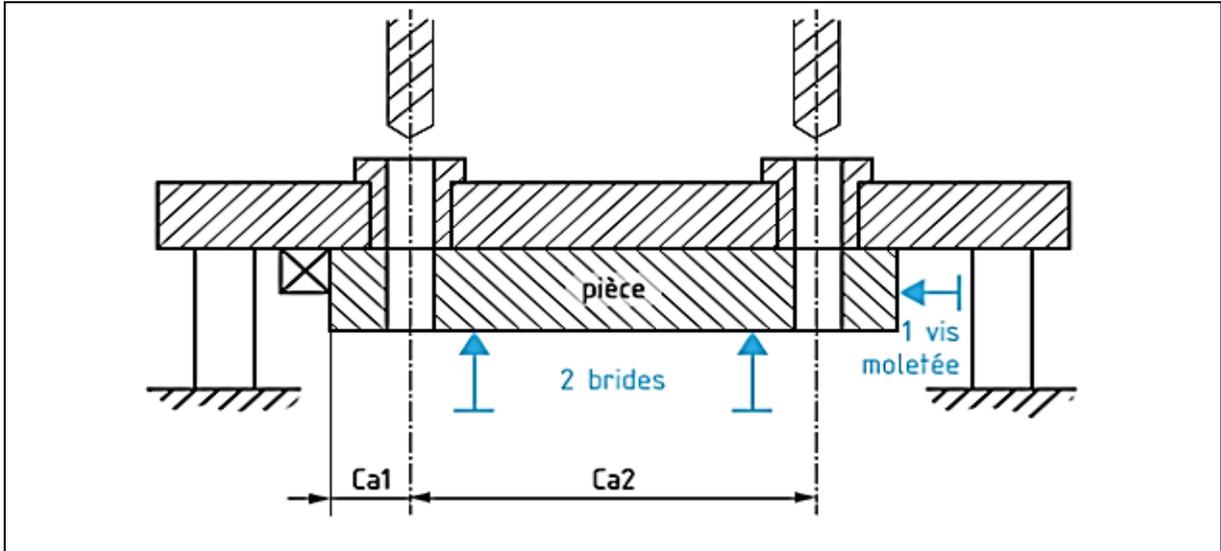


Figure. I-24 : Exemple de cote appareillage.

I.5.2 Transfert de cote et d'orientation :

Une cote transfère : Une cote de fabrication ne correspond pas directement à une cote du dessin de définition

I.5.3 Exemple de transfère :

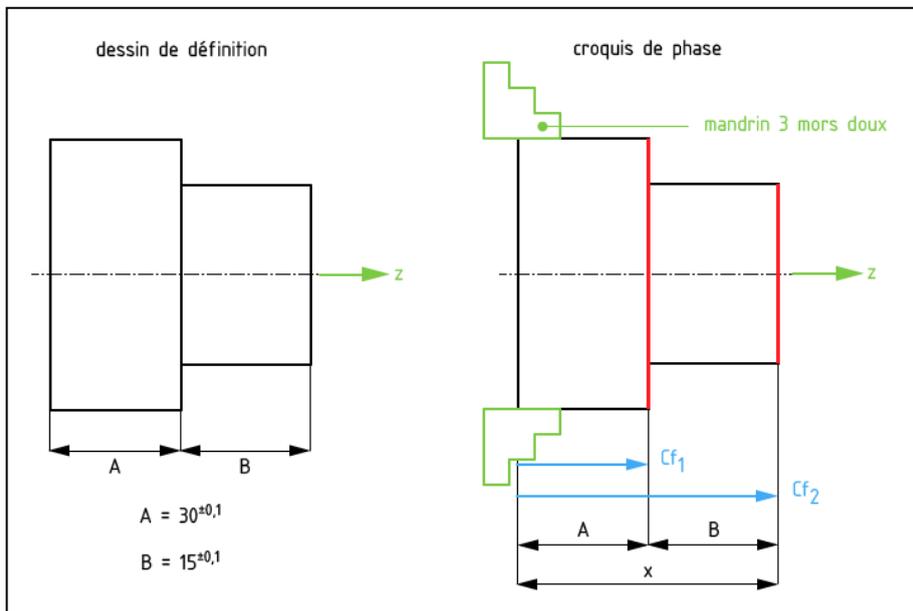


Figure. I-25 : Exemple de transfère.

I.5.4 Matériaux outils :

Les matériaux utilisés pour les outils sont principalement :

- Les aciers rapides** : ce sont des aciers avec un minimum de 0,7% de carbone, 4% de chrome, du tungstène, du molybdène, du vanadium et éventuellement du cobalt, par exemple le X 80 WCrV 18-04-01 ou le X 130 WCoCrMoV 10-10-04- 04-03. On les utilise pour usiner les alliages légers, les fontes, les aciers inoxydables, ils sont monoblocs
- **Les carbures métalliques** : ils sont fabriqués par frittage (métallurgie des poudres). On peut avoir des carbures de tungstène, de titane, de tantale agglomérés dans une base en cobalt. Ils peuvent être revêtus par un procédé de déposition en phase gazeuse afin d'améliorer la durée de vie de ces outils. On les utilise pour la plupart des matériaux
- **Les cermets** (ou céramiques métalliques) : matériaux à base de carbures de titane, de cobalt ainsi que de nickel comme liant. Ils ont une très bonne résistance à l'usure, on les réserve aux opérations de finition pour les aciers, surtout inoxydables.
- **Les céramiques** : sous forme de plaquettes frittées comme pour les carbures à base d'alumine ou de nitrure de silicium. On les utilise pour des usinages à grande vitesse mais supportent mal les chocs, elles ne conviennent pas aux alliages légers.
- **Le Nitrure de Bore Cubique (CBN)** : Le CBN est un des matériaux de coupe des plus durs. Il se présente généralement sous la forme d'une pointe brasée sur un support en carbure. Il peut également être fritté sur chaque pointe du support carbure, ce qui améliore la sécurité. Une nuance additionnée de nitrure de titane, très dure, est

principalement utilisée en finition pour les aciers trempés, les aciers cémentés et pour les fontes trempées [4].

- **Le diamant poly-cristallin** : Le diamant polycristallin est composé de cristaux à grains fins de diamètres compris entre 5 et 30 μ m. Il est recommandé pour la finition et la semi-finition des métaux non ferreux (aluminium, cuivre, plomb) et pour les matières non métalliques telles que le graphite et les composites

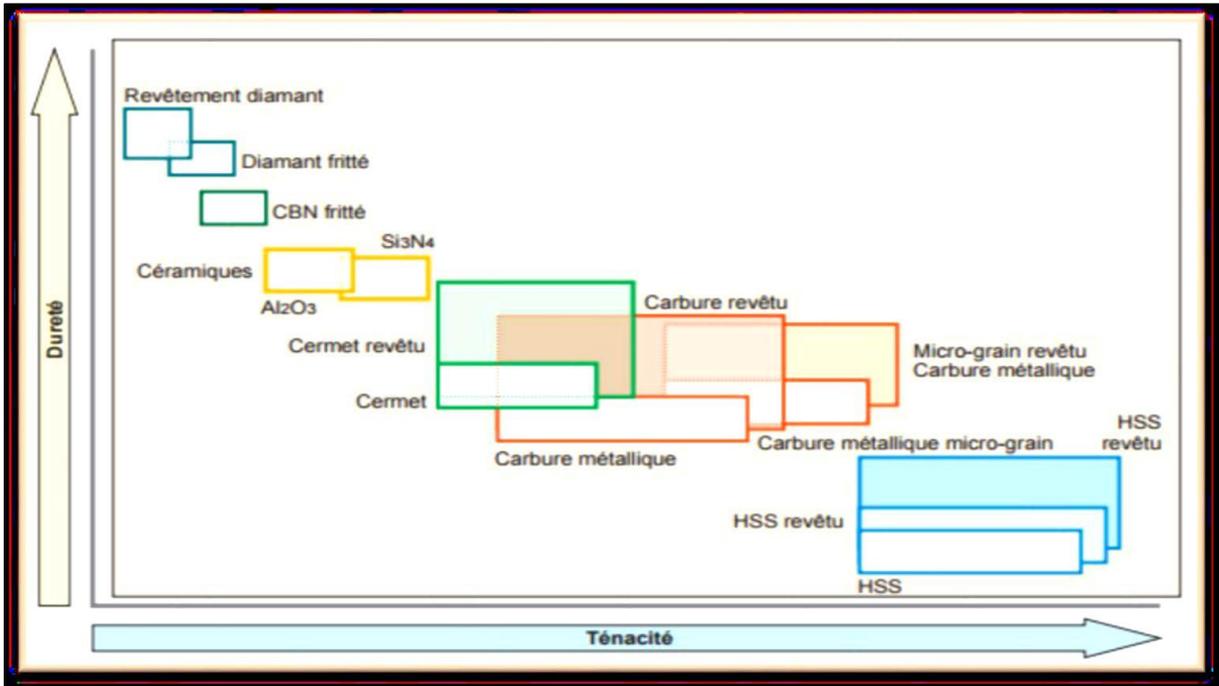


Figure. I-26 : Illustration des aptitudes des matériaux à outil [5].

I.6 Les matériaux des outils :

I.6.1 Principaux paramètres de coupe :

Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité d’usinage, usure modérée de l’outil, ...) on doit faire un choix judicieux des paramètres de coupe. [2, 7]

La vitesse de coupe (V_c) [m/min] : désigne la vitesse linéaire de l’outil dans le sens du mouvement de coupe, on définit aussi la vitesse de rotation (N) [tr/min] : c’est le nombre de tours par minute accomplis par la pièce dans le

mouvement de coupe.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$$

Avec :

Où D : Diamètre d'usinage de la pièce [mm].

L'avance par tour (f) [mm/tr] : désigne le déplacement de l'outil dans le mouvement d'avance, correspondant à un tour de pièce.

La profondeur de passe (ap) [mm] : désigne l'épaisseur de la couche enlevée sur la pièce

Chapitre II

Condition fonctionnelle de l'arbre pignon

II.1 – analyse de dessin de définition :

II.1.2 - Le dessin de définition :

Ce document, issu du BE, doit exprimer les seules conditions fonctionnelles destinées à être prises en compte pour le contrôle de réception. Il apporte des informations concernant la pièce en précisant notamment :

- le nom, la matière et des informations complémentaires telles que les tolérances, la dureté, les traitements thermiques à appliquer, etc.
- la morphologie générale de la pièce, à l'aide des vues principales, des vues et coupes partielles et éventuellement d'une représentation volumique 3D :
- les fonctionnalités de la pièce grâce :
 - aux cotes nominales,
 - aux tolérances dimensionnelles,
 - aux spécifications géométriques,
 - aux états de surface.

L'étude du dessin de définition aura une incidence sur :

- Le type et la capacité des machines choisies pour réaliser les usinages,
- Les paramètres de coupe,
- La mise en position de la première phase de la gamme,
- Le repérage des surfaces à usiner

II.1.7 - D'après la forme du profil, il existe plusieurs dentures : -

Droites ;

- Hélicoïdales ;
- En chevrons ;
- En arc de cercle ;
- En spirale ;
- En développante de cercle.

II.2 - Engrenages parallèles à dentures droites :

II.2.1 - Définition :

Un engrenage droit est une roue dentée dont les dents sont parallèles à l'axe de rotation De l'engrenage. En effet, c'est la denture la plus économique, la plus utilisée et la plus facile à Réaliser [6].

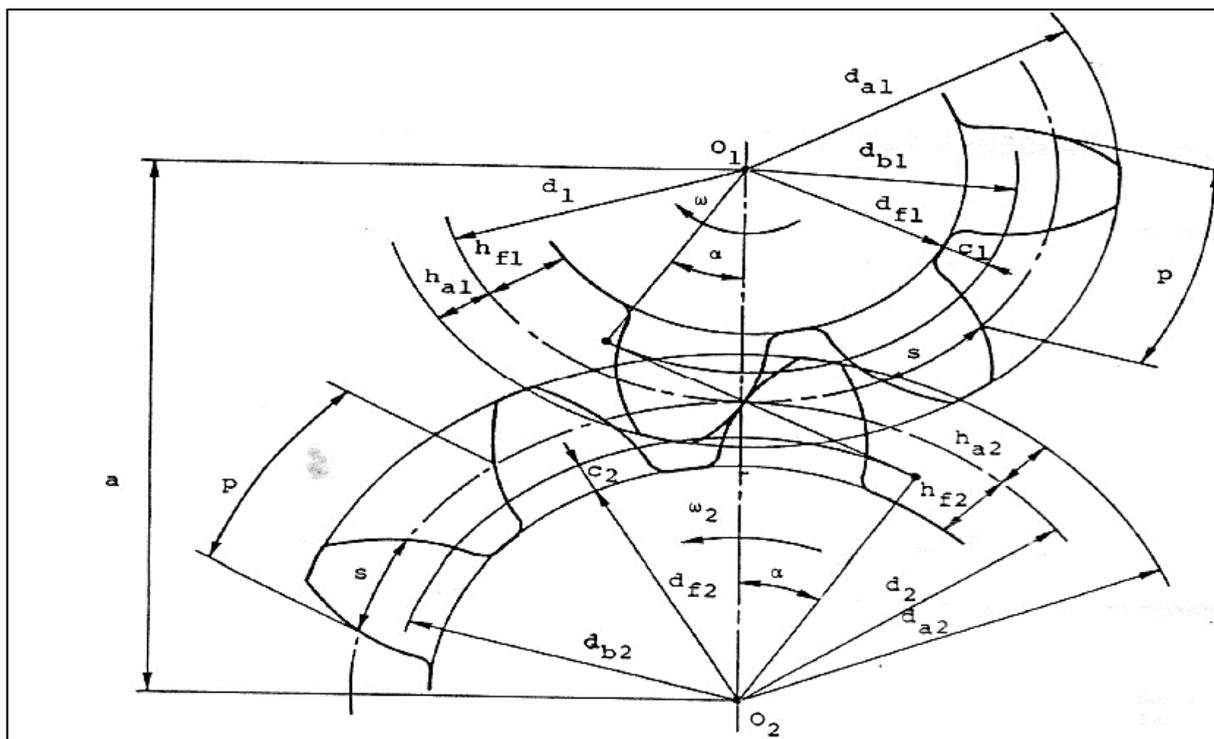


Figure. II- 2 : Caractéristiques géométriques des roues dentées [7].

II. 2.2 - Caractéristiques des dentures :

II.2.3 - Dentures :

• Dent : dans une roue, chacun des éléments en saillie devant assurer, par contact avec les dents d'une autre roue, l'entraînement de l'une des roues par rapport à l'autre.

Toutes les dents d'une même roue sont identiques et géométriquement superposables par rotation autour de l'axe de la roue [6].

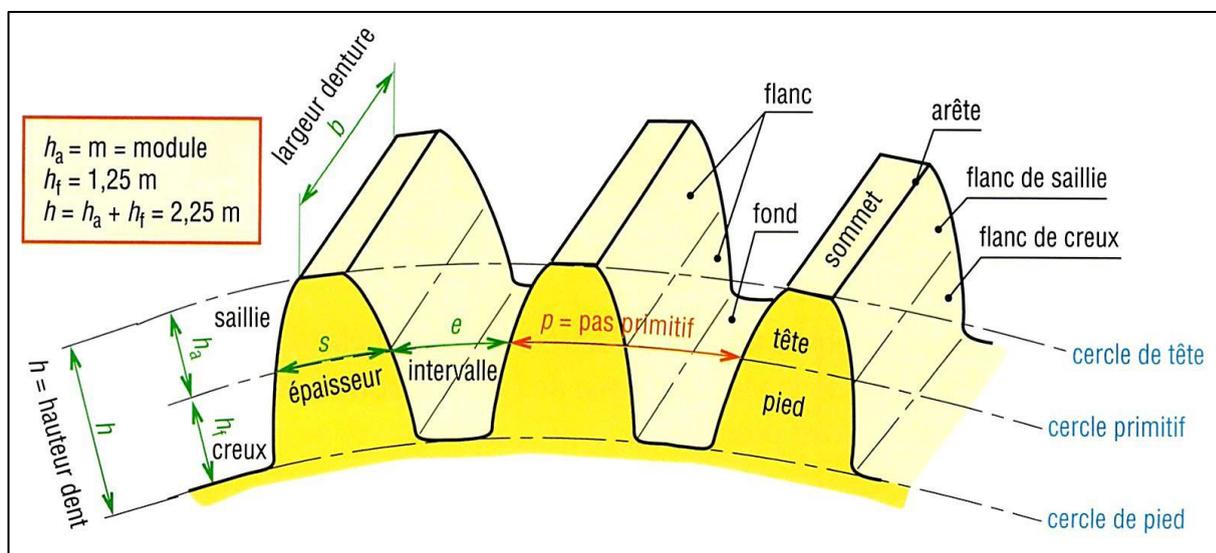


Figure. II- 3 : Géométrie de la dent [8].

II.3 -Géométrie et technologie :

Module (m) : Le module, désigné généralement par m, est une caractéristique importante des

Engrenages qui représentent la dimension des dents. Il est égal au nombre de <mm> de diamètre primitif par dent. Pour qu'il y ait engrenement correct entre un pignon et une roue, il est nécessaire que leurs modules soient les mêmes.

- Le nombre de dent Z : Le nombre de dent est noté « Z ». C'est à dire « Z₁ » pour l'élément « 1 » et « Z₂ » pour l'élément « 2 ». Dans un engrenage nous appelons :
 - Pignon, l'élément comportant le plus petit nombre de dent.
 - Roue, l'élément comportant le plus grand nombre de dent.

- Le cercle primitif représente la zone de contact où il y a roulement sans glissement entre le pignon et la roue. On peut donc assimiler l'engrenage à deux cercles primitifs qui roulent sans glisser l'un sur l'autre.
- Le cercle de pied : qui est le cercle passant par la base des dents.
- Le cercle de tête : qui passe par le sommet des dents.
 - Le cercle de base : Chaque denture possède un cercle de base. Ce cercle de diamètre « db » est fictif et non mesurable. Il est le point de départ théorique du profil en développante de cercle de chaque dent.
- Saillie (ha) : distance radiale entre le cercle de tête et le cercle primitif.
- Creux (hf) : Distance radiale entre le cercle primitif et le cercle de pied.
- Hauteur de dent (h) : Distance radiale entre le cercle de tête et le cercle de pied.
- Largeur de denture b : Longueur utile de génératrice du cylindre primitif de denture.
 - Pas (p) : Longueur de l'arc de cercle primitif compris entre deux profils homologues consécutifs.
- Angle de pression (α) : Angle d'incidence au point où le profil coupe le cercle primitif, C'est aussi l'angle aigu que font, en ce point, la normale au profil et la tangente au cercle primitif.
- Profil : Section d'un flanc par un plan perpendiculaire à l'axe de la roue (les profils sont dits homologues, anti-homologues, conjugués, de tête, de pied, actifs, utilisables, de raccord, dans les mêmes conditions que les flancs correspondants).
- Entraxe (a) : Distance des axes d'un engrenage, mesuré sur leur perpendiculaire commune.
- Ligne d'action : Normale commune à deux profils conjugués en leur point de contact. Dans un engrenage à développante, la ligne d'action est une droite fixe tangente intérieurement aux deux cercles de base **[6]**

Caractéristiques	Symboles ISO	Formules	
		Engrenage cylindrique a denture droite normal (non déportée)	Engrenage cylindrique a denture droite déportée
Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux	
Nombre de dents	Z	/	
Pas	P	$P = m * \pi$ (mm)	
Saillie	h_a	$h_a = m$ (mm)	
Creux	h_f	$h_f = m + c$ $\rightarrow c = 0,25 * m$ $\rightarrow h_f = 1,25 * m$ (mm)	
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f$ (mm)	
Diamètre primitif	d	$d = m * Z$ (mm)	
Diamètre de base	d_b	$d_b = d * \cos(\alpha_0)$ (mm) α_0 : l'angle de pression (en radians) .	
Diamètre de tête	d_a, d_a	$d_a = d \pm 2 * h_a$ (mm) '+ ' denture extérieure. '- ' denture intérieure.	$d_{av} = d + 2 * h_a + 2 * v$ (mm) $v = x * m$ (mm) v : déport. x : coefficient de déport.
Diamètre de pied	d_f, d_{fv}	$d_f = d \pm 2 * h_f$ (mm) '- ' denture extérieure. '+ ' denture intérieure.	$d_{fv} = d - 2 * h_f + 2 * v$ (mm) $v = x * m$ (mm) v : déport. x : coefficient de déport.
L'entraxe	a, a_x	$a = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$ (mm)	$a_x = \frac{m(ZZ_1 + cccccc(\alpha\alpha_0))}{2Z_2} + \frac{cccccc(\alpha\alpha_x)}{cccccc(\alpha\alpha_x)}$ (mm) α_0 : l'angle de pression (radians). α_x : l'angle de pression pour une denture déportée (Radians). $\alpha_x = \frac{22 * XX_1 + XX_2}{ZZ_1 + ZZ_2} * ttaaiia \alpha_0 + iiiiii$ (En radians). $\alpha_{00} = ttaaiia \alpha_{00} - \alpha_{00}$ (En radians).
Le rapport de conduite	ξ, ξ_x	$\xi = \frac{r_{aa}^{22} - r_{bb}^{22}}{r_{aa}^{22} + r_{bb}^{22}} - \frac{aa * ccciiia}{\alpha_0}$ r_a : rayon de tête : $\frac{d_a}{2}$ (mm) r_b : rayon de base : $\frac{d_b}{2}$ (mm)	$\xi_x = \frac{r_{aa}^{22} - r_{bb}^{22} - aa * ccciiia \alpha_0}{r_{aa}^{22} + r_{bb}^{22} - aa * ccciiia \alpha_0}$ r_{av} : rayon de tête : $\frac{d_{av}}{2}$ r_b : rayon de base : $\frac{d_b}{2}$ (mm)
L'intervalle	e, e_v	$e = \frac{pp}{22}$ (mm)	$e_v = \frac{pp}{22} - 22 * mm * XX * ttaaii \alpha_0$

		P : le pas.	x : coefficient de déport.
L'épaisseur curviligne primitif	S, S _v	$c_c = \frac{p_p}{2z} \quad (\text{mm})$ P : le pas.	$c_{c_v} = \frac{p_p}{2z} + 2x \cdot m \cdot \tan \alpha_0$ x : coefficient de déport.
L'épaisseur curviligne de base	S S _{bb}	$c_{c_{bb}} = \frac{c_c}{\cos \alpha_0} + \frac{d_d}{d} \cdot \alpha_0 \quad (\text{mm})$ $\alpha_{\alpha_0} = \tan \alpha_0 - \alpha_0 \quad (\text{En radians}).$	
L'épaisseur curviligne de tête	S S _{aa}	$c_{c_{aa}} = \frac{c_c}{\cos \alpha_a} + \frac{d_d}{d} \cdot \alpha_0 - \frac{d_d}{d_a} \cdot \alpha_a$ $\alpha_{\alpha_a} = \frac{d_d}{d_a} \cdot \alpha_a \quad (\text{En radians}).$ $\alpha_{\alpha_a} = \tan \alpha_a - \alpha_a \quad (\text{en radians}).$ $\alpha_{\alpha_0} = \tan \alpha_0 - \alpha_0 \quad (\text{en radians}).$	

II.3.1 - Définition de la développante :

Une développante de cercle Cb1 (définie sur le cercle de base), de centre O, de diamètre db est la trajectoire dans R(O, ~x1, ~y1, ~z1) d'un point M appartenant à une droite D2 qui roule sans glisser au point T de tangence sur Cb1.

Une développante est également l'enveloppe de la normale en M à D2, dans le mouvement de D2 par rapport à Cb1

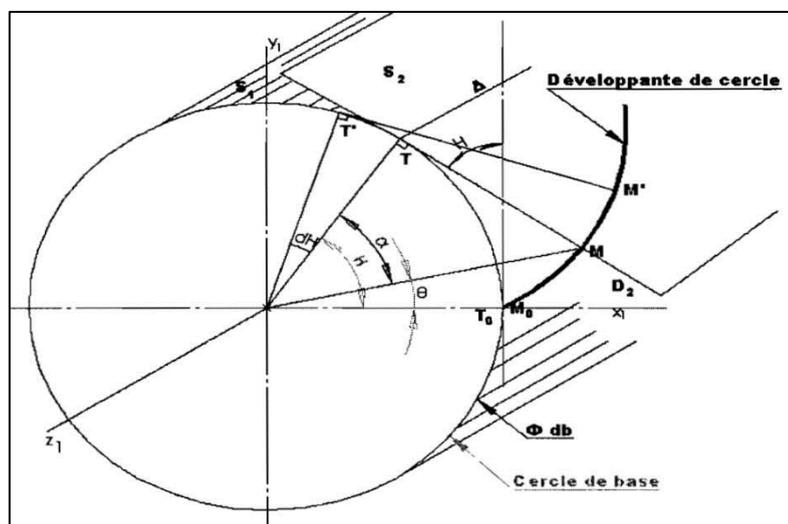


Figure. II- 4 : la développante de cercle [9].

II.3.2 - interférence de dentures :

II.3.3 Interférence de fonctionnement :

Le phénomène de l'interférence de matière se produit, si les deux profils en contact ne sont pas constamment tangents en cours de l'engrènement.

Lorsqu'un pignon de faible nombre de dents (donc de creux de denture étroit) engrène avec une roue de grand nombre de dents (donc de sommet de dent large) le fonctionnement peut se révéler impossible si le sommet des dents de la roue ne peut se déplacer dans le creux de denture du pignon. Dans ce cas on dit qu' il y a interférence d'engrènement. [10]

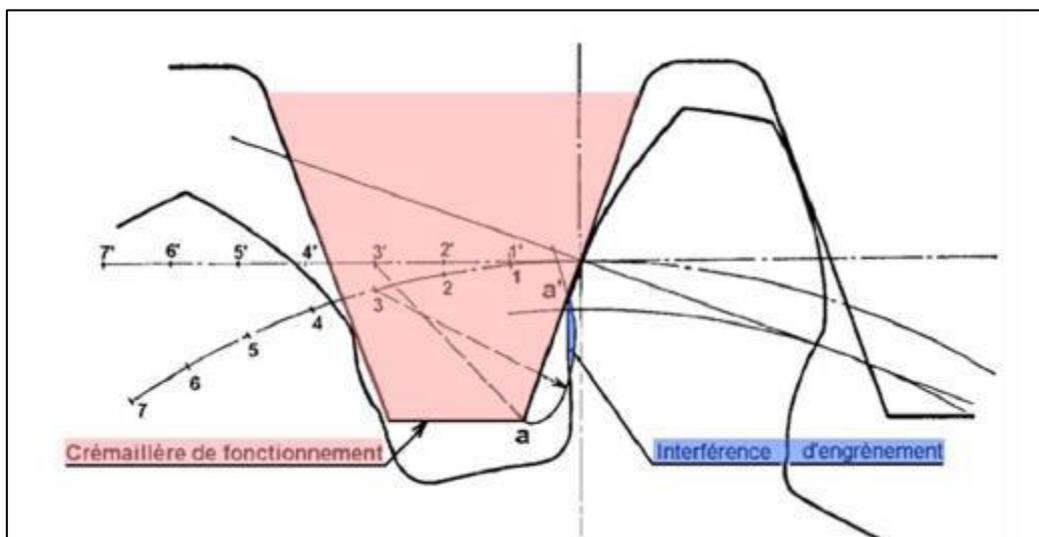


Figure. II- 5: Interférence de fonctionnement.

II.3.4. -Interférence de taillage :

Lorsqu'un pignon de faible nombre de dents est taillé avec un outil crémaillère, il peut arriver que lors de l'usinage, le profil de denture du pignon soit tronqué au pied de la dent et présente un point anguleux. Dans ce cas on dit qu'il y a interférence de taillage [10] .

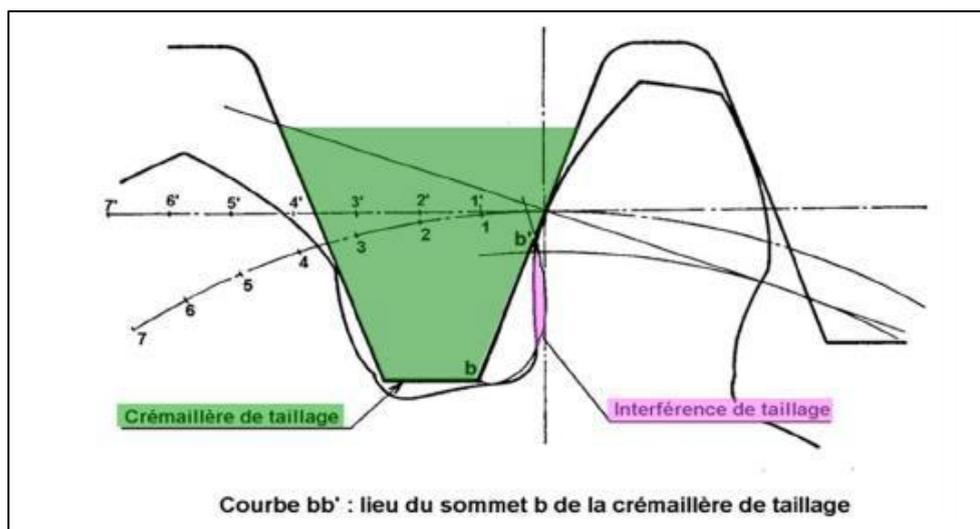


Figure. II- 6 : Interférence de taillage [10] .

II.4. - Les différents outils de taillage :

On peut distinguer trois types d'outils de taillage :

- L'outil crémaillère ;
- L'outil pignon, utilisé notamment pour l'usinage de dentures intérieures ;
- L'outil fraise mère, utilisé notamment pour l'usinage des dentures hélicoïdales et les dentures externes.

II.4.1. - Taillage par outil pignon (ou procédé FELLOWS) :

Les machines utilisées sont des mortaiseuses dont l'outil est un pignon. Le taillage est effectué par l'engrènement de l'outil pignon avec la roue à tailler. La roue à tailler est montée sur un axe et tourne dans un rapport de vitesse fonction du nombre de dents à tailler. L'outil pignon, dont les dents sont dotées d'arêtes coupantes, est animé d'un mouvement rectiligne alternatif combiné avec sa rotation (figure 9). Il s'agit d'une génération continue de 1 à Z dents.



Figure. II- 7 :_Taillage par outil pignon [11] .

II.4.2. -Description de l'outil pignon :

Un outil pignon n'est pas une simple roue dentée, il est doté de dents coupantes avec dépouille (figure 10). Le déport de denture de l'outil est une caractéristique dépendant de son affûtage



Figure. II- 8: l'outil pignon [11] .

II.4.3. - Conditions d'usinage :

Un outil pignon ne peut pas être doté d'un mouvement rapide, la vitesse de coupe est donc faible (20 m/min). Il y a des risques d'adhésion de l'outil sur la matière, la lubrification doit être abondante pour éviter de coller l'outil pignon à la pièce (figure 12).

II.4.4. - Avantages et inconvénients :

Ce procédé est lent et n'est applicable que pour de petites séries. Il nécessite des opérateurs qualifiés sur des machines spécifiques cependant assez rapides à mettre en œuvre.

L'outil pignon est peu encombrant et ne requiert qu'un faible dégagement pour passer. On ne peut pas usiner des dents de grand module avec des outils pignons car ceci nécessite de très nombreuses passes d'usinage et prend donc beaucoup de temps.

L'usinage de dentures hélicoïdales est réalisable. C'est l'un des rares procédés à pouvoir usiner des dentures intérieures [6].

II.5. - Conclusion :

Le taillage des engrenages par génération avec l'outil crémaillère comme avec l'outil pignon n'est utilisé que pour de petites séries, le procédé est lent. La ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* » présente un procédé de taillage par génération adapté aux grandes séries. La ressource « *Taillage des engrenages sans génération* » expose quelques procédés de production sans génération ; enfin la ressource « *Contrôle des engrenages* » permet d'aborder les points de mesure à contrôler

II.5.1. - Caractéristique de la denture normale :

Tableau 1 : caractéristique de la dent normal.

caractéristiques		module	angle de pression			Nombre de dents	le pas primitif	Le pas de base	Saillie de taille	Creux de taille	hauteur de la dent
			m	α_o (degrés)	α_o (radians)						
denture normale	ROUE (1)	4	20	0,34906585	0,01490438	11	12,5663706	11,8085257	4	5	9
	ROUE (2)	4	20	0,34906585	0,01490438	69	12,5663706	11,8085257	4	5	9

Tableau 2 : caractéristique de la dent normale calculée par Excel.

diamètre primitif	Diamètre de base	Diamètre de tête	Diamètre de pied	L'entraxe	Le rapport de conduite	L'intervalle	L'épaisseur curviligne primitif
d	d_b	d_a	d_f	a	ϵ	e	s
44	41,3464753	52	34	160	1,60086916	6,28318531	6,28318531
276	259,355163	284	266			6,28318531	6,28318531

Le problème qui est posée est l'interférence de l'engrenage, Donc il faut corriger les dentures,

C'est-à-dire on part des données réelles et on calcule le déport.

II.5.2. - Caractéristique de la denture déportée :

Tableau 3 : caractéristique de la dent déportée.

caractéristiques		module	angle de pression			Nombre de dents	pas primitif	Le pas de base	Saillie de taille	Creux de taille	hauteur de la dent
			m	α_o (degrés)	α_o (radians)						
denture Déportée	ROUE (1)	4	20	0,34906585	0,01490438	11	12,5663706	11,8085257	4	5	9
	ROUE (2)	4	20	0,34906585	0,01490438	69	12,5663706	11,8085257	4	5	9

Tableau 4 : caractéristique de la dent déportée calculée.

diamètre primitif	Diamètre de base	coefficient de déport	Diamètre de tête déportée	Diamètre de pied déportée	l'angle de pression pour une denture		L'entraxe	Le rapport de conduite	L'intervalle	L'épaisseur curviligne primitif
d	d_b	x	d_{av}	d_{fv}	INV α_x	α_x (degrés)	a_x	ϵ_x	e_x	s_x
44	41,3464753	0,54714	56,37712	38,37712	0,02486152	20	160	2,32711085	4,69004392	7,8763267
276	259,355163	0,54714	288,37712	270,37712					4,69004392	7,8763267

II.5.3 Description des cannelures de l'arbre pignon :

Selon la norme DIN 5480-1 (la norme est donnée par l'entreprise).

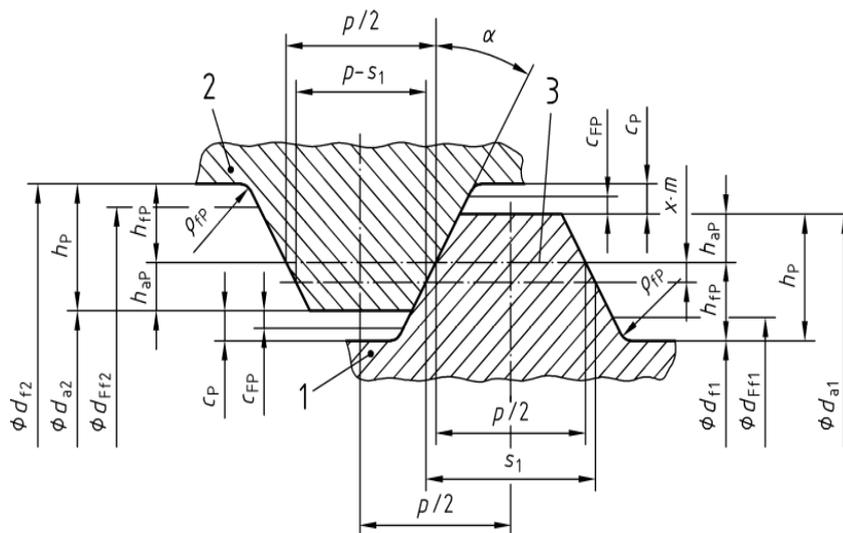


Figure. II-8: Description des cannelures du arbre pignon, selon la norme DIN 5480-1.

Tableau IV-3: formules caractéristiques des dentures des cannelures selon la norme DIN 5480-

Parameters	Sym- bol	Spline data and calculation formulae			
Module	m	0,5-0,6-0,75-0,8-1,0-1,25-1,5-1,75-2-2,5-3-4-5-6-8-10			
Pressure angle	α	30°			
Pitch	p	$m \cdot \pi$			
Number of teeth	shaft	z_1	z_1		
	hub	z_2	$-z_1$		
Addendum modification (nominal value)	shaft	$x_1 \cdot m$	$-0,05 \cdot m$ to $+0,45 \cdot m$ (exceptions up to $+0,879 \cdot m$)		
	hub	$x_2 \cdot m$	$-x_1 \cdot m = +0,05 \cdot m$ to $-0,45 \cdot m$ (exceptions up to $-0,879 \cdot m$)		
Addendum of basic rack profile	h_{aP}	$0,45 \cdot m$			
Dedendum of basic rack profile = addendum of tool basic rack profile	h_{fP}	$0,55 \cdot m$	$0,60 \cdot m$	$0,65 \cdot m$	$0,84 \cdot m$
	$= h_{aP0}$	broaching	hobbing	mill-broaching	cold rolling
Tooth depth of basic rack profile	h_P	$h_{aP} + h_{fP}$			
Bottom clearance of basic rack profile	c_P	$h_{fP} - h_{aP}$			
Root fillet radius of basic rack profile	ρ_{fP}	$0,16 \cdot m$ chip-removal machining		$0,54 \cdot m$ cold rolling	
Reference circle diameter	d	$m \cdot z$			
Base diameter	d_b	$m \cdot z \cdot \cos \alpha$			
Reference diameter	d_B	$m \cdot z_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m + 1,1 \cdot m$. Diameters with standard numbers in accordance with DIN 323-1 and ball/roller bearing diameters, integer values with increments of one for the range $d_b < 40$ mm and $m \leq 1,75$ mm.			
Tip circle diameter of hub	d_{a2}	$m \cdot z_2 + 2 \cdot x_2 \cdot m + 0,9 \cdot m$			
Root circle diameter of hub	d_{f2}	$m \cdot z_2 + 2 \cdot x_2 \cdot m - 2 \cdot h_{fP}$ (see 7.1)			
Root form circle diameter of hub	d_{Ff2}	$\leq - (d_{a1} + 2 \cdot c_{Fmin})$			
Tip circle diameter of shaft	d_{a1}	$m \cdot z_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m + 0,9 \cdot m$			
Root circle diameter of shaft	d_{f1}	$m \cdot z_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m - 2 \cdot h_{fP}$ (see 7.1)			
Base form circle diameter of shaft	d_{Ff1}	$\leq d_{a2} - 2 \cdot c_{Fmin}$			
Form clearance of basic rack profile	c_{FP}	$0,02 \cdot m$	$0,07 \cdot m$	$0,12 \cdot m$	$0,12 \cdot m$
Minimum form clearance	c_{Fmin}	see table 4			
Nominal space width of hub	e_2	$e_2 = s_1$			
Nominal tooth thickness of shaft	s_1	$m \cdot \pi/2 + 2 \cdot x_1 \cdot m \cdot \tan \alpha$			

II.6 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE TRACTEURS AGRICOLES

(EPE ETRAG spa) :

II.6.1 Historique :

La construction du Complexe Industriel Moteurs Tracteurs par abréviation « CIMOTRA » a débuté en 1970. Le premier tracteur en est sorti le 02 Février 1974 avec la collaboration de deux grandes firmes allemandes : la DIAG comme constructeur et KHD comme donneur de licence DEUTZ, dans le cadre de la politique de développement industriel en Algérie ainsi que la couverture du marché national en moteurs et tracteurs agricoles.

La restructuration organique intervenue en 1982 a donné naissance à 11 entreprises nationales. Parmi lesquelles l'Entreprise Publique Economique de Production du Machinisme Agricole par abréviation « l'EPE/PMA » à laquelle était rattaché le Complexe industriel Moteurs Tracteurs sous une nouvelle appellation « CMT ». En 1997 CMT est devenu une entreprise indépendante et autonome avec le statut d'Entreprise Publique Economique, Société par Action par abréviation « EPE/Spa », dont l'objectif est la fabrication des moteurs et des tracteurs agricoles.

En 2009 l'EPE CMT Spa a fait l'objet d'une scission pour donner naissance à deux sociétés distinctes : L'Entreprise Tracteurs Agricoles « EPE ETRAG Spa » dont l'objectif est la fabrication et le développement des tracteurs agricoles, et l'Entreprise Moteurs « EPE EMO Spa » dont l'objectif est la fabrication et le développement des moteurs

II.6.2 PRESENTATION DES DIFFERENTES DIVISION ET

II.6.3 DEPARTEMENT:

Les différents métiers et activités :

BATIMENT 7 (la fonderie) :

La fonderie a pour mission la fourniture des besoins en pièces brutes de fonderie (fonte/aluminium) destinées pour les tracteurs agricoles CIRTA et MF et les moteurs DEUTZ.

- Production de pièces de 160 g à 250 kg
- Fabrication de 225 000 pièces/an soit 2000 tonnes : 45 positions pour les tracteurs CIRTA et MF et 30 positions pour les moteurs DEUTZ

Production de pièces de 160g à 250 kg

- 45 pièces pour les tracteurs CIRTA/MF
- 30 pièces pour les moteurs DEUTZ.
- 1.5 Ha de superficie dont 1.3 Ha couverts
- 90 machines et 9 installations - Fabrication de 232 000 pièces/an

Activité :

Ce département est spécialisé dans la fabrication des pièces en fonte ou en aluminium pour moteurs, tracteurs, machines-outils et divers selon les exigences techniques de fonctionnalités et de délai, Satisfaire les besoins des clients et sous-traitance. il est constitué de quatre ateliers :

- Atelier Fusion.
- Atelier moulage manuel et parachèvement.
- Atelier aluminium.
- Atelier Moulage Mécanique et Noyautage

II.6.4 Bâtiment 6 (chaudronnerie et construction métallique) :

La forge :

Les ateliers de forge ont pour mission la production des composants de brut de forge destinés pour les tracteurs agricoles CIRTA et MF et les moteurs DEUTZ.

- Production de pièces de 200 g à 40 kg
 - Fabrication de 135 000 pièces/an : 45 positions pour les tracteurs CIRTA et MF et 10 positions pour les moteurs DEUTZ.
 - Production de pièces de 200 g à 40 kg
- 45 pièces pour les tracteurs CIRTA/MF
 - 10 pièces pour les moteurs DEUTZ
 - 53 Agents
 - 0.22 Ha de superficie couverts
 - 35 machines et équipements industriels

- Fabrication de 135 000 pièces/an

Activité principale

La technique utilisée est la déformation des pièces à chaud. Le forgeage est la transformation du métal sous l'action de déformation à chaud. Il est particulièrement adapté pour les pièces nécessitant des performances mécaniques élevées.

L'atelier forge se compose de deux sections :

- Section Forge
- Section Normalisation et finition.

Section construction métallique :

Les ateliers de Construction métallique ont pour mission la réalisation et l'assemblage des pièces finies en tôle, destinées pour les tracteurs agricoles CIRTA et MF et les moteurs DEUTZ, en appliquant différents procédés de soudage, découpe, pliage et estampage.

• Fabrication de 1 275 000 pièces/an : 335 positions pour les tracteurs Cirta et MF et 150 positions pour les moteurs DEUTZ

Production de pièces :

- 335 pièces pour les tracteurs CIRTA/MF
- 150 pièces pour les moteurs DEUTZ
- 52 Agents
- 0.6 Ha de superficie couverts
- 40 machines et équipements industriels
- fabrication de 1 275 000 pièces/an

II.6.5 Bâtiment 5 : (Usinage mécanique et traitements thermiques) :

Les ateliers d'usinage mécanique de précision fabriquent des pièces destinées pour les tracteurs CIRTA et MF ainsi que pour les moteurs DEUTZ, de la pièce de rechange ainsi que des

prestations de sous-traitance pour les autres clients, en utilisant différentes technologies d'usinage

:

- Fabrication de 1 400 000 pièces/an : 363 positions pour les tracteurs Cirta et MF et 157 positions pour les moteurs DEUTZ.

Usinage de pièces :

- 363 pièces pour les tracteurs CIRTA /MF
- 157 pièces pour les moteurs DEUTZ
- 350 Agents
- 1.7 Ha de superficie dont 1.5 Ha couverts
- 422 machines et équipements industriels
- Usinage de 1 400 000 pièces/ans

Activité principale :

Ce bâtiment est chargée de mettre à la disposition du montage des pièces conformes aux exigences techniques pour la réalisation du programme de production et des commandes des pièces de rechange. Elle se compose de deux départements qui sont : le département Usinage, le département Usinage en Chaîne.:

Département usinage : Comprend trois ateliers

- Atelier tournage.
- Atelier traitements thermiques .
- Atelier Taillage engrenage et rectification.

Département Usinage en Chaîne : comprend deux ateliers :

- Atelier Usinage en Chaîne.

- Atelier usinage mixte.

Département Usinage :

Ce département produit des pièces finies à partir des pièces brutes venant du département fonderie et chaudronnerie. Il est composé de 3 ateliers :

a) Atelier Tournage : basé sur la technologie de tournage (pièces rondes- prismatique), il comprend des tours conventionnels, semi automatiques et numériques partagés sur des sections. Il exécute des opérations de mise en forme de la pièce brute forgée et étirée.

b) Atelier traitements thermiques : spécialisé dans les traitements thermiques (cémentation, trempe et revenu) trempe sous presse et par induction, traitement de surface (galvanisation et phosphatation).

c) Atelier Taillage engrenage et rectification : Il reçoit en général la pièce semi-finie à partir de l'atelier tournage, il fait le taillage et fraisage de denture après le traitement thermique pour l'amélioration des structures, enfin la rectification des surfaces fonctionnelles comme opération de finition.

d) Atelier usinage en chaîne : Il regroupe des lignes d'usinage spécialisées chacune dans l'ensemble des opérations d'usinage d'une pièce. On y réalise : les blocs moteurs, les bielles, les cylindres moteurs, les culasses, les vilebrequins et les arbres à cames. L'atelier est également équipé de deux machines à laver pour les opérations de nettoyage et rinçage des pièces finies. **e) Atelier usinage mixte :**

Ce dernier est spécialisé dans la fabrication de la grosse et la petite P

Chapitre III
Conception de l'arbre pignon sur
SolidWorks

III.1. -Définition du logiciel CAO SolidWorks :

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises. De plus il nous permet d'enregistrer le dessin sous les différents formats (DXF, STL, STEEP, etc....). [12].

III.1. 2. - Modélisation géométrique :

La modélisation géométrique des pièces du compresseur avec le logiciel SolidWorks passe par 3 étapes :

- Création des pièces en model de 2D (2 Dimensions) ;
- Création des pièces en model de 3D (3 Dimensions) ;
- Assemblage des pièces.

III.1. 3. Procédure de travail sous SolidWorks :

III.1. 4. Interface graphique :

SolidWorks est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

III.2. 1. -Modélisation géométrique de l'arbre creux de renvoi:

A partir du dessin de définition de la pièce, nous avons procédé à la modélisation géométrique de cette dernière à l'aide du logiciel SolidWorks.

III.2. 2. Défilement chronologique des différentes étapes en fonction de la progression du dessin :

Étape 1 :

- ouvrir SolidWorks
- click sur l'icone "nouveau document "
- il apparait alors l'écran de démarrage et 3 possibilité sont proposé (pièce, assemblage, mise en plan)
- sélectionner pièce et click sur OK

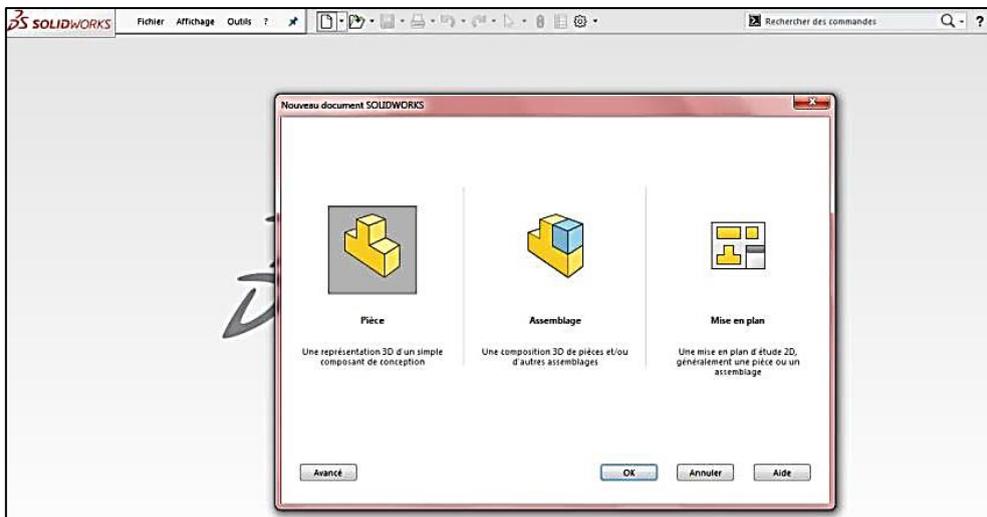


Figure. III- 1 : Étape 1.

Étape 2 : créer une nouvelle esquisse, puis sélectionner le plan de face.

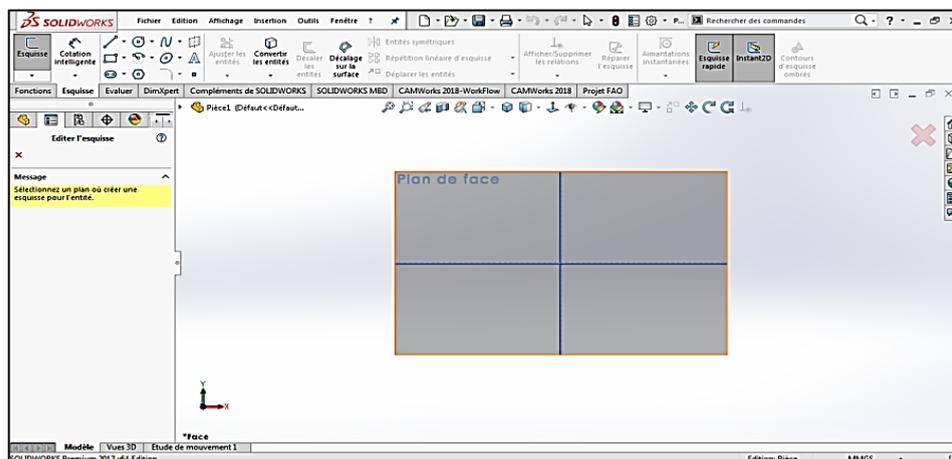


Figure. III- 2 : électionner le plan de face.

Étape 3 : dessin sur l'esquisse en 2D de la demi-forme de l'arbre étudié à partir des lignes.

Remarque: cette phase contient l'ensemble des cotations et spécifications géométriques nécessaire pour compléter le dessin (perpendicularité, parallélisme, circularité, ...)

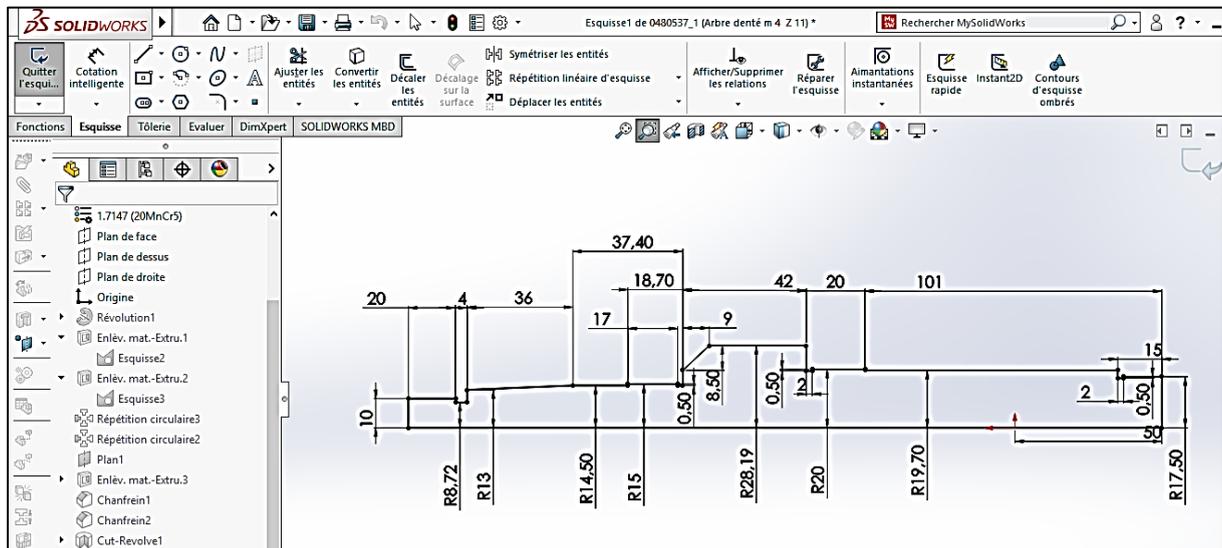


Figure. III- 3 : Dessiner sur l'esquisse en 2D.

Étape 4 : (de deux dimensions (2D) vers trois dimensions (3D)): c'est une opération de révolution de la section droite. La section est définie dans une esquisse (qui apparaît alors dans l'arbre de création comme élément générateur de la fonction).

- Click sur l'icône (base/bossage avec révolution) dans la barre d'outils.
- On sélectionne l'axe, l'angle et le type de révolution.



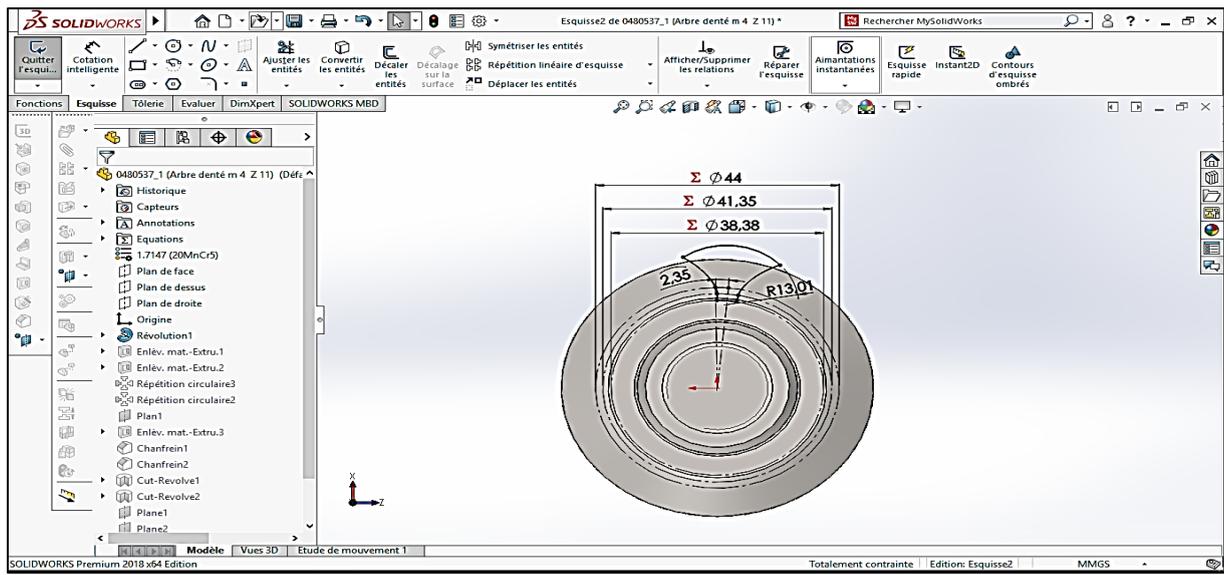
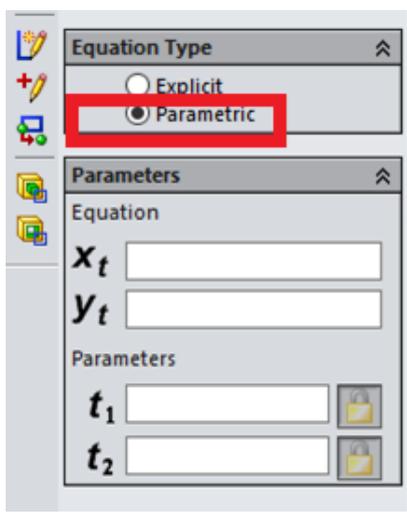
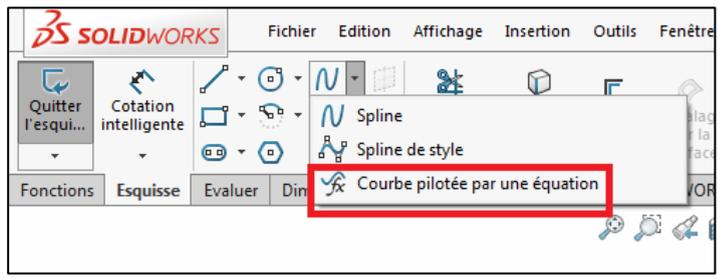


Figure. III- 6 : réaliser la denture

Etape 7: une fois les 3 cercles tracés, on trace alors le profil de la dent en développante de cercle et cela on utilisant la fonction courbe pilotée par une équation



$$X_t = d_b / 2 * (\cos(t) + t * \sin(t))$$

$$Y_t = d_b / 2 * (\sin(t) - t * \cos(t))$$

d_b : diamètre de base.

$$t_1 = 0$$

$$t_2 = 1$$

Étape 8 : -faire la symétrie du profil de la développante Puis tracer le cercle de tête (56.3771).

-puis ajuster toutes les lignes et les cercles supplémentaire pour réaliser la forme de la dent

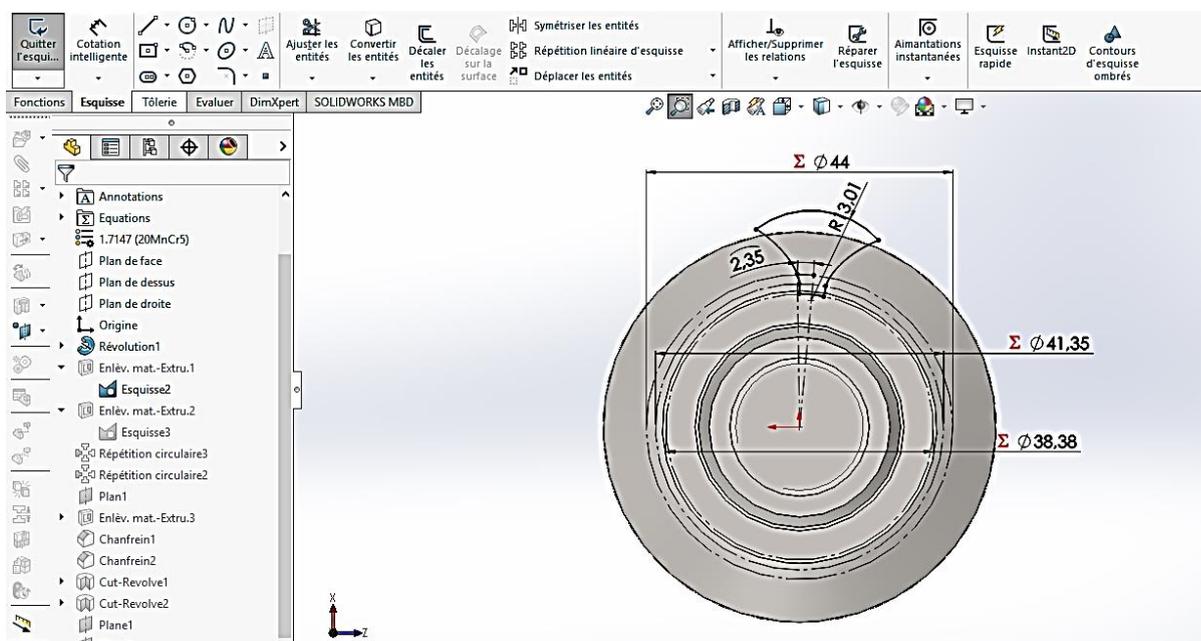


Figure. III- 7: la symétrie du profil.

Étape 9: une fois la trajectoire tracée, on clique sur fonction puis "enlèvement de matière". On choisit le profil de la dent qui a été tracé et la trajectoire à suivre pour l'enlèvement de matière.

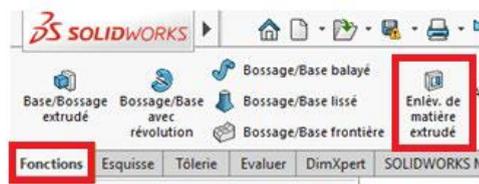


Figure. III- 8 : "enlèvement de matière"

Étape 10 : une fois l'enlèvement de matière réalisé, on clique sur répétition circulaire, un panneau apparait, on choisit alors l'axe de répétition et l'enlèvement de matière réalisé dans l'étape précédente et le nombre de répétition (nombre de dents) qui est de **(11 dents)**.

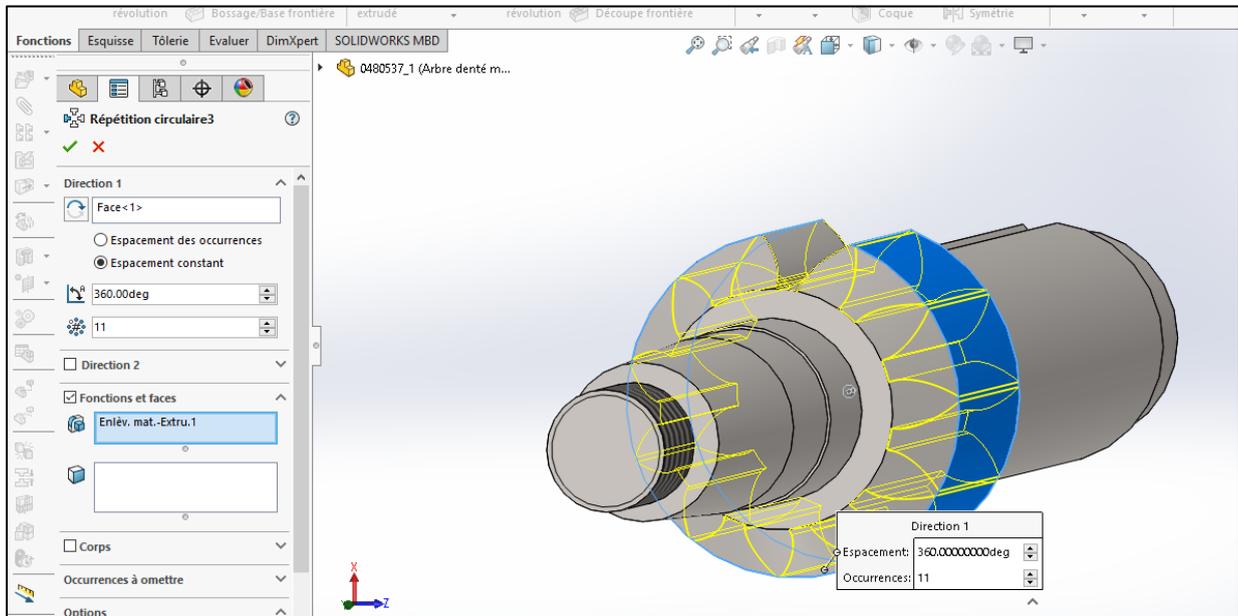


Figure. III- 9 : réalisé la répétition circulaire

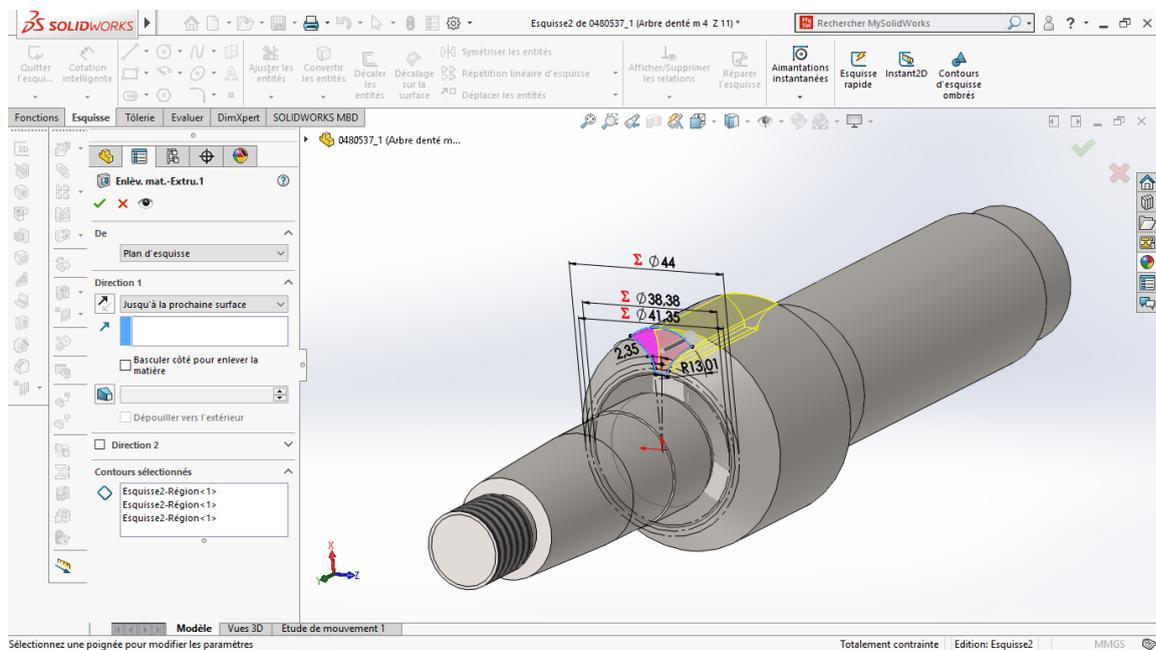


Figure. III- 10 : sur répétition circulaire.

Étape 11 : -pour réaliser la cannelure, On sélectionne le plan et la surface où on va tracer le profil de la cannelure

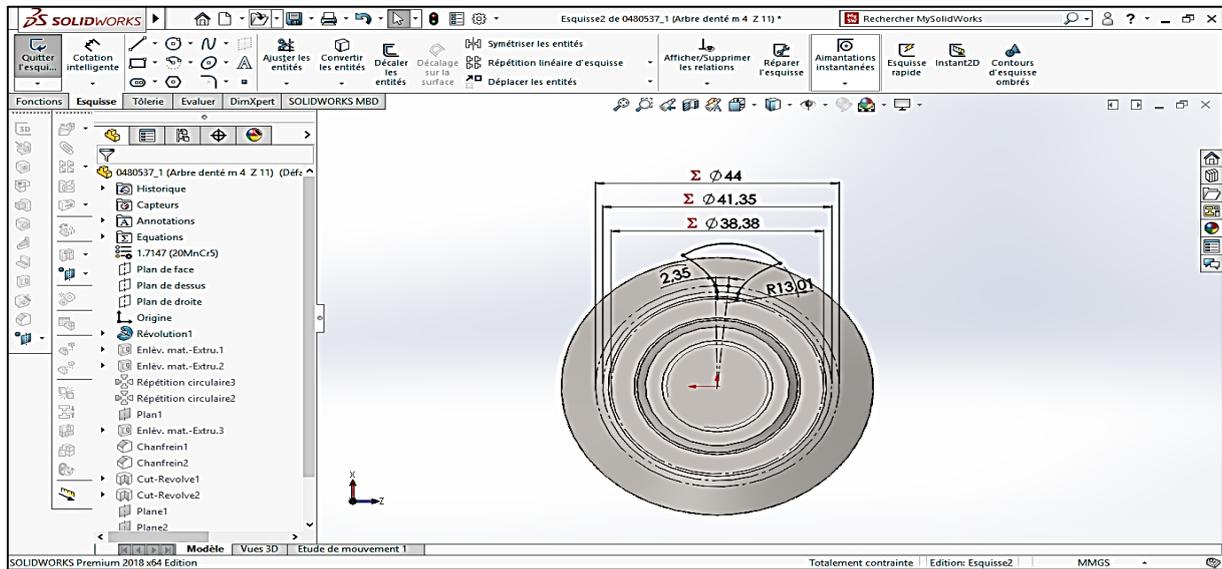


Figure. III- 11: le plan et la surface.

Étape 12 : une fois la trajectoire tracée, on clique sur fonction puis "enlèvement de matière". On choisit le profil de la dent qui a été tracé et la trajectoire à suivre pour l'enlèvement de matière

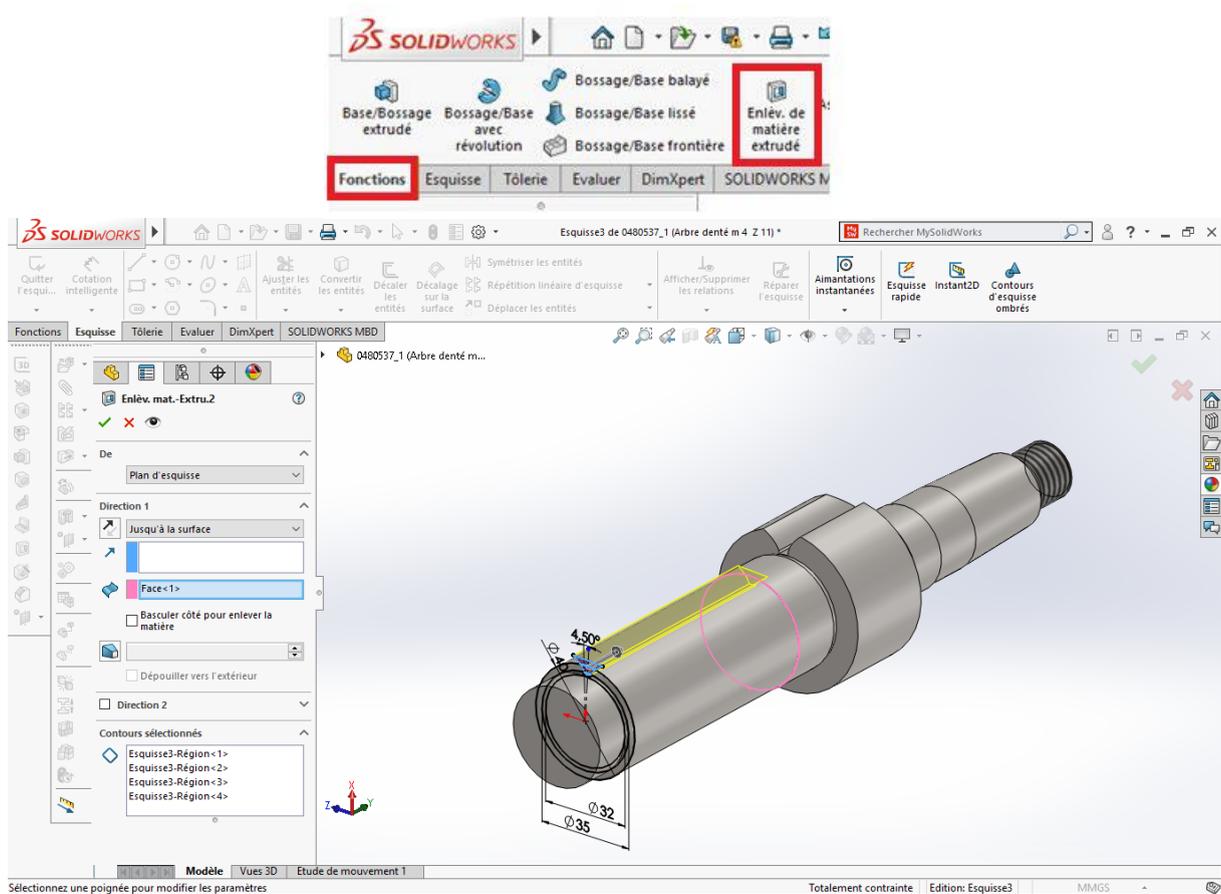


Figure. III- 12 : "enlèvement de matière".

Étape 13 : une fois l'enlèvement de matière réalisé, on clique sur répétition circulaire, un panneau apparaît, on choisit alors l'axe de répétition et l'enlèvement de matière réalisé dans l'étape précédente et le nombre de répétition (nombre du cannelures) qui est de **(18)**.

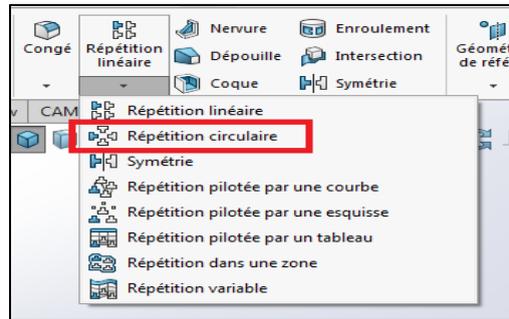


Figure. III- 13 : répétition circulaire.

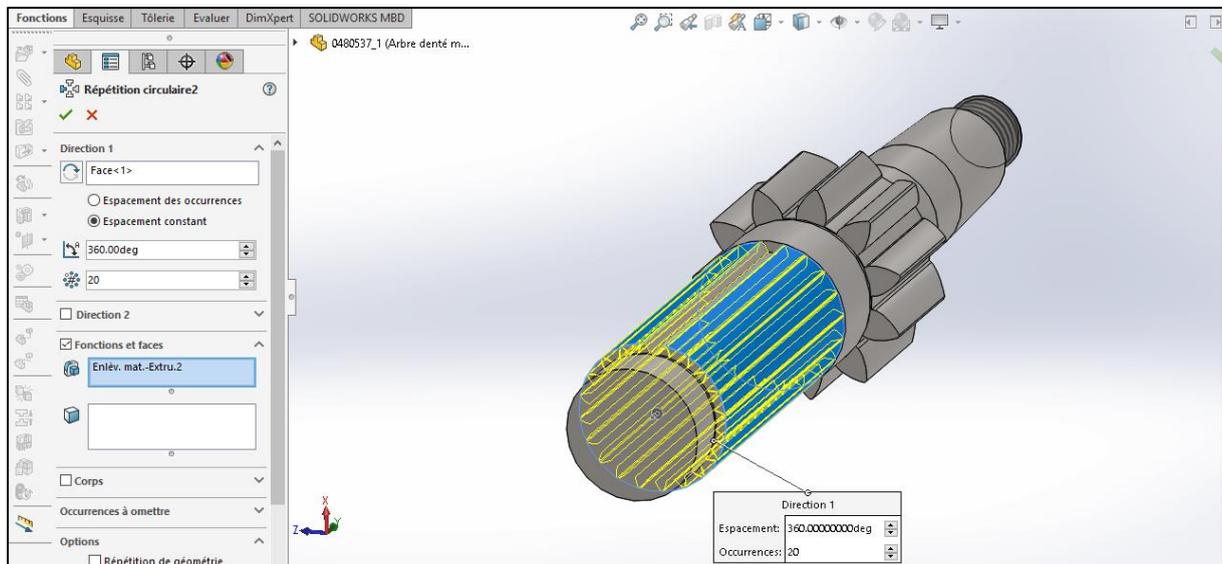


Figure. III- 14: "enlèvement de matière".

Étape 14 : -pour réaliser la rainure, On sélectionne le plan et la surface où on va tracer le profil de la rainure.

Tracer le profil de la rainure puis faire la cotation du côtes.

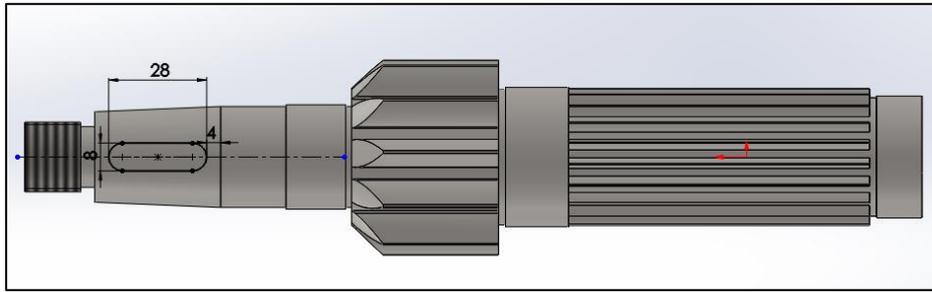


Figure. III- 15: réaliser la rainure.

Étape15: une fois la trajectoire tracée, on clique sur fonction puis "enlèvement de matière'. On choisit le profil de la rainure qui a été tracé et la trajectoire à suivre pour l'enlèvement de matière.

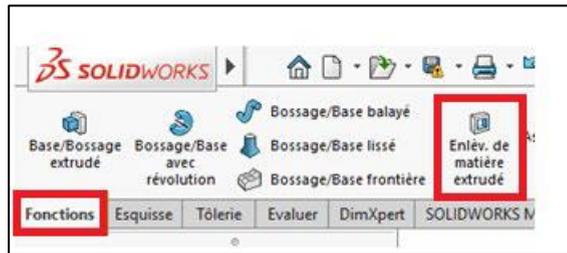


Figure. III- 16 : "enlèvement de matière extrudé.

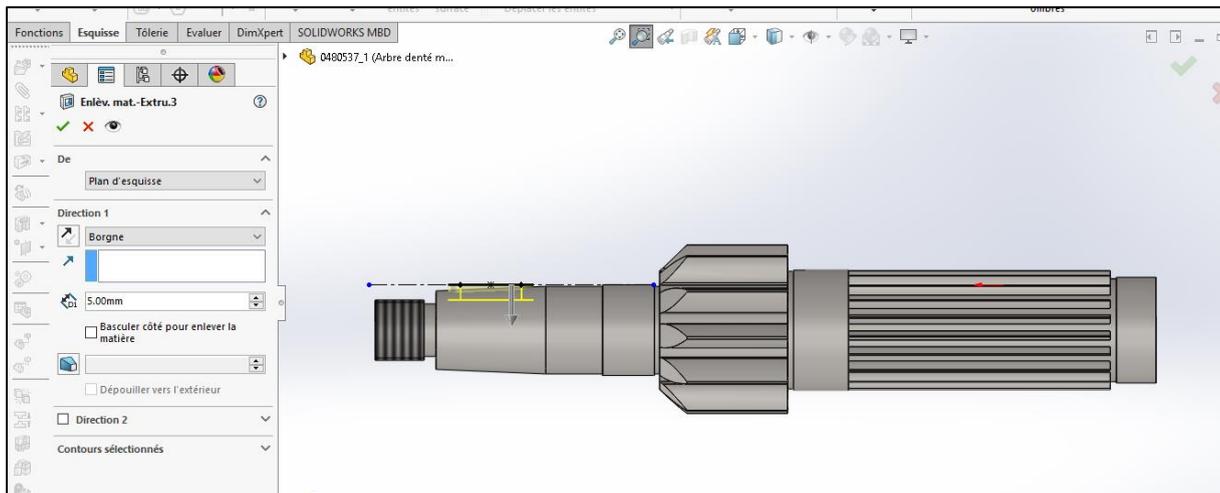


Figure. III- 17 : "enlèvement de matière .

Étape 16 : réalisation du chanfrein de (1 * 45°)

- Cliquer sur (fonction) puis sur l'icône (chanfrein) dans la barre d'outils. On sélectionne les éléments à chanfreiner et distance (1) et l'angle (45°).

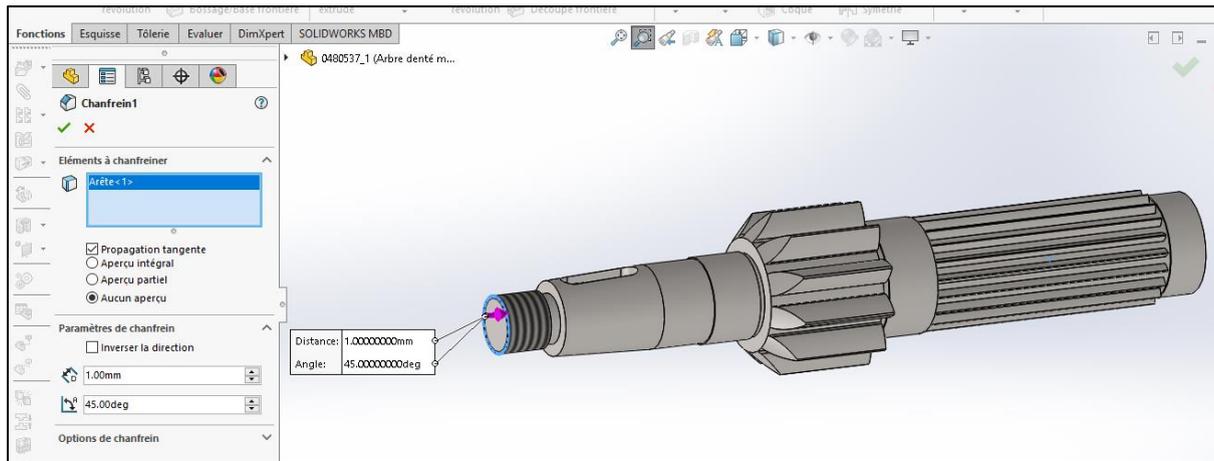


Figure. III- 18 : sélectionne les éléments à chanfreiner.

Étape 17: réalisation du chanfrein de $(0,5 * 45^\circ)$

- Cliquer sur (fonction) puis sur l'icône (chanfrein) dans la barre d'outils. On sélectionne les éléments à chanfreiner et distance $(0,5)$ et l'angle (45°) .

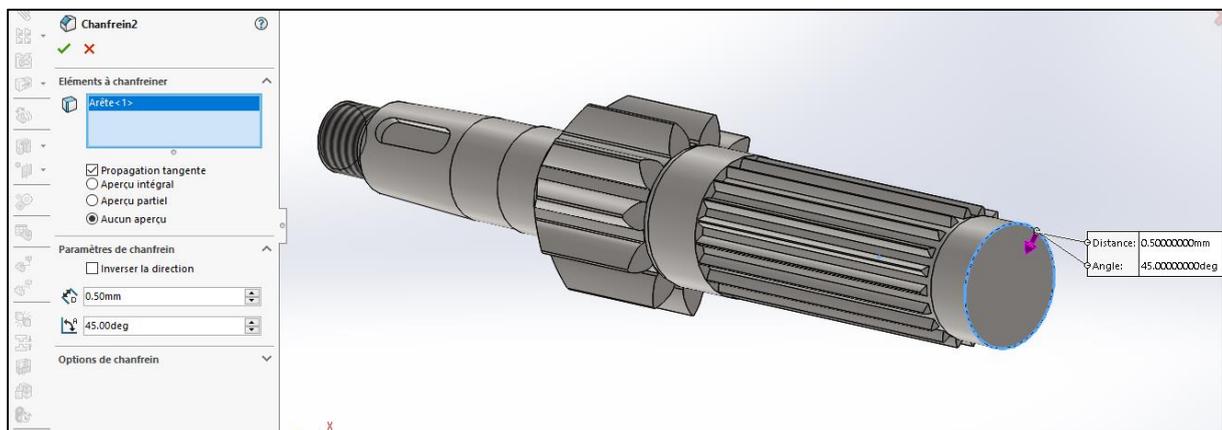


Figure. III- 19 : réalisation du chanfrein de $(0,5 * 45^\circ)$.

Étape 18: -pour réaliser, On sélectionne le plan et la surface où on va tracer le profil

Tracer le profil de Puis faire la cotation du côtes.

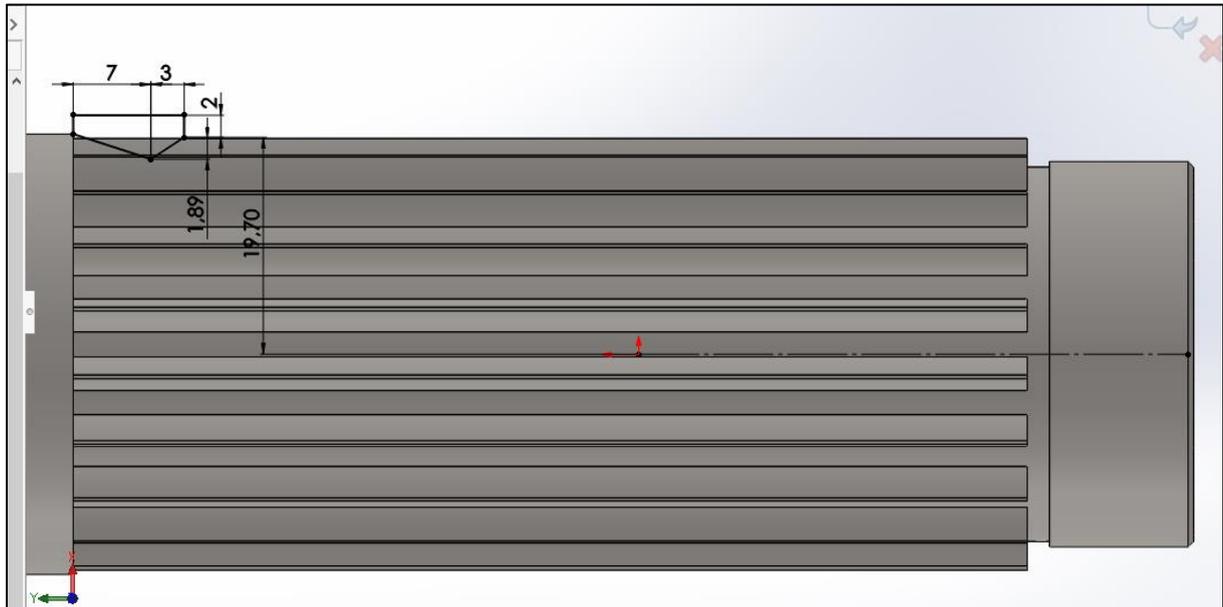


Figure. III- 20 : la cotation du côtes.

Étape 19: -pour réaliser , On sélectionne le plan et la surface où on va tracer le profil

Tracer le profil de . Puis faire la cotation du côtes.

-puis Click sur l'icône (base/bossage avec révolution) dans la barre d'outils.

On sélectionne l'axe, l'angle et le type de révolution.

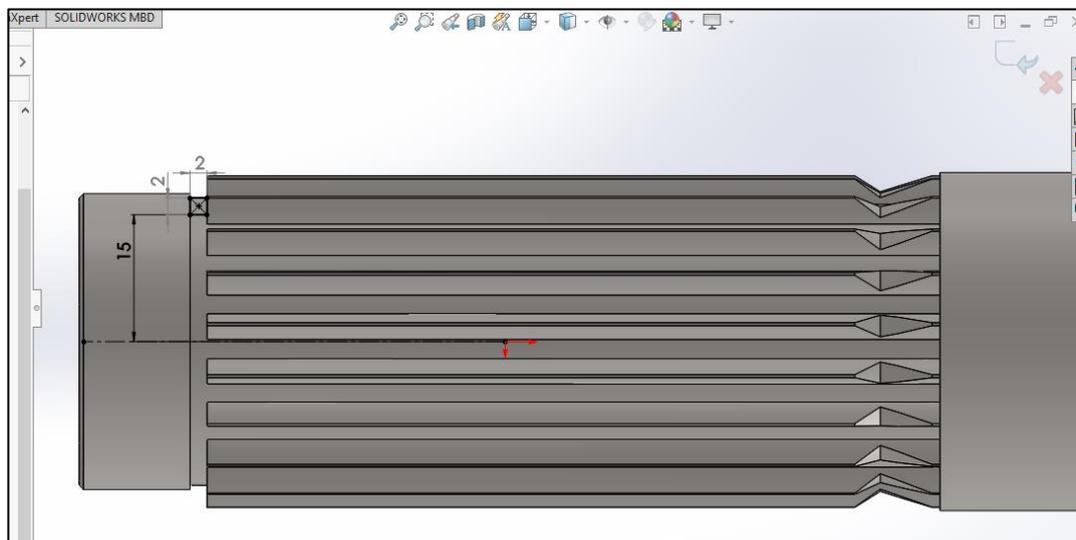


Figure. III- 21 : sélectionne le plan

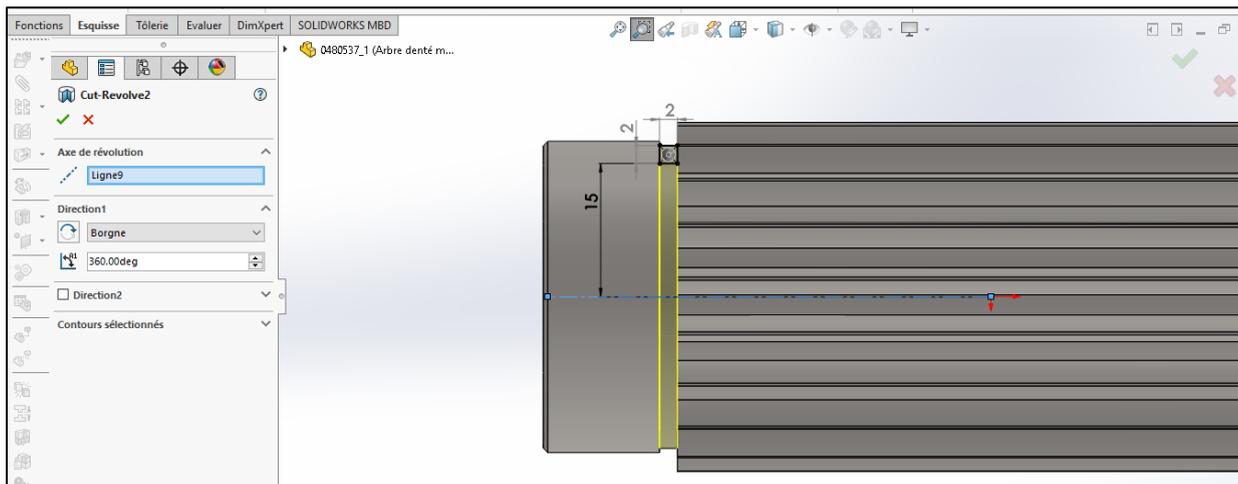


Figure. III- 22 : la cotation du côtes.

Étape 20:

Choisir le matériau de la pièce qui est (fk20MnCr5).

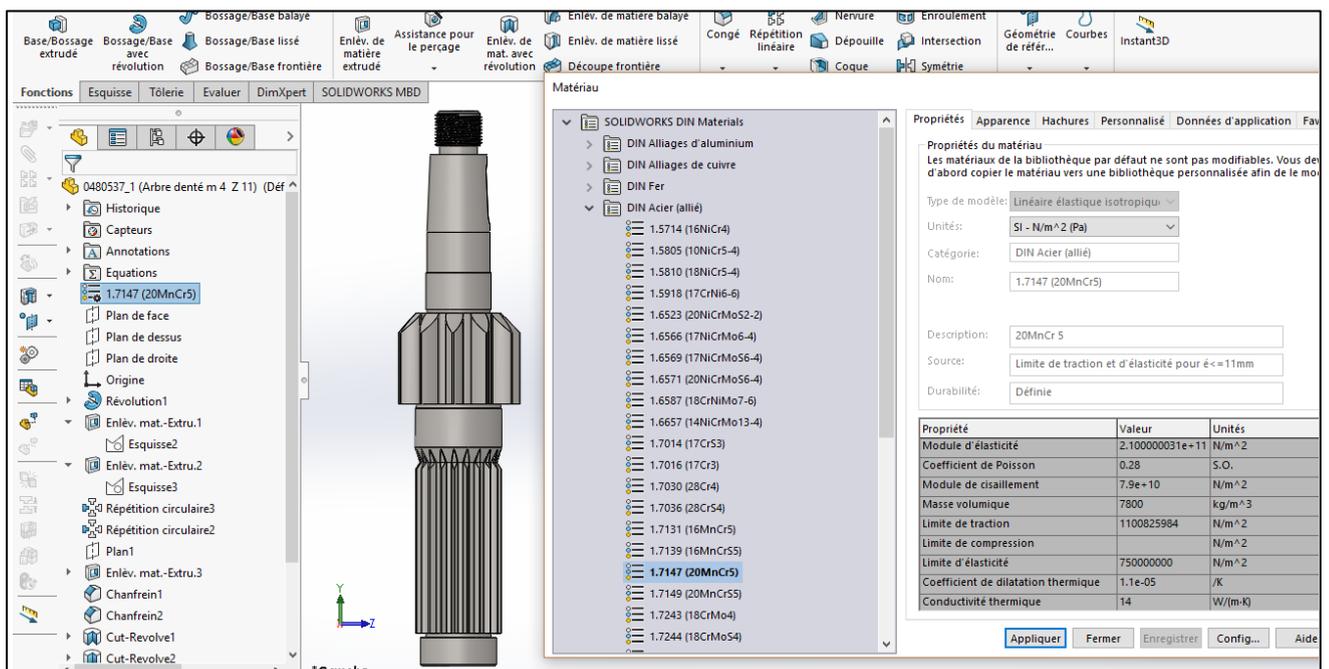


Figure. III- 23 : la Choisir le matériau.

Étape 21:

La pièce finie.

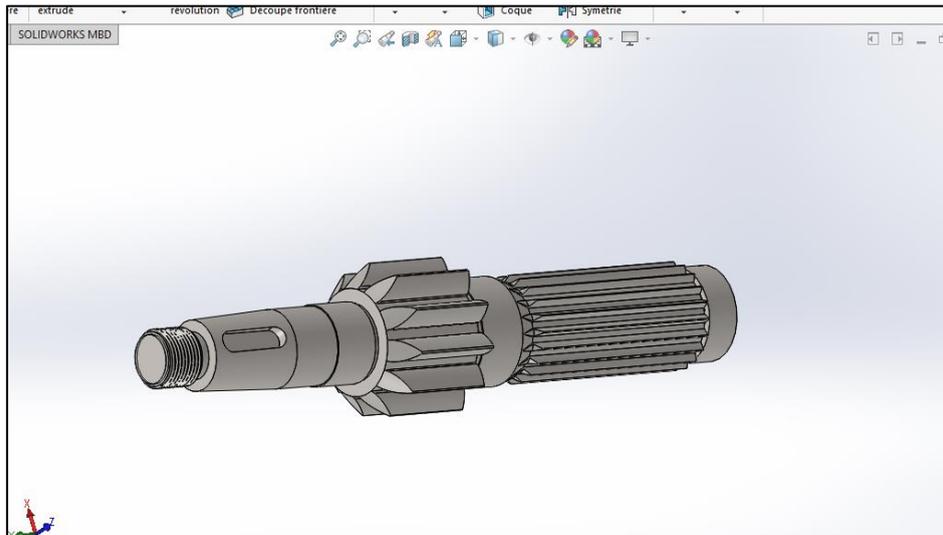


Figure. III- 24 : La pièce finie .

III.3. - Mise en page d'arbre pignon et la grande roue :

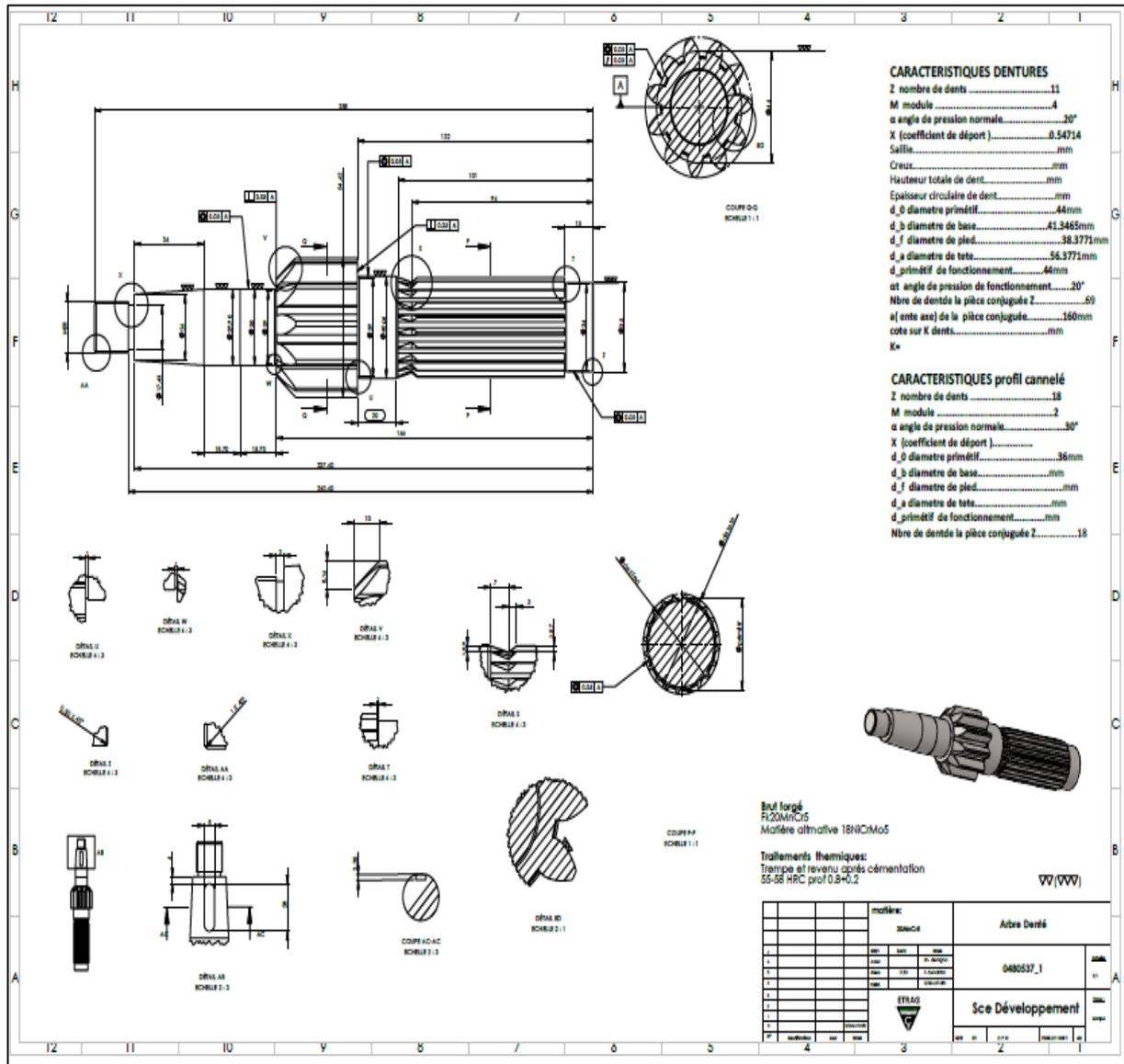


Figure. III- 25 : Mise en page de arbre pingon.

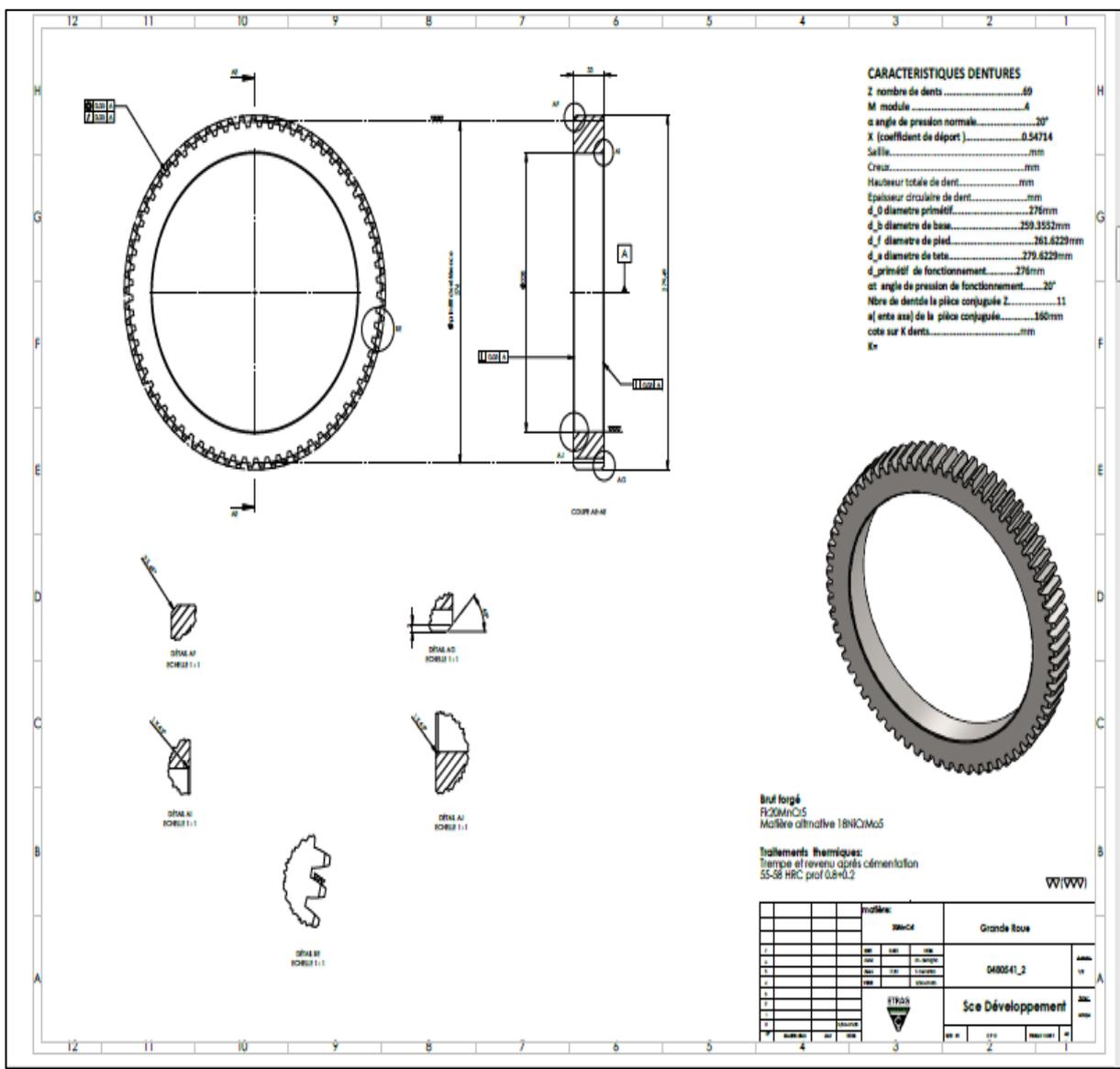


Figure. III- 26 : Mise en page de la grand roue.

III.3.1. - Chronologie de montage de l'ensemble arbre creux de renvoi :

Arbre 1 -> baldeur N°2 -> grand roue N°3 ->

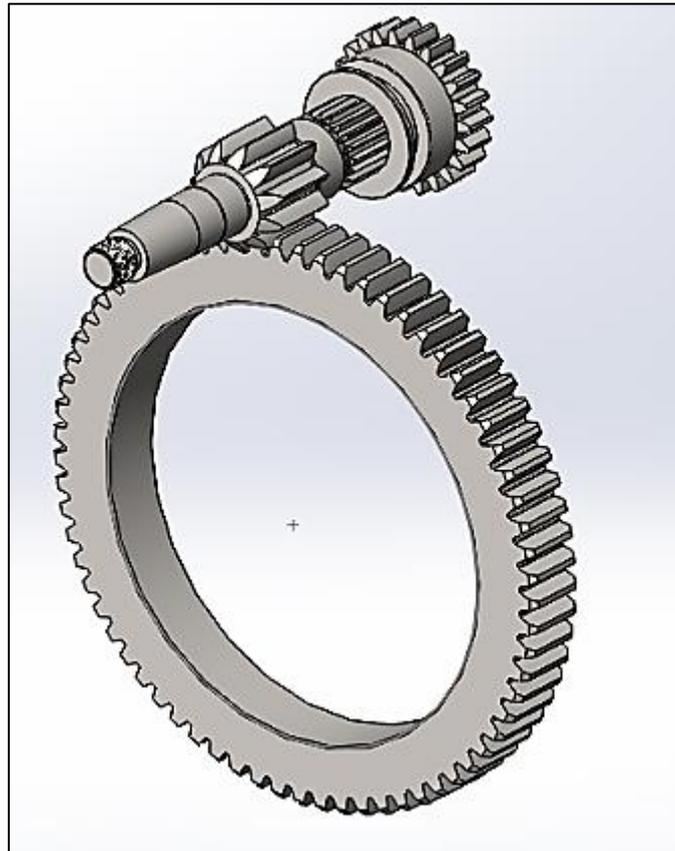


Figure. III- 27: L'ensemble arbre creux de renvoi

Chapitre IV
Élaboration d'une gamme d'usinage de
l'arbre pignon

IV.1. - Définition de l'arbre pignon :

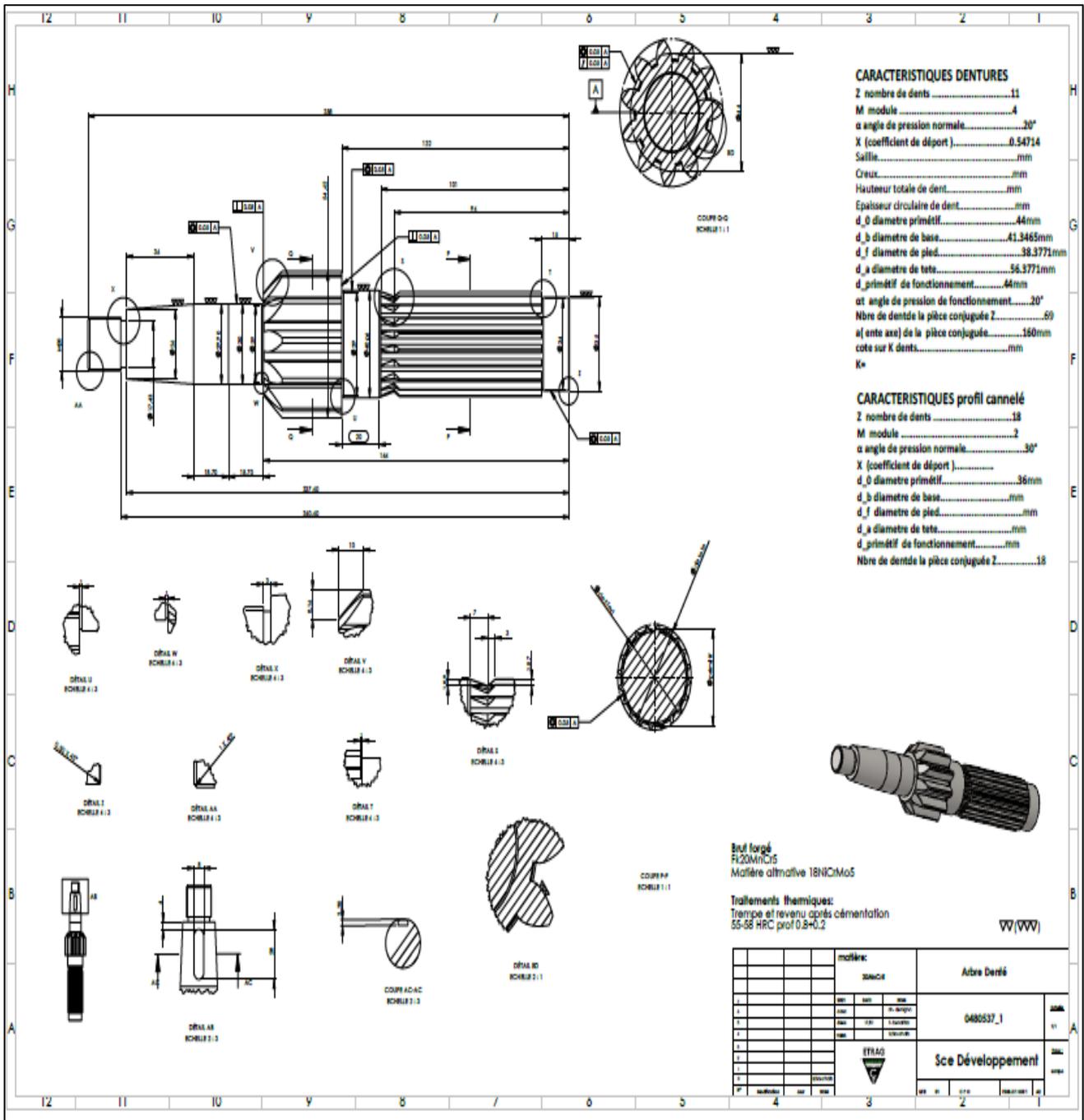


Figure. IV – 1 : dessin définition de l'arbre pignon.

IV.1.1. -Analyse du dessin de définition de l'arbre pignon :

L'arbre pignon est un acier de construction (acier faiblement allié FK20MnCr5) est une pièce de révolution axisymétrique de longueur totale 259(mm) et de diamètre maximale Ø56.3771 (diamètre de pignon).

- la pièce présente des dentures droites déportée avec un coefficient de déport ($x = 0.54714$ donner par l'entreprise) avec un module $m=4$ et un nombre de dents $Z=11$ et un angle de pression de $\alpha=20^\circ$.

- Elle présente des cannelures en développante de cercle à l'autre extrémité de l'arbre ($Z=18$) Et un angle de pression de $\alpha=30^\circ$.

- Elle comporte un filetage à l'extrémité de M20.

IV.1.2. -Tolérances dimensionnelles :

La précision dimensionnelle atteint les intervalles de tolérances de 0.068 mm.

Les autres dimensions sont dans des intervalles moins précis et varient entre ± 0.1 mm et ± 0.5

IV.1.3. -Les tolérances géométriques :

-Une coaxialité de diamètre Ø 34 par rapport à la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

-Une coaxialité de diamètre Ø 39 par rapport à la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

-Une coaxialité de diamètre Ø 30 par rapport à la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

-Une perpendicularité de diamètre Ø 29 par rapport à la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

-Une perpendicularité de surface de longueur 122 par rapport à de la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

Une coaxialité et un battement circulaire de diamètre primitif de la roue Ø44 par rapport à la surface de référence A (l'axe de la pièce) avec un intervalle de tolérance de 0.05.

IV.1.4. -Etat de surface:

Les états de surface sont définies par différentes rugosités qui varient entre 1 à 3 triangles au maximum.

Le tableau présente la correspondance entre Ra (rugosité arithmétique) et les signes de façonnage de la rugosité (triangles).

Tableau 1 : Etat de surface

Signe de façonnage	△	△△	△△△
Ra en micron (µm)	50 - 6.3	3.2 - 1.6	0.8 - 0.025

IV.2. -Matériau de la pièce étudiée (FK20MnCr5):

IV.2.1. -Différentes désignation du matériau:

Le matériau (FK 20 Mn Cr 5) est un acier de construction faiblement allié, il a été surtout choisi pour sa capacité de traitement thermique (cémentation). Le tableau montre ses différentes désignations :

Tableau 2: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5).

DIN	ISO	AFNOR
FK 20MnCr5	20MnCr5	20MC5

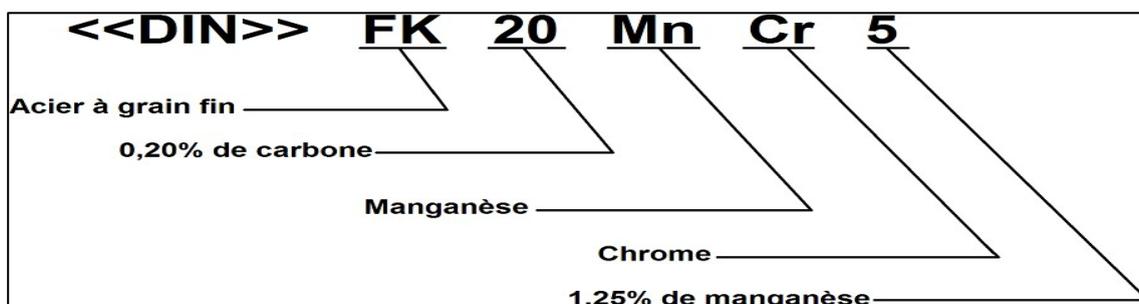


Figure. IV - 2: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5). (DIN)

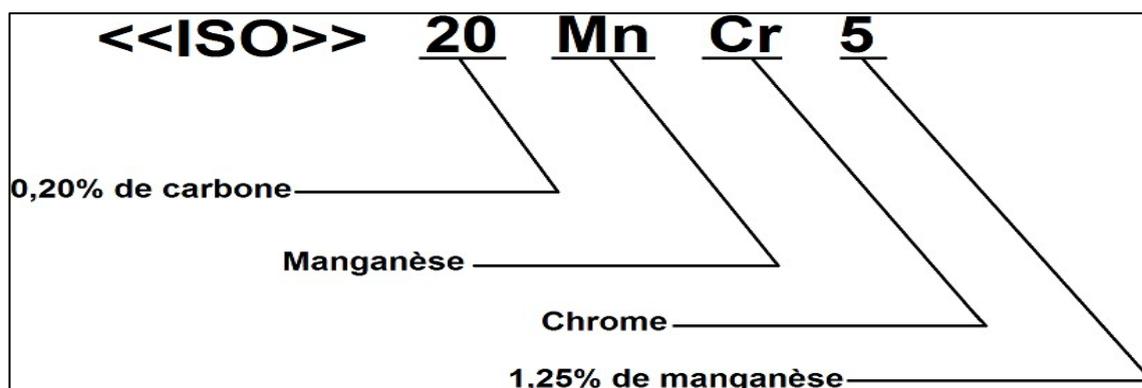


Figure. IV -3: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5). (ISO)

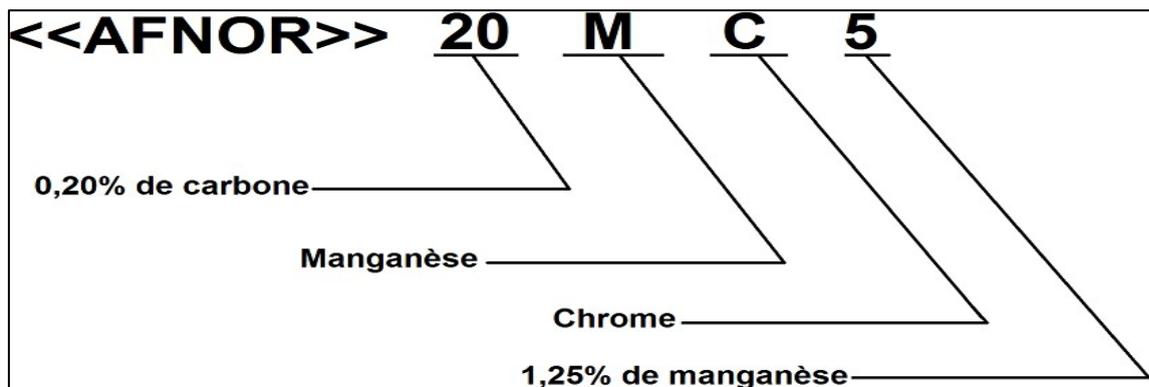


Figure. IV -4: Le matériau (FK 20 Mn Cr 5) (AFNOR)

IV.2.2.- Description du matériau :

FK 20MnCr5 acier de construction (chrome, manganèse).L'Acier de construction faiblement allié au chrome manganèse (FK 20 Mn Cr 5) est un acier destiné pour le traitement thermiques (cémentation, trempe et revenue). Il a une bonne trempabilité a l'huile et une bonne résistance aux surcharges a l'état traités. C'est une pièce de grande dureté, travaillant aux frottements (roues de transmission, acier à outils pour travail à chaud), avec une bonne résistance aux chocs thermique et aux vibrations.

C'est un acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement.

IV.2.3. -Choix du matériau:

Le choix du matériau (FK 20 Mn Cr 5) a été fait en fonction du travail effectué par la pièce, sur la base des critères suivant:

- les caractéristiques mécaniques.
- la composition chimique.
- le milieu de travail.
- traitement thermique.
- utilisation de la matière.
- la quantité d'effort requise

IV.2.4. -Composition chimique :

La composition chimique de l'acier utilisé est présentée par le tableau suivant.

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
Teneur %	0,17 0,25	- ≤ 0,4	1,1 1,4	- ≤ 0,025	≤ 0,035	1 - 1,3	0,01 - 0,05

C : Carbone : C'est un élément essentiel dans l'industrie des alliages, il augmente la dureté des alliages et la trempabilité.

Si : Silicium : Augmente la flexibilité. Augmente considérablement la résistance à la flexion et à la torsion.

Mn : Manganèse : Il réduit la vitesse de refroidissement et évite les changements des propriétés du matériau.

P : Phosphore : Il augmente la résistance à l'usure due aux facteurs environnants.

S : Soufre : Il rend l'acier cassant aux chocs, il est donc indésirable. Sa teneur est limitée à 0.4%. Il favorise la formation des copeaux.

Cr : Chrome : Augmente la résistance à la corrosion et empêche la rouille.

IV.2.5. -Caractéristique mécanique :

- Limite élastique : $R_e = 735 \text{ MPa}$
- résistance à la traction $R_r = 900 - 1200 \text{ MPa}$
- L'allongement : $A > 9\%$
- Dureté HRC = 55 - 58

IV.3. -Forgeage :**IV.3.1. -Définition :**

Le forgeage recouvre l'ensemble des opérations et des moyens qui permettent de produire des pièces en exploitant la déformation plastique. Il existe trois types de procédés de forgeage, qui varient en fonction de la température : à chaud, mi-chaud, et à froid. Bien que le forgeage à chaud soit la technique de production la plus ancienne, le choix de l'une de ces techniques ne repose pas seulement sur leur qualité, mais sur les caractéristiques voulues pour le produit final, ainsi que sur l'optimisation des coûts de production en fonction de la taille de la série produite. La forge permet d'affiner la structure granulaire du matériau, principalement des métaux et alliages, et permet ainsi d'améliorer les propriétés mécaniques du composant pour renforcer sa solidité. Des presses et pilons complexes sont utilisés pour déformer les matériaux et obtenir la forme souhaitée.

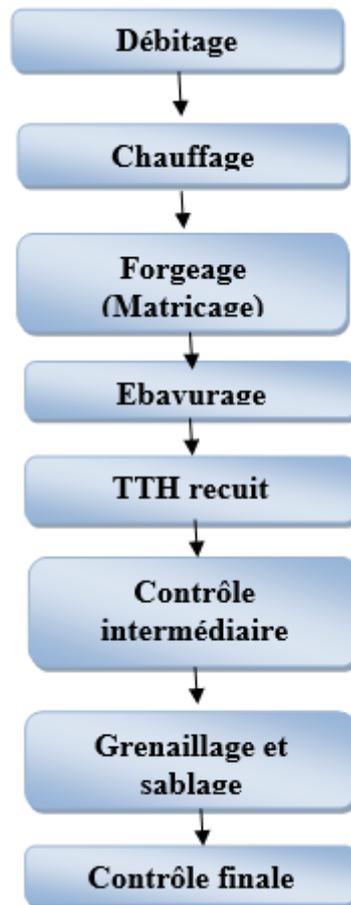
IV.3.2. - Schéma du procédé de forgeage :

Figure. IV -5: Schéma du procédé de forgeage

IV.3.3. -Avantage de forgeage:

- Diminution du prix de revient de la pièce : donc amélioration de la compétitivité.
- Optimisation des caractéristiques mécaniques tout en respectant l'environnement.
- Augmentation des caractéristiques mécaniques : conséquence de la diminution de la taille moyenne des grains.

IV.3.4. - Surépaisseur d'usinage :**IV.3.5. -Différente surépaisseur d'usinage :****Surépaisseur totale (Z_t):**

C'est l'épaisseur du matériau à enlever pour respecter l'ensemble des prescriptions établies par la gamme d'usinage que doit subir la surface élémentaire considérée depuis son état brut jusqu'à sa finition, elle est considérée comme la différence entre les cotes de la pièce brute et la pièce finie [13].

Surépaisseur minimale (Z_{min}):

C'est une couche minimale enlevée lors de l'usinage. Elle est égale à la couche enlevée lorsqu'on a utilisé toute la tolérance sur l'opération précédente et qu'on n'a pas utilisé celle-là pendant l'opération en cours, c'est la différence entre la cote limite inférieure après l'usinage et la cote limite supérieure avant l'usinage [13].

Surépaisseur garantie (Z_{gar}) :

C'est la surépaisseur qui dépasse la surépaisseur minimale (Z_{min}) de la valeur de la couche de matériau qui correspond à la tolérance de l'opération utilisée [13].

Surépaisseur nominale (Z_{nom}):

C'est la surépaisseur qui dépasse la surépaisseur minimale (Z_{min}) de la valeur de la couche de matériau qui correspond à la tolérance de l'opération antérieure [13].

Surépaisseur maximale (Z_{max}) :

C'est la surépaisseur obtenue lorsque la tolérance de l'opération antérieure n'a pas été utilisée et par l'opération exécutée est fabriquée la pièce avec la cote minimale opérationnelle [13].

La figure présente la disposition des surépaisseurs, des côtes et des tolérances.

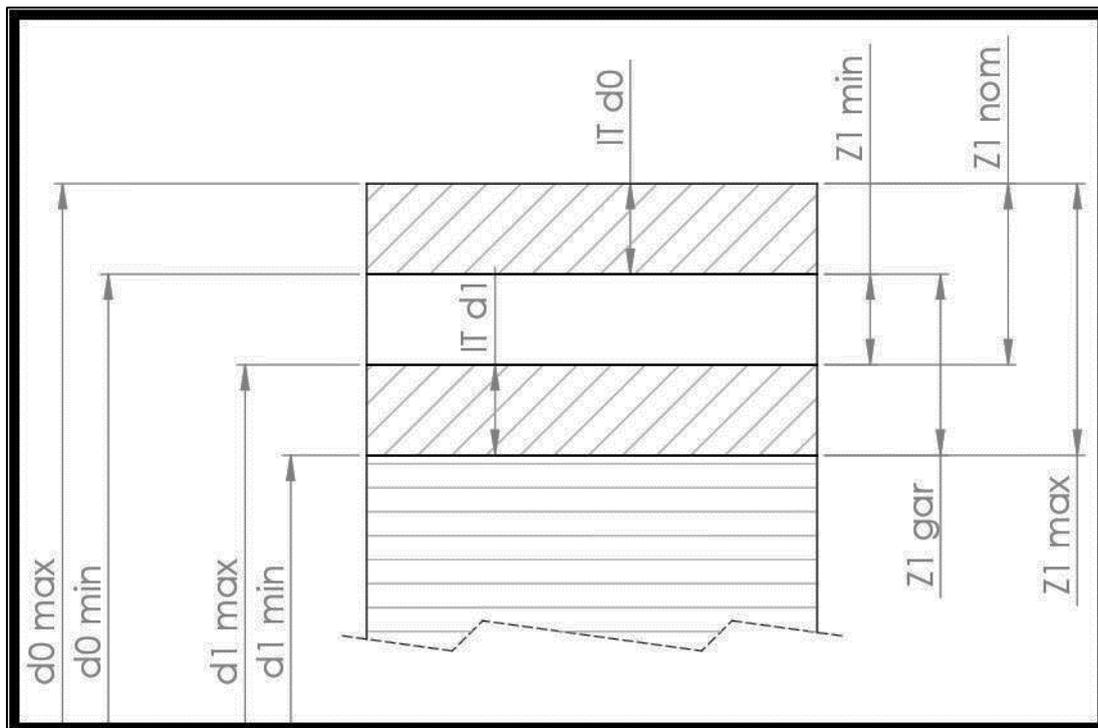


Figure. IV -6: surépaisseur d'usinage

IV.4. -Calcul de la surépaisseur d'usinage pour le diamètre Ø40p6 :

La tolérance de la dernière opération doit correspondre à la tolérance sur la pièce finie selon le dessin de définition. C'est pourquoi, elle est présentée directement sur la surface donnée de la pièce et l'opération finale d'usinage est établie de la manière à garantir la tolérance donnée.

40 p6 ($40_{-0.042}^{+0.026}$) => d max= 39.958mm, d min= 40.026 mm, IT=0.068

Les cotes inférieures et supérieures pour chaque opération sont calculées selon la procédure définie dans le tableau suivant :

- $d_i \text{ min} = d_{i+1} \text{ max} + Z_{i+1} \text{ min}$
- $d_i \text{ max} = d_i \text{ min} + IT_{d_i}$

Calcule des cotes inférieure et supérieure pour chaque opération.

Tableau 3: Calcul de la surépaisseur d'usinage pour le diamètre Ø40p6.

N°	Routage d'usinage	IT di	Zi _{min}	Equation
0	Ebauche estampé	1.2	-	- d0 _{min} = 41.582 + Z1 _{min} = 41.582 + 1.4 = 42.982 - d0 _{max} = 42.982 + IT d0 = 42.982 + 1.2 = 44.182
1	Chariotage de dégrossissage	0.34	1.4	- d1 _{min} = 40.692 + Z2 _{min} = 40.692 + 0.55 = 41.242 - d1 _{max} = 41.242 + IT d1 = 41.242 + 0.34 = 41.582
2	Chariotage definition	0.10	0.55	- d2 _{min} = 40.292 + Z4 _{min} = 40.292 + 0.30 = 40.592 - d2 _{max} = 40.592 + IT d2 = 40.592 + 0.10 = 40.692
3	Traitement thermique	/	/	Prévue dans la surépaisseur de rectification
4	Rectification préalable	0.050	0.30	- d4 _{min} = 40.042 + Z5 _{min} = 40.042 + 0.20 = 40.242 - d4 _{max} = 40.242 + IT d4 = 40.242 + 0.050 = 40.292
5	Rectification definition	0.016	0.20	- d5 _{min} = 45.002 - d5 _{max} = 40.026 + IT d5 = 40.026 + 0.016 = 40.042

Donc la surépaisseur totale d'usinage est :

$$Z_t = d_0 \text{ max} - d_5 \text{ min} = 44.88 - 40.042 = 4.838$$

IV.4.1. -Cotes technologiques et arrondissements des cotes pour l'obtention du diamètre Ø40p6 :

Les cotes minimales et maximales pour chaque opération doivent être arrondies pour pouvoir définir des cotes technologiques. Cet arrondissement est nécessaire pour la simplification de lecture lors de la prise des mesures.

Pour la cote 40 p6 ($40_{-0.042}^{+0.026}$) => d max= 39.958, d min=40.026, IT= 0.068

Le Tableau illustre les résultats des cotes technologiques pour l'obtention du diamètre Ø40p6

Tableau 4 : Cotes Technologiques pour l'obtention du diamètre Ø40p6

N°	Routage d'usinage	IT di	Zi min	Cotes calculées		Cotes di _{max} arrondies	Cotes technologiques
				di _{max}	di _{min}		
0	Ebauche estampé	1.2	-	44.88	44.882	44	44±0,5
1	Chariotage de dégrossissage	0.34	1.4	41.782	41.442	41.8	41.8 ^{-0.34}
2	Chariotage de finition	0.10	0.55	40.742	40.642	40.76	40,76 ^{-0,1}
3	Traitement thermique	Prévue dans la surépaisseur de rectification					
4	Rectification préalable	0.050	0.30	40.292	40.242	40.31	40,31 ^{-0,05}
5	Rectification de finition	0.016	0.20	40.020	40.042	40	40±0,02±0,042

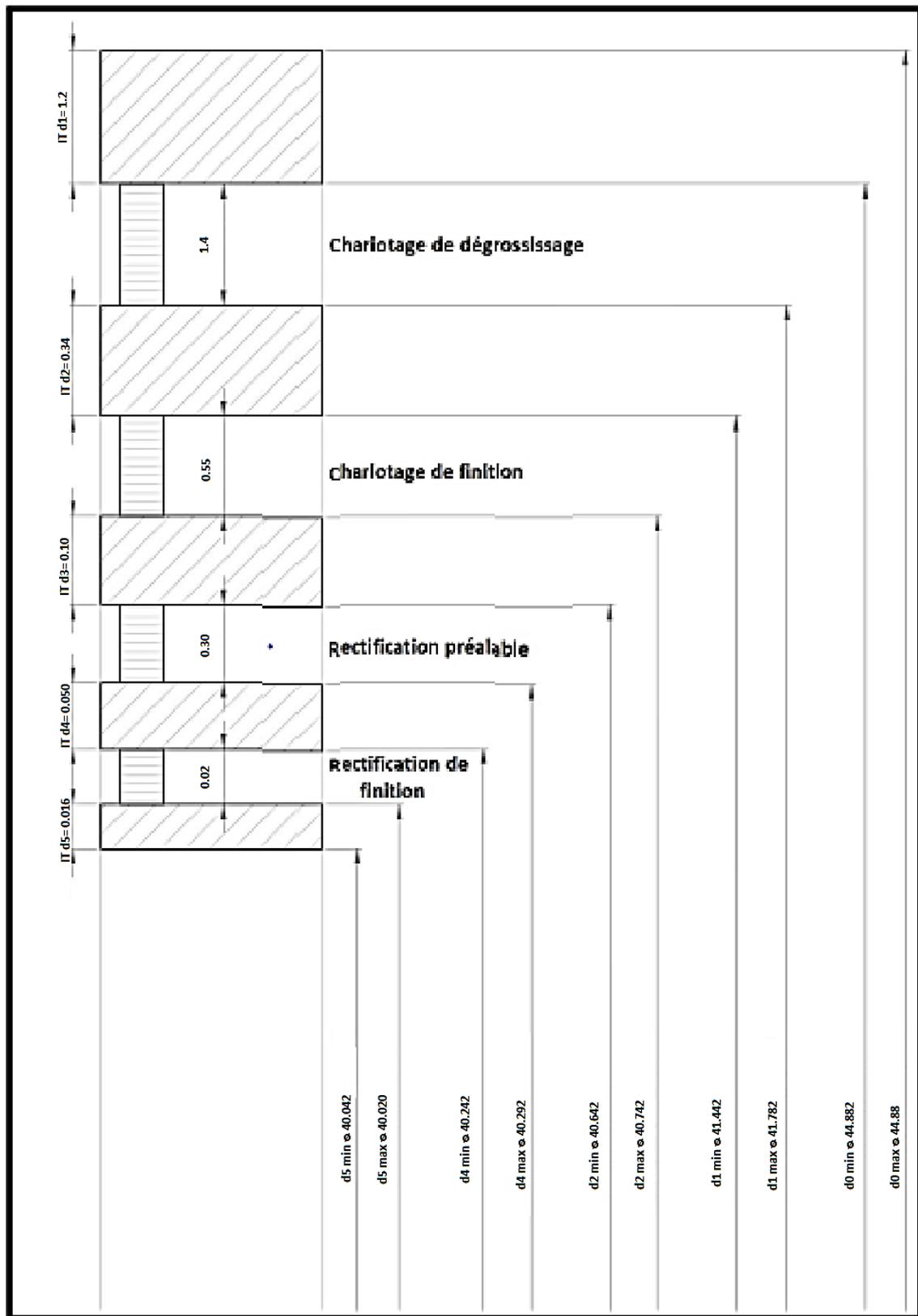


Figure. IV -7: figure présente le schéma de disposition des surépaisseurs, cotes et tolérance intermédiaires lors de L'usinage de l'arbre Ø40p6.

IV.4. 2. -Dessin de du brut forgé :

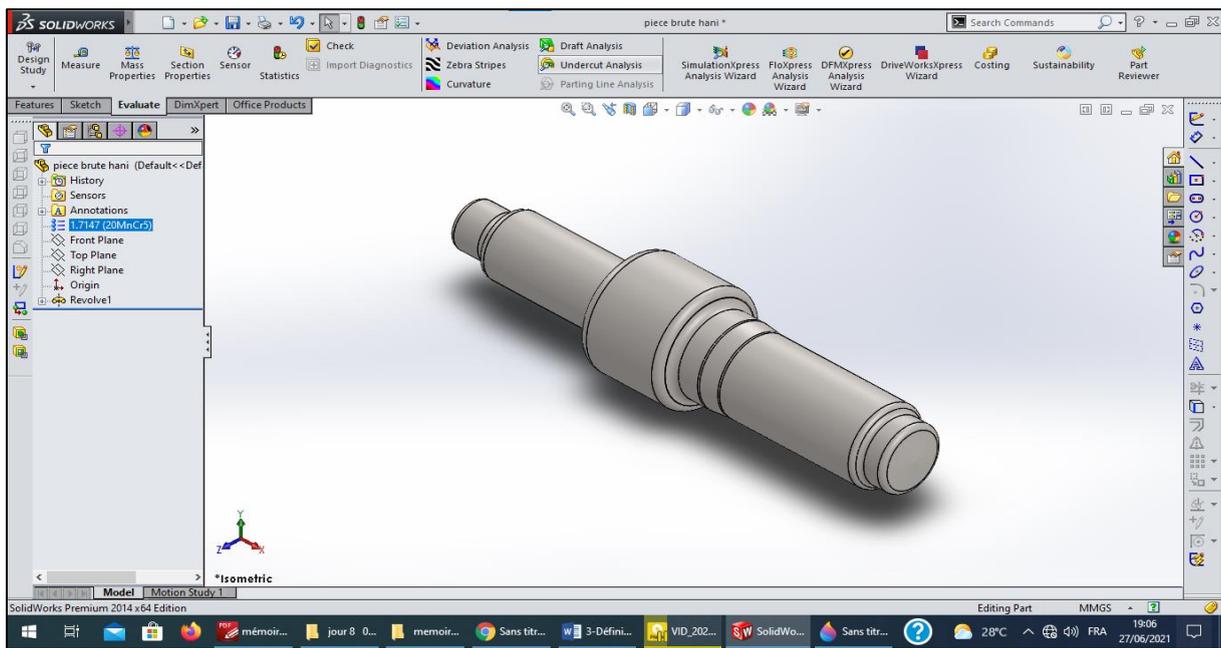


Figure. IV -8: Dessin de du brut forgé.

IV.4. 3. Calcule volume et la masse du brut forgé :

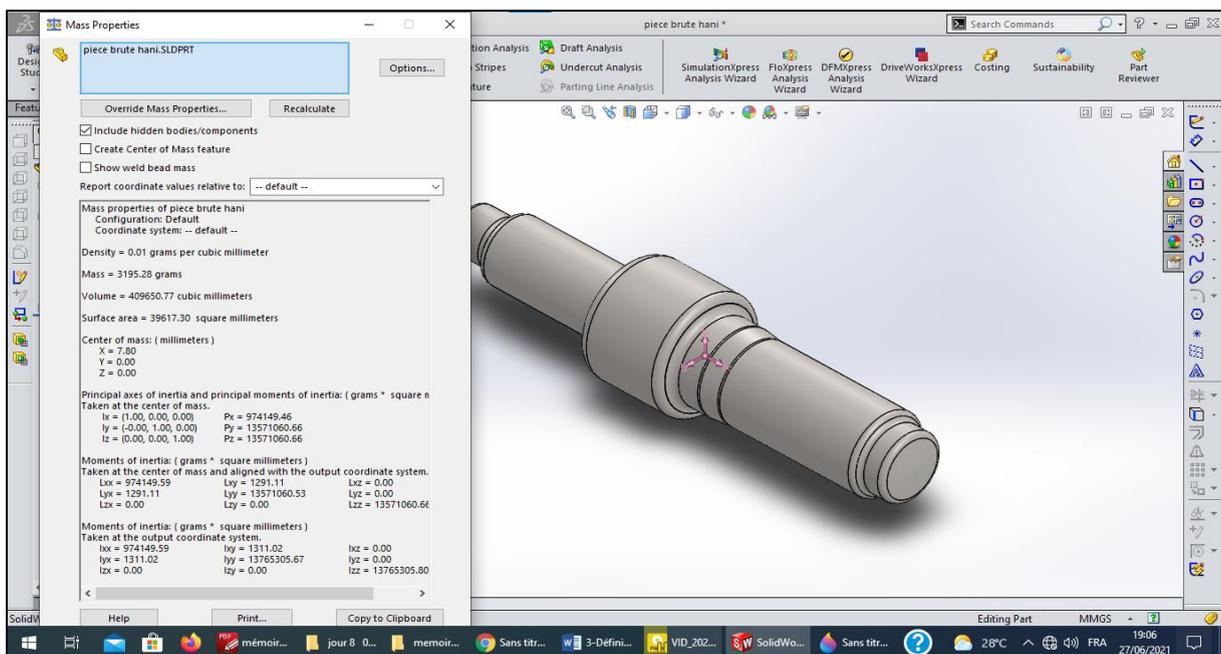


Figure. IV -9: le volume et la masse du brut forgé.

- volume de l'ébauche forgé : $V_{\text{ébauche, forgé}} = 409650.77 \text{ mm}^3$ (calculé par SolidWorks).

=> masse de l'ébauche forgé = 3195.28 g. (calculé par SolidWorks).

Masse volumique de l'acier : $\rho = 128.204968 \text{ g/mm}^3$

Densité : 0.01 g/mm³ (calculé par SolidWorks).

IV.5. -Stratégie de la gamme d'usinage de l'arbre pignon :

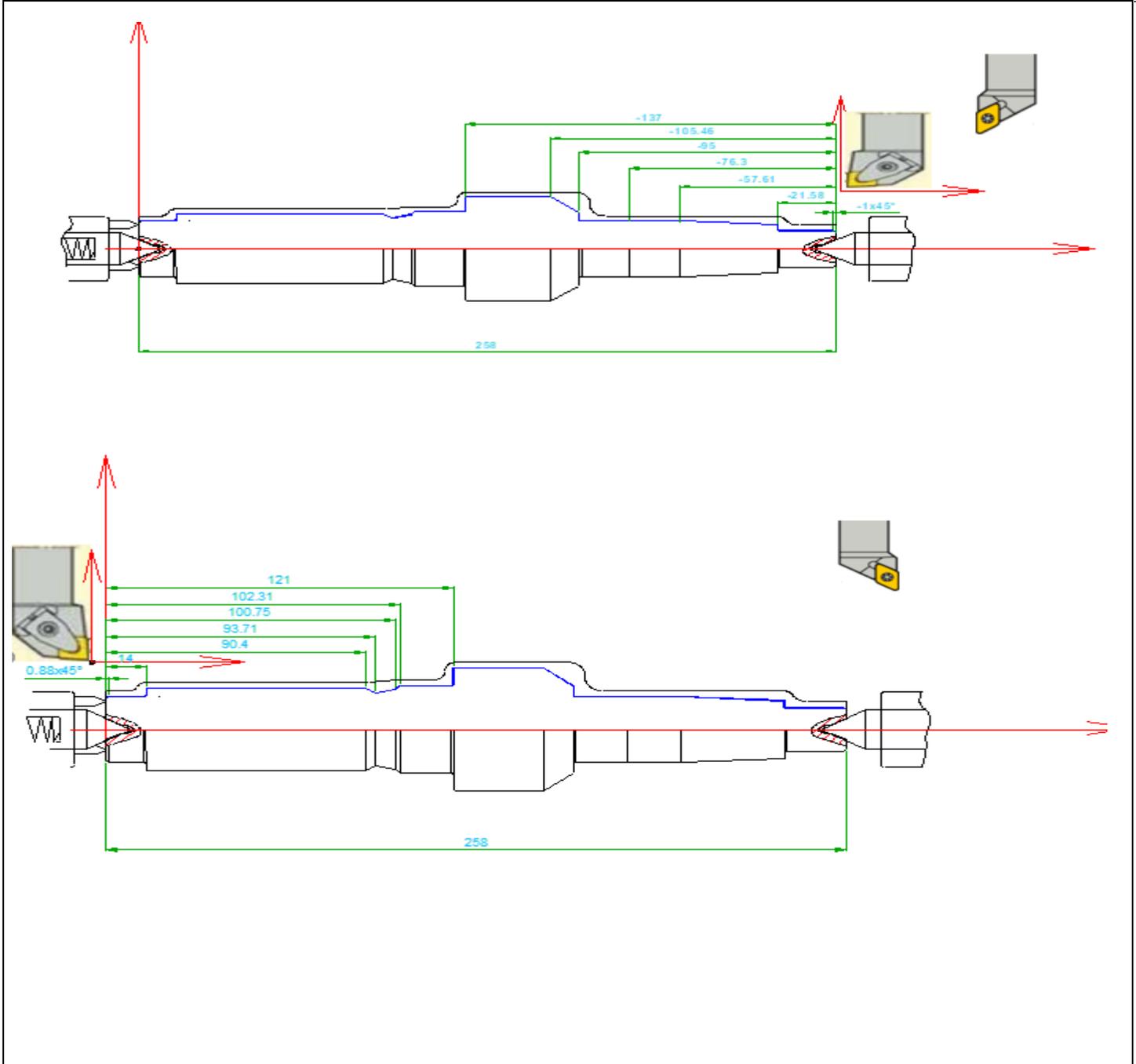
Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Élément : arbre creux de renvoi	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°100						
<p>The drawing shows a hollow shaft with a central section of length 258 mm and a total length of 268.57 mm. The outer diameter is Ø67.38 mm and the inner diameter is Ø56.38 mm. The shaft has various diameters and features along its length, including a central section with a larger diameter and a section with a smaller diameter.</p>						
Désignation des phases et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Contrôle du brut (vérifier cotes et spécification)	Atelier de contrôle	Appareillage (pied a coulisse)	/	/	/	/

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre creux de renvoi	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°200						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Dressage et centrage: Pièce au montage référentiel de départ défini par un centrage long en 4N (1,2,3,4) avec un serrage opposé aux appuis (utilisation de 2 V).	Dresseuse centreuse à 4 broches.	/	/	/	/	/
201: - Dresser les deux surface de $\varnothing 24$ et 39 avec $C_m=258$ mm.		 2 fraise à surfacer de $\varnothing 120$	100	500	0,15	0,2
202: - Centrer les deux faces		 Foret à centrer de $\varnothing 10$	40	300	/	0,025

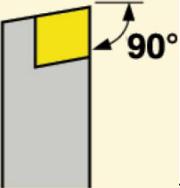
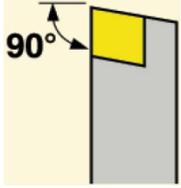
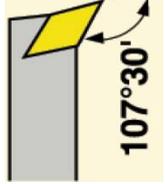
Contrat de phase proposé à l'ETRAG

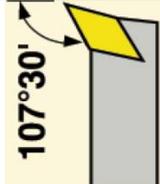
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre creux de renvoi	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2
----------------------------	--------------------------------	---------------------	----------------------	-------------------	--------------

Phase N°300



Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Tournage: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (1,2,3,4) et un appui ponctuel en 1N (5) avec serrage hydraulique entre pointe et utilisation d'une pointe à griffe.		/	/	/	/	/

<p>301 Chariotage Ebauche en contournage (avec les chanfreins) de la partie droite $\varnothing 21.8-0.34$ sur $L=17.6$ $\varnothing 26.8-L=36$ 0.34 a $\varnothing 30.7-0.35$ sur $\varnothing 31.7-0.34$ sur $L=18.70$ $\varnothing 31.8-0.34$ sur $L=18.70$</p>						
<p>$\varnothing 45.8-0.34$ sur $L=45$</p> <p>301: Chariotage finition en contournage de la partie droite</p>		<p>Outil à charioter ébauche à droite.</p>				
<p>$\varnothing 20.76-0.1$ sur 17.6 $\varnothing 25.76-0.1$ sur $L=36$ $\varnothing 30.76-0.1$ sur $L=18.70$</p>	<p>Centre de tournage à commande numérique.</p>		<p>45</p>	<p>300</p>	<p>1</p>	<p>0,2</p>
<p>302 chariotage ébauche de la partie gauche en contournage $\varnothing 36.8-0.34$ sur $L=15$ $\varnothing 37.8-0.34$ sur $L=90$ $\varnothing 39.8-0.34$ sur $L=20$</p>			<p>45</p>	<p>300</p>	<p>1</p>	<p>0,2</p>
<p>303: Chariotage en finition du $\varnothing 35.76-0.1$ sur $L=90$ $\varnothing 37.76-0.1$ sur L</p>		 <p>Outil à charioter</p>	<p>150</p>	<p>900</p>	<p>0.5</p>	<p>0,1</p>

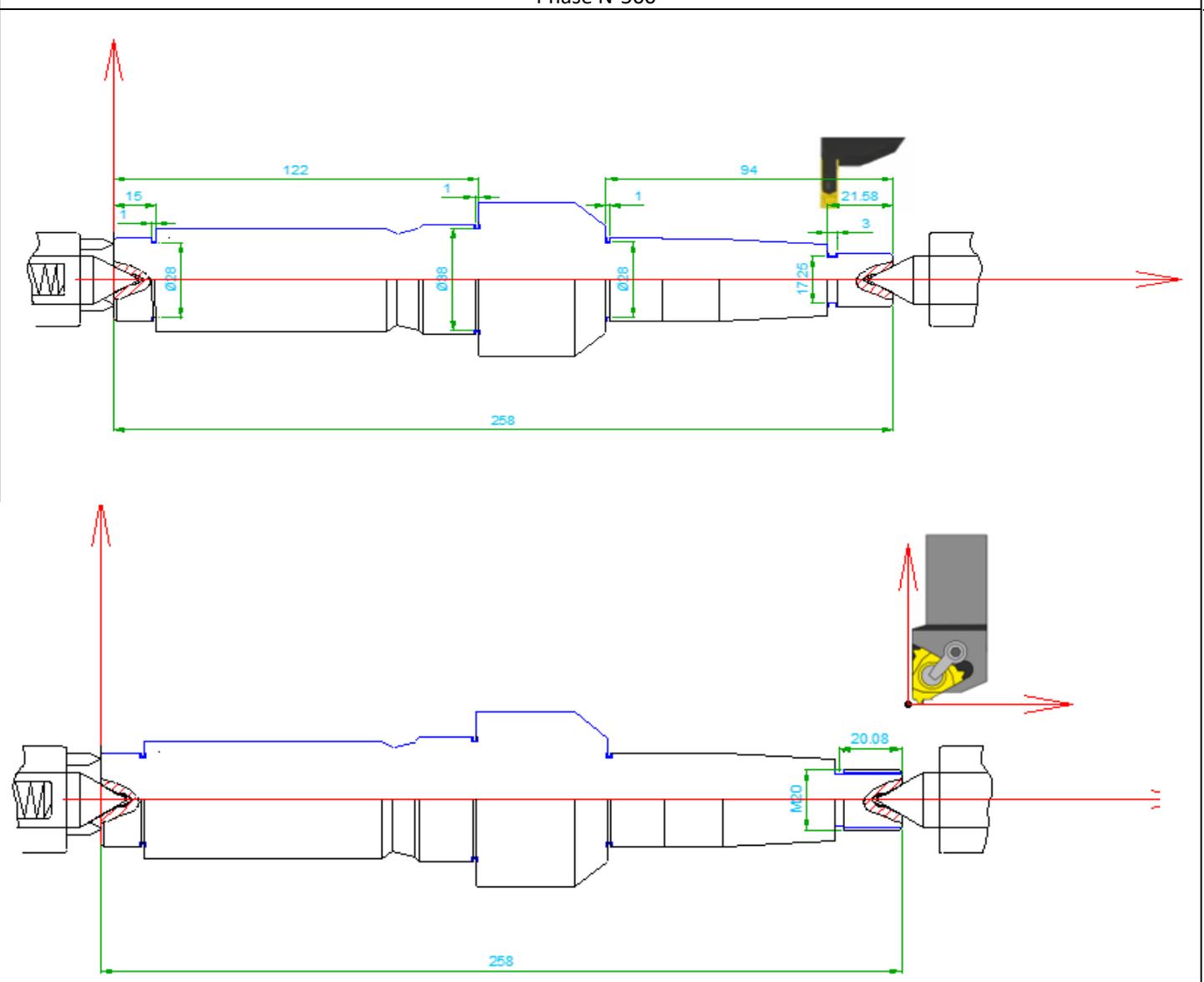
		finition à droite.				
<p>304:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tourner chanfrein 0,5x45°. - Chariotage en finition du $\varnothing 46.6_{-0.34}$ au $45.70_{-0.10}$ sur une longueur de 24. - Tourner détail "V". 	 <p>107°30'</p>	Outil à charioter	150	900	0.5	0,1
<p>305:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tourner gorge $\varnothing 37,5h12x1,85H13$ (respecter la longueur 3,2 mm). - Tourner gorge $\varnothing 42,5h12x1,85H13$ (respecter la longueur 20,8 mm). 		Outil à saigner.	30	200	0.5	0,05

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°400						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	P mm
Forage: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (2,3,4,5) et un appui ponctuel en 1N (1) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et lunette).		/	/	/	/	/
401: - Fraisage rainure $\varnothing 8_{+0.5}$ mm sur une profondeur de 3.35.	Centre de tournage	Fraise $\varnothing 8$.	30	/	0.06	1.2

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°500						



Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Réalisation de la gorge 3 mm sur diamètre 20 A distance 21.50	Centre de tournage	 Outil à saigner.	30	/	0.06	1.2

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Filetage diamètre M20			30	/	0.06	1.2
-----------------------	--	---	-----------	---	-------------	------------

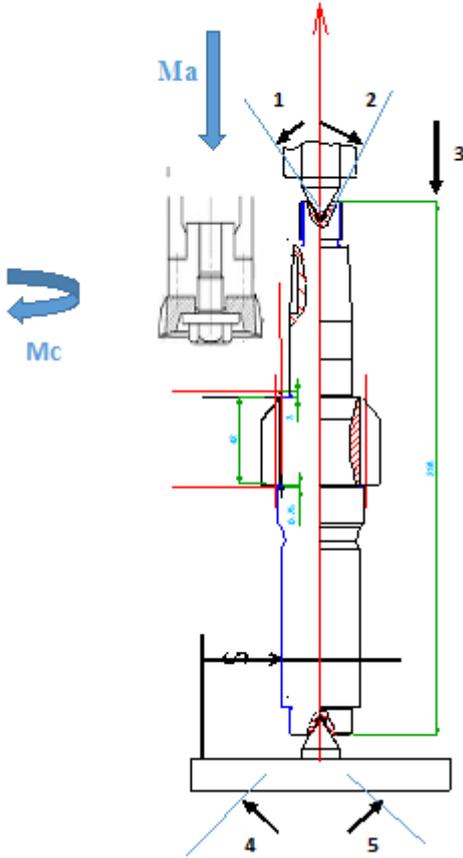
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°600						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
<p>Taillage: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (1,2,4,5) et un appui ponctuel en 1N (3) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et contre pointe).</p>		/	/	/	/	/
<p>601: -Fraisier profil cannelé Selon norme DIN 5480-1. ($Z = 18 ; m = 2 ; dp = 36 ; da = 38 ; \alpha = 30^\circ$).</p>	Tailleuse d'engrenage a CN à 2 têtes.	<p>fraise à tailler les cannelures</p>	30	200	2	0,1

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG

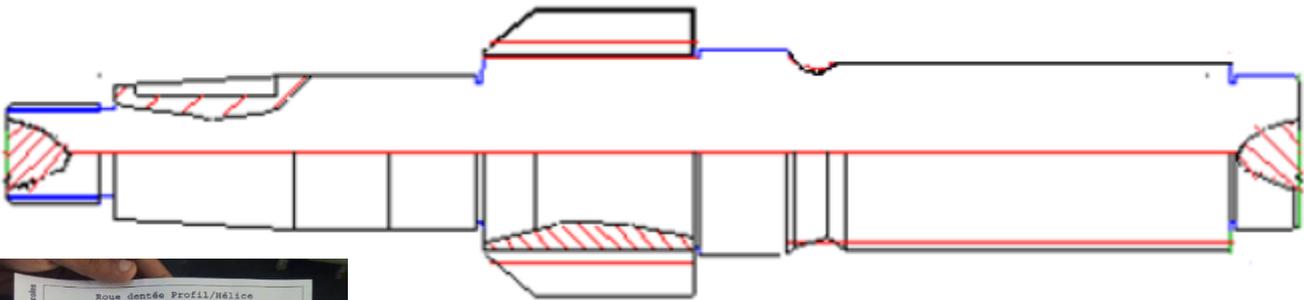
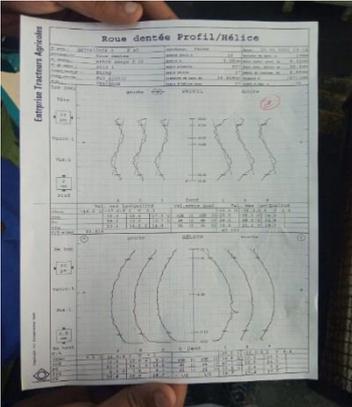
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2
Phase N°700					



Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Taillage: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (2,3,4,5) et un appui ponctuel en 1N (1) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et contre pointe).	Tailleuse d'engrenages par outil pignon	/	/	/	/	/

<p>701: - Fraiser denture module $m=3,5$ ($Z=11$, $\alpha=20^\circ$) .</p>			30	200	2	0,1
		l'outil pignon .				

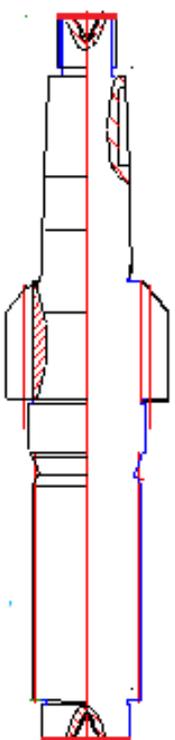
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°900						
						
						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
<p>Rasage: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (1,2,4,5) et un appui ponctuel en 1N (3) avec serrage hydraulique entre pointe opposé aux appuis.</p>	Machine à raser les dentures.	/	/	/	/	/
<p>901: - Raser denture module $m=3,5$ ($Z=11$, $\alpha=20^\circ$) .</p>		 <p>roue à denture hélicoïdale pour rasage d'angle $\alpha=20^\circ$.</p>	200	1250	/	/

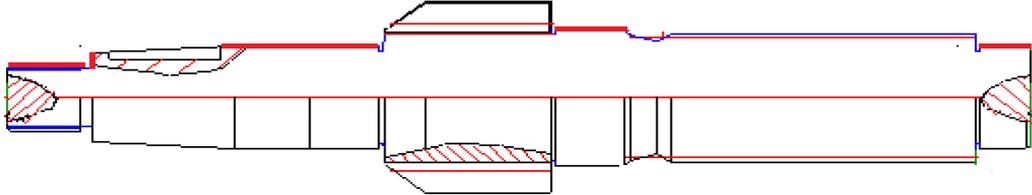
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: /	
Phase N°1000, 1100, 1200						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
1001: - Cémentation. 1101: - trempe. 1201: - Revenu.	Four à très haute température	/	/	/	/	/

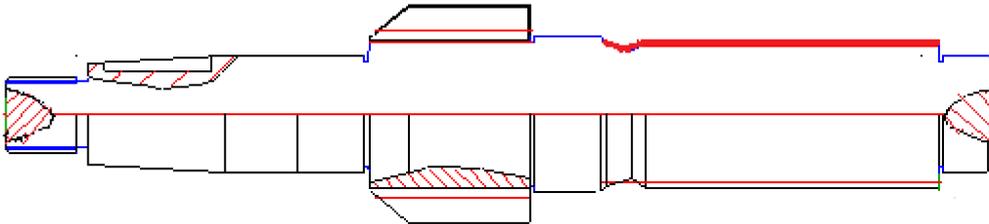
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°1300						
						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Rectification: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (1,2,4,5) et un appui ponctuel en 1N (3) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et lunette).	Rectifieuse de centre.	/	/	/	/	/
1301: Rectifier centre 1x30° sur centre		 Meule.	250	1500	0,01	0,07

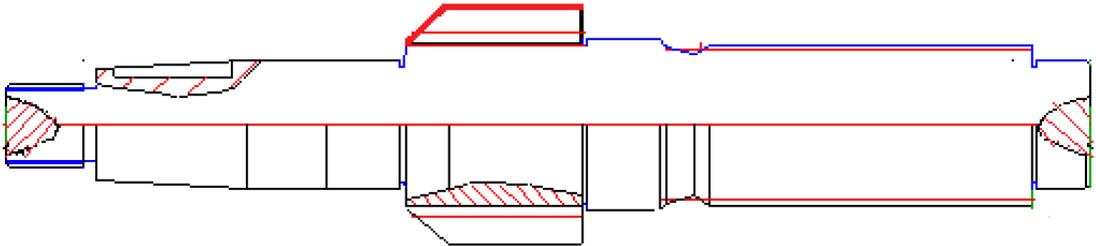
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre creux de renvoi	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°1400						
						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Rectification: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (2,3,4,5) et un appui ponctuel en 1N (1) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et contre pointe).	Rectifieuse.	/	/	/	/	/
1401: - Rectification préalable du $\varnothing 35.31-0.05$ au $\varnothing 35.225 - 0.050$. - Rectification préalable du $\varnothing 30.31-0.10$ au $\varnothing 30.270 - 0.050$. - Rectification préalable du $\varnothing 20.31 - 0.05$ au		 Meule.	250	1500	0,01	0,07
1402: - Rectification de finition du $\varnothing 35.225 - 0.050$ au $35p6 (20^{+0,042})$.		 Meule.	300	1900	0,005	0,07

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°1600						
						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
Rectification: Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long en 4N (2,3,4,5) et un appui ponctuel en 1N (1) avec serrage opposé aux appuis (utilisation d'un mandrin 3 mors doux et contre pointe).	Rectifieuse d'engrenage.	/	/	/	/	/
1601: - Rectification du profil cannelé Selon la norme DIN 5480-1 ($Z=18$; $m=2$; $d_p=36$; $d_a=38$; $\alpha=30^\circ$).		 Meule.	300	2500	0,005	0,07

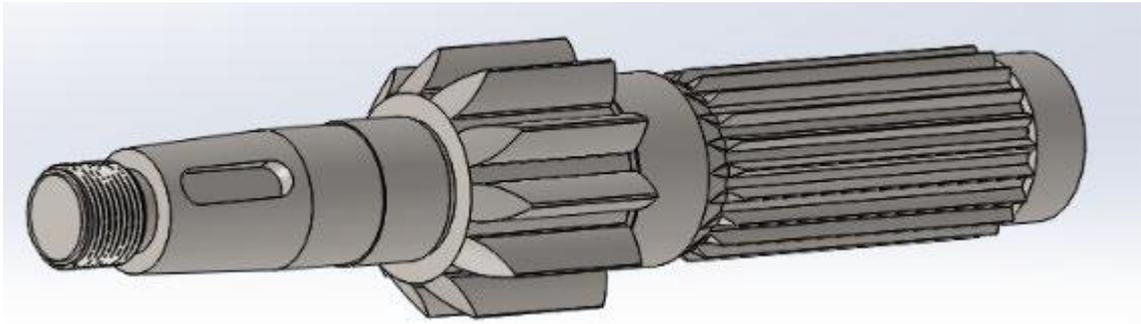
Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG						
Ensemble: boite de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2	
Phase N°1700						
						
Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil	Vc (m/min)	N (tr/min)	a (mm)	f (mm/tr)
<p>Contrôle:</p> <p>Pièce au montage référentiel de départ défini par centrage long entre pointe en 4N (1,2,4,5) et un appui ponctuel en 1N (1) avec serrage hydraulique entre pointe opposé aux appuis.</p>	Tour	/	/	/	/	/
<p>1701:</p> <p>- Contrôle du bruit de la denture module $m=4$ ($Z=11$, $\alpha=20^\circ$)</p>		 Roue à denture droite de module $m=3,5$.	/	/	/	/

Chapitre IV : Elaboration d'une gamme d'usinage de l'arbre pignon

Contrat de phase proposé à l'ETRAG					
Ensemble: boîte de vitesse	Elément: arbre pignon	Brut: ébauche forgé	Matériaux: FK20MnCr5	cadence: en série	Echelle: 1/2

Phase N°1800



Désignation des phase et s/phase et opération (préciser appuis)	Machine utilisé	Outil
1801: Contrôle finale	Atelier de contrôle	 <p>Micromètre</p> <p>rugosimètre</p> <p>jauge tampon</p> <p>calibre a mâchoire</p>

Conclusion :

A l'égard de l'entreprise des tracteurs agricoles (ETRAG) d'Oued Hmimine Constantine, toutes les entreprises de fabrication mécaniques sont en phases de modernisation des moyens de leurs moyens de production. Elles ont connu un investissement colossal dans l'acquisition des équipements de haute technologie pour améliorer les conditions de travail et les coûts de production. Cependant l'acquisition de nouvelles machines demande une intégrité dans les procédés de fabrication. La stratégie d- usinage de chaque pièce doit s'intégrer dans les systèmes usinant de l'entreprise.

Dans ce contexte, ce travail est une contribution à l'intégration d'une stratégie d'usinage d'un arbre pignon d'une boîte de vitesses à trois étages. Le sujet est a été chois en commun accord entre le laboratoire de recherche LRTAPM et l'entreprise des tracteurs agricoles (ETRAG) de Constantine où l'on a effectué notre stage de fin d'études pour une durée de 1 mois.

Les principales conclusions sont énumérées comme suit :

- 1) Le stage de fin d'études réalisé à l'ETRAG qui a permis de cerner les moyens de production de l'entreprise à travers le suivi de chaque étape de de fabrication des pièces depuis la pièce brute jusqu'à la pièce finie. L'entreprise fabrique le tracteur agricole et particulièrement les pièces des boîtes pièces de boîtes de vitesses composées d'arbres pignon, de roues dentées, de baladeurs de corps de boîtes, de leviers et autres. dentées.
- 2) De nouvelles machines comme les centres de tournage, les centres d'usinage, les tailleuses d'engrenage par fraise mère ou par outil pignon à commande numérique et même des tailleuses combinées et le parc de rectifications cylindriques, planes et des dentures forment donnent un aspect de technologie avancée dans la fabrication des pièces.
- 3) L'ETRAG soucieuse de la qualité des produits finis n'a ménagé aucun effort pour investir dans les moyens de contrôle sophistiqué comme le contrôle des roues dentées .
- 4) L'intégration des stratégies d'usinage en fonction des nouveaux moyens de production est une demande accrue et importante pour améliore la qualité de production et amortir dans les meilleurs délais les coûts d'investissements et réduire les coûts de production.
- 5) Pour développer une stratégie d'usinage, une analyse minutieuse du dessin de définition doit être réalisée. Donc la première étape est l'élaboration du dessin de définition de la pièce.

6) L'arbre pignon a été conçu en 3D sous SolidWorks avec sa mise en plan. Pour vérifier son fonctionnement, il fallait voir les données de l'engrenage.

Les données de l'engrenage sont composées de l'arbre pignon qui transmet le mouvement de rotation à la couronne dentée un entraxe de 160 mm. et le rapport de est de 11/69 et un module de 4 et un angle de pression de 20°. transmission

7) L'analyse géométrique de l'engrenage montre qu'il y a une interférence qu'il faut éliminer par déport. Ce déport a été calculé avec la méthode de Défaily sous une application Excel (développé au sein du Laboratoire de recherche LRTAPM) et vérifié avec les données de l'ETRAG et a donné un coefficient de déport de 0.54714, pour un angle de pression de 20°.

8) La denture du pignon de l'arbre a été reconstruite en fonction des nouvelles données géométriques calculées en fonction du déport. Cependant certaines corrections ont suivies la portée adjacente au pignon de l'arbre. Le diamètre est réduit à 30p6 pour permettre le dégagement de la denture. Cette correction est soumise pour validation par l'ETRAG.

9) Le taillage du pignon s'effectuera sur une tailleuse par génération à l'aide d'un outil pignon sur une tailleuse par outil pignon à commande numérique

10) La stratégie d'usinage est donc réalisée à partir de la matière à usiner, les exigences techniques du dessin de définition et de la cadence de fabrication qui est une production de moyenne série.

11) Le brute est obtenue par forgeage et a été conçu en 3D avec sa mise en plan sous SolidWorks. Une superposition de la pièce brute et de la pièce finie a permis d'établir géométriquement la quantité de matière à enlever.

12) Le calcul de la surépaisseur d'usinage a été effectué suivant la méthode statistique sur la base de la cote la plus précise du diamètre 40p6 et 30 p6. Une surépaisseur totale de 3.5 à 4 mm est obtenue. Un programme de calcul des surépaisseurs d'usinage a été développé sous Excel au niveau du de recherche LRTAPM.

13) Le routage d'usinage de la cote 44p6 suit les opérations suivantes, tournage de dégrossissage, tournage de finition, rectification préalable et rectification de finition.

14) La stratégie d'usinage est élaborée en 9 phases depuis la pièce brute jusqu'au contrôle de la pièce finie. Le traitement thermique est réalisé avant les opérations de rectification.

15) Les opérations d'usinages sont réalisées sur un centre de tournage pour les opérations de révolutions, la tailleuse par outil pignon à commande numérique pour le taillage des dentures.

- 16) Les opérations de rectification cylindrique sont réalisées sur une rectifieuse cylindrique à commande numérique et les opérations de rectification des dentures sur des rectifieuses à 11 axes à commande numérique. Les meules des dentures sont des meules à deux filets.
- 17) Le filetage doit aussi subir une rectification du filet de filetage.
- 18) Le contrôle de la pièce est effectué après chaque phase. Cependant une grande attention est portée sur le contrôle de la denture.
- 19) Dans la mesure du possible, des dispositifs d'usinage standards sont proposés afin d'éviter des surcoûts dans le montage d'usinage.
- 20) Les outils intervenants dans la fabrication de la pièce sont choisis en fonction des recommandations de Sandvick.
- 21) Cependant, l'outil pignon doit être fabriqué ou bien commandé en fonction de la nouvelle géométrie de la denture déportée qui a été imposée par l'interférence dans l'engrenage.

Annexe :

Le premier serrage

G13
G270 P0001
G14
G270 P0001
G13
CLEAR
DRAW
N0001 G13
N0002 M216
N0003 G00 X999 Z999
N0004 G50 S4200
NAT01
N0100 VLMON[1]=11
N0101 G97 S696 M41 M03 M08
N0102 G00 Z2 T010101
N0103 X64
N0104 G96 G110 S140
N0105 G85 NL001 D2 F0.3 U0.4 W0.2
NL001 G81
N0106 G01 X34 Z0 G42 E0.3
N0107 X35.3 Z-0.5 E0.45
N0108 Z-13 E0.3
N0109 X34 Z-14
N0110 G02 X36 Z-15 I1
N0111 G01 X39 E0.45
N0112 X40 Z-15.5 E0.3
N0113 Z-94
N0114 X40.3 Z-101
N0115 Z-120
N0116 X39 Z-121
N0117 G02 X41 Z-122 I1
N0118 G01 X53.62 E0.45
N0119 X54.62 Z-122.5 E0.3
N0120 Z-167
N0121 G40
N0122 G80
N0123 VLMON[1]=0
N0124 G97 S696 M09
N0125 G00 Z2
N0126 X999
N0127 X999 Z999 T0100
N0128 M01
NAT03
N0200 VLMON[2]=11
N0201 G97 S1592 M42 M08
N0202 G00 Z2 T030303

N0203 X36
N0204 G96 G110 S180
N0205 G87 NL002
NL002 G81
N0206 G01 X34 Z0 G42 F0.18
N0207 X35.3 Z-0.5 F0.25
N0208 Z-13
N0209 X34 Z-14
N0210 G02 X36 Z-15 I1
N0211 G01 X39
N0212 X40 Z-15.5
N0213 Z-94
N0214 X40.3 Z-101
N0215 Z-120
N0216 X39 Z-121
N0217 G02 X41 Z-122 I1
N0218 G01 X53.62
N0219 X54.62 Z-122.5
N0220 Z-167
N0221 G40
N0222 G80
N0223 G01 X54.82 Z-165.9
N0224 VLMON[2]=0
N0225 G97 S1045 M05 M09
N0226 G00 Z2
N0227 X999
N0228 X999 Z999 T0300
N0229 M01
N0230 M215
N0231 M02

Le deuxième serrage :

G13
G270 P0001
G14
G270 P0001
G13
CLEAR
DRAW
N0001 G13
N0002 M216
N0003 G00 X999 Z999
N0004 G50 S4200
NAT01
N0100 VLMON[1]=11
N0101 G97 S696 M41 M03 M08
N0102 G00 Z2.255 T010101
N0103 X64

N0104 Z2
N0105 G96 G110 S140
N0106 G85 NL001 D2 F0.3 U0.4 W0.2
NL001 G81
N0107 G01 X17 Z0 G42 E0.3
N0108 X20 Z-1.5
N0109 Z-17.6
N0110 X25 E0.45
N0111 X26 Z-18.1 E0.3
N0112 X30.2 Z-54.1
N0113 Z-72.8
N0114 X30.3 Z-73.3
N0115 Z-90
N0116 X29 Z-91
N0117 G02 X31 Z-92 I1.436 K0.435
N0118 G01 X35.84 E0.45
N0119 X44 Z-102 E0.3
N0120 Z-140
N0121 G40
N0122 G80
N0123 VLMON[1]=0
N0124 G97 S696 M09
N0125 G00 Z2.255
N0126 X999
N0127 X999 Z999 T0100
N0128 M01
NAT03
N0200 VLMON[2]=11
N0201 G97 S3016 M42 M08
N0202 G00 Z2.255 T030303
N0203 X19
N0204 Z2
N0205 G96 G110 S180
N0206 G87 NL002
NL002 G81
N0207 G01 X17 Z0 G42 F0.18
N0208 X20 Z-1.5 F0.2
N0209 Z-17.6
N0210 X25
N0211 X26 Z-18.1
N0212 X30.2 Z-54.1
N0213 Z-72.8
N0214 X30.3 Z-73.3
N0215 Z-90
N0216 X29 Z-91
N0217 G02 X31 Z-92 I1.436 K0.435
N0218 G01 X35.84
N0219 X44 Z-102
N0220 Z-140
N0221 G40

N0222 G80
N0223 G01 X44.2 Z-138.9
N0224 VLMON[2]=0
N0225 G97 S1296 M09
N0226 G00 Z2.255
N0227 X999
N0228 X999 Z999 T0300
N0229 M01
NAT04
N0300 VLMON[3]=11
N0301 G97 S979 M41 M08
N0302 G00 Z2.255 T040404
N0303 X30
N0304 Z-17.6
N0305 G73 X17.43 Z-17.6 D3 L12 F0.08 E0.12
N0306 VLMON[3]=0
N0307 M09
N0308 G00 Z2.255
N0309 X999
N0310 X999 Z999 T0400
N0311 M01
NAT05
N0400 VLMON[4]=11
N0401 G97 S1592 M42 M08
N0402 G00 Z3 T050505
N0403 X30
N0404 G71 X16.75 Z-17 H3.25 D0.8 U0.06 B60 F2.5 M22 M73 M33
N0405 VLMON[4]=0
N0406 M05 M09
N0407 G00 X999
N0408 X999 Z999 T0500
N0409 M01
N0410 M215
N0411 M02

Référence bibliographique

- [1]: wikipedia. Usinage. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Usinage>
- [2]: : Ion-Cosmin GRUESCU. Préparation de Production en Productique Mécanique - Étude deFabrication et Analyse d'Usinage. 2015
- [3]: https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/000_module_MOG_6.html
- [4]: Cours fabrication mécanique La coupe des métaux Licence de Technologie et Mécanique Université de la Réunion Année 2004-2005 Philippe DEPEYRE
- [5] :Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon Bruce ANGLADE – Hélène HORSIN MOLINARO Edité école supérieur paris Saclay le 30/10/2017
- [6]: VOLUME 3 Version 1, juin 2006 CONCEPTION ET CALCUL DES ÉLÉMENTS DE MACHINES
- [7] : Szwarcman M. – Eléments de machine, Tec et Doc, Lavoisier, 1983.
- [8] : Henriot, G., Engrenages. 8 ed. Mécanique et matériaux. 2007, Paris: Dunod. 885
- [9] : G.HENRIOT, "Traité théorique et pratique des engrenages", tome 2, Edition DUNOD.
- [10] : Cours hamza chérif L3 sur les engrenages.]
- [11] Spinnler, G., Organes de transmission-Volume 3. Aout 1993, EPFL: Lausanne
- [12] : Mémoire Etude de conception d'un réducteur de vitesse à engrenages de dentures hélicoïdales en Génie mécanique, Réalisé par Mr. MILANE Yacine 2014/2015
- [13] A.Simonv, F.Valiaev. Technologie de construction mécanique (résumé des cours) 2.6 surépaisseur d'usinage. Université de Annaba, institue de génie mécanique. 1985. Annaba