

**REPUBIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE LAGHROUR ABBES KHENCHELA
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MÉMOIRE

Présenté pour obtenir
LE DIPLOME DE MASTER (LMD)

Spécialité : Génie Mécanique
Option : Construction Mécanique

Thème

**ETUDE DE LA GAMME D'USINAGE D'UN
BALADEUR DE VITESSE, INCORPORE DANS LE
SYSTEME DE TRANSMISSION.**

Réalisé par :

- BENNADJI MOHAMED ADNANE
- DJEFFALI SALIM

Dirigé par : Dr. GHELANI. L

Membres de jury :

- Dr. TOUATI S Président.
- Dr. ABOUDI AA Examineur.

2021-2022

Dédicace

A

- *Nos parents ;*
- *Nos familles ;*
- *Nos collègues de la promotion 2021/2022*

Nous dédions ce modeste travail.

Remerciement

*Nous tenons à exprimer nos plus vifs
Remerciements à dieu tout Puissant Pour la volonté, la
Santé et la patience qu'il nous a donné durant toute ces
Longues années d'étude*

*Nous tenons à exprimer notre profonde
Reconnaissance et gratitude à notre encadreur MR
Ghilani Laala pour son orientation et ses précieux
Conseils durant l'élaboration de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde
Reconnaissance à tous les Ingénieurs et ouvriers de
l'E.C.M.K*

*Nous tenons également à remercier toute la noble Famille
enseignante de l'Université Laghrour Abbes Khenchela*

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	10
Chapitre I :	12
Différents procédés de fabrication mécanique.....	12
I.1 Généralité.....	1
I.2. Partie I– Mise en forme par méthodes conventionnelles.....	2
I.2.1. Obtention par Usinage	2
I.2.2. Obtention par déformation.....	19
I.2.3. Obtention par fusion (fonderie) Moulage	27
I.2.4. Obtention par assemblage.....	30
I.3. Partie II – Mise en forme par méthodes non -conventionnelles (avancées).....	33
I.3.1. Obtention par Usinages (Très) Grande Vitesse (UGV)	33
I.3.2. Obtention par Électroérosion	36
I.3.3. Obtention par frittage.....	38
I.3.4. Obtention par Découpage	40
I.3.5. Usinage photochimique	42
Chapitre II :	45
Étude et conception d'un baladeur (engrenage étagé à deux diamètres)	45
II.1. Les engrenages	45
II.1.1. Historique	45
II.1.2. Définition.....	46
II.1.3. Pourquoi on les utilise ?	46
II.1.4. Principaux types d'engrenages	47
II.1.5. Les diverses utilités des engrenages	51

II.1.6. Les éléments d'un engrenage [3].....	51
II.1.7. Profil des dents	54
II.1.8. Profil en développante de cercle [3]	55
II.1.9. Les cannelures.	56
II.1.10. Les Clavettes	58
II.1.11. Caractéristiques et formule des engrenages cylindriques à denture droite	60
II.1.12. Obtention des roues dentées [3].....	61
Chapitre III : Réalisation et modélisation numérique.	63
III.1. Introduction.....	63
GAMME D'USINAGE.....	64
SIMULATION Concepteur : SolidWorks	73
<i>Tableau. III. 1. Informations sur le modèle.</i>	<i>74</i>
<i>Tableau. III. 2. Propriétés de l'étude</i>	<i>74</i>
<i>Tableau. III. 3. Unités.</i>	<i>75</i>
<i>Tableau. III. 4. Propriétés matérielles.</i>	<i>76</i>
<i>Tableau. III. 6. Informations sur les interactions</i>	<i>77</i>
III.3.1. Forces résultantes	78
<i>Tableau. III. 9. Moments de réaction.....</i>	<i>78</i>
<i>Tableau. III. 10. Forces du corps libre</i>	<i>78</i>
<i>Tableau. III. 11. Moments corporels libres.....</i>	<i>78</i>
III.3.2. Résultats de l'étude.....	79
Figures plus détaillées.....	82
Conclusion générale.....	88
Référence :	89

Chapitre I

Fig. I.01 Schéma d'élaboration de tournage mécanique.....	2
Fig. I.02. Usinage externe sur tour.	3
Fig. I.04 Schéma représenté l'opération de chariotage.....	6
Fig. I.05 Schéma d'élaboration de dressage.	6
Fig. I.06 Opération de Chanfreinage.	6
Fig. I.07 Opération de centrage.	7
Fig. I.08 Opération de perçage	7
Fig. I.09 Schéma de réalisation d'un alésage.....	8
Fig. I.10 Schéma montré l'opération de rainurage.	8
Fig. I.11 Opération de tronçonnage.	8
Fig. I.12. Opération de filetage : a) intérieur (taraudage), b) extérieur (filetage).	9
Fig. I.13. Tournage de forme.	9
Fig. I.14 Profil d'une fraise de forme à denture détalonnée.	9
Fig. I.15. Principe de fraisage.....	10
Fig. I.16 fraisage de face.....	10
Fig. I.17. Fraisage de profil.	11
Fig. I.18. Fraisage combiné.	11
Fig. I.19. Fraisage en opposition.	12
Fig. I.20. Fraisage en avalant.....	12
Fig. I.21 Schéma de perçage	13
Fig I.22 Nomenclature des broches, (a) Broches de formes internes, (b) Broches de formes externes.....	13
Fig. I.23. Principe de rectification.	14
Fig. I.24. Opération de la rectification plane.	15

Fig. I.25. Schéma d'une rectifieuse plane.	15
Fig. I.26. Schéma d'une rectifieuse cylindrique.....	16
Fig. I.27. Opérations de rectification extérieure.	16
Fig. I.28. Rectification Intérieure, a) cylindrique, b) conique.	17
Fig. I.29. Schéma d'une rectifieuse sans centre.	17
Fig. I.30. Rectification sans centres extérieure.	18
Fig. I.31. Rectification sans centres intérieure.....	18
Fig. I.32. Principe rectifieuse sans centres.	19
Fig. I.33. Schéma d'élaboration par forgeage (pièces forgées).	20
Fig. I.34 Schéma d'élaboration de laminage.	20
Fig. I.35. Principe d'emboutissage (pièces forgées)	21
Fig. I.36 Schéma d'élaboration par estampage.....	22
Fig. I.37 Schéma d'élaboration par matriçage.....	22
Fig. I.38 Produits filés en alliage d'aluminium.....	23
Fig. I.39 Atelier de tréfilage.	25
Fig. I.40 Procédés de cintrage.....	25
Fig. I.41 Schéma d'élaboration de pliage de tôles.....	26
Fig. I.42 Extrusion des pièces de différentes formes.....	26
Fig. I.43. Pièce plastique moulée par injection.....	27
Fig. I.44 Moulage en sable.	28
Fig. I.45. Moulage en coquille.....	29
Fig. I.46 Moulage sous pression.....	30
Fig. I.47 Schéma d'assemblage par soudage	31
Fig. I.48 Schéma d'assemblage par collage	31
Fig. I.49 Schéma d'assemblage par rivets.	32

Fig. I.50. Schéma d'une agrafeuse manuelle professionnelle.....	32
Fig. I.51. Plages de vitesses de coupe pour différents matériaux.	33
Fig. I.52 Principe de fonctionnement électroérosion (Enfonçage).	37
Fig. I.53. Principe de fonctionnement électroérosion (Robot- fil).....	37
Fig. I.54 Schéma d'élaboration par frittage.....	39
Fig. I.55 Plaquette de coupe amovible pour outil d'usinage en céramique frittée.	39
Fig. I.56 Presse hydraulique à découper.	40
Fig. I.57 Machine de découpage laser.	41
Fig. I.58. Découpage par jet d'eau.....	41
Fig. I.59 Découpage plasma réalisé par un robot industriel.	42
Fig. I.60 Pièces réalisées par usinage photochimique.	43
Fig. I.61. Illustration des secteurs d'activités	44

Chapitre II

FigII.01. Dessin représente des mécanismes par Léonard de Vinci [2]	45
Fig. II.02. Différents types d'engrenages droits à dentures droites.....	47
Fig. II.03. Différents types d'engrenages droits à denture hélicoïdale et le Dessin normalisé....	48
Fig.II.04. Pignon à denture en chevron avec rainure centrale.	49
Fig. II.05. Différents types d'engrenages coniques et le Dessin normalisé.....	50
Fig.II.06. Principaux engrenages roue et vis.	50
Fig. II.07. Cercles primitifs et tête et pied	51
Fig. II.08. Caractéristiques de la denture	52
Fig. II.09. Entraxe, diamètres, pas et m module normalisé (denture normale).....	53
Fig. II.10. Ligne d'action.	53
Fig. II.11. Angle de pression.	54

Fig.II.12 Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle [3].	54
Fig. II.13 Développante de cercle.	55
Fig.II.14 Pas de base.	56
Fig.II.15 Cannelures à flancs parallèles.	58
Fig.II.16 Cannelures à flancs en développante de cercle.	58
Fig.II.17. Types des clavettes.	59
Fig.II.18. Modules d'engrenages cylindriques à denture droite en grandeur naturelle.	61
Fig.19. Exemple de taille avec outil pignon, source [4]	62
Fig.20. Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil pignon, image [5]	62

Chapitre III

Fig. III. 1. Maillage.	83
Fig.III. 2. maillage.	83
Fig.III. 3. Contraintes 01.	84
Fig. III. 4. Contraintes 02.	84
Fig.III. 5. Contraintes 01.	85
Fig. III. 6. déplacement01.	85
Fig.III. 7. déplacement.	86
Fig.III. 8. fatigue	86
Fig.III. 9. fatigue.	87
Fig. III. 10. fatigue.	87

Chapitre I

Tableau. I. 1 Principales opération de tournage interne sur tour	4
---	---

Chapitre II

Tableau.II. 1 Dentelure et cannelures	57
Tableau.II. 2 Caractéristiques des engrenages à denture droite.[3]	60
Tableau. II. 3 Modules normalisés des engrenages.	60

Chapitre III

Tableau. III. 1. Informations sur le modèle.....	74
Tableau. III. 2. Propriétés de l'étude.....	74
Tableau. III. 3. Unités.....	75
Tableau. III. 4. Propriétés matérielles.....	76
Tableau.III. 5. Charges et montages.....	76
Tableau. III. 6. Informations sur les interactions.....	77
Tableau. III. 7. Informations sur le maillage	78
Tableau. III. 8. Forces de réaction.....	78
Tableau. III9. Moments de réaction	78
Tableau. III. 10. Forces du corps libre.....	78
Tableau. III11. Moments corporels libres	78

- **UGV** : usinage à grande vitesse,
- **V_c**: Vitesse de coupe ;
- **V_f**: Vitesse d'avance ;
- **M** : Module
- **Z** : Nombre de dents
- **D** : Diamètre primitif.
- **Da** : Diamètre de tête.
- **Df** : Diamètre de pied.
- **Ha** : Saillie.
- **Hf** : Creux.
- **H** : Hauteur de dent
- **P** : Pas.
- **B** : Largeur de denture.
- **A** : Entraxe.
- **S** : L'épaisseur
- **R_{pe}** : résistance pratique à l'extension, elle dépend du matériau utilisé.
- **F_t** : effort tangentiel sur la dent.
- **K** : coefficient de largeur de denture

Introduction générale

Introduction générale

L'usinage est toute procédure d'enlèvement de matière qui se traduit par des dimensions de pièces et un état de surface (écart de forme et rugosité) qui se situent dans une plage de tolérances spécifiée. Le secteur de l'usinage industriel est important d'un point de vue économique, car il représente environ 2,5 % du produit intérieur brut d'un pays développé. L'usinage est généralement associé aux matériaux métalliques, et la majorité des objets métalliques couramment utilisés ont subi une ou plusieurs procédures d'usinage. Ces activités font partie d'une série d'opérations de mise en forme réalisées à deux niveaux, principalement comme : - Découpe d'une ébauche à rouler, forger, ou emboutir...

- Dimensionnement de pièces préalablement moulées, frittées, embouties ou soudées entre elles ;

Ils peuvent alors être utilisés en complément ou à la place de traitements thermiques et/ou de surface. Il est à noter que la forme est une catégorie clé de composants usinés (d'un point de vue industriel et économique), avec de nombreux défis techniques. Pour minimiser les problèmes plus tard, le constructeur doit confirmer que les formes variées de la pièce sont viables lors de sa conception. Par conséquent, la compréhension des différents processus de fabrication est nécessaire. La technique choisie est déterminée par la complexité de la pièce, les matériaux utilisés, le temps de production et le coût de fabrication, entre autres facteurs.

Le but de ce projet est non seulement de fournir une présentation exhaustive de toutes les techniques que nous avons apprises, mais également de fournir une explication synthétique et claire de la théorie de fabrication d'un engrenage étagé (Baladeur de transmission) à travers une étude, conception de fabrication de pièces, et analyse mécanique.

Il y a trois chapitres dans ce manuscrit :

- Chapitre 1 : Généralités sur les différents procédés d'usinage.
- Chapitre 2 : Etude et conception d'un baladeur (engrenage étagé à deux diamètres).
- Chapitre 3 : Réalisation et modélisation numérique
- Conclusion.

Chapitre I :
Différents procédés de fabrication
mécanique.

I.1 Généralité

Ensemble de processus pour transformer une matière première en une portion ou un produit. L'obtention de l'article souhaité peut nécessiter l'utilisation de nombreuses méthodes de production. L'ingénierie mécanique englobe ces processus de production. Les méthodes de fabrication changent avec le temps pour s'améliorer et évoluer, devenant beaucoup plus faciles et plus rapides à produire avec moins d'utilisation de matières premières, confinées à ces méthodes en quatre grands groupes :

(a) Partie I : Façons traditionnelles de mise en forme :

Parmi les différentes techniques de transformation de la matière, la mise en forme par enlèvement de matière (usinage) demande le plus d'efforts, tant en termes de nombre de machines nécessaires que d'outils de coupe utilisés, ainsi que de l'inévitable perte de matière due à la formation de copeaux, mais c'est la seule méthode qui peut produire des formes complexes avec des tolérances très serrées.

- Usinage ;
- Déformation plastique ;
- Fonderie de fusion ;
- Assemblage (Rivetage, Boulonnage, Soudure, ...).

(b) Partie II : Méthodes de mise en forme non conventionnelles :

Lorsque nous pensons à l'usinage ou aux machines-outils, nous pensons généralement au tournage, au fraisage, au meulage, etc., et nous ne pensons pas aux processus d'usinage sophistiqués tels que l'électroérosion, les ultrasons ou l'usinage électrochimique, pour ne citer que trois techniques modernes. Les procédures d'usinage traditionnelles nécessitent des efforts de coupe considérables pour éliminer les copeaux, sont difficiles à usiner sur des matériaux durs et ne permettent pas la création de formes compliquées. Les technologies d'usinage modernes ne nécessitent presque aucun effort de coupe, mais leur taux d'enlèvement de matière est extrêmement faible par rapport, par exemple, aux taux de tournage. Dans d'autres circonstances, cependant, seul l'usinage contemporain est une option :

- a) Usinage à ultra-haute vitesse (UGV) ;
- b) GED ;
- c) découpe ;
- d) frittage ;
- (e) Usinage photochimique

I.2. Partie I– Mise en forme par méthodes conventionnelles

I.2.1. Obtention par Usinage

Il s'agit d'arracher des petits bouts de matière pour obtenir la forme finale (copeaux). Ces opérations sont appelées usinage en général. Nous faisons les distinctions suivantes :

- Tournage ;
- Fraisage ;
- Forage ;
- Action corrective ;
- Brochage....

I.2.1.1. Tournage

Un mouvement circulaire cohérent est utilisé pour animer la partie ; c'est le mouvement de coupe M_c . Le mouvement d'avance M_f anime l'outil d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation. La pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice dans son mouvement, qui transforme la pièce en un solide de révolution. En ajustant le déplacement de l'outil (mouvement radial), tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère, etc. peuvent être obtenus.

Les formes intérieures peuvent également être façonnées à l'aide de techniques de tournage telles que le perçage, l'alésage et le taraudage. Le mouvement de coupe est réalisé en tournage par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince particulière, tandis que le mouvement d'avance est réalisé par déplacement de l'outil de coupe. La combinaison de ces deux mouvements permet d'évacuer la matière sous forme de copeaux, comme le montre là (Fig. I.1).

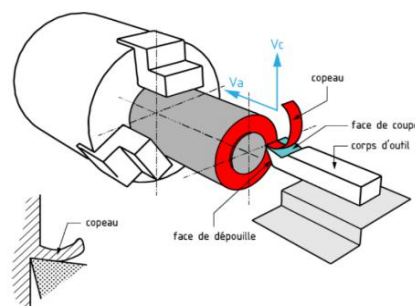


Fig. I.01 Schéma d'élaboration de tournage mécanique.

(a) Tournage extérieur

On distingue (Fig. I.2) :

- Tournage longitudinal (chariotage, axe z), réalisation d'un diamètre ;
- Tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement ;
- Tournage par profilage ou contournage, réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique ;
- Tournage de gorges, dégagements ;
- Filetage, réalisation d'un pas de vis ;
- Tronçonnage.

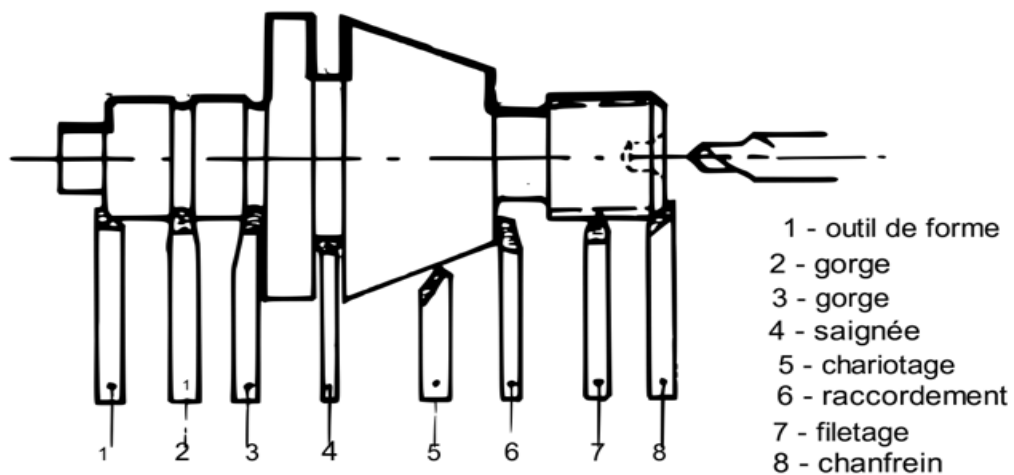


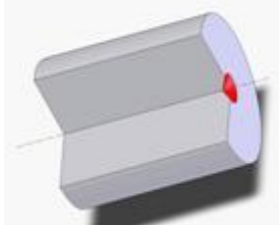
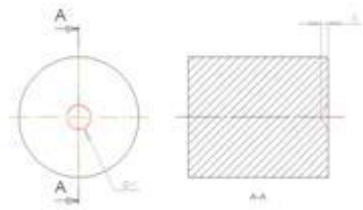
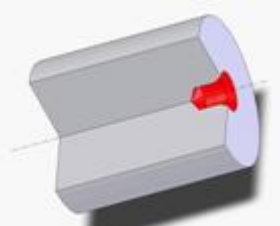
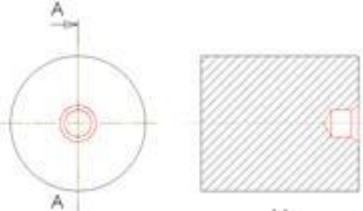
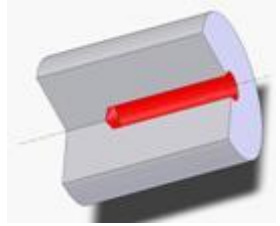
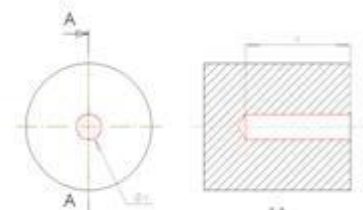
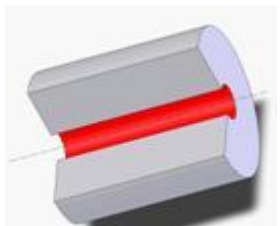
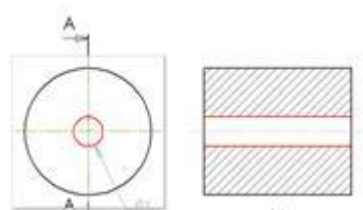
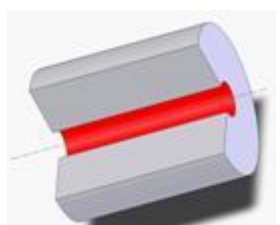
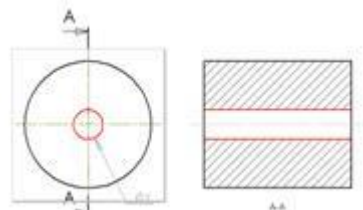
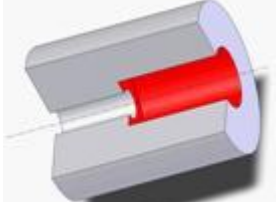
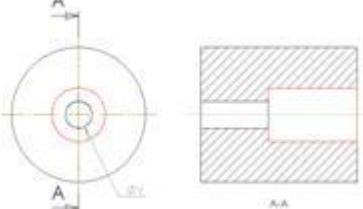
Fig. I.02. Usinage externe sur tour.

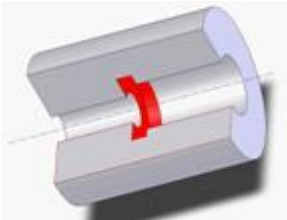
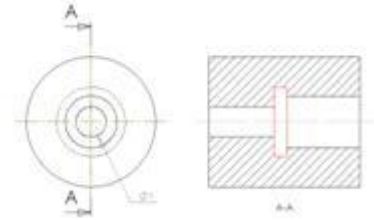
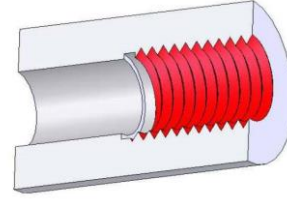
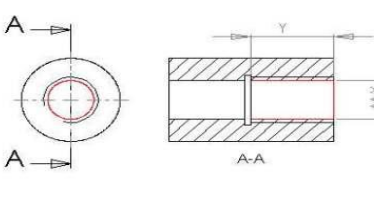
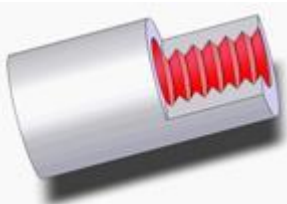
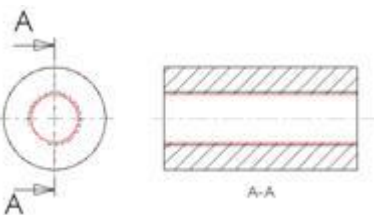
(b) Tournage intérieur

Usinage interne sur tour :

- Alésage ;
- Dressage ;
- Tournage intérieur par contournage ;
- Tournage de dégagement, gorges ;
- Taraudage, réalisation
- D'un filetage intérieur ;
- Chambrage.

Tableau.I. 1Principales opération de tournage interne sur tour

Nom.de l'opération	Schéma de la pièce usinée		Vidéo.de l'usinage
Pointage			Pointage
Centrage			Centrage
Perçage non débouchant			Perçage non débouchant
Perçage débouchant			Perçage débouchant1 Perçage débouchant2
Alésage			Alésage
Alésage et dressage combinés			Alésage dressage

Rainurage			<u>Rainurage</u>
Filetage non débouchant			<u>Filetage non débouchant</u>
Filetage débouchant			Filetage

I.2.1.2. Tournage de pièces métalliques

Un article en métal brut est généralement fabriqué en cinq opérations de tournage conventionnel :

- (1) Concassage brut : on enlève la couche externe qui présente un mauvais état de surface et de nombreux défauts (incrustation, corrosion, fractures, inclusions, écrouissage important, etc.) ; il s'agit d'une passe de 0,5 à 1 mm ;
- (2) Contrôle du diamètre acquis, qui permet de calculer la quantité de matière à enlever pour obtenir la dimension souhaitée ;
- (3) Passes d'ébauche de plusieurs mm de profondeur pour enlever de la matière ;
- (4) Vérification du diamètre avant la finition ;
- (5) Passe de finition avec une profondeur inférieure à 0,5 mm mais supérieure au copeau minimum pour obtenir une bonne tolérance dimensionnelle et un bon état de surface.

I.2.1.3. Principaux usinages réalisables sur un tour

- Tournage cylindrique extérieur avec pointe et contre-pointe (entre pointes), également appelé tournage, avec passes d'ébauche et de finition ;
- Dressage, aussi appelé redressage, avec passes d'ébauche et de finition.

- Passes d'ébauche et de finition avec chariotage conique ou tournage conique par orientation du chariot porte-outil ;
- Filetage, tronçonnage, perçage et tournage intérieur (alésage).

(c) Chariotage

Une surface latérale cylindrique, l'alésage, et une surface intérieure cylindrique, ou cambrage, sont réalisées par chariotage. (Fig. I.4)

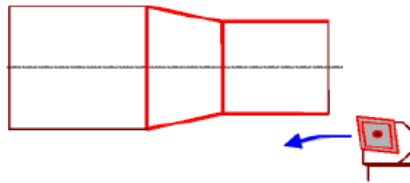


Fig. I.03 Schéma représenté l'opération de chariotage.

(d) Dressage

Le dressage donne des surfaces planes perpendiculaires à l'axe, extérieur ou intérieur (Fig. I.5).

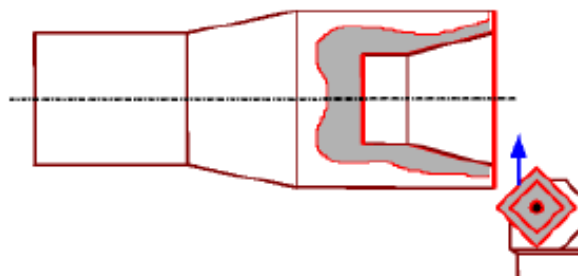


Fig. I.04 Schéma d'élaboration de dressage.

(e) Chanfreinage

Une opération qui consiste à couper un minuscule cône pour supprimer un angle vif. (Voir Fig. I.6).

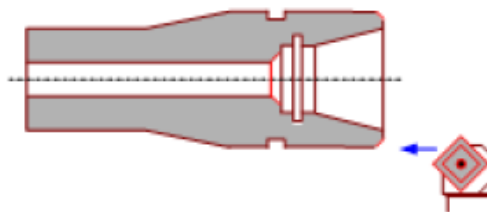


Fig. I.05 Opération de Chanfreinage.

(f) Centrage

L'opération consiste à usiner à l'extrémité de la pièce à dresser un centre qui servira de logement à la pointe. Les axes des deux centres doivent se confondre avec l'axe géométrique de la pièce (Fig. I.7).

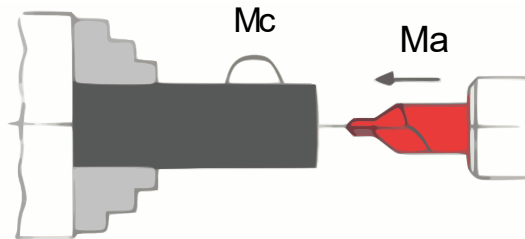


Fig. I.06 Opération de centrage.

(g) Perçage

Le terme « perçage » fait référence à toute procédure qui utilise des instruments de coupe pour créer des trous cylindriques dans une pièce en enlevant des copeaux. Cette idée englobe une variété de processus d'usinage ultérieurs, tels que le brochage, l'alésage, le réalésage et certains types de finition, tels que le calibrage et le galetage, en plus du perçage de trous courts et profonds. (Fig. I.8).

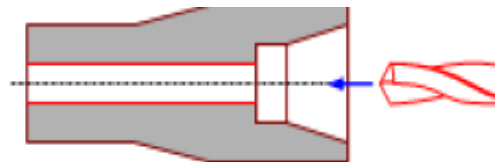


Fig. I.07 Opération de perçage

(h) Alésage

Lorsque le trou a été percé avec suffisamment de précision, vous pouvez utiliser un alésoir pour le calibrer au bon diamètre. Il s'agit d'un processus simple, mais il nécessite que l'outil ait exactement le bon diamètre ; cette approche n'est généralement utilisée que jusqu'à 20 voire 30 mm de diamètre. Sinon, on utilise un grain d'alésage réglable, qui assure une très bonne précision de perçage mais nécessite de nombreuses passes, nécessitant l'utilisation de plusieurs porte-outils : Un trou percé obtient 1 ou 2, tandis qu'un trou de fonderie obtient 2 ou 3. Têtes d'alésage avec un seul outil dont le diamètre peut être modifié manuellement ou par CNC ; dans ce dernier cas, des surfaçages et des alésages peuvent être réalisés à différents diamètres, éventuellement avec un profil non rectiligne. (Fig. I.9).

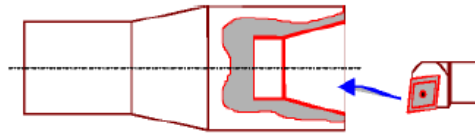


Fig. I.08 Schéma de réalisation d'un alésage.

(i) Rainurage

Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un circlip ou d'un joint torique par exemple (Fig. I.10).

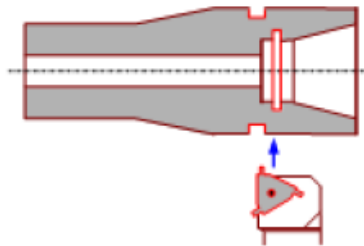


Fig. I.9 Schéma montrant l'opération de rainurage.

(j) Tronçonnage

Le tronçonnage consiste à sectionner une barre ou à détacher la pièce du reste de la barre. Le saignage consiste à usiner des gorges ou saignées sur la surface de la pièce (Fig. I.11).

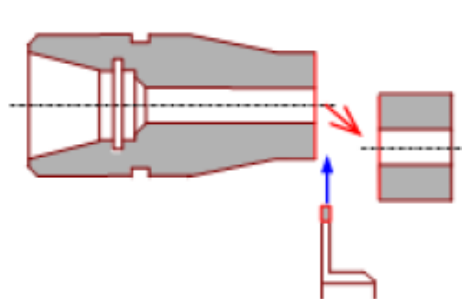


Fig. I.10 Opération de tronçonnage.

(k) Filetage et taraudage

L'outil, dont le déplacement est longitudinal, creuse sur la pièce des rainures hélicoïdales laissant leur relief le filet, suivent la forme de l'outil on obtient un filet triangulaire, trapézoïdale, rond, carré (Fig. I.12).

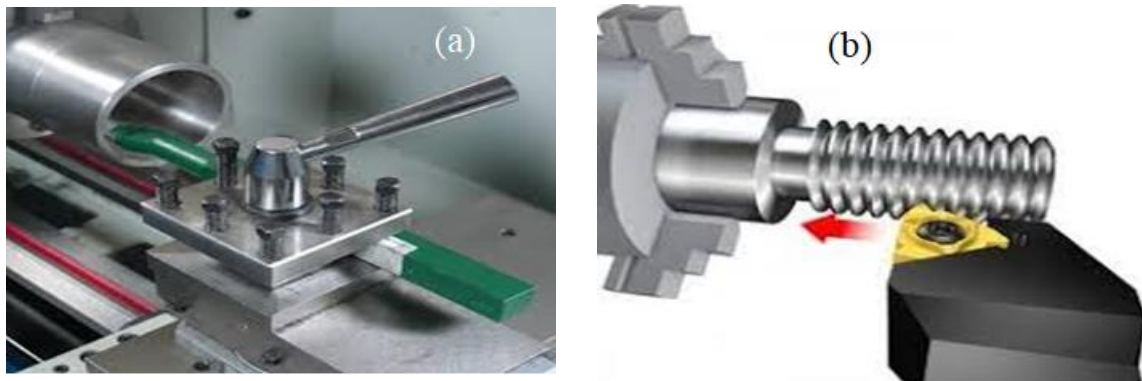


Fig. I.11. Opération de filetage : a) intérieur (taroudage), b) extérieur (filetage).

(l) Tournage de forme

Consiste à exécuter des pièces de révolution complexe : sphère, cylindre, plan, cône... (Fig. I.13).

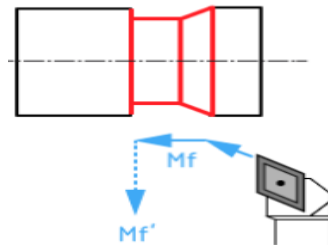


Fig. I.12. Tournage de forme.

(m) Détalonnage

C'est une procédure qui consiste à ajuster l'angle de dégagement de la fraise pour que le bord de celle-ci (fraise) soit plus haut que l'arrière de la dent, permettant à la fraise de couper normalement. Le détalonnage est le plus souvent utilisé pour usiner des fraises de forme. (Fig. I.14).



Fig. I.13 Profil d'une fraise de forme à denture détalonnée.

I.2.1.2. Fraisage

Le fraisage est une technique d'usinage qui consiste à enlever de la matière. Il se distingue par l'utilisation d'une fraiseuse et d'un outil de coupe particulier (à plusieurs tranchants) appelé fraise (Fig. I.15). La fraiseuse est particulièrement bien adaptée à l'usinage de surfaces planes,

mais elle peut également réaliser tous types de formes, y compris complexes, si elle est équipée d'une commande numérique. Les dents sont fréquemment placées sur la périphérie et/ou l'extrémité d'un disque ou d'un cylindre lors de la coupe par fraisage.

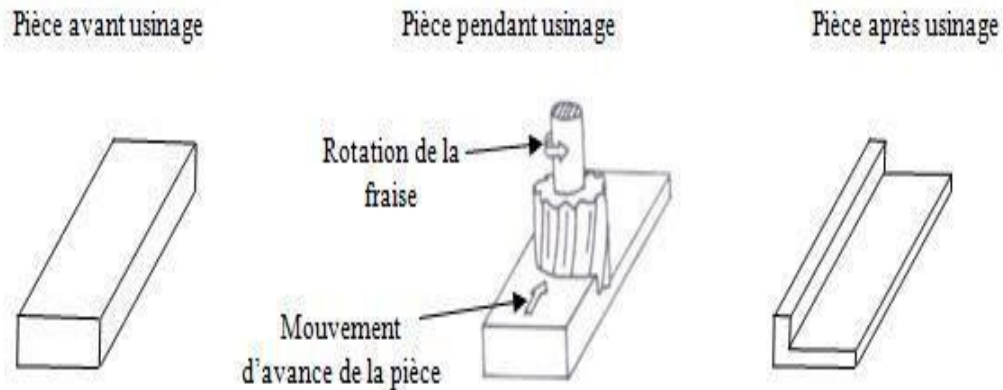


Fig. I.14. Principe de fraisage.

I.2.1.2.1. Principe de travail

L'enlèvement de matière - sous forme de copeaux - lors d'une opération de fraisage est le résultat d'une combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil sur son axe d'une part, et l'avance de la pièce selon trois axes orthogonaux d'autre part.

I.2.1.2.s2. Modes de fraisage

On distingue deux modes : le fraisage de face et le fraisage de profil.

(n) Fraisage de face

L'axe de la fraise est perpendiculaire au plan de fraisage dans ce mode (Fig.I.16). C'est une méthode pour produire des surfaces planes sans aucune trace de la forme génératrice de la fraise. Cette technique de fraisage est également connue sous le nom de « fraisage en bout ».

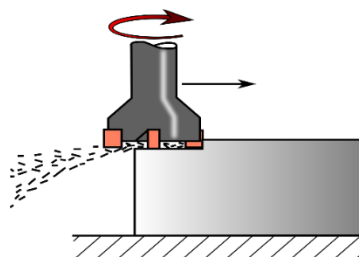


Fig. I.15 fraisage de face.

(o) Fraisage de profil

Dans ce mode, la génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée (Fig. I.17). C'est un procédé d'obtention des surfaces plane où quelconques dans des positions diverses. Ce mode de fraisage est également appelé « fraisage en roulant ».

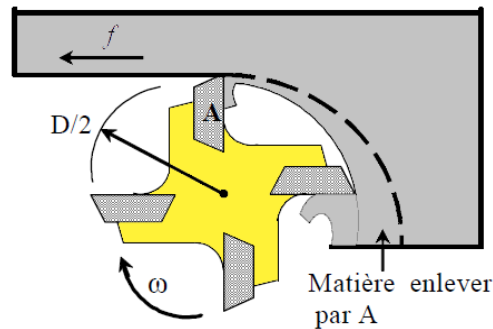


Fig. I.16. Fraisage de profil.

On peut également effectuer un fraisage combiné, c'est-à-dire de face et de profile en même temps. C'est le cas des fraises 2 tailles, 3 tailles, travaillant simultanément en bout et en roulant : c'est le fraisage combiné (Fig. I.18).

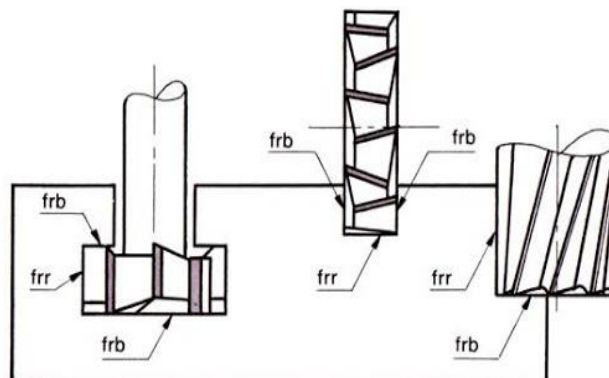


Fig. I.17. Fraisage combiné.

Lors d'une opération de fraisage de profil et selon le sens de rotation de l'outil par rapport à la pièce, Il existe deux manières de procéder :

(p) Fraisage en opposition

L'avance de la pièce se fait dans le sens opposé à la rotation de la fraise dans la zone de coupe. L'épaisseur du copeau est nulle au début et maximale à la fin de la passe. (Fig. I.19).

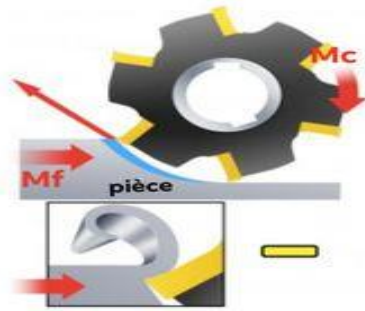


Fig. I.18. Fraisage en opposition.

(q) Fraisage en concordance ou « en avalant »

Dans le fraisage en avalant, le sens d'avance est le même que le sens de rotation de la fraise. En conséquence, l'épaisseur du copeau diminuera jusqu'à ce qu'elle atteigne zéro à la fin de la passe. (Fig. I.20).

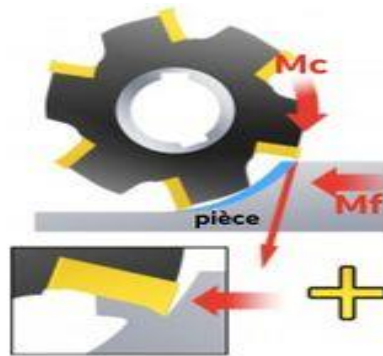


Fig. I.19. Fraisage en avalant.

I.2.1.3. Perçage

Le perçage est un mot qui englobe toutes les façons de créer des trous cylindriques dans un objet à l'aide d'instruments de coupe et d'enlèvement de copeaux (Fig. I.21). Cette idée englobe une variété de processus d'usinage ultérieurs, tels que le brochage, l'alésage, le réalésage et certains types de finition, tels que le calibrage et le galetage, en plus du perçage de trous courts et profonds.

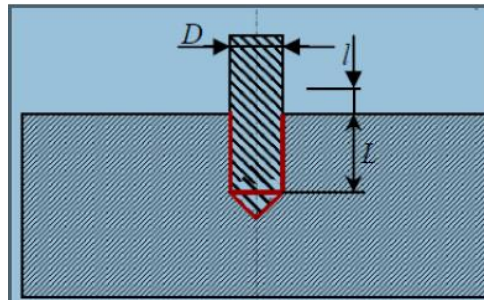


Fig. I.20 Schéma de perçage .

I.2.3.1. Principe de travail

Une combinaison d'un mouvement de rotation et d'un mouvement d'avance linéaire est utilisée pour enlever le matériau pendant l'opération de forage. Ce double mouvement de rotation et d'avance est donné à l'outil lors du perçage de petits trous sur des machines traditionnelles. L'utilisation de tours universels CN et CNC, en revanche, conduit invariablement à l'utilisation de plus en plus fréquente d'une combinaison d'une pièce rotative et d'un foret non rotatif.

I.2.1.4. Brochage

Le brochage est une technique d'usinage qui utilise un outil façonné à plusieurs tranchants connu sous le nom de "broche". Les dents de l'outil à broche augmentent régulièrement en hauteur, coupant plus profondément dans la pièce à chaque coupe que la précédente (Fig. I.22). La goupille doit pouvoir traverser la pièce lors du brochage à l'intérieur. Par conséquent, un trou traversant doit être percé au préalable.



Fig I.21 Nomenclature des broches, (a) Broches de formes internes, (b) Broches de formes externes.

I.2.1.5. Rectification

I.2.1.5.1. Principe de la rectification (Fig. I.23)

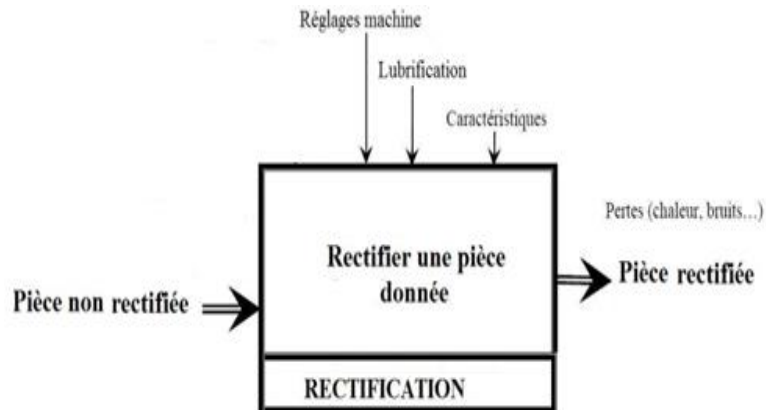


Fig. I.22. Principe de rectification.

I.2.1.5.2. Schéma de principe et fonctionnement

Le meulage est une opération d'usinage sur machine-outil qui consiste à enlever de la matière sous forme de copeaux microscopiques (grains) à l'aide d'un outil particulier appelé meule. Ce procédé est employé pour des raisons de précision concernant les dimensions, l'état de surface et la dureté des pièces.

I.2.1.5.3. Mode d'action de l'outil meule

Une meule est formée d'un matériau abrasif qui arrache de minuscules fragments de l'objet qui sont éjectés (contrairement à l'usinage par copeaux) (voir image ci-dessous). Les températures impliquées dans cette opération sont assez élevées dans la zone de coupe, c'est pourquoi les copeaux ressemblent à des étincelles. Contrairement à d'autres techniques d'usinage, où le nombre de lèvres de l'outil est étroitement défini et limité, le meulage expose la pièce à un grand nombre d'arêtes de coupe, dont chacune est un grain abrasif sur la meule (Fig. I.24). Le processus de meulage est lent en raison du faible taux d'enlèvement de matière, mais il crée des produits de haute précision avec une qualité de surface exceptionnelle. Le meulage est utilisé pour terminer l'usinage précis des surfaces après durcissement ou pour atteindre des tolérances IT extrêmement serrées (intervalles de tolérance). Cependant, il est recommandé d'utiliser le moins possible cette technique car sa faible productivité renchérit fortement les coûts de production de la pièce liée.

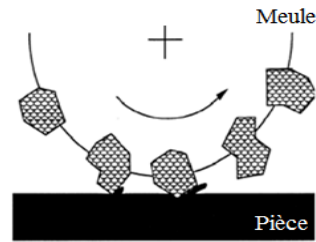


Fig. I.23. Opération de la rectification plane.

L'outil de coupe, appelé meule, est entraîné en rotation lors de la rectification, et la pièce se déplace en translation (rectification plane) ou tourne autour de son axe en se déplaçant en translation selon son axe (rectification cylindrique). Des meuleuses plates et cylindriques sont utilisées pour le meulage. Les surfaces planes, les révolutions intérieures et extérieures sont les trois principaux types de formes rectifiées (voir ci-dessous).

(r) Rectification plane

Elle est constituée d'un châssis en fonte, d'une poupée porte-meule et d'une table horizontale montée sur les glissières du châssis. Pendant le travail, la pièce est maintenue immobile sur la table par l'attraction d'une plaque électromagnétique (Fig I.25). La broche et la meule sont entraînées en rotation par un moteur électrique via une transmission par courroie. L'avancement s'effectue par un déplacement transversal commandé par vis de la poupée porte-meule.

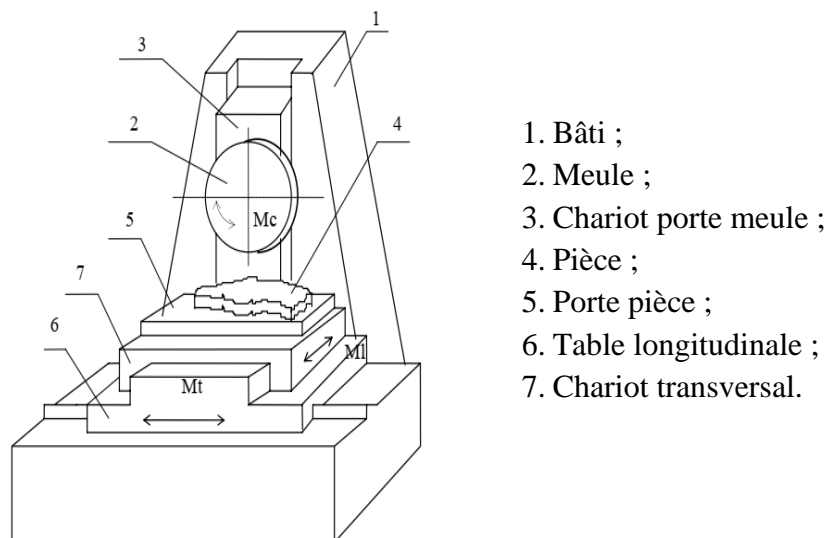


Fig. I.24. Schéma d'une rectifieuse plane.

(s) Rectifieuse cylindrique

La rectifieuse cylindrique a une conception plus compliquée (Fig I.26). Cette machine comprend une poupée fixe et une poupée mobile fixées à la table, ainsi qu'une poupée meuleuse positionnée sur les glissières du châssis et une table à commande hydraulique mobile dans le sens longitudinal. La partie qui est positionnée entre les centres des poupées tourne à une vitesse de 3000 tr/min. Un mécanisme d'alimentation transversale déplace la poupée fixe de meulage dans une direction transversale.

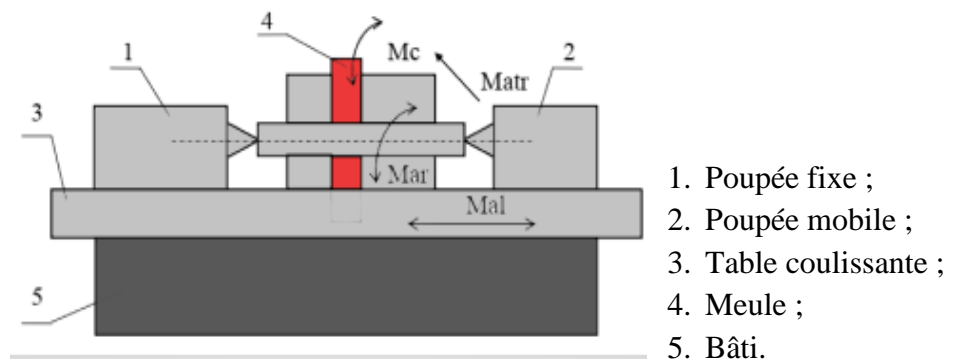


Fig. I.25. Schéma d'une rectifieuse cylindrique

Il existe différents types de rectification cylindrique :

- **Rectification externe cylindrique** : permet de rectifier les parties extérieures d'une pièce cylindrique (Fig. I.27).

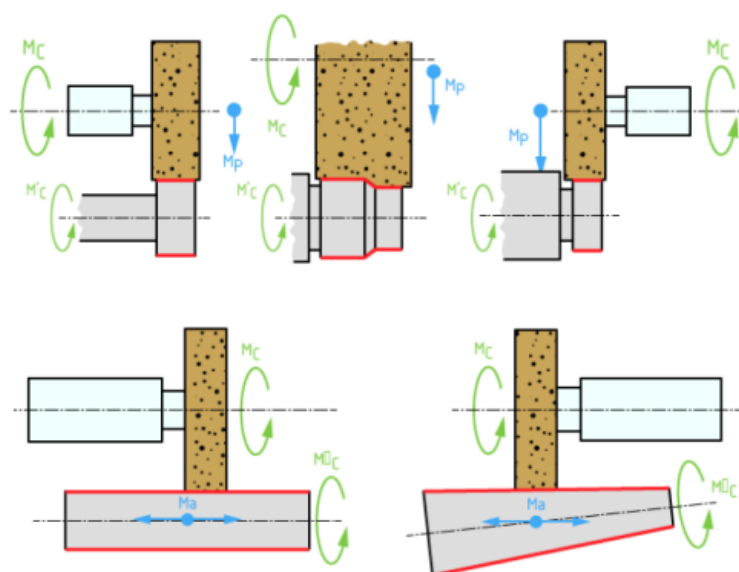


Fig. I.26. Opérations de rectification extérieure.

- **Rectification intérieur cylindrique** : un outil pour meuler les surfaces internes d'articles cylindriques. A l'intérieur de l'alésage fixe à rectifier, la meule tourne. La procédure est identique avec un cône interne, sauf que la pièce est inclinée sur le porte-pièce de l'angle de la conicité divisé par deux (fig.I.28).

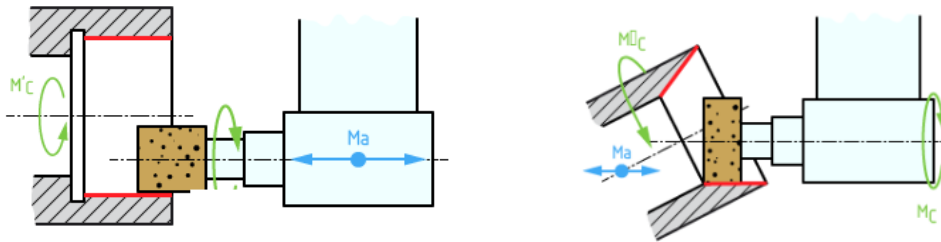


Fig. I.27. Rectification Intérieure, a) cylindrique, b) conique.

(t) Rectifieuse sans centres

Il s'agit d'une version rectifieuse cylindrique. Il est équipé de deux roues qui tournent dans le même sens, mais l'une sert d'outil de travail et l'autre d'entraînement (Fig I.29). Entre la lame et la roue régulatrice, l'objet à meuler est sécurisé. La révolution de la roue régulatrice entraîne la rotation de la pièce. Pour effectuer le processus de meulage, la meule est tournée dans le sens opposé.

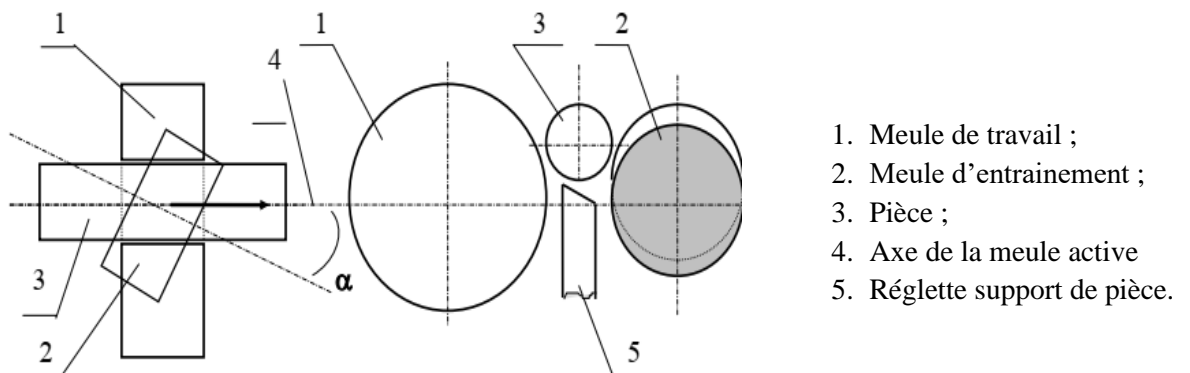


Fig. I.28. Schéma d'une rectifieuse sans centre.

Il y'a deux types de rectification sans centre :

- **Rectification sans centre extérieure** (Fig. I.30)

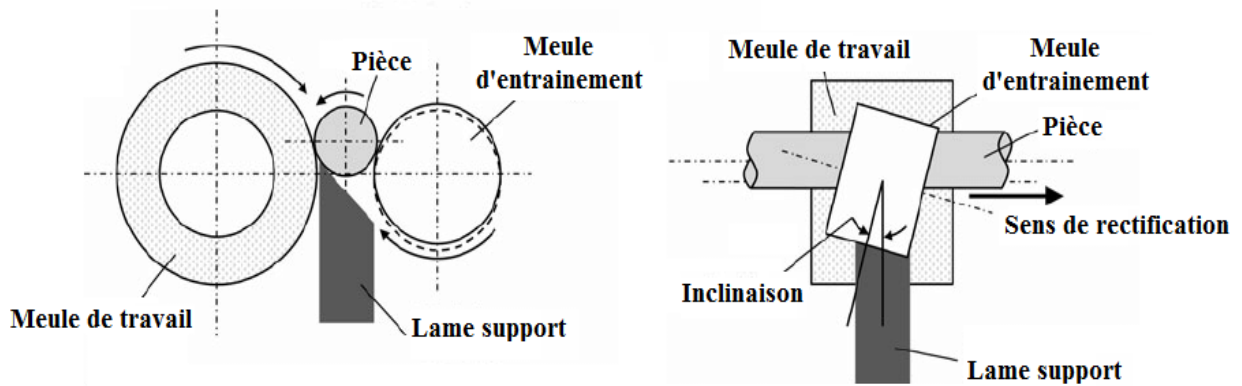


Fig. I.29. Rectification sans centres extérieure.

- **Rectification sans centres intérieure** (Fig. I.31)

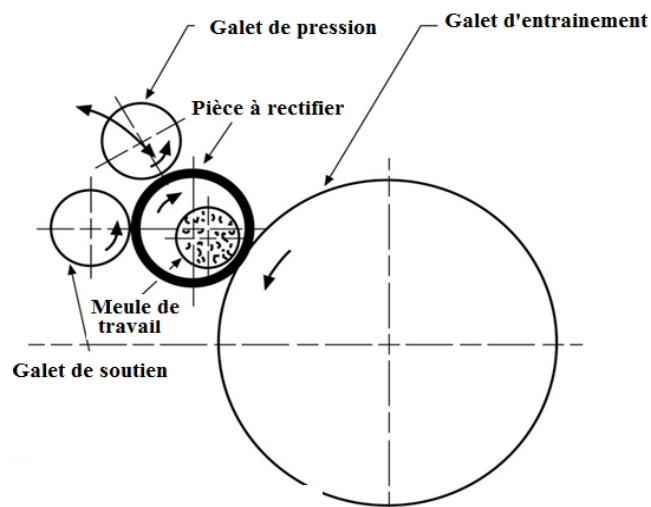


Fig. I.30. Rectification sans centres intérieure.

Le principe de fonctionnement est le suivant (Fig. I.31) :

- La pièce est prise en sandwich entre deux meules et supportée par une lame de support

- On observe que la partie entraînée en rotation imprime un mouvement axial entre les roues, qui dans ce cas est le mouvement d'avance.

- Le mouvement d'avance est assuré principalement par la roue motrice, tandis que la roue de travail coupe le métal. Ceci est accompli en tournant l'axe de la roue motrice dans un plan vertical à un angle de 1,5 à 6 degrés pour le dégrossissage et de 0,5 à 1,5 degrés pour la finition (Fig. I.32).

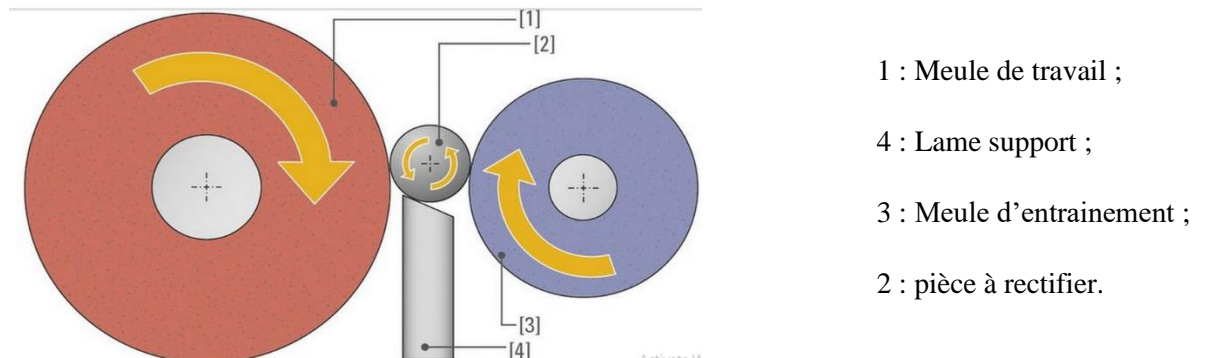


Fig. I.31. Principe rectifieuse sans centres.

Ces trois exemples simples ne sont qu'un bref aperçu des multiples situations de rectification possible.

I.2.1.5.4. Avantages de la rectification

- Possibilité de travailler avec les matériaux les plus durs ;
- Pouvoir atteindre des tolérances de l'ordre du micromètre (0,001 mm) ;
- Capacité d'obtenir un état de surface élevé (0,1 Ra) ;
- Permet un usinage plus précis ;
- Usinage des matériaux les plus durs.

I.2.2. Obtention par déformation

I.2.2.1. Forgeage

Le forgeage est un ensemble de processus utilisés pour créer une pièce mécanique en exerçant une force importante sur un matériau froid ou chaud afin de le restreindre à la forme souhaitée. Soumis à de fortes pressions ou à une succession de chocs, un bloc de métal chauffé (800-1200°C) se déforme plastiquement vers les surfaces libres. Aucune matrice ne définit la déformation du matériau et la forme obtenue est fortement dépendante de l'habileté de l'opérateur (Fig. I.33). La procédure peut être effectuée manuellement ou à l'aide d'un marteau-pilon ou d'une presse hydraulique. Si le forgeage libre permet la fabrication d'ébauches ou de pièces brutes, il n'est pas adapté à la fabrication en série.

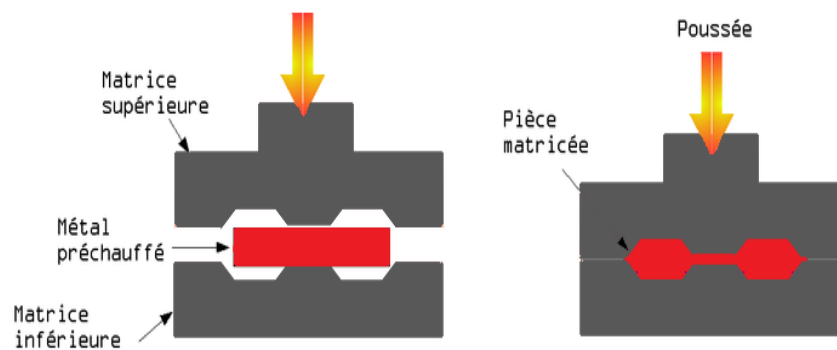


Fig. I.32. Schéma d'élaboration par forgeage (pièces forgées).

- **Avantages**

- Il n'y a pas d'outils spécialisés requis pour chaque type de pièce ;
- Les pièces forgées ont une meilleure résistance mécanique que les pièces usinées, du fait du fibrage de la pièce suite au forgeage.

- **Inconvénients**

- Consomme beaucoup d'énergie (métal chauffé).
- L'imprécision est un problème.

I.2.2.2. Laminage

La compression continue déforme le matériau lors de son déplacement entre deux cylindres se déplaçant dans des directions opposées, appelés laminoirs. Le roulage peut être effectué dans un environnement froid ou chauffé. Souvent, les laminoirs sont utilisés séquentiellement pour abaisser progressivement l'épaisseur des profilés. La majorité des tôles plates brutes sont obtenues par laminage. (Fig. I.34).

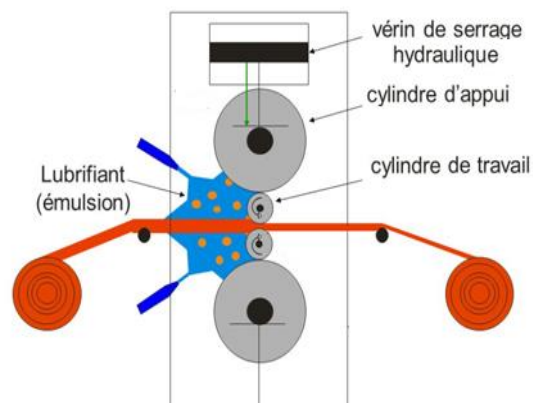


Fig. I.33 Schéma d'élaboration de laminage.

I.2.2.3. Emboutissage

L'emboutissage est une technique de fabrication qui permet de créer un objet dont la forme ne peut être développée à partir d'une feuille de métal plate et fine. Le flan de tôle est appelé « Becker » ; c'est la matière première non emboutie. La température de déformation du matériau est comprise entre le tiers et la moitié de son point de fusion. L'emboutissage est une méthode de fabrication couramment utilisée dans le secteur automobile, ainsi que dans l'électronique grand public.

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau (généralement un métal), déformation qui se traduit par un étirement ou un rétrécissement local de la tôle pour créer la forme souhaitée (Fig. I.35).

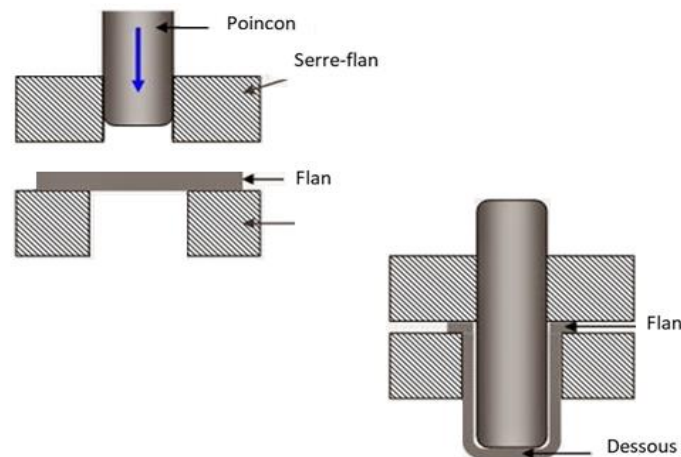


Fig. I.34. Principe d'emboutissage (pièces forgées) .

I.2.2.4. Estampage

Nous commençons par dégrossir la section souhaitée à l'aide d'une matrice de dégrossissage et de la billette. Une fois terminé, il est inséré dans la matrice en forme de la pièce souhaitée. Ensuite, nous avons haché les perles de bavure (Fig. I.36). Le Matriçage, qui est utilisé exclusivement avec des métaux non ferreux, est un type d'Estampage (parfois appelé "Estampage précis").

La presse hydraulique lente prend la place du marteau-pilon dans ce cas, et la pièce est forcée dans un outil amovible (matrice). L'importance technologique de ces processus est la compression des molécules de matière dans la forme de la pièce, ce qui se traduit par une résistance extrêmement élevée aux contraintes mécaniques.

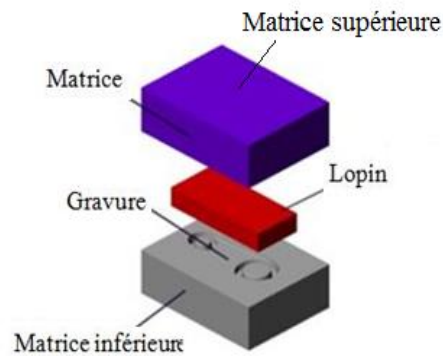


Fig. I.35 Schéma d'élaboration par estampage.

- **Avantages**
 - Identique au forgeage libre, mais avec une vitesse et une précision accrue.
- **Inconvénients**
 - Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
 - Coût élevé du retour rapide des matrices « usées ».

I.2.2.5 Matricage

Le matricage est une opération de forgeage qui consiste à produire des pièces brutes en alliages tels que les alliages d'acier d'aluminium, de cuivre, de titane, de nickel et d'autres métaux par déformation plastique après leur chauffage (demi-matrice supérieure et demi-matrice inférieure). Les matrices sont creuses et portent le contour de la pièce (Fig. I.37).

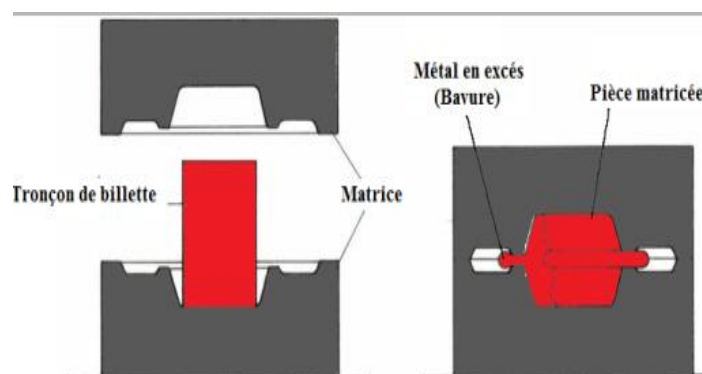


Fig. I.36 Schéma d'élaboration par matricage.

I.2.2.6. Filage

L'extrusion à chaud des métaux et alliages est une technique de transformation industrielle permettant de produire des tubes et des barres pleines ou creuses de sections variées (fig. I.38). A l'origine, la technique était utilisée pour altérer les métaux non ferreux, mais grâce à un développement français dans les années 1940, elle pouvait également être utilisée pour tourner les aciers et les métaux réfractaires. Avec les progrès réalisés après la Seconde Guerre mondiale, il est maintenant viable d'explorer l'utilisation de l'extrusion en conjonction avec les méthodes de laminage traditionnelles pour fabriquer des tubes en acier courants. Ce type de fabrication permet de produire de grandes longueurs de n'importe quel profilé ou tube à partir d'un bloc de métal de section circulaire ou carrée en une seule opération, alors que d'autres procédés nécessitent de nombreuses passes. Phases séquentielles du produit dans la (les) machine(s) de transformation.

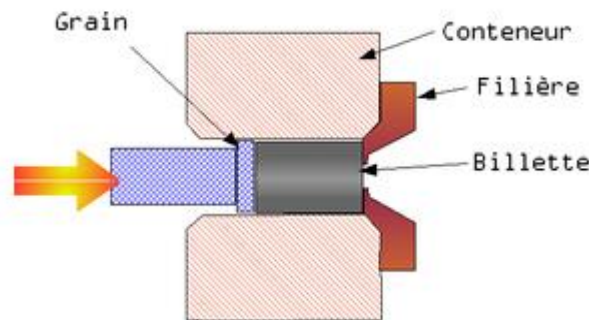


Fig. I.37 Produits filés en alliage d'aluminium

(u) Filage direct

C'est la méthode de filage la plus basique. Il présente des inconvénients, principalement dus au frottement du métal sur la surface intérieure du récipient. Ce frottement peut avoir un impact non seulement sur les outils, mais aussi sur la structure du métal. Cet inconvénient est atténué par le contrôle de la lubrification.

(v) Filage inverse

La matrice est positionnée à l'extrémité d'un poinçon en rotation inverse. Le conteneur est rempli de la billette chauffée. Sur le récipient, une tête est placée. En conséquence, l'ensemble de la billette, du conteneur et de la tête se déplace vers la matrice. Le métal à l'intérieur du poinçon tourne.

Le principal avantage de la méthode est qu'elle élimine les frottements entre la billette et le conteneur. Comme l'effort d'essorage est minimisé, des presses moins puissantes peuvent être utilisées. Parce qu'il n'y a pas de frottement, une partie de la surchauffe est éliminée, permettant un meilleur contrôle de la structure métallique et un moindre risque de défauts de surface. La

zone corticale à gros grains peut être pratiquement totalement éradiquée dans le cas de l'aluminium. Les tolérances géométriques sont plus faciles à maîtriser.

Le poinçon présente l'inconvénient d'être plus délicat du fait de sa conception en creux et de fonctionner par flambage. De plus, le montage de l'outil est plus difficile et nécessite des alignements plus précis que la méthode directe. De plus, contrairement au filage direct, le nombre de formes réalisables est limité.

(w) Filage inverse en conteneur

Cette stratégie est beaucoup moins populaire que les deux précédentes. L'objectif est différent car le produit final est un tube avec un fond (appelé étui). De ce fait, les longueurs de filage sont forcées d'être plus courtes. Ce processus est utilisé pour fabriquer des composants militaires tels que des douilles et des ogives, ainsi que des bouteilles de gaz en acier ou en alliage d'aluminium. Il n'y a que quelques formes disponibles.

La billette est insérée dans une matrice qui est fermée à une extrémité par un taquet et qui est soit chauffée, soit refroidie et lubrifiée. Un poinçon appuie sur une billette qui lui est parallèle, formant un étui. Une poussée sur le taquet provoque son éjection.

(x) Filage sur aiguille

Les tubes peuvent être filés à l'aide de la filature à aiguilles. Une billette évidée est utilisée comme matériau de départ. Le perçage, l'usinage ou le forgeage peuvent tous être utilisés pour le creuser. Le poinçon a une aiguille qui est insérée dans la billette creuse. Le métal est piégé entre la matrice et l'aiguille en poussant dans la matrice. Le résultat est un tube monobloc sans soudure.

Il existe une variante de rotation du nez d'aiguille dans laquelle l'aiguille est fixe.

I.2.2.7. Tréfilage

Le tréfilage est la réduction de traction mécanique d'un tronçon de fil métallique sur une machine à tréfiler (Fig. I.39). Les tréfileries sont des usines spécialisées dans le tréfilage. L'érouissage est un problème sérieux qui nécessite un traitement thermique (sorte de recuit pour les petites sections) pour éviter que le fil ne devienne trop cassant et améliorer sa souplesse.

Le fil machine est torsadé en forme de bobine sur un ou plusieurs cabestans, qui exercent une traction sur le fil par friction. En amont du cabestan, le fil traverse une filière qui déforme le fil en réduisant sa section. La filière est bien lubrifiée pour maintenir un bon état de surface du fil métallique ainsi que pour assurer le refroidissement et contrecarrer la chaleur induite par

le durcissement du métal. De plus, le tréfilage est utilisé dans la production de pâtes industrielles.



Fig. I.38 Atelier de tréfilage.

I.2.2.8 Cintrage

Le cintrage est une opération mécanique qui consiste à utiliser une cintreuse pour déformer un tube ou une barre selon un rayon et un angle. Le terme pliage est également utilisé pour désigner le changement d'un produit plié à l'échelle mondiale. Il existe de nombreuses méthodes, y compris l'enroulement, la poussée, le roulement et l'estampage (Fig. I.40).

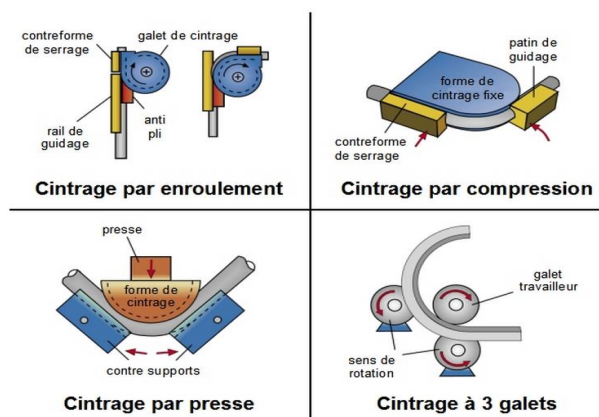


Fig. I.39 Procédés de cintrage.

I.2.2.9. Pliage

Le pliage est un type de déformation qui se produit lorsqu'une force est appliquée sur la longueur d'une pièce. Cela sera pris en charge sur deux lignes et ressemblera à une flexion. Pour atteindre l'angle nécessaire (fig. I.41), il faudra dépasser la limite élastique.

- **Avantages**

- Outillage de base : presses hydrauliques avec divers poinçons et matrices.

- **Inconvénients**

- Ressaut élastique résiduel difficile à prévoir ;
- La longueur de pliage est limitée.

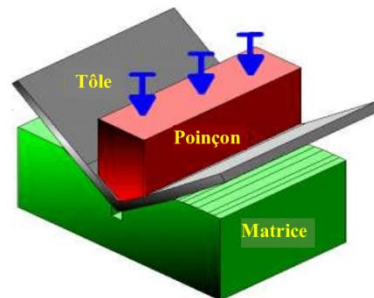


Fig. I.40 Schéma d'élaboration de pliage de tôles.

I.2.2.10 Extrusion

Un matériau chauffé et comprimé est poussé pour passer à travers une matrice contenant la zone de composant souhaitée. Cette technologie permet la production en continu de produits longs (barres, tubes, profilés, tôles, etc.) (Fig. I.42).

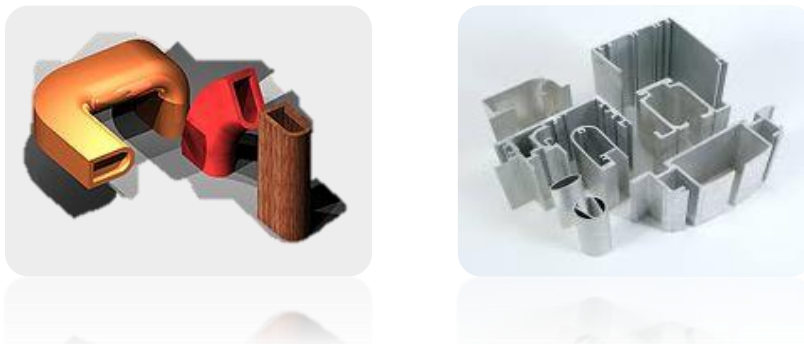


Fig. I.41 Extrusion des pièces de différentes formes.

- **Avantages**

- Une plus grande précision que le matriçage ou l'estampage ;
- Excellents états de surface ;
- Profilés creux et compliqués.

- **Inconvénients**

- Dépense énergétique importante (travail à chaud) ;
- Formes limitées à des « extrusions » (voir figure ci-dessous).

I.2.3. Obtention par fusion (fonderie) Moulage

Le moulage est une méthode de fabrication qui consiste à verser du métal en fusion dans un moule pour créer des pièces. Nous nous tournons vers lui pour : la réalisation de pièces aux formes complexes qu'il serait difficile voire impossible de réaliser par un autre procédé, ou la réalisation de pièces plus simples à moindre coût ; tirer parti des propriétés physiques et d'usage (dilatation, corrosion, frottement, usure, basses et hautes températures) ainsi que des propriétés mécaniques des différents métaux coulés et alliages ; alliages coulés difficiles à usiner. La majorité des pièces de fonderie sont des ébauches qui sont ensuite partiellement usinées, comme les carters de moteur de voiture (en alliage d'aluminium pour réduire le poids du moteur) (Fig. I.43).

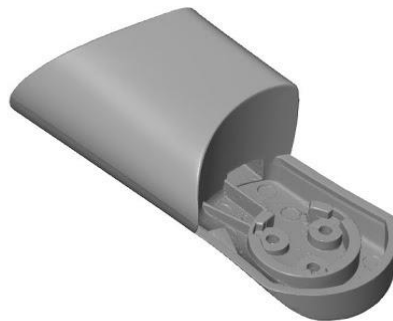


Fig. I.42. Pièce plastique moulée par injection.

Les techniques de moulage sont divisées en deux catégories. Nous séparons les fonderies qui utilisent :

- Moules non permanents, également connus sous le nom de « moules perdus », qui sont généralement construits en sable ;
- Moules métalliques permanents, également appelés "coquillages".

I.2.3.1. Moulage non permanent (moulage au sable)

C'est le procédé de moulage le plus général et le plus utilisé, et il reste compétitif par rapport à d'autres procédés plus récents. Il permet aux sites de moulage robotisés de couler de grandes pièces unitaires ainsi que des pièces de petite et moyenne taille en série, quel que soit l'alliage. Les moules en sable sont liés avec de l'argile et de l'eau dans cette technique. Avec ou sans modèle, le moulage peut être fait : Le bois, le plâtre ou le métal peuvent tous être utilisés pour le créer. Il faut donner des "dépouille" aux plans orientés dans le sens du démoulage, c'est-à-dire les rendre légèrement obliques, afin que le modèle puisse être retiré du moule sans nuire à l'empreinte ; lorsque les faces sont "en contre-dépouille", le modèle est formé en plusieurs

sections amovibles. Les empreintes et noyaux sont obtenus par découpage du sable de moulage dans des circonstances de moulage sans modèle.

Les principaux avantages de cette technologie sont la rapidité avec laquelle elle peut être moulée et le taux de récupération du sable extrêmement élevé. Il est utilisé pour fabriquer des pièces en fonte, en acier et en métaux non ferreux (Fig. I.44).



Fig. I.43 Moulage en sable.

I.2.3.2. Moules permanents

Pour la coulée en moule permanent, un moule réutilisable est utilisé. Voici quelques-uns des avantages de cette méthode :

- Composants près des côtes ;
- Meilleure finition de la surface ;
- Propriétés mécaniques améliorées.
- Le produit fini manquera de détails fins.

Un moule réutilisable est construit en métal, généralement en fonte grise, en moulage permanent. Il est composé de deux composants ou plus et contient une charnière pour permettre au moulage d'être retiré du moule. Par gravité, le métal liquide est versé dans le moule. Les pièces moulées en alliages d'aluminium, de magnésium et de cuivre sont fabriquées dans une fonderie à moules permanents. Les moules en graphite peuvent être utilisés pour couler des articles en acier et en fer. La coulée en moule permanent et la coulée à froid sont deux termes couramment utilisés de manière interchangeable pour décrire la même technique.

Les moules sont métalliques (fonte ou aciers réfractaires spécifiques), ce qui permet de couler un grand nombre de pièces. Les processus énumérés ci-dessous sont distincts :

- Moulage en coquille par gravité ;
- Moulage sous pression.

(y) Moulage en coquille par gravité

Il s'agit de la méthode la plus élémentaire de moulage en coquille. Le métal liquide est coulé directement dans l'empreinte d'un moule métallique muni d'une poche ou d'une petite poche de coulée, incorporant ou non des noyaux de métal ou de sable, selon les pièces à réaliser et leur complexité. (Fig. I.45).



Fig. I.44. Moulage en coquille.

(z) Moulage sous pression

Un piston travaillant sur du métal liquide placé dans un récipient (Fig. I.46) injecte le métal dans le moule sous haute pression. Il existe de nombreux avantages ; Voici quelques-uns des plus importants :

- Bel aspect des pièces ;
- Précision extrêmement élevée ;
- Réduire les masses et limiter l'usinage ;
- Possibilité d'inserts ;
- Meilleure étanchéité des pièces (carburateurs en zamak par exemple) ;
- Faibles dépouilles permettant d'économiser la matière, etc.

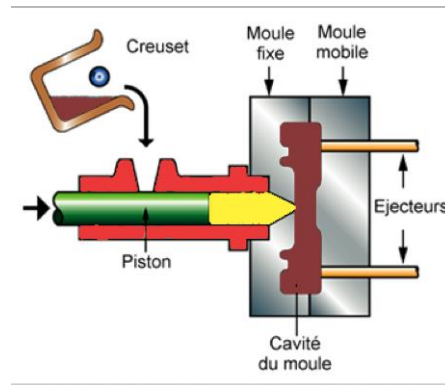


Fig. I.45 Moulage sous pression.

I.2.4. Obtention par assemblage

I.2.4.1 Soudage

Le soudage est une méthode d'assemblage de deux pièces en fusionnant leurs parties. Cette fusion est réalisée grâce à l'utilisation de la chaleur, de la pression ou d'une combinaison des deux. La méthode la plus largement utilisée aujourd'hui est le thermo-soudage. Contrairement au rivetage, au sertissage, au collage ou au boulonnage qui comportent des discontinuités physiques ou chimiques, le soudage maintient la continuité des pièces à assembler (Fig. I.47).

Trois procédés d'assemblage par soudage peuvent être clairement caractérisés dans le cas des matériaux métalliques, ce qui est particulièrement important :

- **Le soudage** : opération qui consiste à fusionner les bords des composants à assembler, généralement de natures très similaires, un à la fois. Il est possible d'employer un métal d'apport ;
- **Le brasage** : procédé d'assemblage de deux éléments métalliques de même nature ou de natures différentes par capillarité d'un métal d'apport dans une jonction à recouvrement ;
- **Le soudobrasage** : technique qui s'apparente au soudage dans son mode opératoire (joint réalisé pas à pas) et au brasage en ce que ce dernier a une température de fusion toujours inférieure à celle des métaux de base qui ne fondent pas tout au long de l'opération ; (utilisation de métal d'apport dont le point de fusion est inférieur à ceux des deux métaux de base).

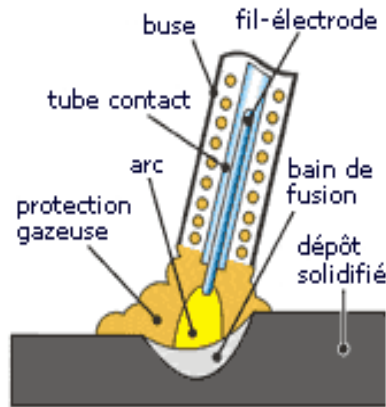


Fig. I.46 Schéma d'assemblage par soudage .

I.2.4.2 Collage

Le collage est un procédé qui permet de coller deux substrats ensemble de manière solide et durable. La relation chimique, plutôt que mécanique, entre ces deux supports est ainsi établie. L'adhésif est appliqué sur le(s) substrat(s), mais il doit être compatible avec le support pour bien fonctionner. Ainsi, l'adhésion à un solide implique deux notions de base (fig. I.48) :

- L'adhérence est définie par le contact solide-liquide ;
- Le mouillage est défini par l'étalement du liquide sur le solide.

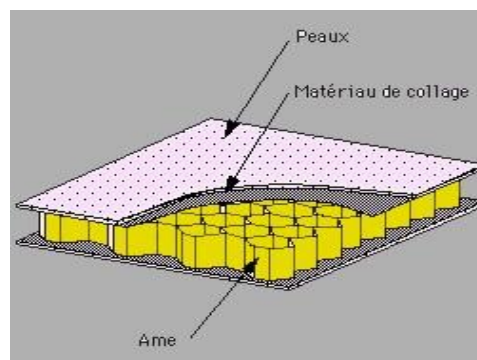


Fig. I.47 Schéma d'assemblage par collage .

I.2.4.3 Rivetage

Le rivetage est le processus de connexion des pièces avec des rivets. C'est un ensemble permanent, c'est-à-dire qu'il ne peut pas être démonté sans endommager l'attache (Fig. I.49). Bien qu'un type de rivet ait été récemment développé qui imprime une empreinte hélicoïdale dans son logement lors de l'assemblage, permettant un démontage et un remontage ultérieurs sans détruire le rivet.

Le rivetage par fluage radial est une procédure beaucoup plus compliquée qui est actuellement le plus fiable des systèmes rivetés.

Par rapport à d'autres types d'assemblages, le rivetage présente les avantages suivants :

- Il n'y a pas de risque de changement de structure de matériau (trempe) comme dans le cas du soudage ;
- Il n'y a pas de retrait ;
- Les assemblages rivetés sont faciles et sûrs à contrôler, ainsi que faciles et peu coûteux à réaliser sur site ; - L'ensemble peut être démonté, si nécessaire, en retirant les têtes (détruisant le rivet).

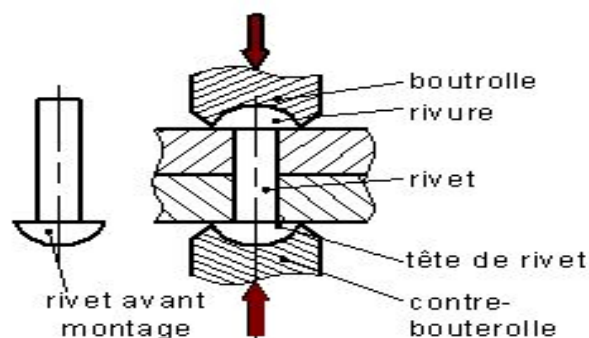


Fig. I.48 Schéma d'assemblage par rivets.

I.2.4.4 Agrafage

L'assemblage par agrafe présente une légère précontrainte et est quasiment étanche aux liquides et à l'air. Le pliage s'effectue en trois étapes : à 30°, 75° et 90°. La structure de la surface ne sera pas endommagée et la machine s'adapte automatiquement aux différentes épaisseurs de tôle. Elle permet de façonner les bords des éléments en tôle. L'agrafe est ensuite recouverte d'une feuille qui a été assemblée par agrafage sur les bords relevés. Au moins deux sections peuvent être assemblées de cette manière (fig. I.50).



Fig. I.49. Schéma d'une agrafeuse manuelle professionnelle.

I.3. Partie II – Mise en forme par méthodes non -conventionnelles (avancées)

I.3.1. Obtention par Usinages (Très) Grande Vitesse (UGV)

I.3.1.1. Introduction

L'usinage à grande vitesse, également connu sous le nom d'UGV, est une opération d'enlèvement de matière qui utilise des vitesses de coupe plus rapides que l'usinage conventionnel, ce qui entraîne un phénomène de coupe unique qui améliore la qualité et l'efficacité. La qualité s'améliore à mesure que la V_c augmente. La productivité s'améliore lorsque V_f augmente. En général, ces vitesses sur UGV sont estimées par rapport à celles sur CUCN :

- $V_c \times 5 \text{ à } 10$
- $V_f \times 10$

Par exemple, lors d'usinage d'acier à des vitesses de coupe de 30 à 200 m/min, on parle d'usinage conventionnel, alors que des vitesses de coupe de 500 à 2000 m/min correspondent au domaine de l'UGV (Fig. I.51).

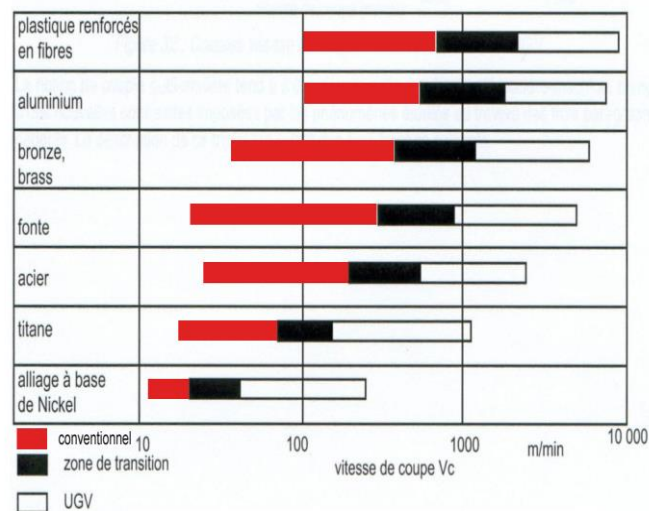


Fig. I.50. Plages de vitesses de coupe pour différents matériaux.

Cependant, l'intégration de l'usinage à grande vitesse dans un atelier de production nécessite le respect d'un ensemble de contraintes, sans lesquelles l'opération pourrait devenir dangereuse et non rentable. Si l'augmentation de la vitesse semble aisée, les mécanismes physiques mis en jeu ne sont plus les mêmes que dans l'usinage conventionnel, et ils s'avèrent assez complexes. En effet, les paramètres d'usinage ont un impact important sur les efforts de coupe, la puissance de la machine, la température atteinte sur la surface usinée et dans l'outil,

l'usure de l'outil, le frottement entre la coupe de l'outil et le copeau, l'intégrité de la surface usinée, entre autres. Les applications à grande vitesse nécessitent des machines-outils rigides conçues spécifiquement pour ce type d'usinage, ainsi que des contrôleurs numériques avec des options et des fonctionnalités spécifiques. Il est également essentiel d'employer des techniques de programmation de pointe qui permettent d'optimiser les trajectoires d'outils et des tolérances d'usinage cohérentes pour chaque opération et chaque outil. C'est une exigence pour garantir une productivité élevée tout en maintenant la sécurité et la qualité du processus d'usinage. L'UGV exige que tous les équipements de production, y compris les outils de coupe et les accessoires, soient développés spécifiquement pour lui. Malgré la complexité du procédé et les limites qui accompagnent sa mise en œuvre, l'usinage à grande vitesse offre des avantages techniques et économiques considérables.

De ce fait, l'UGV oblige les algorithmes de calcul à améliorer leurs performances. La sélection du logiciel CAM est essentielle car l'utilisation du mauvais programme peut entraîner des défauts dans l'article fabriqué. Un logiciel spécifique à l'UGV doit permettre le calcul de trajectoires sur une machine à commande numérique (MICN) en tenant compte des effets dynamiques, ainsi que la sélection de techniques d'usinage spécifiques à l'UGV.

I.3.1.2. Caractéristiques de l'UGV

• Machine

- Rigide et amortie ;
- Broche rapide et puissante ;
- Bâti très stable ;
- Parties mobiles en translation rapides et légères (accélé. De 1g) ;
- CNC de très grande qualité ;
- Montage des outils précis, indéformable et de sécurité ;
- Arrosage très abondant ;
- Evacuation des copeaux adaptés ;
- Sécurité.

• Outils :

Composites (phase dure + liant) :

- Carbure (Tungstène, Titane) + Nitrure = Cermets.
- Nitrure (titane, silicium, diamant (PKD) bore cubique) + oxydes ;

- Carbure (tungstène, titane) + oxydes = céramiques (blanches, noires, oxydes renforcés).

I.3.1.3. Phénomènes thermiques

Lors de la coupe, des contraintes thermiques sont créées par auto-échauffement au sein de la matière de la pièce et frottement à l'interface outil/pièce.

Dans l'usinage conventionnel, l'énergie calorifique est évacuée en quantité importante non seulement dans les copeaux, mais aussi dans la pièce et l'outil. De ce fait, le matériau subit un traitement thermique local (durcissement superficiel) qui altère les caractéristiques de la pièce résultante. La nature de la formation des copeaux dans l'UGV est différente et les copeaux évacuent plus de 80 % de l'énergie de coupe. Malgré les énergies plus importantes mises en jeu, les échanges thermiques entre la puce et la pièce ne sont plus possibles : cette dernière est maintenue à température quasi ambiante.

- **Avantage :**

Globalement, l'UGV offre :

- Bon état de surface de l'ébauche à la finition (généralement sur la même machine), permettant une réduction du temps de polissage de finition,
- Amélioration de la précision dimensionnelle et de la répétabilité pour la fabrication en série,
- Amélioration de l'intégrité de surface des pièces usinées,
- Une réduction des efforts d'usinage,
- L'usinage de matériaux extrêmement durs jusqu'alors difficiles à usiner,
- L'usinage de formes complexes et de parois minces,
- Obtenir des copeaux fragmentés plus faciles à éliminer,
- Réduction des délais de fabrication qui se traduit par une augmentation de la productivité,
- Une réduction des coûts de production.

- **Gains de productivité**

- Une augmentation du volume d'unités de copeaux.
- L'usure de l'outil est réduite.
- Les gammes d'usinage ont été repensées.
- Efforts de coupe réduits.
- Les principaux coûts et temps d'usinage sont réduits.

- Dissipation de la chaleur via le copeau.

- **Inconvénients**

Parmi les principaux inconvénients de l'usinage à grande vitesse, nous pouvons citer les suivants :

- Les opérateurs de machines et les programmeurs doivent suivre une formation spécialisée qui diffère sensiblement de celle nécessaire à l'usinage traditionnel,
- En raison des vitesses et des accélérations élevées requises pour déplacer les divers composants, l'erreur humaine peut avoir un impact substantiel sur le système,
- Les machines doivent être équipées de carcasses résistantes aux forces de type impact pour garantir une sécurité maximale. De même, les outils et les pièces tournantes doivent être contrôlés régulièrement pour détecter d'éventuelles pannes de fatigue,
- Diverses techniques de mise au point,
- Enjeux humains dans le développement de cette approche,
- Coûts d'installation (environ 50 000 à 300 000 €),
- Protection de l'utilisateur contre la rupture accidentelle de l'outil ou l'éjection de la plaquette ; évacuation des copeaux, etc.
- Surveillance continue de la broche, des outils et de la machine.

I.3.2. Obtention par Électroérosion

- La pièce et l'électrode sont immergées dans un liquide diélectrique en circulation constante ;
- Un générateur d'impulsions produit des décharges électriques de durées et de tensions différentes selon le matériau de la pièce liée à l'anode et l'outil fixé à la cathode ;
- À chaque impulsion, une décharge électrique se développe entre la pièce et l'outil, provoquant l'érosion du composant 99 % du temps et l'érosion de l'outil 1 % du temps ;
- L'électrode a une forme complémentaire à la forme souhaitée ;
- Le liquide diélectrique enchevêtre les particules métalliques carbonisées.

I.3.2.1. Usinage en plongée (Enfonçage)

L'électroérosion enlève le métal de la surface d'une pièce sans entrer en contact avec elle en utilisant de l'énergie électrique. Entre l'électrode de l'outil et la pièce, un courant électrique à haute fréquence est appliqué, provoquant des étincelles qui sautent l'espace et vaporisent de petites sections de la pièce (fig. I.52).

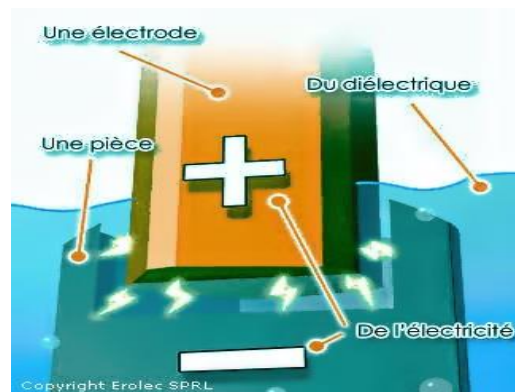


Fig. I.51 Principe de fonctionnement électroérosion (Enfonçage).

I.3.2.2. Usinage par découpage à fil

Une autre option populaire est l'électroérosion à fil. Cela implique l'utilisation d'un fil métallique, généralement en cuivre, ou d'un "laiton" en alliage zinc-cuivre correctement calibré (0,05 à 0,35) en circulation continue comme électrode-outil. Entre le fil et le bloc de matière à couper, un jet de liquide diélectrique (eau déminéralisée) élimine les débris d'usinage. L'angle d'attaque peut être modifié et diverses formes réglées peuvent être usinées en déplaçant le fil par rapport à la pièce. Un mécanisme multiaxial compliqué est utilisé pour manipuler le fil, permettant au fil de coupe d'être orienté pour créer des pièces 3D complexes (Fig. I.53). Cette technologie est couramment utilisée pour produire des micro-pièces de haute précision ainsi que pour fabriquer des micro-outils pour fraiseuses et perceuses.

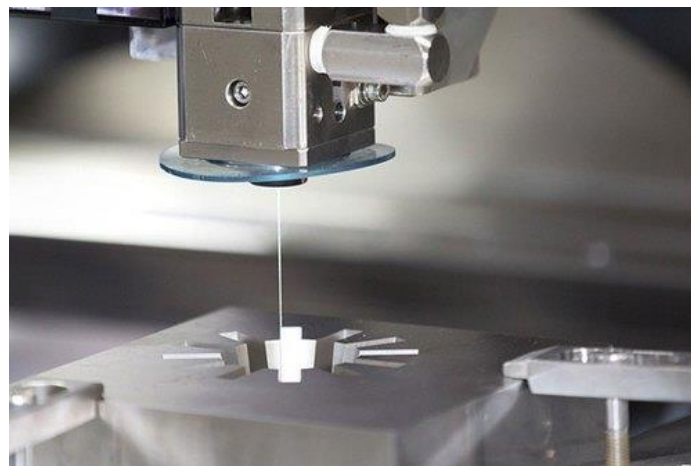


Fig. I.52. Principe de fonctionnement électroérosion (Robot-fil).

- **Avantage**

- Usinage de matériaux trempés et durs qui seraient autrement impossibles à usiner en utilisant des procédés d'enlèvement de copeaux ;

- Usinage de formes tridimensionnelles "démoulables" (l'outil entre dans la pièce et y laisse sa forme complémentaire) et hélicoïdales (en combinant les mouvements de rotation et de translation de l'outil) ;
- Bons états de surface ($R_a \gg 2 \text{ mm}$) et précision ($\gg 20\text{mm}$).
- Faible coût pour un grand nombre de pièces complexes, précises et saines utilisables à l'état brut ;
- La porosité naturelle des pièces frittées permet la réalisation de filtres et de paliers autolubrifiants ;

- **Inconvénients**

- Seuls des matériaux électriquement conducteurs sont utilisés dans cette technique ;
- Le coût du matériau (qui varie selon la forme de l'article à créer) et l'usure de l'outil d'électrode ;
- La porosité naturelle peut être un inconvénient dans certaines situations, comme lorsqu'il y a un problème d'étanchéité ;
- Le principe de compression conduit à des pièces non homogènes (plus grande porosité au milieu) avec une résistance mécanique inférieure pour les métaux frittés.

I.3.3. Obtention par frittage

Une poudre (ou un mélange de poudres), généralement métallique, est broyée dans un moule puis chauffée à une température inférieure à la température de fusion du constituant principal dans une étuve à vide (ou atmosphère contrôlée) (fig. I.54).

La métallurgie des poudres comporte deux étapes :

- **Etape 1** : Pressage ou compactage de la poudre, suivi d'un frittage ou d'une consolidation à haute température.
- **Etape 2** : Les poudres d'alliage sont d'abord combinées avec la poudre de base (et un lubrifiant). Selon le produit final, une presse de 100 à 10 000 tonnes est utilisée pour le formage à froid. Cette technique permet d'obtenir une pièce formée sans nécessiter d'usinage (pièce finie).

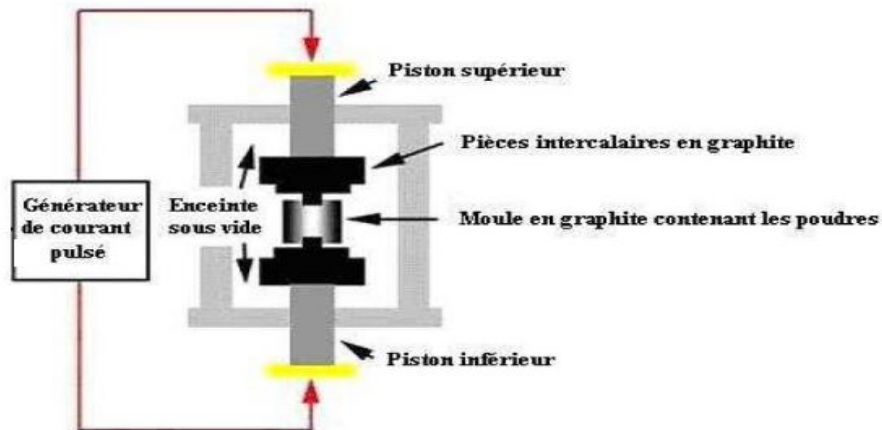


Fig. I.53 Schéma d'élaboration par frittage.

Le frittage, également appelé consolidation, se fait dans un four à une température proche du point de fusion du métal. Pour éviter l'oxydation par l'oxygène de l'air, elle est fréquemment réalisée sous vide ou sous atmosphère protectrice. Un procédé de frittage laser est également disponible (prototypage rapide). Une fine couche de poudre métallique associée à un liant est appliquée sur une surface plane dans ce cas (fig. I.55). Les lasers délimitent la pièce et durcissent la poudre, et leur précision n'est plus à démontrer. Après cela, une autre couche de poudre est étalée jusqu'à l'obtention du produit final. Cette approche permet notamment la formation précise de cavités. Enfin, la pièce est « agitée » pour se débarrasser des éventuelles poudres libres. Il est également important de tenir compte de la porosité résiduelle, qui peut aller de 5 à 10 % selon l'alliage. Cette porosité est parfois volontaire, notamment lors de la fabrication de potions, bien qu'elle soit minimisée dans certains produits nécessitant une substance dure (carbure de tungstène).



Fig. I.54 Plaquette de coupe amovible pour outil d'usinage en céramique frittée.

- **Avantage :**
 - Faible coût pour un grand nombre de pièces compliquées et précises utilisables à l'état brut.
 - La porosité intrinsèque des pièces frittées permet la réalisation de filtres et de paliers autolubrifiants.
 - Permet l'acquisition de nouveaux alliages.
- **Inconvénients :**
 - La porosité naturelle peut être un inconvénient dans certaines situations, comme lorsqu'il y a un problème d'étanchéité ;
 - Le principe de compression conduit à des pièces non homogènes (porosité plus élevée au milieu) avec une résistance mécanique inférieure pour les métaux frittés.

I.3.4 Obtention par Découpage

Le découpage est une méthode de production de pièces. C'est un type de cisaillement à contour fermé. Une différence est faite sur les termes :

- Découpage, pour obtenir un périmètre déterminé par une forme et une taille particulière ;
- Poinçonnage, afin d'ajouter une pièce (exemple : une perforation).

Le poinçon poinçonne la plaque (tôle, papier, carton, mousse, etc.) et produit une pièce découpée (fig. I.56).

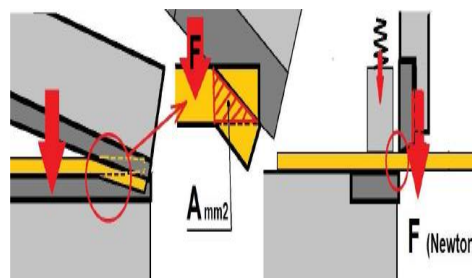


Fig. I.55 Presse hydraulique à découper.

I.3.4.1. Découpage laser

Cette procédure permet une coupe précise, propre et rapide d'une variété de matériaux jusqu'à une épaisseur de 25 mm, La coupe de l'article est simple et la zone affectée par la chaleur (ZAT) est assez petite (environ 0,5 mm sur les métaux), ce qui entraîne très peu de pièces déformées. La réalisation des trous est simple, mais leur diamètre doit être au moins égal à l'épaisseur de la tôle si celle-ci dépasse 10 mm, Souvent, la même machine peut également graver (texte, etc.). La coupe est effectuée à l'aide de plaques de matériau, qui donnent normalement des articles plats après avoir été tranchés. Certains matériaux, comme l'argent ou

le cuivre, sont plus difficiles à découper au laser en raison de leurs propriétés réfléchissantes élevées ; dans ces cas, la découpe au jet d'eau haute pression est préférable (fig. I.57).



Fig. I.56 Machine de découpe laser.

I.3.4.2. Découpage jet d'eau

L'eau, ou plus précisément un fluide, peut contenir des additifs, notamment pour aider à la coupe du matériau. Avec l'ajout d'abrasif, la découpe au jet d'eau permet de couper des métaux, des pierres, des marbres et du verre d'une épaisseur allant jusqu'à 600 millimètres.

Il existe deux méthodes de coupe (fig. I.58) :

- Découpe à l'eau pure (tous les matériaux sont tranchés au cutter) ; buse de coupe allant de 0,08 mm à 0,30 mm ;
- Découpe à l'eau chargée d'abrasif (tous matériaux); l'eau coule à travers la buse, le sable est ajouté et l'eau et le sable traversent le canon de focalisation, ce qui garantit que le mélange est cylindrique ; Buse de coupe d'un diamètre de 0,20 mm à 0,40 mm
- Un seul matériau ne peut être découpé au jet d'eau : le verre trempé, qui éclate au millimètre près à cause des contraintes énormes du matériau ;
- La buse de coupe refoule de l'eau sous très haute pression (jusqu'à 6150 bars).



Fig. I.57. Découpage par jet d'eau.

I.3.4.3. Découpage plasma

La découpe plasma se distingue par les mélanges gazeux utilisés. Les jets de plasma sont créés lorsqu'un arc électrique se forme entre une électrode à l'intérieur de la torche de coupe et la pièce. Le plasma se forme lorsqu'une combinaison de gaz ionisés sort de la buse. La puissance calorifique du jet (environ 18 000°C) entraîne une fusion quasi instantanée qui s'étend sur toute l'épaisseur de la pièce. La découpe au plasma est principalement utilisée dans l'industrie métallurgique. Il permet la coupe précise de tôles d'épaisseur allant de 0 à 160 mm avec une tolérance de plus ou moins 0,2 mm (fig. I.59).

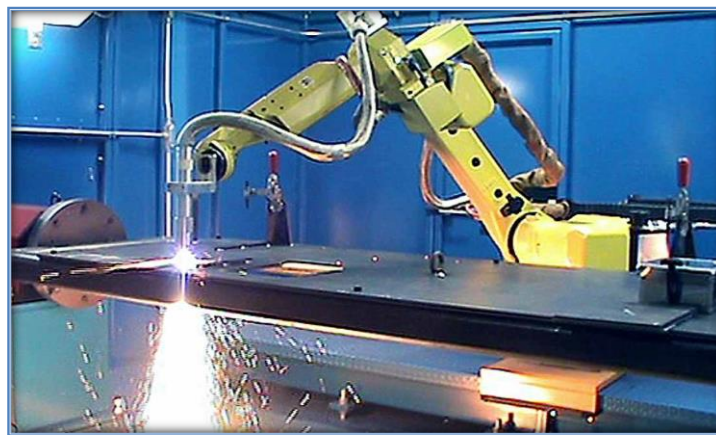


Fig. I.58 Découpage plasma réalisé par un robot industriel.

Sur une machine de découpe au plasma, la température extrêmement élevée fait fondre le métal instantanément, tandis que le gaz sous pression chasse progressivement les gouttelettes de métal en fusion. En raison des fumées dangereuses dégagées par les températures de fonctionnement très élevées, le fonctionnement de la torche de coupage plasma doit se faire dans des locaux spécialement ventilés ou à l'air libre. Certains systèmes de coupage plasma disposent d'une alimentation en eau calibrée qui jaillit de la torche à plasma, permettant au métal d'être refroidi rapidement après le coupage plasma tout en empêchant la décharge de ces gaz nocifs.

I.3.5. Usinage photochimique

L'usinage chimique est une technique qui permet de découper et/ou graver des pièces métalliques avec une extrême précision et sans bavures. Par rapport à d'autres technologies sur le marché, telles que la découpe mécanique, l'emboutissage, l'électroérosion à fil ou la découpe laser, la découpe photochimique offre des avantages significatifs. Les solutions d'attaque

chimique et les résines photosensibles (ou photoresist) sont les deux composants majeurs du procédé d'usinage photochimique (fig. I.60).



Fig. I.59 Pièces réalisées par usinage photochimique.

I.3.5.1. Principe

Les solutions de gravure chimique et les résines photosensibles sont les deux principaux composants du processus d'usinage photochimique (ou photoresist). Ce processus de fabrication peut être condensé en quatre phases :

- La préparation de surface, qui consiste à préparer la surface du matériau afin de maximiser l'adhérence à la résine photosensible.
- La procédure de photolithographie.
- La phase chimique de gravure.
- Le décapage, qui consiste à retirer la résine photosensible et à nettoyer soigneusement les composants.

I.3.5.2. Objectifs

L'usinage photochimique peut être utilisé pour fabriquer des pièces à partir de pratiquement n'importe quel métal, ainsi que d'autres matériaux, y compris le verre et le polyimide. Les aciers inoxydables, les métaux ferreux et les métaux cuivreux, en revanche, représentent la majorité de la production d'usinage photochimique. Des panneaux dont l'épaisseur varie de quelques microns à 2 mm sont couramment utilisés dans l'industrie. Cette approche assure la fabrication de pièces aux formes géométriques très complexes et aux tolérances serrées lorsqu'elles sont utilisées sur des matériaux fins (moins de 0,1 mm) et couplée à la précision de la photolithographie. Dans l'usinage photochimique, les tolérances pour les pièces sont généralement de +/- 10 % de l'épaisseur du matériau coupé.

I.3.5.3. Avantages de l'usinage photochimique :

- Presque tous les métaux peuvent être usinés ;
- Il n'y a pas de bavures ;
- Haute précision ;
- Les propriétés physiques du matériau de base ne sont pas altérées ;
- Une géométrie extrêmement compliquée est possible ;
- Des tôles métalliques d'épaisseurs allant de 0,01 mm à 2 mm peuvent être traitées à l'aide de cette méthode ;
- Production de pièces en vrac (sans attache) ;
- Développement d'outils rapides et peu coûteux ;
- Gravure et découpe en un seul procédé.

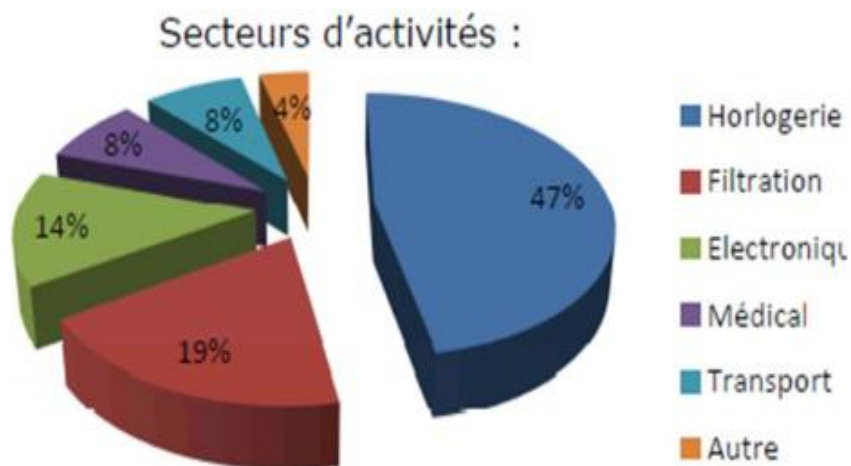
I.3.5.4. Secteurs d'activités (fig. I.61)

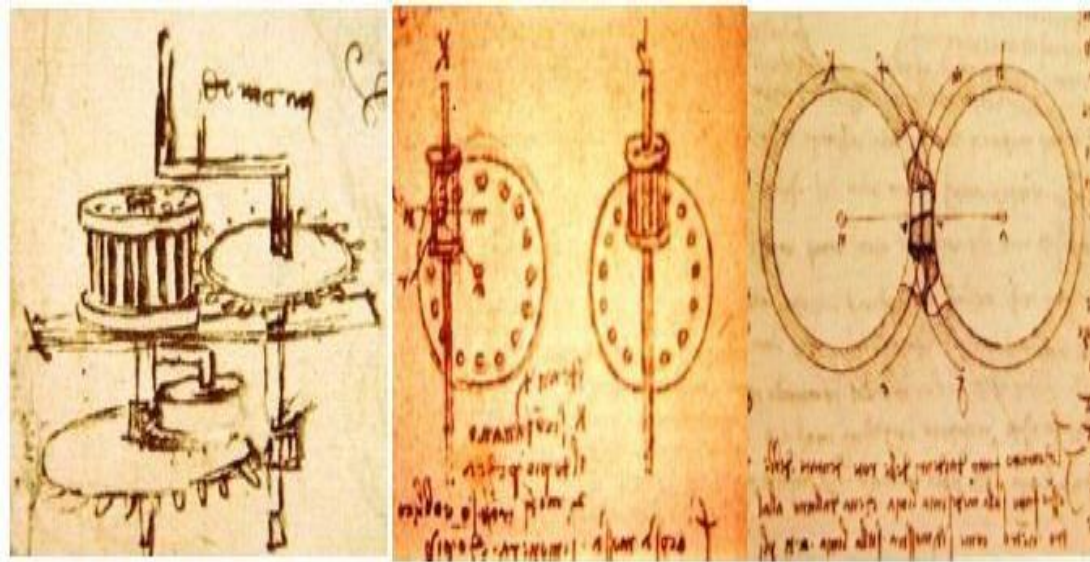
Fig. I.60. Illustration des secteurs d'activités

Chapitre II :
Étude et conception d'un baladeur
(engrenage étagé à deux diamètres)

II.1. Les engrenages

II.1.1. Historique

L'histoire des engrenages commence avec les roues à friction dans les cultures anciennes. Les mathématiciens n'ont pas commencé à utiliser des considérations géométriques pour identifier le meilleur profil de dent d'engrenage avant la période de la Renaissance. Les calculs mathématiques, l'apparence géométrique, la détérioration, les matériaux, la production et la vérification font tous partie du processus de conception des engrenages. Parmi toutes ces variables, la connaissance des contraintes dans la dent de l'engrenage est essentielle pour éviter certains risques de rupture. Ainsi, à partir de la fin du XIXe siècle, de multiples approches théoriques et expérimentales se sont établies ; la figure II.3 montre les dessins de Léonard de Vinci de plusieurs mécanismes. [2]



FigII.01. Dessin représente des mécanismes par Léonard de Vinci [2]

II.1.2. Définition

Un engrenage est un composant mécanique composé de deux roues dentées en prise l'une avec l'autre. Engrenages fabriqués selon les normes internationales I.S.O. font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus largement utilisés dans le monde industriel. Ils ont l'avantage d'être facilement interchangeables et de permettre une fabrication rentable. Ils sont largement utilisés dans un large éventail d'industries de construction mécanique, y compris les automobiles, les appareils de levage et en particulier les boîtes de vitesses, ainsi que les machines-outils. [3]

II.1.3. Pourquoi on les utilise ?

La fonction globale d'un engrenage est de transmettre le mouvement de rotation et la puissance entre deux arbres parallèles contemporains et perpendiculaires ou opposés. Ils offrent l'avantage d'un bon rendement et d'un encombrement relativement réduit pour un prix de revient modéré. L'énorme diversité d'engrenages que l'on trouve dans divers secteurs démontre l'importance des engrenages en tant qu'élément mécanique nécessaire et parfait. Bien que les nouvelles technologies aient remplacé certains usages des engins, il reste un élément mécanique dont l'utilisation ne cesse de croître. Le pignon est le plus petit organe, la roue est le second et la couronne est la plus grande roue intérieure. La figure 4 décrit les différentes méthodes de maillage. L'une des roues peut avoir un rayon illimité, appelé crémaillère.

Une distinction est faite entre les types d'engrenages suivants :

- Engrenages à axes parallèles et à denture droite ou hélicoïdale,
- Engrenages à axes concourants et à denture droite ou hélicoïdale,
- Engrenages à axes non concourants ou obliques et à denture droite ou hélicoïdale dents (roue - ver, hypoïde, etc.) [3]

II.1.4. Principaux types d'engrenages

II.1.4.1. Engrenages droits à denture droite

Ce sont les plus courants car les arbres sont parallèles et les dents des deux engrenages sont également parallèles à l'axe de rotation des arbres

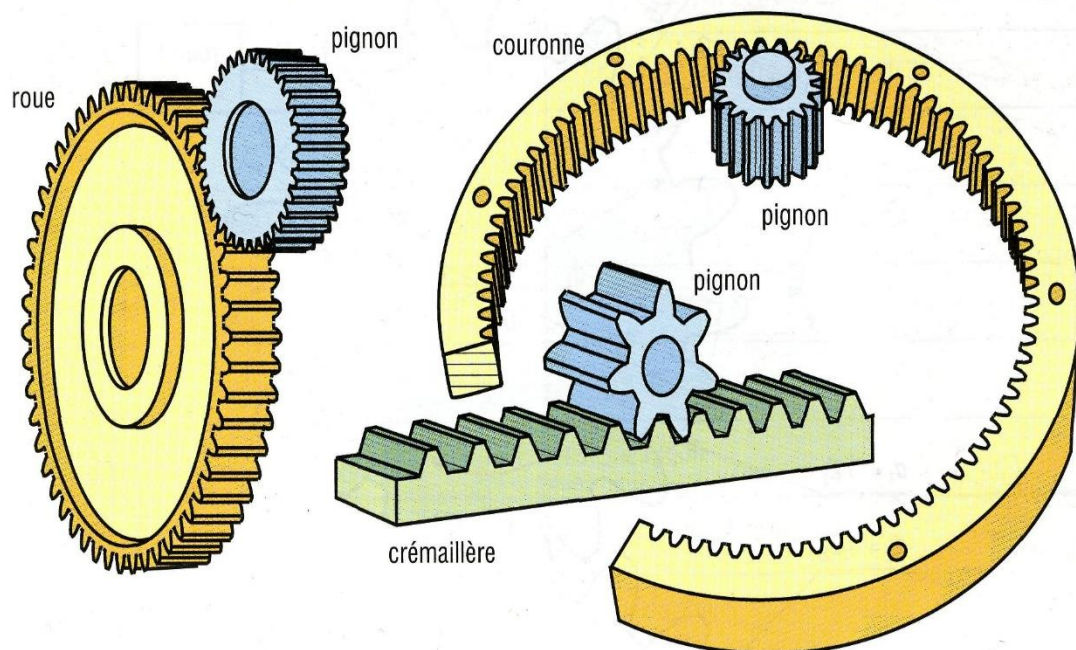


Fig. II.02. Différents types d'engrenages droits à dentures droites.

- **Les Avantages :**

- Plus Simple et économique.
- Pas d'efforts axiaux.

- **Les Inconvénients :**

- Vitesse de rotation limité.
- Bruyant.
- Entraxe prenant des valeurs finies.

II.1.4.2. Engrenages droits à denture hélicoïdale

Les dents des deux engrenages sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des arbres, ce qui les rend plus silencieux et plus efficaces dans la transmission de puissance et de couple que les précédents. Les forces axiales sont générées par l'inclinaison des dents.

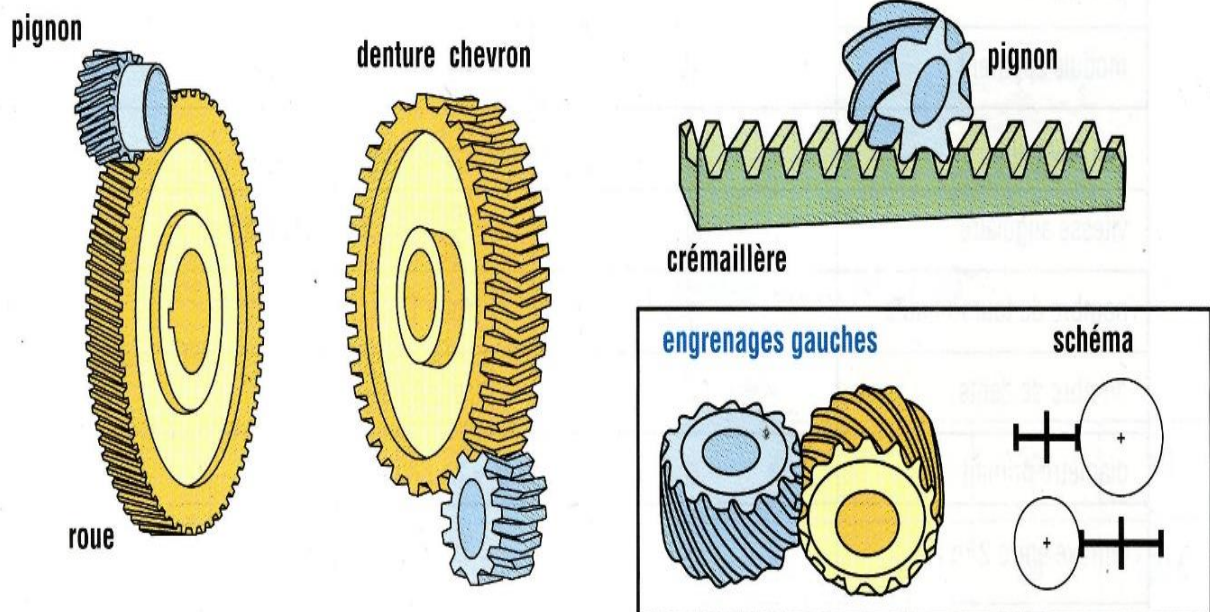


Fig. II.03. Différents types d'engrenages droits à denture hélicoïdale et le Dessin normalisé.

Une denture à chevrons, ou denture "Citroen", est constituée de deux dents hélicoïdales de même diamètre mais avec des hélices dans des directions opposées pour annuler la contrainte axiale sur l'ensemble. Il a été conçu par Charles Renard mais breveté par André Citroën. Bien qu'agréable en théorie, ce type de denture est difficile à réaliser en pratique car le profil à la jonction des deux hélices n'est pas apparent ; par conséquent, il est coûteux à produire. Certains fabricants usinent une rainure centrale pour permettre le dégagement des outils de coupe à la jonction des deux hélices ; la rainure facilite également l'écoulement du lubrifiant, ce qui permet de réduire la température de fonctionnement. L'industrie lourde est la principale utilisation des dents à chevrons.

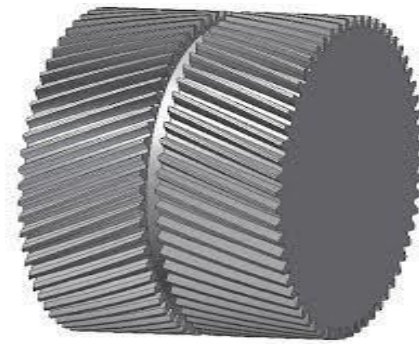


Fig.II.04. Pignon à denture en chevron avec rainure centrale.

- **Les Avantages**

- La transmission est plus douce et plus silencieuse
- Transmission d'effort et de vitesse plus important
- Possibilités d'entraxes infinis

- **Les inconvénients**

- Solution moins économique
- Rendement moins bon

II.1.4.3. Engrenages coniques

Les dents sont taillées dans des surfaces coniques et sont utilisées pour transmettre le mouvement entre des arbres parallèles, qu'ils soient perpendiculaires ou non. Des dents droites, ainsi que des dents hélicoïdales et en spirale, sont disponibles.

- **Les avantages**

- Arbres n'est pas parallèles.
- Possibilité de choisir le sens de rotation de la roue menée.

- **Les inconvénients**

- Solution moins économique.
- Nécessité d'un réglage des roues au montage.

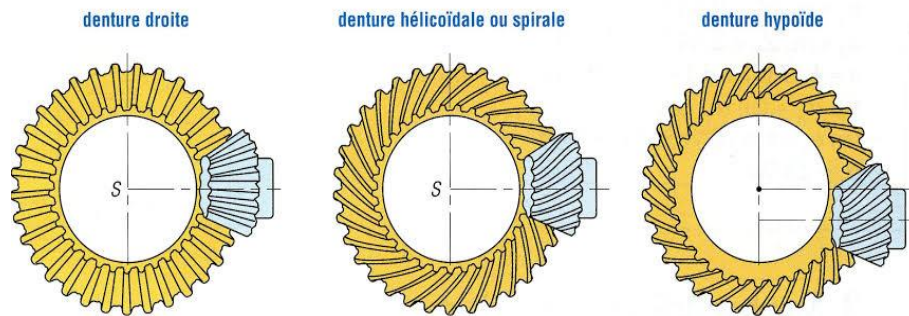


Fig. II.05. Différents types d'engrenages coniques et le Dessin normalisé.

II.1.4.4. Engrenages roue et vis sans fin

L'une des roues a la forme d'une vis, tandis que l'autre a la forme d'une roue hélicoïdale. Le sens de rotation de la roue est déterminé par le sens de rotation de la vis, ainsi que l'inclinaison des dents, filetage à gauche ou à droite. Il est possible d'atteindre l'irréversibilité.

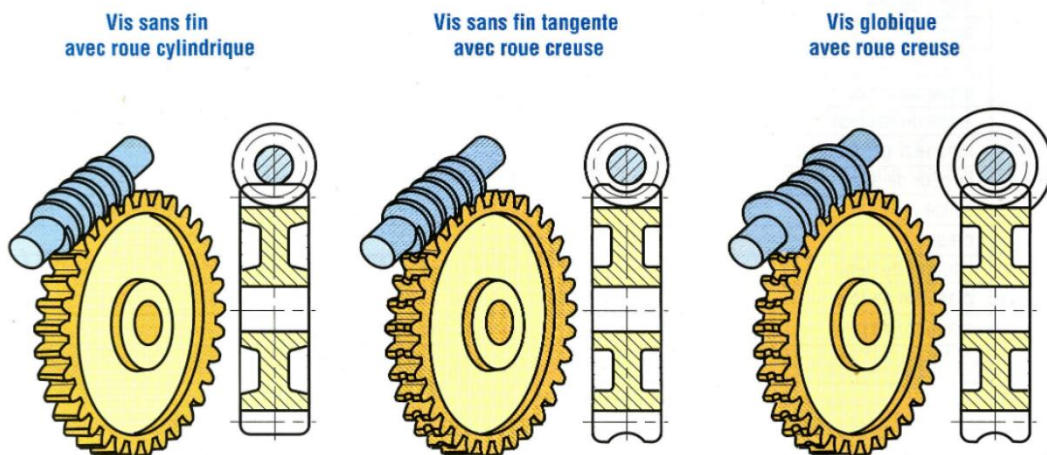


Fig.II.06. Principaux engrenages roue et vis.

- **Les avantages**

- Arbres quelconques (Très souvent orthogonaux).
- Rapport de réduction plus élevés.

- **Les Inconvénients**

- Rendement très faible.
- Parfois non réversible.

II.1.5. Les diverses utilités des engrenages

- Réduction et variation de la fréquence de rotation entre deux arbres
- Réduction ou augmentation du couple moteur
- Transmission d'un mouvement de rotation
- Transformation des caractéristiques d'un mouvement

II.1.6. Les éléments d'un engrenage [3]

II.1.6.1. Cercles ou cylindres primitifs

La zone de contact entre le pignon et la roue lorsque le pignon et la roue roulent sans glisser. De ce fait, on peut réduire l'engrenage à deux cercles primitifs qui roulent sans glisser l'un sur l'autre. (Ces cercles sont tangents l'un à l'autre).

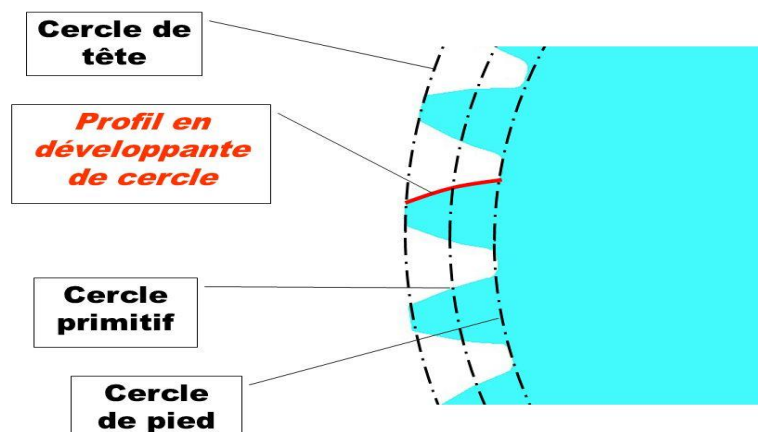


Fig. II.07. Cercles primitifs et tête et pied

II.1.6.2. Cercles ou cylindres de tête

Ce sont des cercles passant par les sommets des dents.

II.1.6.3. Cercles ou cylindres de pied

Ce sont des cercles passant par les pieds des dents.

II.1.6.4. Entraxe

C'est la distance entre les deux axes des deux roues.

II.1.6.5. Pas primitif

C'est la distance entre deux dents consécutives au niveau du cercle primitif. (Voir la figure 08),

II.1.6.6. Saillie et creux d'une dent

Ce sont les parties de la dent se situant entre le cercle primitif et respectivement le cercle tête et le cercle de pied de l'engrenage.

II.1.6.7. Le module m

C'est une grandeur caractéristique d'une denture exprimée en millimètres. Représentant la dimension de la denture tel que $m=ha$ (voir la figure II.09). Deux roues ne peuvent engrener ensemble si elles ont le même module.

Les éléments d'un engrenage droit à denture droite sont représentés dans les deux schémas suivants.

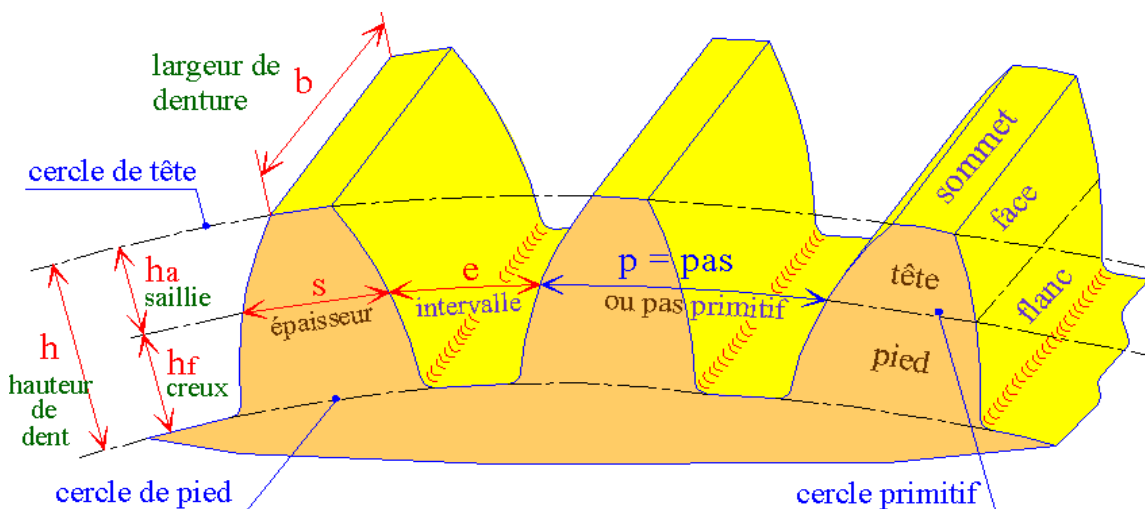


Fig. II.08. Caractéristiques de la denture

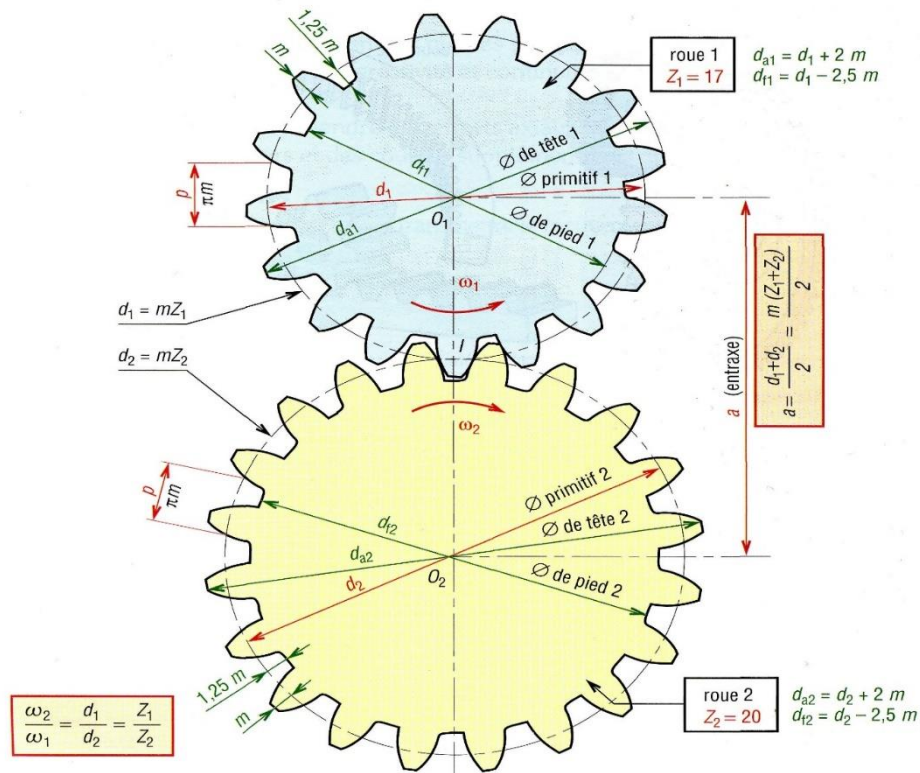


Fig. II.09. Entraxe, diamètres, pas et m module normalisé (denture normale).

II.1.6.8. La ligne d'action

C'est la droite normale au contact entre les dents des deux roues. Elle est donc le support del'action d'une roue sur l'autre

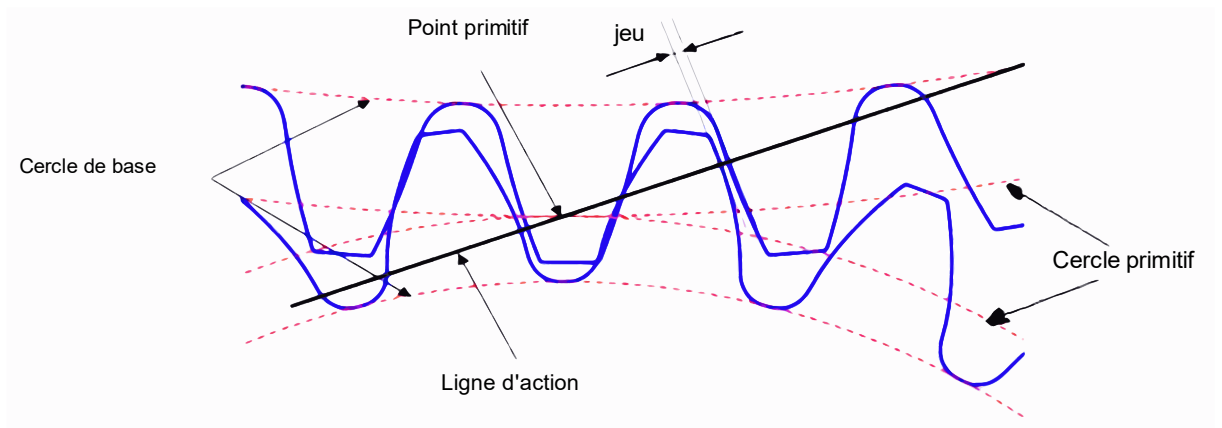


Fig. II.10. Ligne d'action.

II.1.6.9. Angle de pression

La ligne d'action est invariante quel que soit la position des roues. Elle est inclinée d'un angle appelé angle de pression par rapport à la tangente aux cercles primitifs.

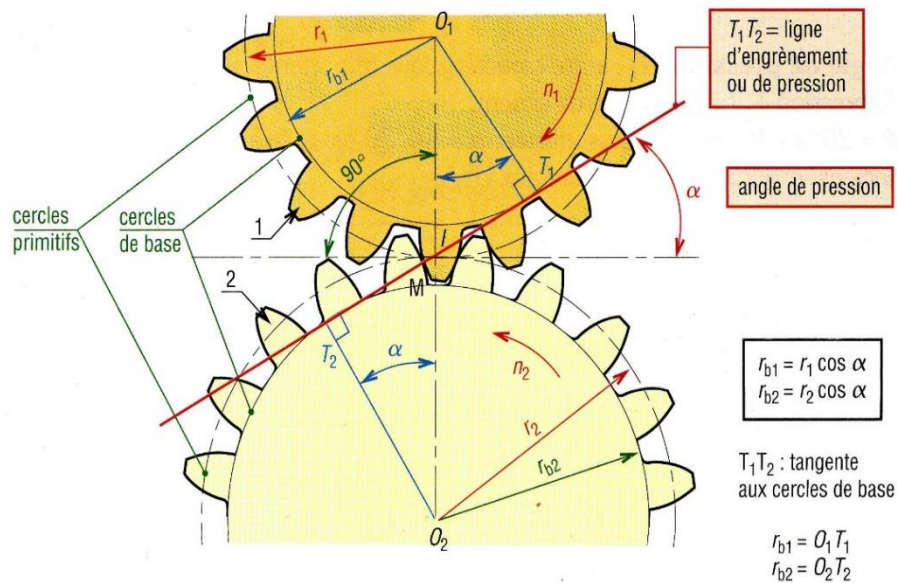


Fig. II.11. Angle de pression.

II.1.7. Profil des dents

Les dents doivent pouvoir maintenir les deux roues en contact à tout moment, permettre une rotation continue d'une roue par rapport à l'autre et empêcher le blocage de l'engrenage. Le profil d'une dent de roue dentée n'est ni une ligne droite ni un arc de cercle.

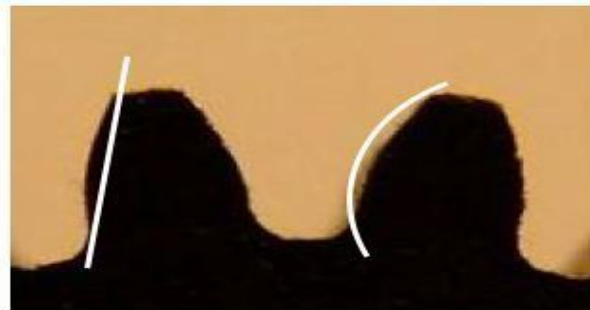


Fig.II.12 Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle [3].

II.1.8. Profil en développante de cercle [3]

Le profil en développant le cercle, qui est formé par le mouvement absolu d'un point appartenant à une droite roulant sans glisser sur un cercle, est utilisé par la plupart des engrenages. Les normales de la courbe restent tangentes à un cercle fixe.

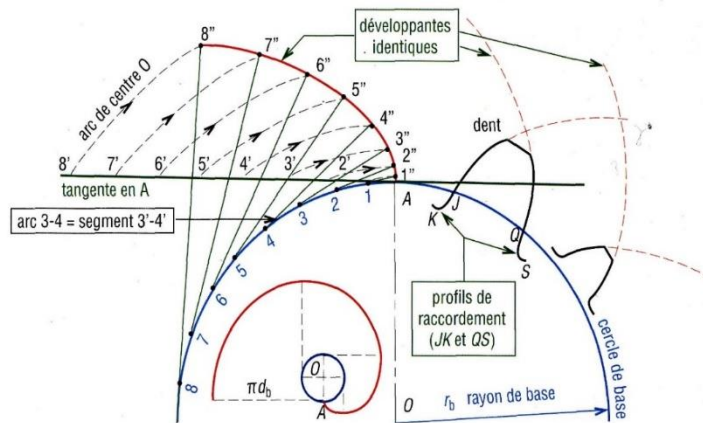


Fig. II.13 Développante de cercle.

La développante d'un cercle est représentée à la "Figure II.13". La ligne verte, horizontale et tangente au cercle de base au point A, trace un profil dit "profil en développante de cercle" en roulant sans glisser la ligne sur le cercle de base.

Remarque : pour la tangente au point repère 8, le segment 88'' est égal à l'arc 8A lui-même égal au segment 8'A. La remarque est la même pour les autres points est représentée à la "Figure II.14"

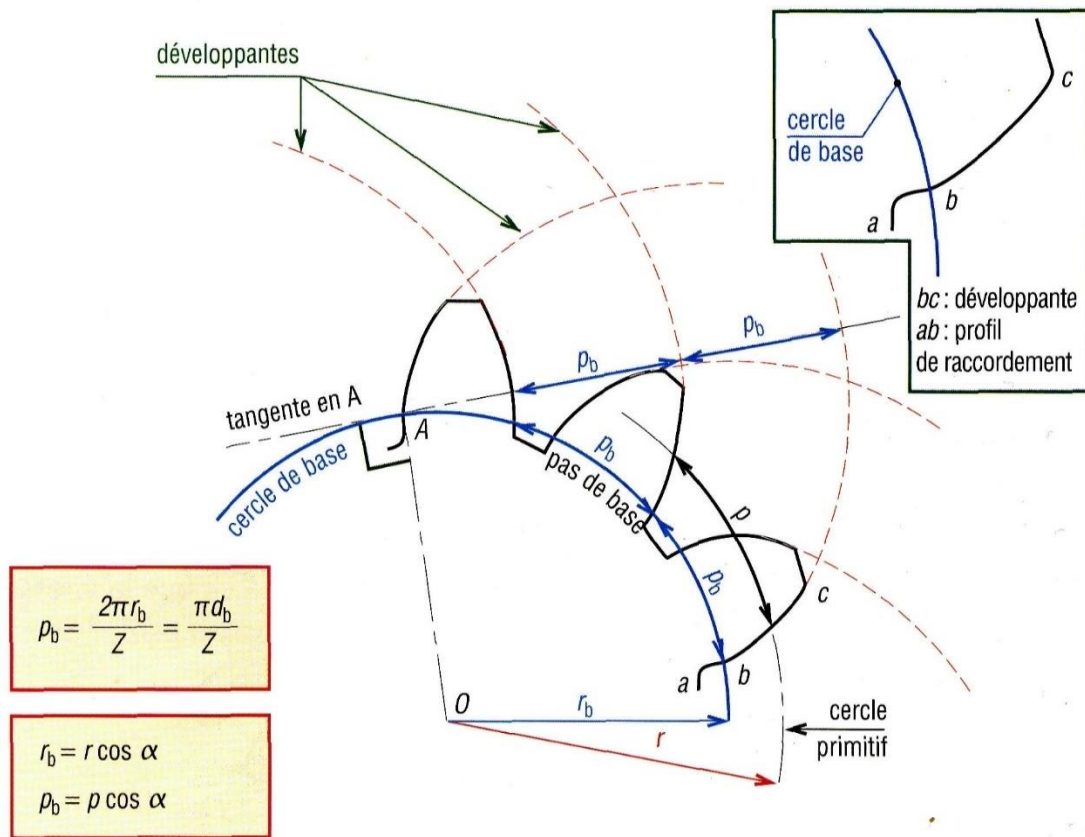


Fig.II.14 Pas de base

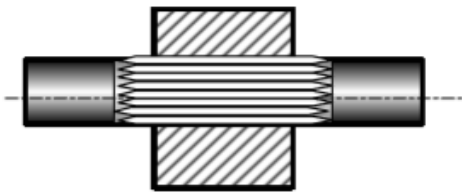
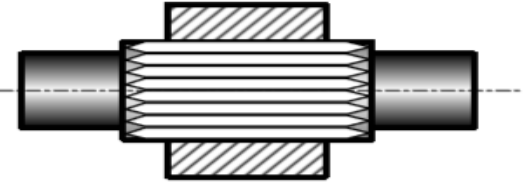
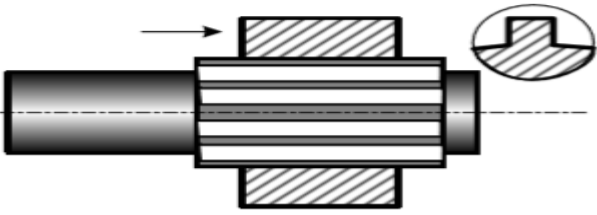
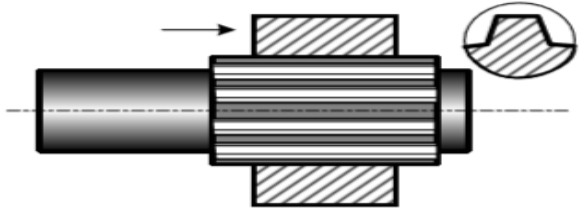
II.1.9. Les cannelures.

Lorsque le couple à transmettre entre deux pièces est important, les cannelures et crans sont destinés à assurer une liaison fixe ou une liaison en rotation entre ces deux pièces.

Les cannelures sont classées en deux types en fonction de la géométrie de leurs côtés.:

- Les cannelures à flancs parallèles
- Les cannelures à flancs en développante de cercle.

Tableau. II. 1 Dentelure et cannelures

Dentelure et cannelures	Figures
Dentelure petite commande	
Dentelure rectiligne	
Cannelures à flancs parallèles	
Cannelures à flancs en développante de cercle	

II.1.9.1 Les Cannelures à flancs parallèles

Ces cannelures sont simples. Cependant, du fait du manque de précision dans le centrage, ces cannelures ne sont pas adaptées aux vitesses de rotation élevées.

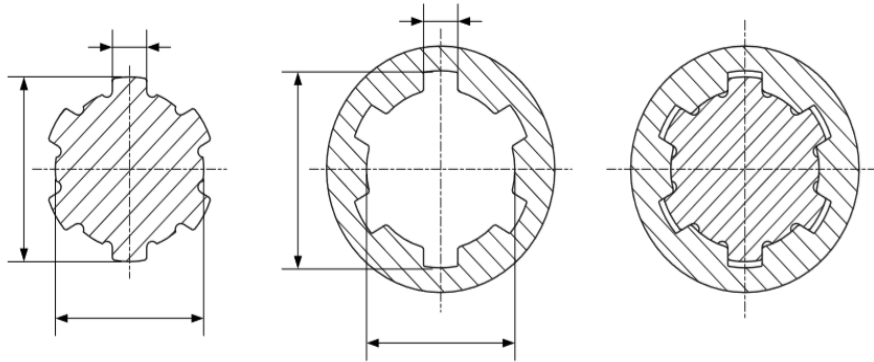


Fig.II.15 Cannelures à flancs parallèles.

II.1.9.2. Les Cannelures à flancs en développante de cercle

Ces cannelures sont utiles pour la rotation à grande vitesse en raison de l'excellent centrage qu'elles permettent d'obtenir.

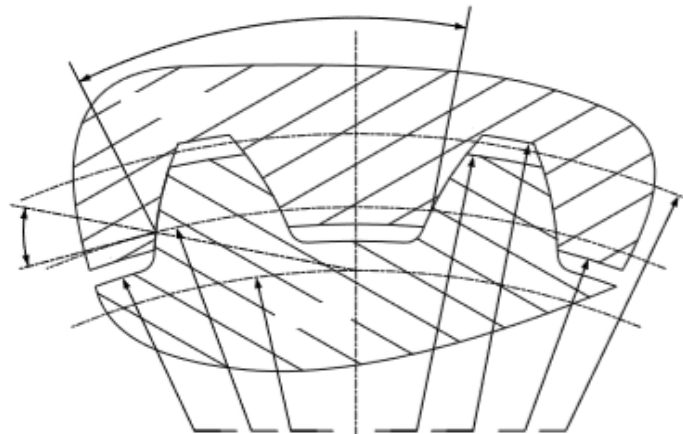


Fig.II.16 Cannelures à flancs en développante de cercle.

II.1.10. Les Clavettes

Une clavette est une pièce mi- implantée dans l'arbre et mi- implantée dans le moyeu pour les rendre solidaires en rotation et parfois en translation.

On distingue :

- Les clavetages longitudinaux où les clavettes sont parallèles à l'axe des pièces à immobiliser.
- Les clavetages transversaux où une clavette transversale immobilise en rotation et en translation deux pièces généralement coaxiales.

Les clavetages les plus courants sont les clavetages longitudinaux, que l'on distingue comme suit :

- Les clavettes inclinées
- Les clavettes parallèles
- les clavettes disques.

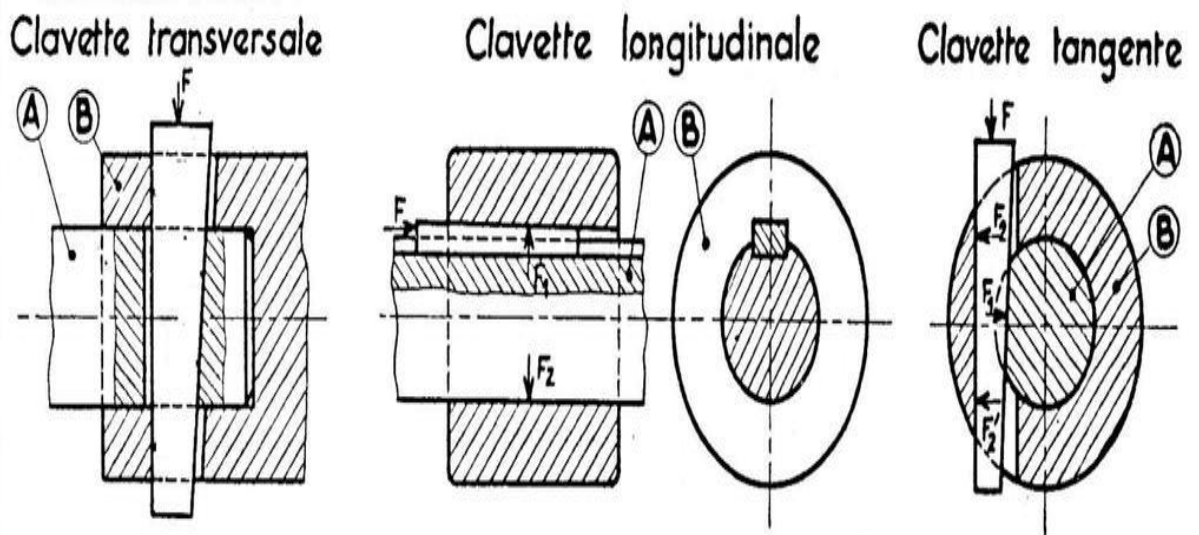


Fig.II.17. Types des clavettes.

II.1.11. Caractéristiques et formule des engrenages cylindriques à denture droite

Les caractéristiques et la formule des engrenages droits sont indiquées dans le Tableau

Tableau. II. 2 Caractéristiques des engrenages à denture droite.[3]

Désignation	Symbole	Formule
Module	M	Par un calcul de RDM
Nombre de dents	Z	Par un rapport de vitesse
Diamètre primitif	D	$D = mZ$
Diamètre de tête	Da	$Da = D + 2m$
Diamètre de pied	Df	$Df = D - 2.5m$
Saillie	Ha	$ha = m$
Creux	Hf	$hf = 1.25m$
Hauteur de dent	H	$h = 2.25m$
Pas	P	$P = \pi m$
Largeur de denture	B	$b = km \ (7 \leq k \leq 12)$
Entraxe	A	$a = r_1 + r_2 = (d_1 + d_2)/2$
L'épaisseur	S	$S = p/2 = \pi m/2$

Le module m est normalisé, le tableau ci-dessous représente les valeurs normalisées du module m :

Tableau. II. 3 Modules normalisés des engrenages.

Valeurs normalisées du module m (en mm)				
0.06	0.25	1.25	5	20
0.08	0.30	1.5	6	25
0.1	0.40	2	8	32
0.12	0.5	2.5	10	40
0.15	0.75	3	12	50
0.2	1	4	16	60

On peut calculer le module m par la relation suivante :

$$m \geq 2.34\sqrt{(F_t/(k+R_{pe}))}$$

Avec :

R_{pe} : résistance pratique à l'extension, elle dépend du matériau utilisé.

F_t : effort tangentiel sur la dent.

k : coefficient de largeur de denture

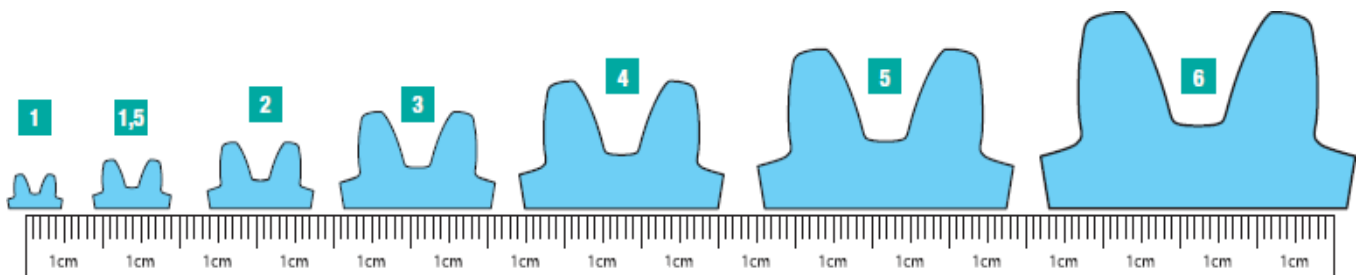


Fig.II.18. Modules d'engrenages cylindriques à denture droite en grandeur naturelle.

II.1.12. Obtention des roues dentées [3]

Le profil des dents de l'engrenage est compliqué. Ces formules peuvent être obtenus de différentes manières. La forme des outils est déterminée par le module, et de nombreux outils ne sont conçus que pour réaliser un type de denture particulier, il n'y a donc qu'un seul module standardisé.

La méthode la plus courante d'usinage d'engrenages est le taillage d'engrenages. Cela nécessite une machine unique qui peut être produite en masse avec profit.

Les outils employés étaient :

- L'outil crémaillère.
- L'outil pignon.
- La fraise-mère

Il existe d'autres procédés :

- L'usinage par fraise-disque.
- Le forgeage.
- Le brochage.
- Le frittage.



Fig.19. Exemple de taille avec outil pignon, source [4]

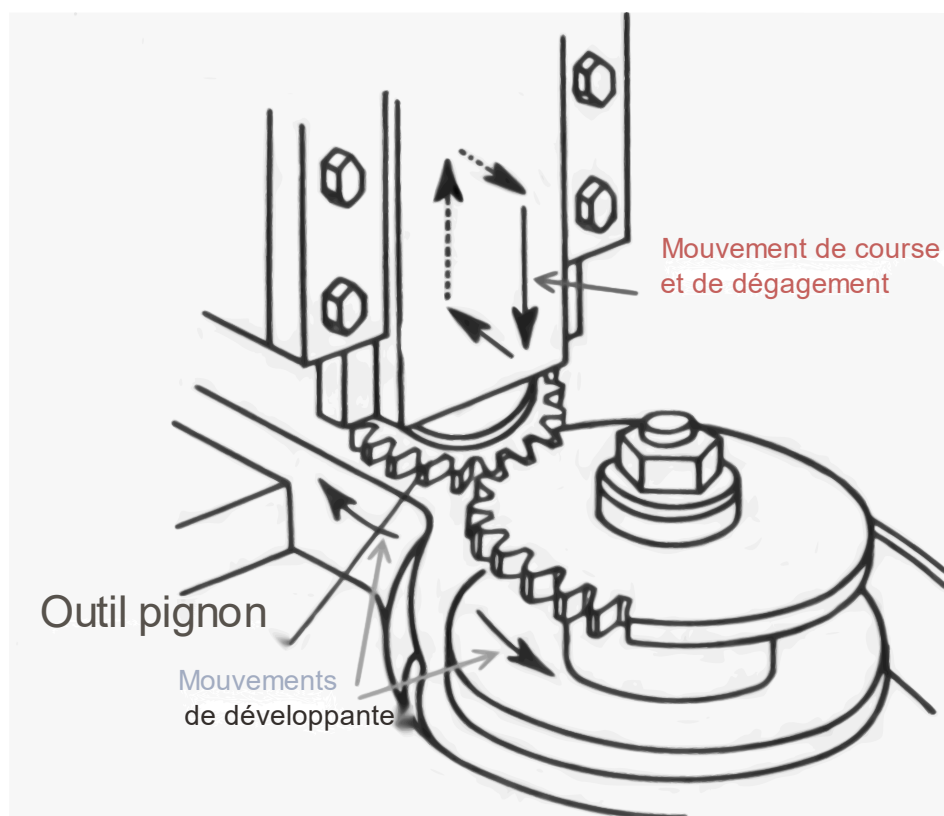


Fig.20. Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil pignon, image [5]

***Chapitre III : Réalisation et
modélisation numérique.***

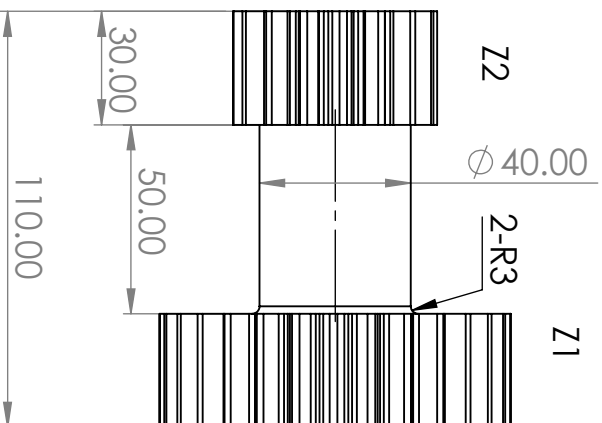
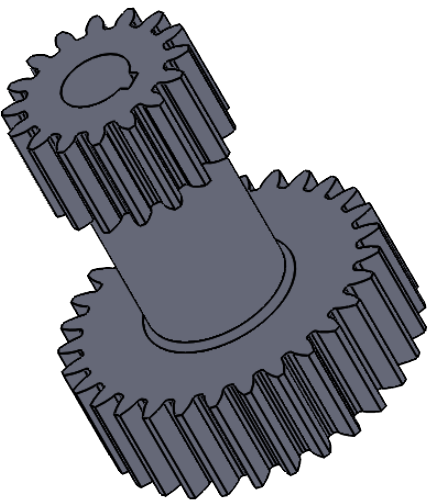
III.1. Introduction

Ce chapitre présente les différentes étapes de la construction et Réalisation et modélisation numérique d'un baladeur (engrenage étagé à deux diamètres).

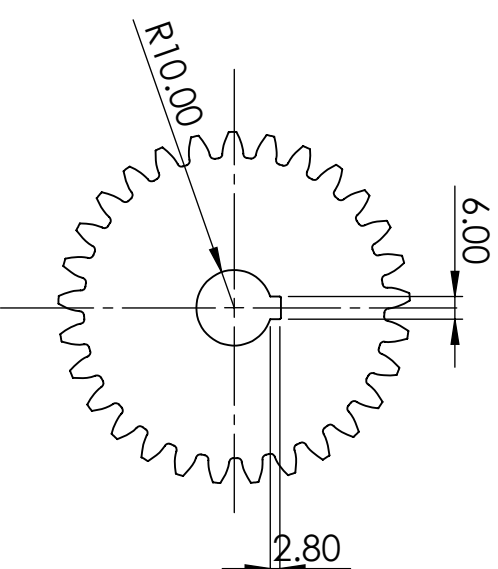
Les engrenages sont l'un des systèmes de transmission de mouvement les plus élémentaires, avec une force, une vitesse et un sens de rotation ou de translation (cas de la crémaillère). Les systèmes d'engrenages sont utilisés pour augmenter ou diminuer la force ou la vitesse d'un objet.

En effet, avant de passer en production, les gammes sont toujours testées expérimentalement. Cette série de tests se fait sur des préséries. La fabrication des pièces brutes et des éléments d'assemblage, l'usinage des pièces, l'inspection des surfaces, etc. demandent beaucoup de temps et de ressources. En cas de non-conformité, la gamme voire le design de l'article doivent être modifiés, allongeant ainsi les délais de montage. L'incorporation d'erreurs géométriques et de facteurs dynamiques dans la chaîne CAD/CAM réduit considérablement le risque de conceptions erronées.

GAMME D'USINAGE



Z2=16
m=3
 $\varnothing_{ext}=54$
 $\varnothing_{Prim}=48$
 $\varnothing_{int}=40.5$



Z=29
m=3
 $\varnothing_{ext}=93$
 $\varnothing_{Prim}=87$
 $\varnothing_{int}=79.5$

ENTREPRISE DES CONSTRUCTIONS MECANIQUE KHANCHIELA

E. C. M. K

Produit:

Univ.de khenchela



Echelle: 1:2

Code:

Désignation:

baladeur de vitesse

Dessiné Par:

Le:

Vérifié Par:

Le:

Référence:

Modifié Par:

Le:

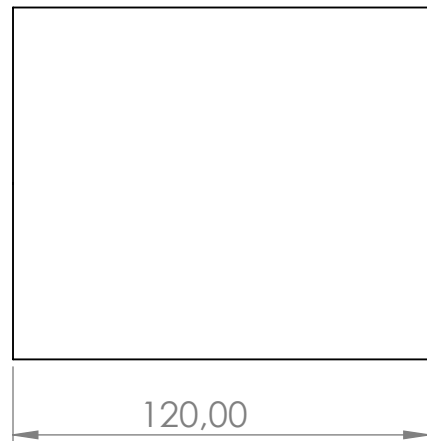
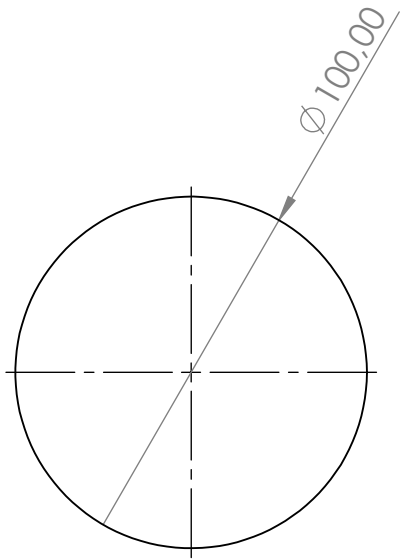
Modification N°-:

T.T.H:

MAT:A45

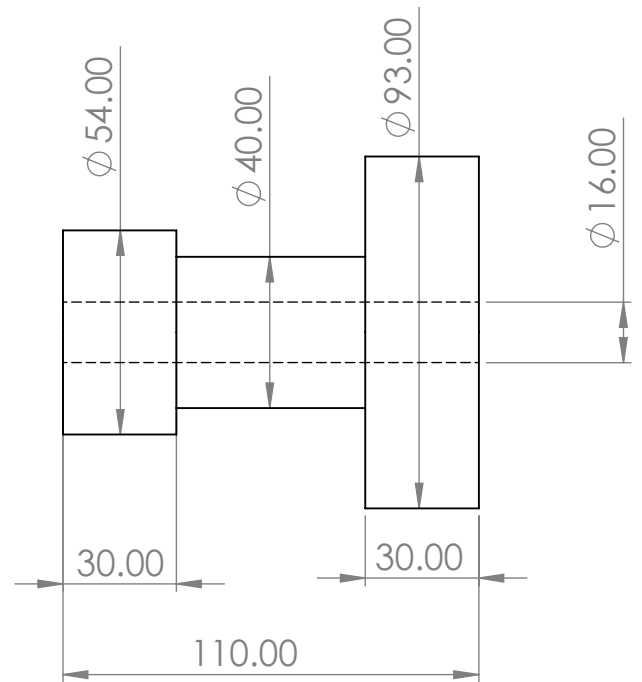
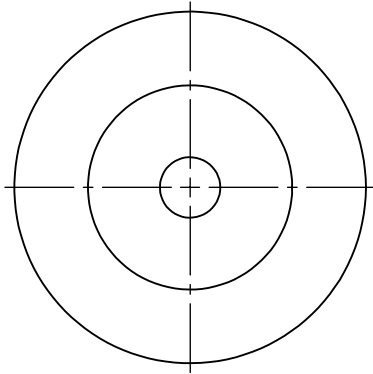
Dimension de brute $\varnothing 100 \times 120 \times 01$

phase N:1	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil : machine a scier ultradiam		Dèsignation : Débitage



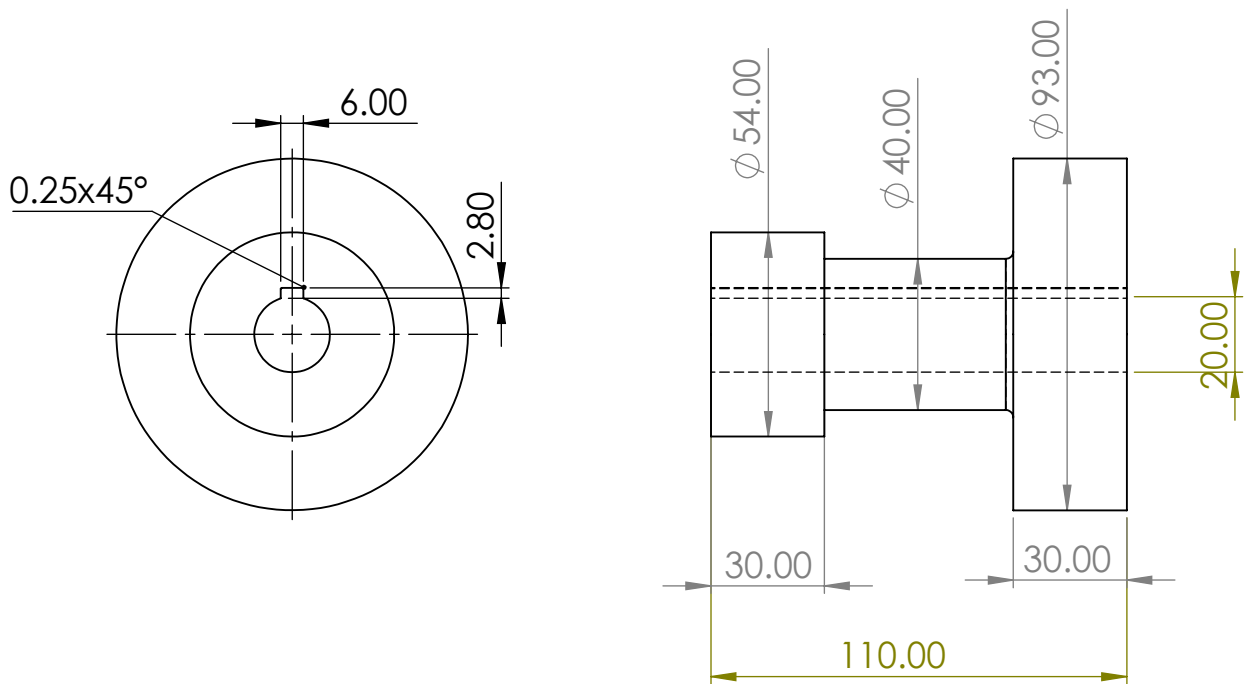
Dèsignation des opération	Outils	Vèrificateurs
1 - Dèbitage : ϕ 100 X120X1	Outils-Scie	Règle
Dèsignation de port-pièce :	- Etau en V	Temps d'usinage: 30(min)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 1 sur 7

phase N:2	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :TOUR	Dèsignation : TOURNAGE EN EBAUCHE	



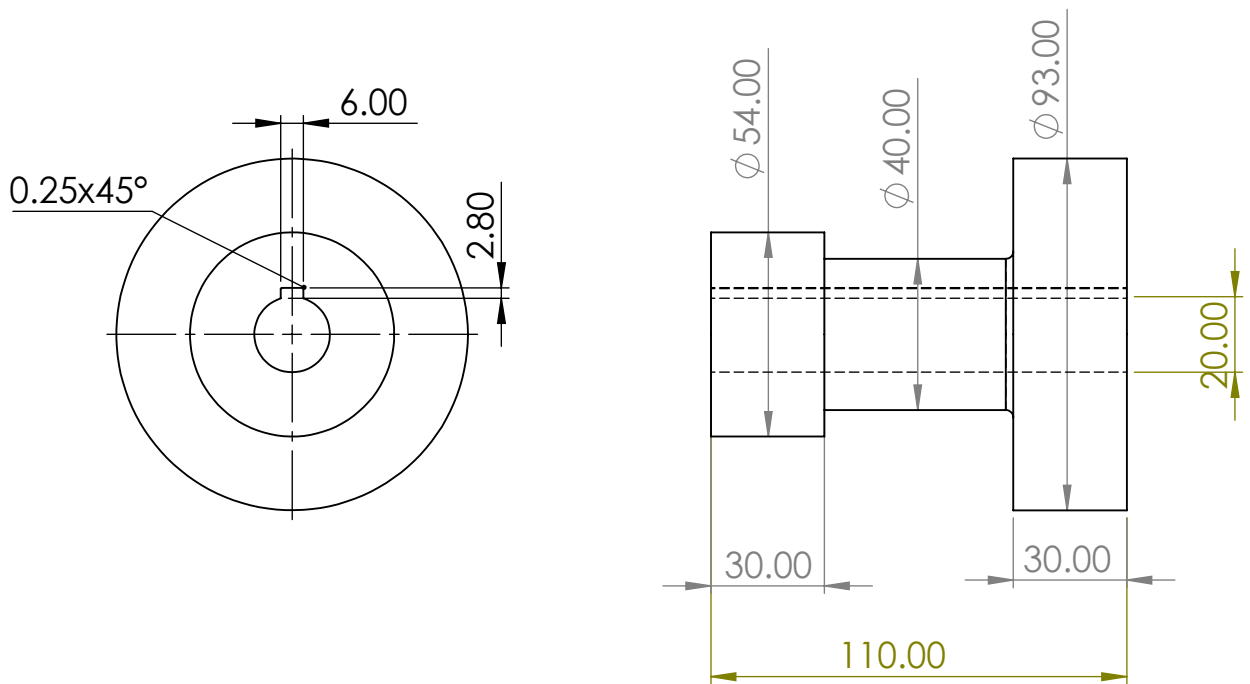
Dèsignation des opèration	Outils	Vèrificateurs
1 - chariotage 2 - dressage 3 - centrage 4 - perçage	Outils de charioter Outils de charioter foret à center dim 3 foret dim 20	PIED A COULISSE
Dèsignation de port-pièce :	- Etou	Temps d'usinage: 60(min)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 2 sur 7

phase N:3	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :TOUR	Dèsignation : Mortissage	



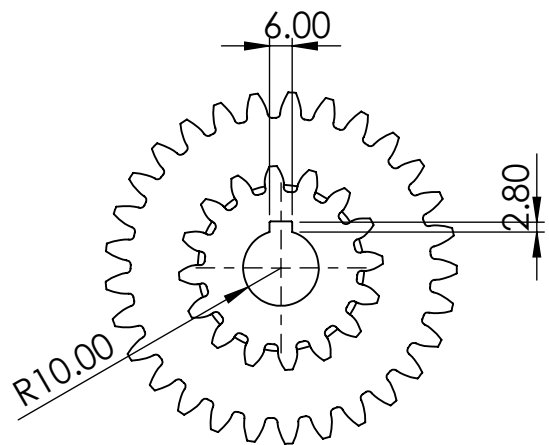
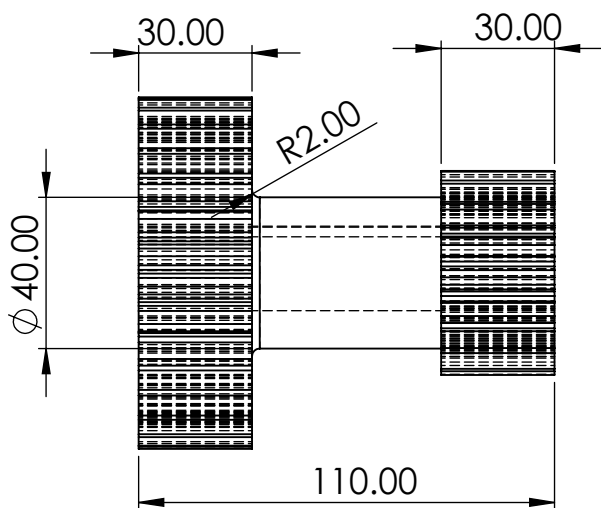
Dèsignation des opèration	Outils	Vèrificateurs
1 - motissage	port outile de clavette 6x3	PIED A COULISSE
Dèsignation de port-pièce :	- Etou	Temps d'usinage: 60(min)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 3 sur 7

phase N:4	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :TOUR	Désignation : TOURNAGE EN FINITION	



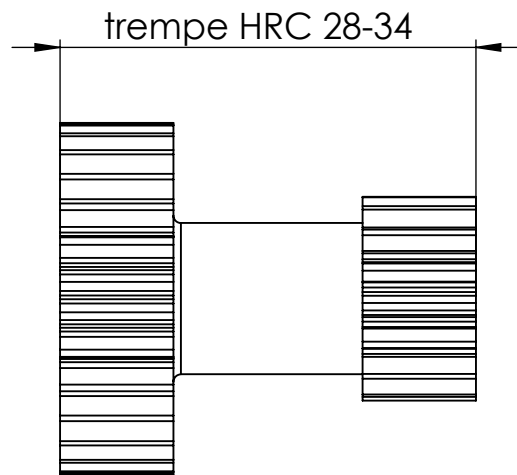
Désignation des opération	Outils	Vérificateurs
1 - FINITION	outils trancenais	PIED A COULISSE
Désignation de port-pièce :	- Etou	Temps d'usinage: 2-3(h)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 4 sur 7

phase N:5	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :TOUR	Dèsignation :TAILLAGE	



Dèsignation des opèration	Outils	Vèrificateurs
1 - Taillage	outile de taillage M3 z34	PIED A COULISSE
Dèsignation de port-pièce :	- Etau	Temps d'usinage: 4(h)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 5 sur 7

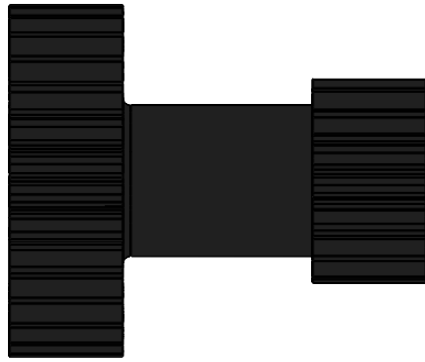
phase N:6	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :four		Dèsignation :taitement thermique



Note : Exécuter selon les reglement technologique de traitement thermique

Dèsignation des opération	Outils	Vèrificateurs
1 - trempe		
Dèsignation de port-pièce :		Temps d'usinage: 2(h)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 6 sur7

phase N:7	avant projet d'etude de fabrication	
ensemble:	programme de fabrication	Matière:A45
Elément : BALADEUR DE VITESSE		Brut : cylindre
Machine-outil :four		Désignation :bleuissage



Désignation des opération	Outils	Vérificateurs
1 - bleuissage		
Désignation de port-pièce :		Temps d'usinage: 1(h)
Nb des pce fab.pour une fois :	01	Feuille 7 sur 7

SIMULATION

Concepteur: SolidWorks

Nom de l'étude : Statique 1

Type d'analyse : Statique

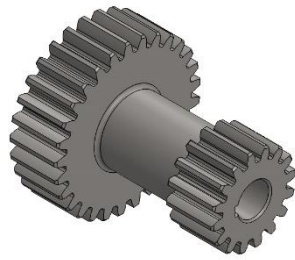


Tableau. III. 1. Informations sur le modèle.




Corps solides			
Nom et référence du document	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin du document/Date de modification
Trou 	Corps solide	Masse : 0,330621 kg Volume: 4,23873e-05 m ³ Densité : 7 800 kg/m ³ Poids : 3,24009 N	c:\solidworks data\copiedparts\ISO - Engrenage droit 3M 16T 20PA 30FW --- S16A75H50L20.0N.SLDPRT 20 mai 14:22:10 2022
Trou 	Corps solide	Masse : 1,28548 kg Volume : 0,000164805 m ³ Densité : 7 800 kg/m ³ Poids : 12,5977 N	c:\solidworks data\copiedparts\ISO - Engrenage droit 3M 29T 20PA 30FW --- S29A75H50L20.0N.SLDPRT 20 mai 14:19:41 2022
Filet5 	Corps solide	Masse : 1,98788 kg Volume : 0,000254857 m ³ Densité : 7 800 kg/m ³ Poids : 19,4813 N	C:\Users\Morsi Store\Desktop\Pneumatic Motor\baladeur de vitesse3.SLDPRT 16 mai 14:05:27 2022

Tableau. III. 2. Propriétés de l'étude

Nom de l'étude	Statique 1
Type d'analyse	Statique
Type de maille	Maille solide
Effet Thermique :	Sur
Option thermique	Inclure les charges de température
Température de déformation nulle	298 kelvins

Inclure les effets de pression de fluide de SOLIDWORKS Flow Simulation	À l'arrêt
Type de solveur	Automatique
Effet dans le plan :	À l'arrêt
Printemps doux :	À l'arrêt
Soulagement inertiel :	À l'arrêt
Options de liaison incompatibles	Automatique
Grande cylindrée	À l'arrêt
Calculer les forces des corps libres	Sur
Friction	À l'arrêt
Utiliser la méthode adaptative :	À l'arrêt
Dossier de résultats	Document (C:\Users\Morsi Store\Desktop\baladeur de vitesse STUDY) SOLIDWORKS

Tableau. III. 3. Unités.

Système d'unité :	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	Millimètre
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

Tableau. III. 4. Propriétés matérielles.


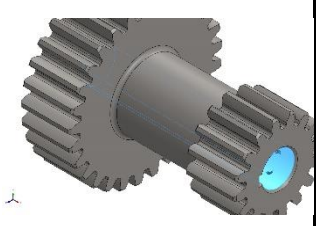
Référence du modèle	Propriétés	Composants
	Nom : 1,0503 (C45)	SolidBody 1 (alésage) (ISO - Engrenage droit 3M 16T 20PA 30FW ---S16A75H50L20.0N-2),
	Type de modèle : Linéaire Élastique Isotrope	
	Critère d'échec par défaut : Contrainte de Max von Mises	SolidBody 1 (alésage) (ISO - Engrenage droit 3M 29T 20PA 30FW ---S29A75H50L20.0N-1),
	Limite d'élasticité : 5.8e+08 N/m²	
	Résistance à la traction : 7.5e+08 N/m²	SolidBody 1(Fillet5) (baladeur de vitesse3-1)
	Module d'élasticité : 2.1e+11 N/m²	
	Coefficient de Poisson : 0,28	
	Densité de masse : 7 800 kg/m³	
	Module de cisaillement : 7.9e+10N/m²	
	Coefficient de dilatation thermique : 1.1e-05 / Kelvin	
Données de courbe : N/A		

Tableau. III. 5. Charges et montages

Nom du luminaire	Image du luminaire	Détails du luminaire		
Sur les faces cylindriques-1		<p>Entités : 1 visage(s)</p> <p>Taper : Sur les faces cylindriques</p> <p>Traduction : 0 ; -0,087 rad. ; 0</p> <p>Unités : Millimètre</p>		
Forces résultantes				
Composants	X	Oui	Z	Résultant
Force de réaction(N)	-48.3082	-2.06744e+06	-668 612	2.17287e+06
Moment de réaction (Nm)	0	0	0	0

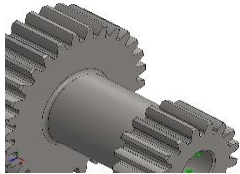
<p>Fixe-1</p>		<p>Entités : 2 visages(s) Taper : Géométrie fixe</p>		
<p>Forces résultantes</p>				
<p>Composants</p>	<p>X</p>	<p>Oui</p>	<p>Z</p>	<p>Résultant</p>
<p>Force de réaction(N)</p>	<p>60.9324</p>	<p>2.06743e+06</p>	<p>668 618</p>	<p>2.17286e+06</p>
<p>Moment de réaction (Nm)</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>

Tableau. III. 6. Informations sur les interactions


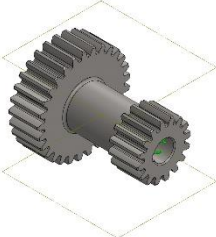
Interaction	Image d'interaction	Propriétés d'interaction		
<p>Interaction locale-1</p>		<p>Taper : Contacter la paire d'interactions Entités : 117 visages(s) Avancé : Surface à surface</p>		
<p>Force de contact/frottement</p>				
<p>Composants</p>	<p>X</p>	<p>Oui</p>	<p>Z</p>	<p>Résultant</p>
<p>Force de contact(N)</p>	<p>-9.186E-14</p>	<p>7.9626E-10</p>	<p>-8.8994E-10</p>	<p>1.1942E-09</p>
<p>Interaction globale</p>		<p>Taper : Collé Composants : 1 composant(s) Option : Maille indépendante</p>		

Tableau. III. 7. Informations sur le maillage

Type de maille	Maille solide
Maillage utilisé :	Maillage basé sur la courbure mélangée
Points jacobiens pour un maillage de haute qualité	16 Points
Taille maximale de l'élément	7,73291 millimètres
Taille minimale de l'élément	0,44774 mm
Qualité du maillage	Haute

III.3.1. Forces résultantes

Tableau. III. 8. Forces de réaction

Jeu de sélection	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultant
Modèle entier	N	12.6215	-7.22656	6.49219	15.9271

Tableau. III. 9. Moments de réaction

Jeu de sélection	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultant
Modèle entier	Nm	0	0	0	0

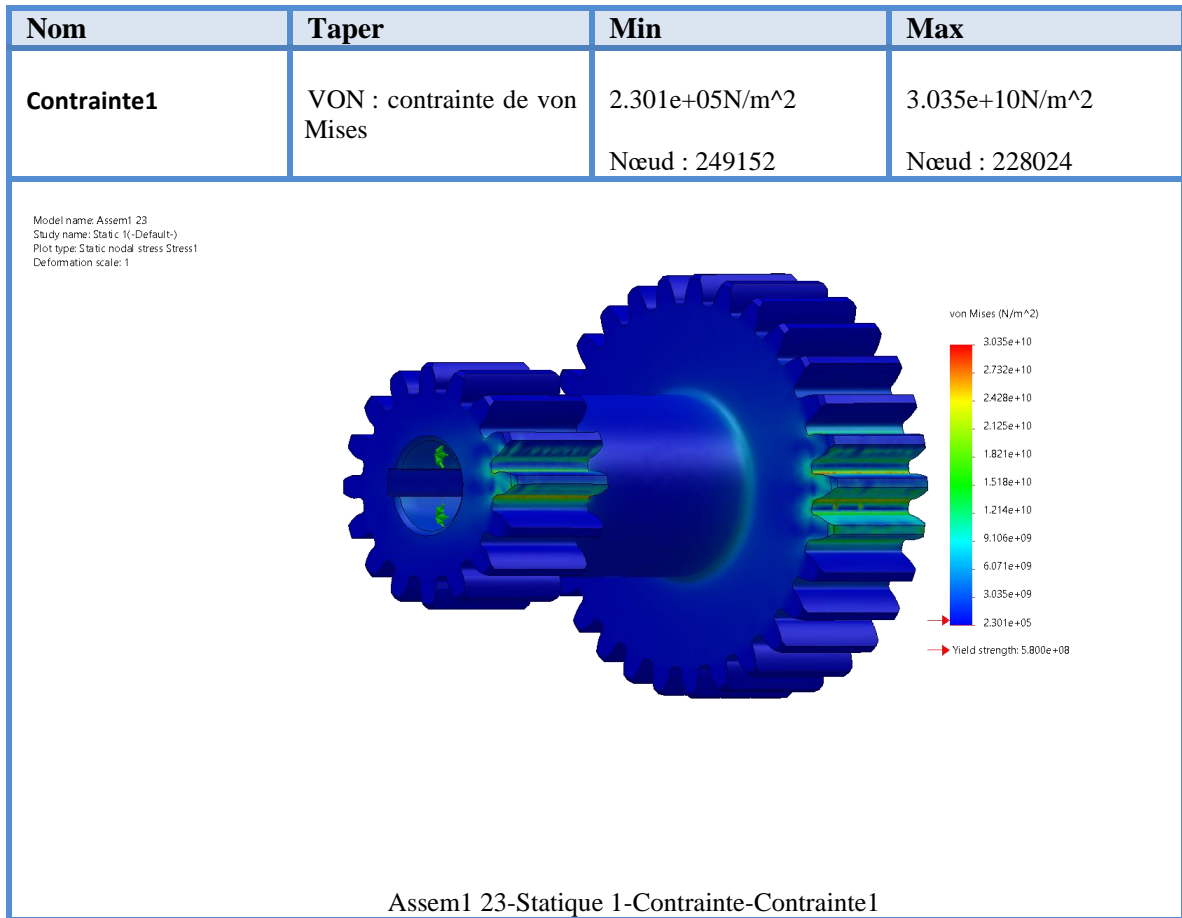
Tableau. III. 10. Forces du corps libre

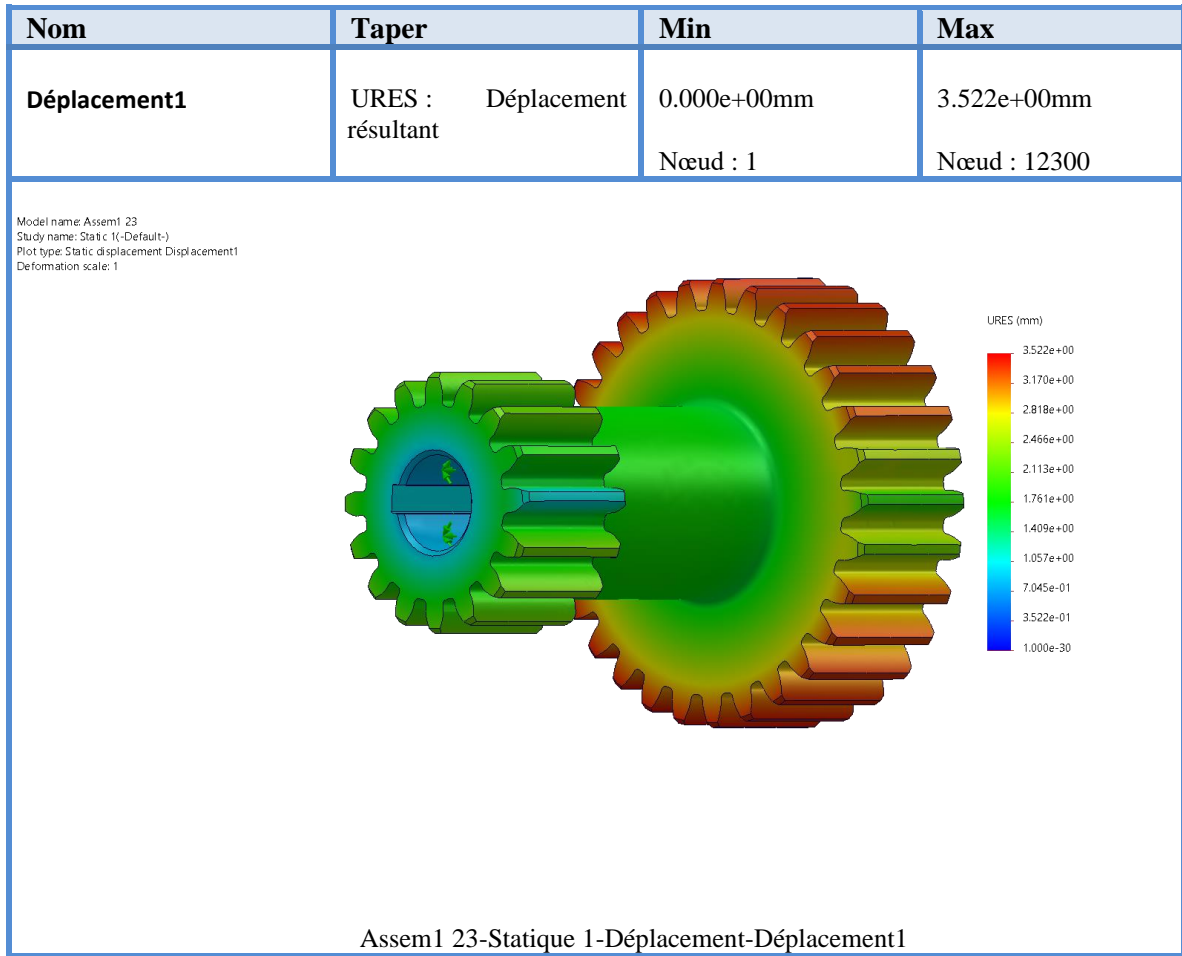
Jeu de sélection	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultant
Modèle entier	N	-79.9572	-107.369	6.07297	134.008

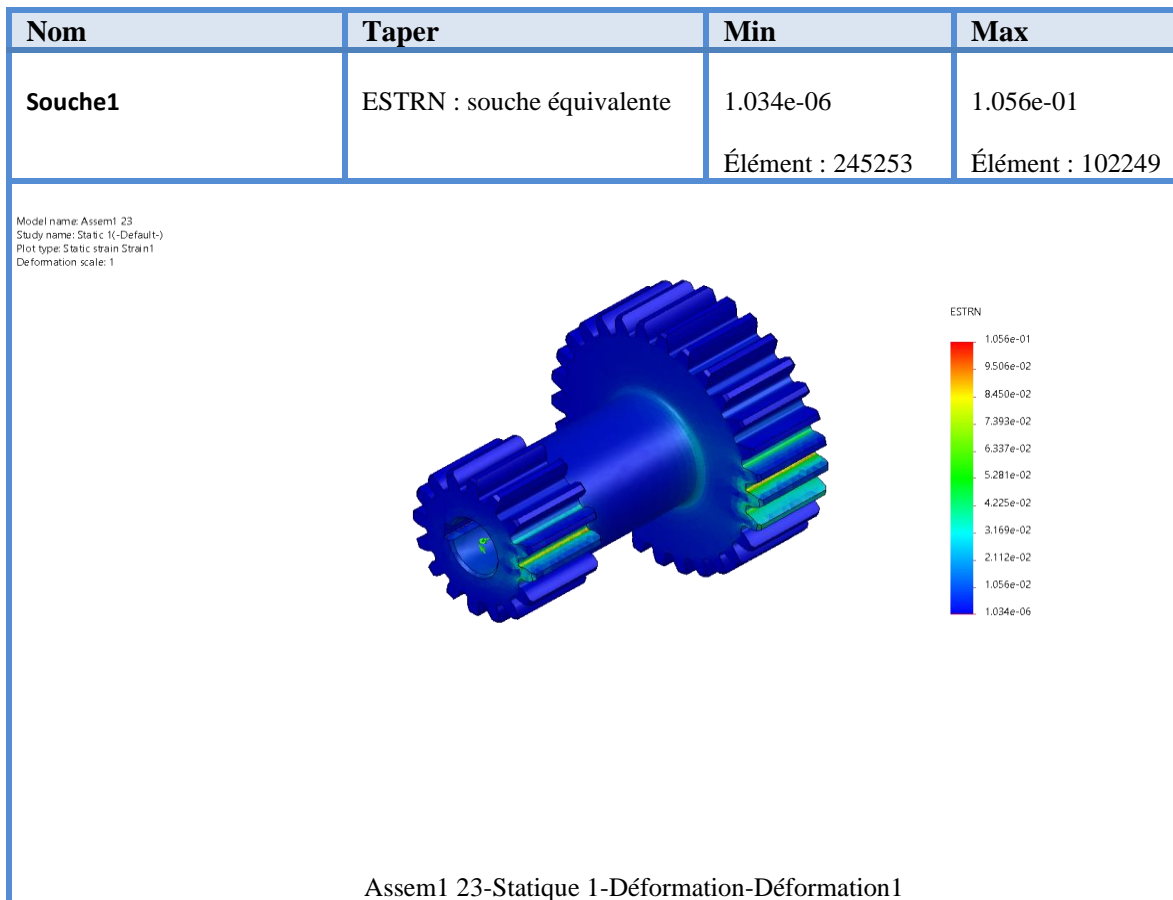
Tableau. III. 11. Moments corporels libres

Jeu de sélection	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultant
Modèle entier	Nm	0	0	0	1e-33

III.3.2. Résultats de l'étude







Figures plus détaillées

Model name: Assem1
Study name: Static 1(-Default-)
Plot type: Mesh Quality1

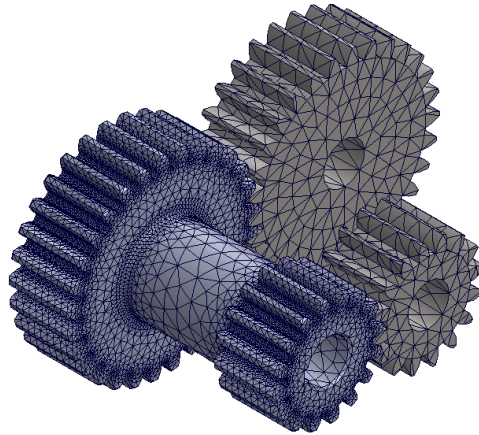


Fig. III. 1.Maillage.01

Model name: Assem1_23
Study name: Static 1(-Default-)
Plot type: Mesh Quality1

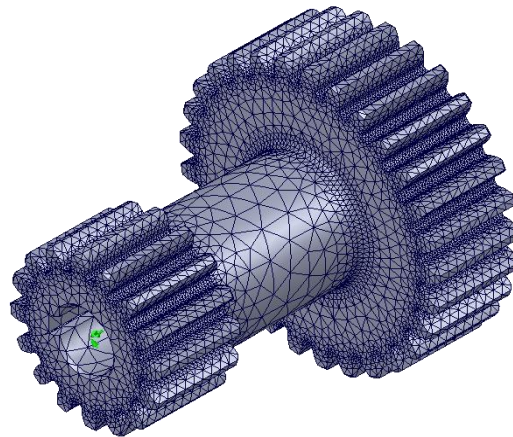


Fig. III. 2.Maillage.02

Model name: Assem1_4
 Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 1

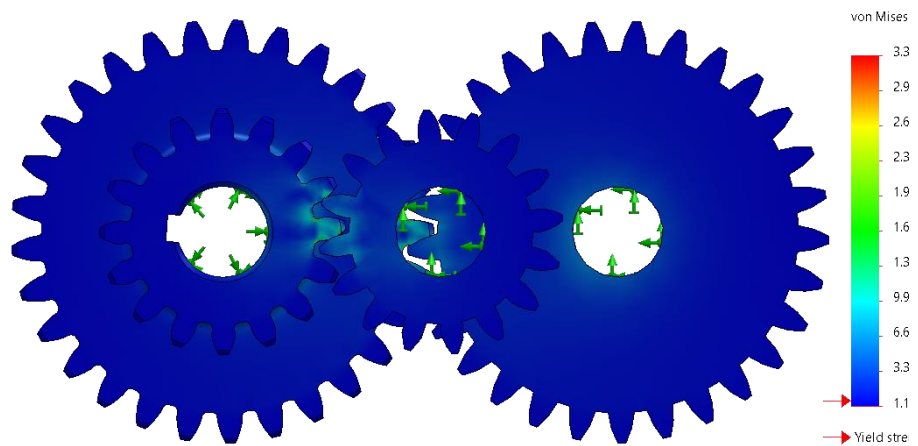


Fig. III. 3. Contraintes 01.

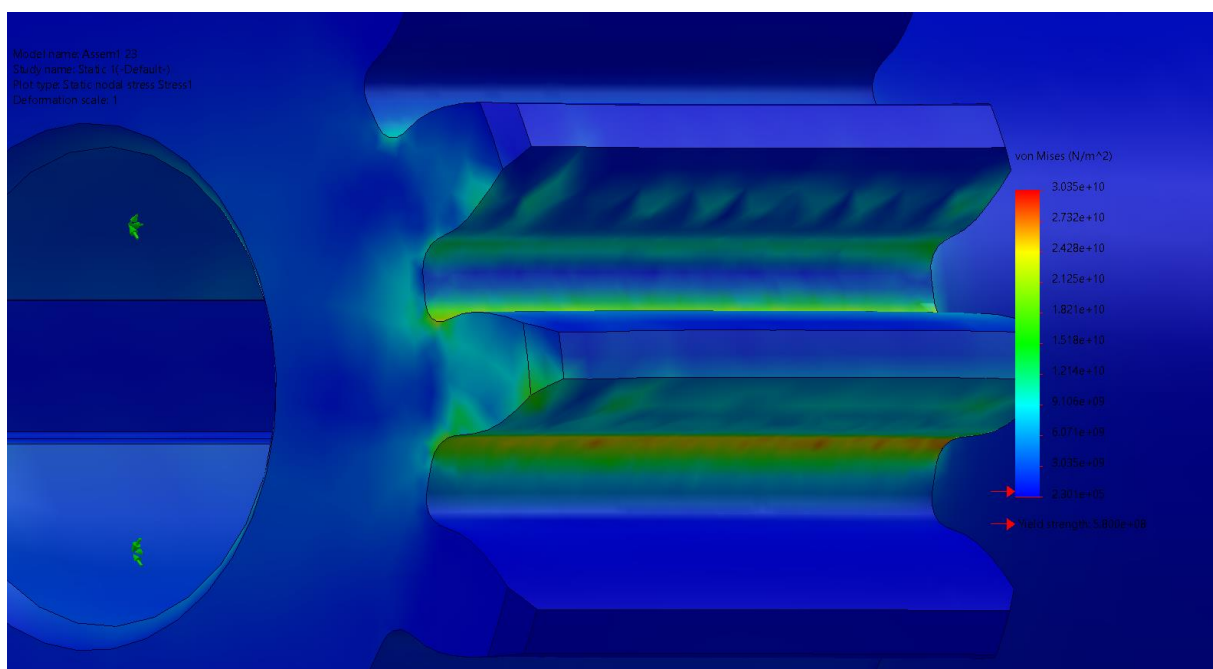


Fig. III. 4. Contraintes.03

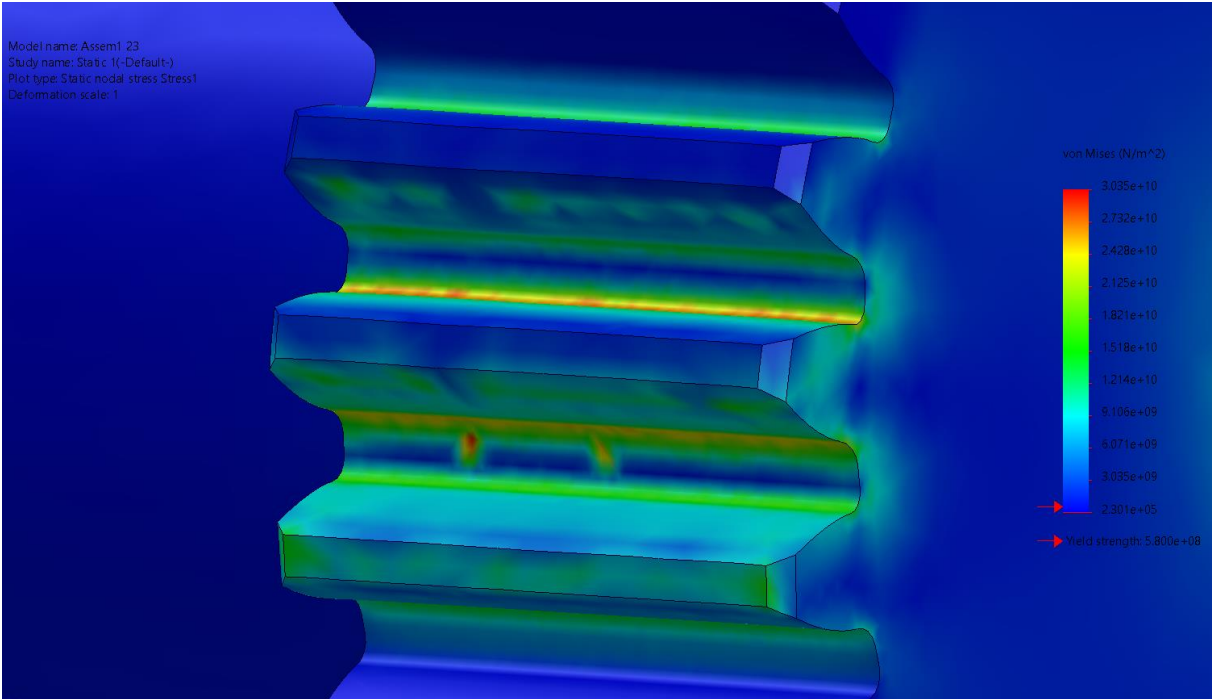


Fig. III. 5. Contraintes.02

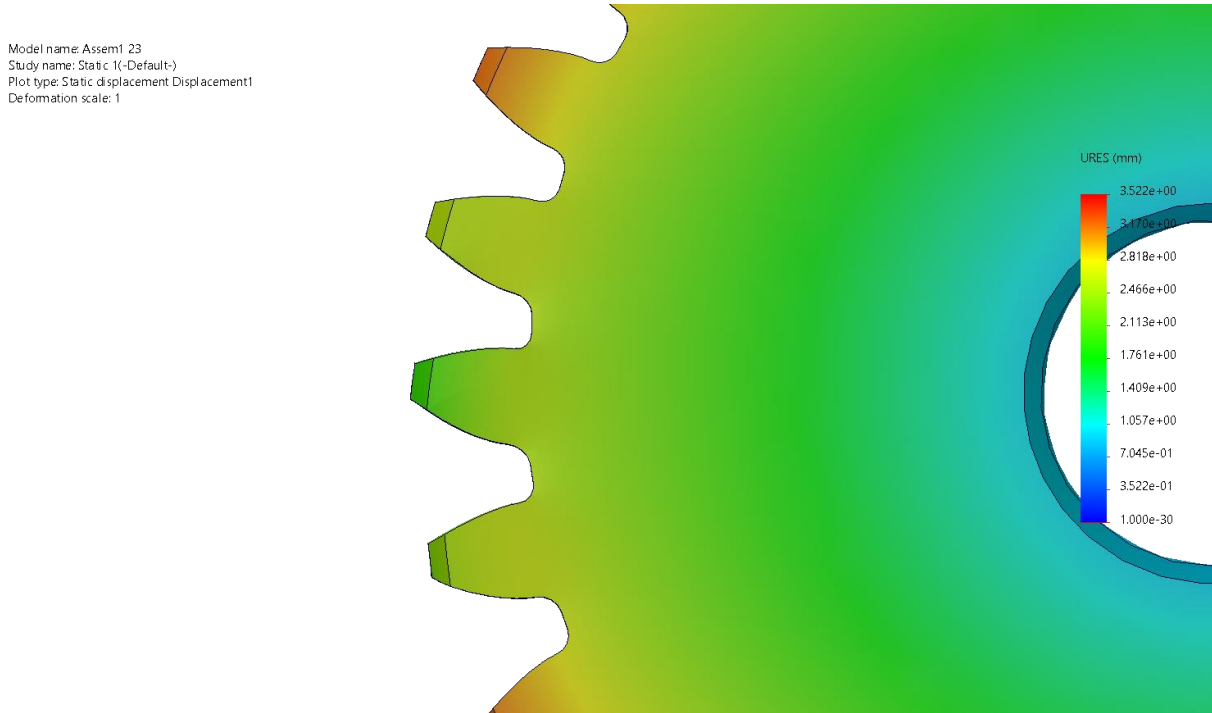


Fig. III. 6.déplacement01.

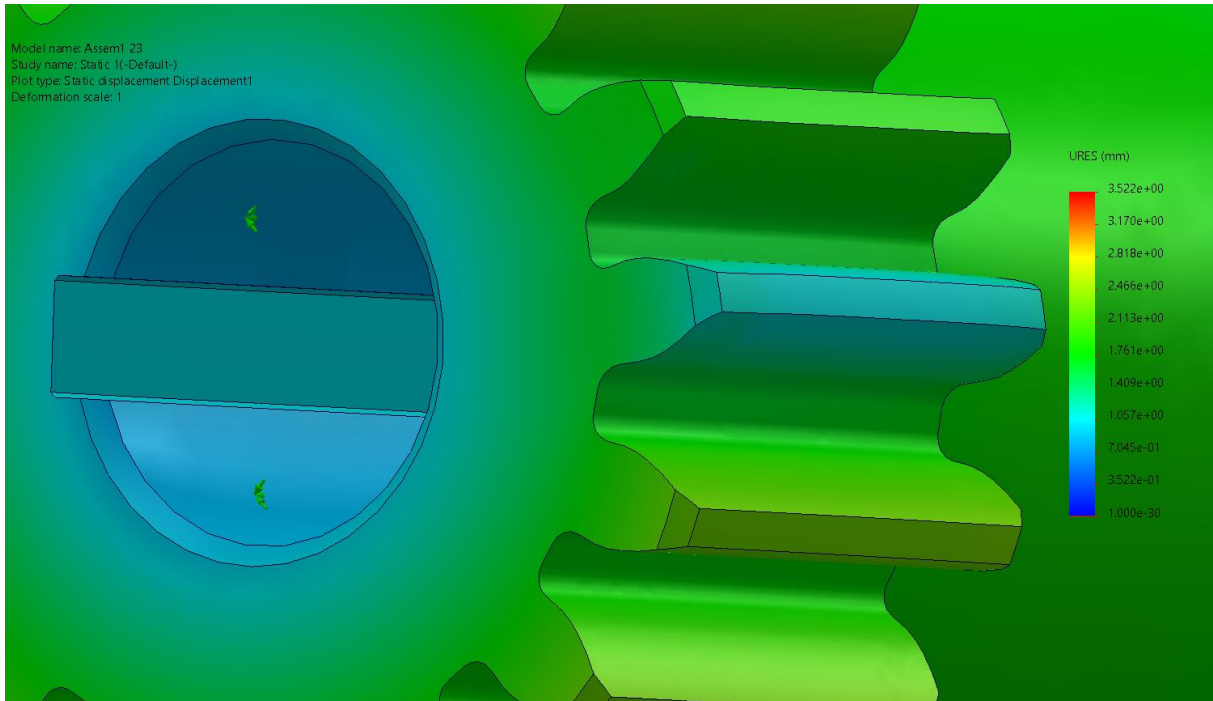


Fig. III. 7. Déplacement.02

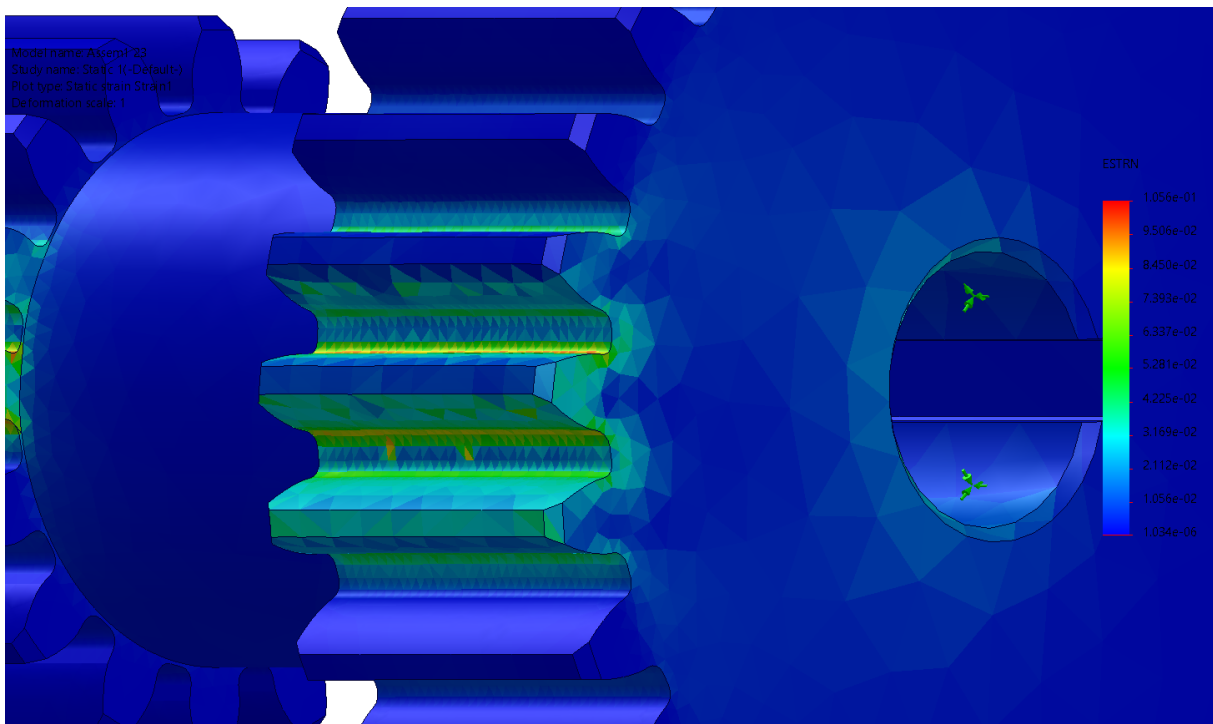


Fig. III. 8.Fatigue.02

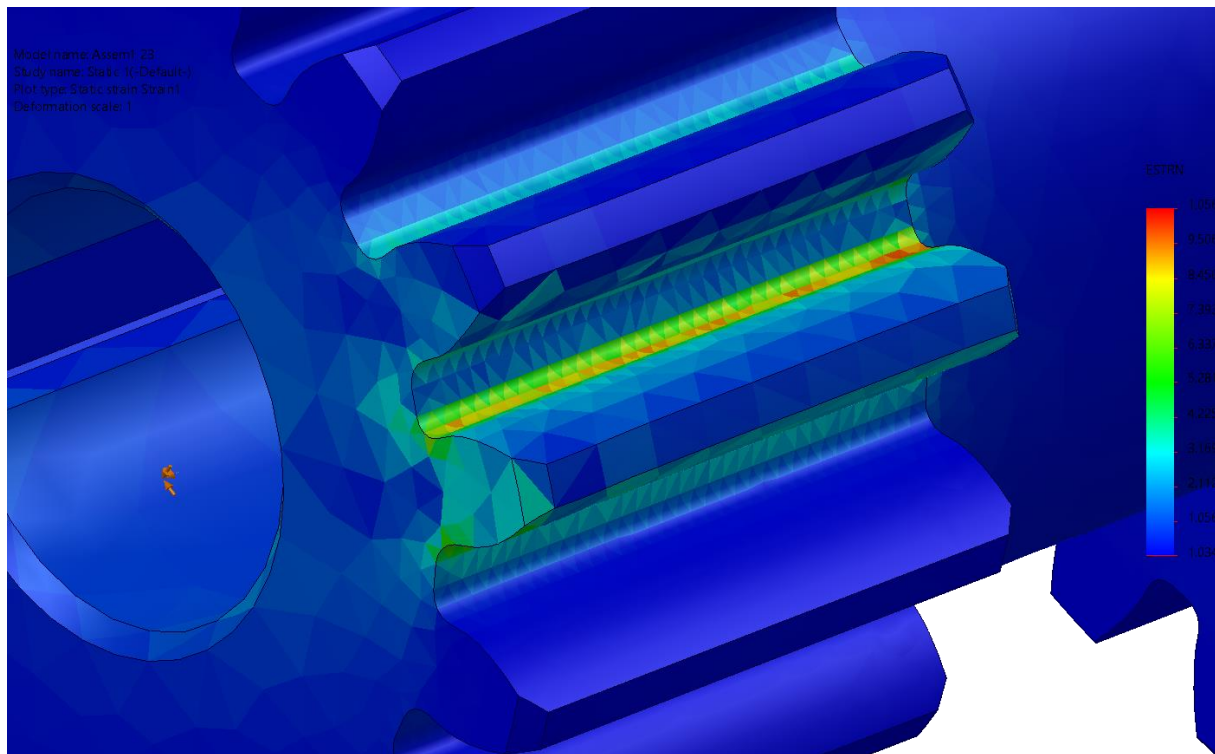


Fig. III. 9.Fatigue.01

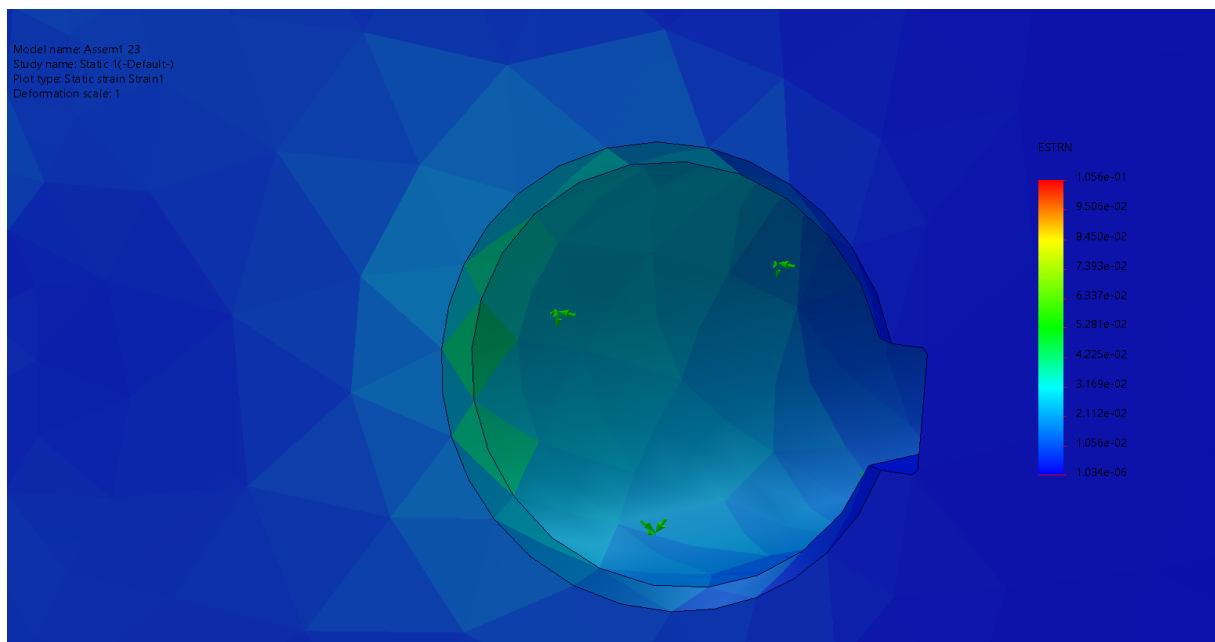


Fig. III. 10.Fatigue.03

Conclusion générale

Nous avons organisé les principaux avantages obtenus à la fin de cette étude :

- Une sélection rigoureuse des dents (droites) qui permettent de transmettre le mouvement de rotation entre les arbres parallèles, un couple élevé et un sélecteur de vitesse (Baladeur)
- Nous avons acquis une meilleure compréhension des engrenages, des Baladeurs et des diverses méthodes et normes de calcul à la suite de notre étude.
- Cette recherche est complétée par une partie pratique sur la conception et la simulation à l'aide du logiciel SolidWorks.
- Nous avons pu nous familiariser avec les modules présentés lors de notre cursus universitaire grâce aux résultats positifs.
- Nous avons appris à sélectionner les matériaux appropriés et à travailler avec diverses machines d'usinage, ainsi qu'au traitement thermique.
- Dans l'atelier, nous avons appris l'importance de la communication afin d'éviter les erreurs et les pertes de temps.

Référence :

[1] : Guide des sciences de technologies industrielles, J.-L. Fanchon, AFNOR Nathan

[2] : Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher

[3] : Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance, J. Dufailly, Ellipses

[4] : vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=NDvi2XzO0QI>

[5] : Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher

[6] : Guide du dessinateur industriel – Chevalier