



**Faculté : TECHNOLOGIE**  
**Département : Génie mécanique**  
**Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Fabrication mécanique et Productique**

## Mémoire

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**  
**Thème :**

**Conception et fabrication d'un dispositif spécial pour réaliser une forme cylindrique concave sur un tour conventionnel par addition d'un axe supplémentaire**

**Présenté par : Aliouat Saddik**

**Encadrant : Pr.Bouchelaghem abdelaziz**

UBMA

### Jury de Soutenance :

LOUAR Lakhdar	Professeur	UBMA	Président
BOUCHELAGHEM A/Aziz	Professeur	UBMA	Encadrant
MEKHILEF Slimane	MCA	UBMA	Examineur

**Année Universitaire : 2024/2025**

## ***Remerciement***

J'aimerais en premier lieu remercier mon dieu ALLAH qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur Pr. Bouchelagem Abdelaziz Mahmoud pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je le remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail. Et je le remercie également pour avoir su me faire confiance et m'avoir conseillée tout au long de ces quatre années.

Merci Mekhilef Slimane et Laouar Lakhdar d'avoir accepté d'évaluer mon travail au sein du jury de soutenance.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à tout le personnel de l'entreprise Ferroviaire particulièrement l'équipe de l'atelier B3 pour leur aide et tout le soutien académique, pratique et psychologique qu'ils m'ont apporté. Je ne les oublierai jamais.

## ***Dédicace***

Je dédie ce modeste travail à:

Mon père et à ma mère sans oublier mes frères abdelrezak, mohcene achref

Ainsi qu'à toute ma famille aliouat, messikh. Mes amis et mes camarades de classe.

A tout ceux qui ont été a mes coté dans les moments difficiles.

---

## Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapiter I: GENERALITES SUR LA CONCEPTION DES MACHINES OUTILLES ET LES OUTILLES DE COUPE.....	3
I.1 La machine-outil .....	4
I.1.1 Définition .....	4
I.1.2 Historique.....	4
I.1.3 Procédés d'usinage.....	4
I.1.3.1 Les principales phases d'usinage .....	5
I.1.4 Les principaux types des machines-outils.....	6
I.1.4.1 Les fraiseuses .....	6
I.1.4.2 Les perceuses .....	8
I.1.4.3 Les tours .....	10
I.1.4.3.1 Les types des tours .....	11
I.1.4.3.2 Principe de fonctionnement.....	14
I.1.4.3.3 Les organes d'un tour.....	14
I.1.4.3.4 Tournage mécanique: .....	15
I.1.4.3.5 Différentes opérations de tournage: .....	16
I.1.4.3.6 Les paramètres de coupe en tournage .....	18
I.2 Les outils de coupe .....	19
I.2.1 Composition d'outil .....	19
I.2.2 Définitions des principaux types de matériaux pour les outils de coupe .....	21
I.3 Les axes et les mouvements des machines-outils .....	23
I.3.1 Les mouvements rectilignes des machines-outils .....	24
I.3.2 Les mouvements de rotation des machines-outils .....	26
I.3.3 Les axes additionnels des machines-outils.....	27
I.3.4 Les formes en fabrication.....	28
I.4 Eléments et Schéma de principe d'un axe numérique.....	30
I.4.1 Eléments de la commande principale.....	32
I.4.2 Eléments de la partie opérative.....	33
I.5 Les paliers.....	34
I.5.1 Types de paliers.....	34
I.5.1.1 Paliers lisses .....	34
I.5.1.2 Paliers à roulement .....	34
I.5.1.3 Les paliers magnétiques.....	34

I.5.1.3.1	Avantages des paliers magnétiques:.....	35
I.5.1.3.2	Principe de fonctionnement des paliers magnétiques actifs.....	35
I.5.1.3.3	Composants d'un palier magnétique actif .....	36
Chapiter II:	Problème de fabrication de surface rond sur un tour classique .....	37
II.1	Définition de problème.....	38
II.1.1	Les poulies .....	38
II.1.1.1	Types de poulies .....	38
II.1.2	Les cintreuses.....	39
II.1.2.1	Types de cintreuses .....	39
II.1.3	Croisement de deux cylindre (assemblage).....	39
II.2	Définition de dispositif .....	40
II.2.1	Principe de travail de dispositif .....	40
II.2.2	Les rayons mini et maxi qui capable de le faire ce dispositif.....	40
Chapiter III:	Étude de conception et fabrication .....	42
III.1	Analyse de la matière .....	53
III.1.1	Composition chimique selon en 10083-3 .....	53
III.1.2	Normes pertinentes .....	53
III.1.3	Forgeage .....	53
III.1.4	Traitement thermique .....	53
III.1.5	Application.....	54
III.2	La gamme d'usinage .....	54
III.2.1	Définitions .....	54
III.2.2	Les contrats de phase .....	56
III.3	Calcul du régime de coupe .....	63
III.3.1	Fréquence de rotation N .....	63
III.3.2	Temps machine (Tm) .....	64
Chapiter IV:	Simulation.....	65
IV.1	Simulation de l'usinage de la phase tournage .....	66
IV.1.1	Simulation sur shop-Turn .....	66
IV.1.2	Simulation sur Cam-Works.....	69
IV.1.2.1	Présentation .....	69
IV.2	Simulation de résistants .....	72
Conclusion générale	.....	74
Références bibliographiques	.....	75

## Liste des figures

Figure I:1. Une fraiseuse manuell .....	7
Figure I:2. Fraiseuse apprentissage .....	7
Figure I:3. Fraiseuse à commande numérique (CNC).....	8
Figure I:4. Fraiseuse à banc fixe .....	8
Figure I:5. Perceuse à colonne .....	9
Figure I:6. Perceuse radiale .....	9
Figure I:7. perceuse multibroche .....	10
Figure I:8. tour conventionnel .....	11
Figure I:9. tour automatique .....	11
Figure I:10. Tour CNC (HAAS).....	12
Figure I:11. Tour vertical .....	13
Figure I:12. Un tour parallèle .....	13
Figure I:13. Organes d'un tour [3].....	15
Figure I:14. Outil de chariotage [4].....	16
Figure I:15. Outil de dressage [4] .....	16
Figure I:16. Outil de perçage [4].....	16
Figure I:17. Outil d'alésage [4].....	16
Figure I:18. outil de rainurage [4].....	17
Figure I:19. Outil de chanfreinage [4].....	17
Figure I:20. Outil de tronçonnage [4].....	17
Figure I:21. Outil de filetage [4] .....	17
Figure I:22. Paramètre de coupe .....	18
Figure I:23. Paramètre d'avance .....	19
Figure I:24. composition d'outil .....	19
Figure I:25. Outils de fraisage .....	20
Figure I:26. Opérations d'usinages en tournage .....	21
Figure I:27. Opérations d'usinages en fraisage .....	21
Figure I:28. Trièdre de référence et Règle des trois doigts [6] .....	24
Figure I:29. Situation du trièdre de référence par rapport à la machine-outil (Tour).[6] .....	24
Figure I:30. Dispositions des axes linéaires en tournage et en fraisage .....	25
Figure I:31. Situation du trièdre de référence par rapport à la machine-outil (Fraiseuse).....	26
Figure I:32. Les mouvements de rotation, dispositions et sens par rapport aux les axes.[6].....	27
Figure I:33. Les principaux axes et axes additionnels des MOCN. ....	27
Figure I:34. les formes simples et complexes .....	30
Figure I:35. Eléments physiques d'un axe numérique classique. [7] .....	30
Figure I:36. Schéma d'un axe numérique avec les boucles de positions et de vitesses. [7].....	31
Figure I:37. Schéma d'un axe numérique avec corrections des tensions (V) et des positions CNA (Convertisseur Numérique ).....	32
Figure I:38. Vis-Ecrou à billes. [7] .....	33
Figure I:39. Paliers à semelle classiques .....	34
Figure I:40. Schéma en coupe d'une broche à Palier Magnétique Actif.[7] .....	35
Figure II:1. schéma de la forme usinée .....	38
Figure II:2. poulie.[8] .....	38
Figure II:3. cintreuse.[9] .....	39

---

Figure II:4.Croisement de deux cylindre.....	39
Figure II:5.Principe de travail de dispositif .....	40
Figure II:6.pénétration mini sans rotation .....	40
Figure II:7.pénétration mini avec rotation.....	41
Figure II:8.pénétration maxi avec rotation .....	41

## **Liste des tableaux**

Tableau I-1.Récapitulatif et Description des axes de déplacements normalisés sur une machine-outil.....	28
Tableau I-2.Résumé par complexité de forme .....	29
Tableau III-1.composition chimique .....	53
Tableau III-2.norme .....	53
Tableau III-3.Mode opératoire de fabrication étendu.....	55
Tableau III-4.Contrat de phase 100.....	56
Tableau III-5.contrat de phase 200 (S.ph 210) .....	57
Tableau III-6.contrat de phase 200 (S.ph 220) .....	58
Tableau III-7.contrat de phase 300.....	59
Tableau III-8.contrat de phase 400.....	60
Tableau III-9.contrat de phase 500.....	61
Tableau III-10.contrat de phase 600.....	62
Tableau IV-1.Etapes de création et simulation du programme.....	67
Tableau IV-2.Simulation d'usinage .....	70
Tableau IV-3.Simulation de résistants sur Solid-Works .....	72

---

---

## Résumé

Dans ce mémoire, nous allons réaliser l'étude de fabrication d'outil de tournage spécifique. Après une étude bibliographique sur les machines outil et les outils de coupe nous allons passer au côté pratique où nous réaliserons une étude de fabrication : conception et modélisation sous le logiciel SolidWorks des composants de l'outil et leur assemblage, analyse de la matière, une proposition d'une gamme d'usinage, simulation sur trois logiciels : Shopturn et Camworks et SolidWorks.

In this thesis, we will conduct a study on the manufacturing of a specific turning tool. After a literature review focusing on machine tools and cutting tools, we will move on to the practical part of the project. This includes the design and modeling of the tool components using *SolidWorks*, followed by their virtual assembly. We will also perform a material analysis, propose a suitable machining process plan, and simulate the manufacturing process using three software tools: *ShopTurn*, *CAMWorks*, and *SolidWorks*.

في هذا البحث، سنقوم بدراسة تصنيع أداة خراطة خاصة. بعد إجراء دراسة نظرية تتناول ماكينات التشغيل والأدوات القاطعة، سننتقل إلى الجانب التطبيقي من المشروع. ، ثم تجميع هذه المكونات افتراضياً. كما سنجري تحليلاً للمواد المستخدمة، ونقترح SolidWorks ويتضمن ذلك تصميم ونمذجة مكونات الأداة باستخدام برنامج ShopTurn و CAMWorks ، خطة تشغيل (عملية تصنيع) مناسبة، بالإضافة إلى محاكاة عملية التصنيع باستخدام ثلاثة برامج مختلفة و SolidWorks.



---

## ***Introduction Générale :***

La fabrication mécanique joue un rôle essentiel dans l'industrie en assurant la conception, l'assemblage et la production de pièces et de composants mécaniques. Ce domaine constitue un pilier du développement industriel, contribuant de manière significative à notre quotidien à travers la création de divers produits. Il repose sur les principes fondamentaux de l'ingénierie et de la physique, transformant des idées abstraites en réalités tangibles, un exploit principalement accompli par l'industrie mécanique. Qu'il s'agisse du secteur automobile, aérospatial, énergétique, électronique, ou encore des machines-outils et de l'industrie lourde, cette discipline couvre un vaste champ d'application.

La fabrication mécanique ne se limite pas à la conception de modèles et de plans virtuels. Cette phase est cruciale pour garantir que le produit final répond aux exigences en termes de fonctionnalité et d'esthétique. Une fois la conception achevée, plusieurs procédés sont mis en œuvre, notamment l'usinage, le moulage, le soudage, le formage et l'assemblage. L'intégration de technologies avancées et l'utilisation de machines-outils de haute précision assurent une qualité optimale lors de la transformation des matières premières en pièces finies.

À chaque étape du processus de fabrication, des contrôles rigoureux sont effectués afin de respecter les normes strictes de qualité. Ces tests garantissent la fiabilité, la sécurité et la performance des produits finis en veillant à ce que chaque composant soit conforme aux spécifications requises.

L'industrie mécanique impacte divers secteurs en produisant des équipements industriels, des dispositifs électroniques, des matériels médicaux, des véhicules et des aéronefs. Son influence dépasse le cadre économique et technologique, contribuant également à la croissance sociale en générant des opportunités d'emploi et en favorisant l'innovation. Les produits et systèmes issus de ce domaine sont aujourd'hui indispensables à notre vie quotidienne et participent activement au progrès de la société.

Dans mon mémoire nous allons nous intéresser à l'outil de tournage spécifique.

D'abord, dans le 1er chapitre, nous avons commencé par « une étude bibliographique » abordant des généralités sur les machines outil et les outils de coupe

D'une autre part, le chapitre II sera une définition de problème (usinage de surface cylindrique concave).

Le Chapitre III a été dédié au côté pratique du mémoire et la réalisation « d'étude de la

---

conception et la fabrication » d'un axe pignon.

Enfin, le Chapitre IV a été dédié au côté de simulation de l'usinage sur Shop-Trun, Cam-Works et simulation de résistance sur Solid-Works.

---

# **Chapiter I: GENERALITES SUR LA CONCEPTION DES MACHINES OUTILLES ET LES OUTILLES DE COUPE.**

---

## **I.1 La machine-outil :**

### **I.1.1 Définition:**

Une machine-outil est un dispositif conçu pour actionner mécaniquement des outils, avec un mouvement transmis soit manuellement, soit par l'intermédiaire d'un moteur. Ces machines sont largement utilisées dans le travail des métaux et existent sous de nombreuses formes. Les avancées technologiques et les exigences industrielles ont conduit à la production de modèles de tailles impressionnantes.

Dans les ateliers de fabrication, plusieurs types de machines-outils sont couramment employées :

**Les tours**, dont les configurations et dimensions varient en fonction des formes et tailles des pièces à usiner.

**Les machines à percer**, utilisées pour réaliser des perçages et des alésages sur divers composants.

**Les fraiseuses**, essentielles pour le façonnage précis des pièces détachées.

**Les aléseuses**, spécialement conçues pour l'alésage des cylindres.

**Les machines à raboter**, destinées au dressage de surfaces comme les bâtis de machines ou les plaques de fondation.

**Les limeuses**, largement répandues dans les ateliers d'ajustage pour le rabotage minutieux des pièces.

Cette diversité de machines-outils illustre leur importance dans l'industrie manufacturière, garantissant une production efficace et de haute précision.[1]

### **I.1.2 Historique:**

L'origine des machines-outils, tout commence 3500 ans avant Jésus-Christ avec les potiers. Ils se servent de tour pour façonner l'argile et créer des vases. De manière précise et rapide. Ils pilotent à l'aide de pédale et manivelle la « machine ». Ils réalisent alors des quilles et autres objets à partir d'un tour à bois.

### **I.1.3 Procédés d'usinage:**

L'usinage vise à conférer aux pièces brutes la forme, les dimensions et la précision requises par le concepteur, conformément au dessin de définition. Ce processus s'effectue par enlèvement de matière sous forme de copeaux, en utilisant des machines-outils adaptées à chaque opération.

En fonction de la Forme à donner à la surface et du type de la machine-outil, on distingue

---

les opérations de coupe suivantes : le tournage, le perçage, le fraisage, .....etc. [2]

### **I.1.3.1 Les principales phases d'usinage:**

#### **1. Validation des dessins techniques de la pièce :**

La première étape de l'usinage consiste à examiner et valider les plans de la pièce. En effet, celle-ci est généralement conçue en amont sous forme de dessins techniques. Il est donc primordial que toutes les parties impliquées, qu'il s'agisse du fabricant ou du client, approuvent les caractéristiques de la pièce à usiner.

Les éléments à valider incluent notamment:

- Les dimensions de la pièce.
- Sa forme.
- Les matériaux et composants utilisés.

Cette phase joue un rôle essentiel, car dans le cadre d'un usinage de grande ampleur ou nécessitant une haute précision, toute erreur ou incompréhension peut avoir des conséquences importantes.

#### **2. Modélisation de la pièce :**

Une fois les dessins techniques validés, la seconde phase de l'usinage débute : la modélisation de la pièce à usiner. Cette étape permet de s'assurer que toutes les spécifications sont conformes une fois la pièce réalisée à l'échelle réelle. Bien que les technologies modernes offrent la possibilité d'obtenir des rendus d'usinage en 3D sans nécessiter la fabrication physique de la pièce, cette pratique demeure largement utilisée.

#### **3. Choix de la technique d'usinage :**

Avec la pièce prête à être usinée, il est essentiel de déterminer la méthode d'usinage la plus adaptée. De nombreuses techniques existent, chacune offrant des avantages en matière de précision, de complexité et de volume de production. Parmi les procédés couramment employés, on retrouve :

- **Le fraisage**, permettant un façonnage précis des surfaces.
- **Le perçage**, utilisé pour réaliser des trous dans les pièces.
- **Le mortaisage**, employé pour les ajustements et les assemblages.
- **Le tournage**, idéal pour façonner des pièces cylindriques.

- 
- **L'alésage**, destiné à affiner et améliorer la précision des trous.

Généralement, c'est au machiniste de choisir la technique la mieux adaptée aux exigences de la pièce à usiner, afin d'assurer un résultat optimal.

Le choix de la machine-outil :

L'usinage va bientôt pouvoir commencer. Il ne reste plus qu'à choisir la machine-outil qui sera utilisée. Comme pour la technique d'usinage, le choix de la machine-outil se fait en fonction du degré de complexité de la pièce.

Certaines machines sont capables de travailler sur plusieurs axes en même temps pour un travail de précision. Tout dépend de ce qui doit être fait.

#### **4. Usinage de la pièce :**

L'usinage représente la cinquième étape du processus et, bien souvent, il s'agit d'une formalité. Ce sont les phases préparatoires qui mobilisent le plus de temps et de ressources. Une fois que tous les calculs ont été vérifiés et validés et que le matériel requis est disponible, l'usinage peut être réalisé sans difficulté.

Le machiniste est responsable de l'usinage de la pièce en suivant les plans qui lui sont fournis. Il peut opter pour une coupe entièrement informatisée ou intervenir manuellement afin d'apporter des ajustements spécifiques au rendu final de la pièce.

#### **5. Passage de la pièce au contrôle qualité :**

La dernière étape de l'usinage, et l'une des plus cruciales, consiste en un rigoureux contrôle de qualité. La pièce est minutieusement examinée afin de s'assurer qu'elle respecte les plans d'origine et qu'elle ne présente ni erreurs ni défauts.

Pour garantir cette conformité, les usines mettent en œuvre une série de tests visant à évaluer la résistance et les réactions de la pièce aux contraintes. En parallèle, des mesures précises sont effectuées afin de vérifier que les dimensions obtenues correspondent exactement aux spécifications initiales.

### **I.1.4 Les principaux types des machines-outils :**

#### **I.1.4.1 Les fraiseuses:**

Les fraiseuses sont des machines-outils spécialisées dans l'usinage par enlèvement de copeaux. Elles se distinguent par l'utilisation d'outils tournants, appelés forets de précision, qui permettent d'usiner diverses surfaces : planes, cylindriques, coniques et hélicoïdales.

Lors du processus d'usinage, l'outil effectue un mouvement de rotation autour de son propre axe, tandis que la pièce à usiner suit un mouvement de translation ou de rotation combiné,

---

assurant ainsi une grande précision dans la fabrication des pièces.

Il existe différents types des fraiseuses:

a) Fraiseuse manuelle :

Les différents mouvements de la machine sont commandés par l'opérateur.

Il effectue les différents réglages.



***Figure I:1. Une fraiseuse manuell.***

b) Fraiseuse par apprentissage :

Elle enregistre les mouvements effectués par l'opérateur et les restitue ensuite de manière automatique.



***Figure I:2. Fraiseuse apprentissage.***

c) Fraiseuse à commande numérique (CNC) :

Cette machine est équipée d'un système de contrôle informatique, tel qu'un automate programmable ou une interface basée sur un PC, où sont enregistrées les instructions nécessaires à la fabrication d'une pièce. Une fois le programme lancé, la fraiseuse exécute automatiquement

---

l'ensemble des opérations d'usinage, garantissant précision et efficacité.



*Figure I:3. Fraiseuse à commande numérique (CNC).*

d) Fraiseuse à banc fixe/ fraiseuse à portique :

Lorsqu'il s'agit d'usiner des pièces de très grandes dimensions, nécessitant une table de fraiseuse imposante, on utilise des fraiseuses à banc fixe ou à portique. Ces machines sont conçues pour garantir stabilité et précision lors du traitement des pièces volumineuses.



*Figure I:4. Fraiseuse à banc fixe.*

#### **I.1.4.2 Les perceuses :**

**Le perçage :** est une opération d'usinage permettant de réaliser un trou dans une pièce. Ce trou peut être débouchant, lorsqu'il traverse entièrement la pièce, ou borgne, lorsqu'il ne la traverse pas complètement.

Différentes techniques permettent de réaliser ces trous, notamment l'utilisation d'un foret, la découpe au poinçon (pour les trous débouchant), l'électroérosion, le laser ou encore le brochage. Selon son usage, le trou peut être conçu pour laisser passer une pièce ou un fluide. Il peut être lisse ou taraudé afin d'accueillir un rivet ou une vis d'assemblage.

Dans cette étude, l'analyse porte sur le perçage de trous cylindriques lisses, réalisés grâce à un outil rotatif coupant appelé foret. Cette opération est l'une des plus répandues dans l'industrie



---

mécanique, en raison de sa polyvalence et de son importance dans le processus de fabrication.

Il existe plusieurs types c'est la plus important :

1- La perceuse à colonne :

La perceuse à colonne est une machine motorisée largement utilisée dans les ateliers. Elle est généralement fixée au sol, sur un établi ou sur un bâti, garantissant stabilité et précision lors des opérations de perçage. Grâce à sa puissance élevée, elle est capable de percer des matériaux très résistants, tels que l'acier. Cette perceuse permet de réaliser des trous d'un diamètre pouvant atteindre 30 millimètres, offrant ainsi une grande polyvalence dans l'usinage.



***Figure I:5. Perceuse à colonne.***

2- La perceuse radiale :

La perceuse radiale est un outil polyvalent idéal pour le perçage de matériaux aux formes variées. Elle permet de réaliser des trous avec une grande précision dans différentes directions, offrant ainsi une flexibilité accrue par rapport aux perceuses classiques.

Contrairement à la perceuse à colonne, qui est fixe, la perceuse radiale est une machine mobile. Cette caractéristique lui permet d'adapter son positionnement selon les besoins, facilitant l'usinage de pièces de dimensions et de géométries complexes.



***Figure I:6.Perceuse radiale.***

---

### 3- La perceuse à multibroche :

Cette perceuse fixe est particulièrement utile pour réaliser plusieurs trous simultanément sur un même matériau. Selon les besoins de l'utilisateur, ces trous peuvent être identiques ou de dimensions variées.

Ce fonctionnement est rendu possible grâce à la présence de nombreux porte-forets, permettant ainsi un gain de temps et une optimisation du processus de perçage dans les environnements industriels.



*Figure I:7.perceuse multibroche.*

#### **I.1.4.3 Les tours :**

Les tours sont des machines-outils utilisées principalement pour la fabrication de pièces de révolution, bien que certaines variantes, comme les tours de décolletage, permettent de réaliser des formes plus complexes.

Les pièces usinées peuvent être:

- Métalliques ou plastiques (tour mécanique).
- En bois (tour à bois).
- En terre (tour vertical de potier).

Le fonctionnement repose sur la fixation de la pièce dans un mandrin, qui la fait tourner sur elle-même. L'outil de coupe se déplace par rapport à la pièce selon un mouvement de translation dans deux directions perpendiculaires :

- Une translation parallèle à l'axe de rotation.
- Une translation perpendiculaire à cet axe.

Ce principe permet d'obtenir des formes précises et variées selon les exigences de l'usinage.

---

#### I.1.4.3.1 Les types des tours:

Il existe plusieurs types des tours :

- **Tour conventionnel :**

Ce sont les tours de base. Les opérations sont réalisées par un opérateur qui doit régler les différents paramètres et lancer les opérations.



*Figure I:8.tour conventionnel.*

- **Tour automatique (mono-broche ou multibroche) :**

Le tour automatique est conçu pour effectuer l'usinage de pièces selon des réglages prédéfinis, sans nécessiter d'intervention de la part de l'opérateur. Grâce à son fonctionnement entièrement automatisé, il assure une production rapide et efficace.

Lorsqu'il est multibroche, cette machine est capable d'usiner plusieurs pièces simultanément, optimisant ainsi le rendement et la précision du processus de fabrication.



*Figure I:9.tour automatique.*

- **Tours CNC :**

Le tour CNC est une machine-outil automatisée contrôlée par une commande numérique,

---

qui exécute un programme d'usinage préalablement défini. Contrairement aux tours conventionnels, cette machine permet d'assurer une précision élevée et une répétabilité optimale des opérations sans nécessiter d'intervention directe de l'opérateur.

Dans le cas d'un tour CNC bi-broche, les pièces à usiner sont placées dans les mandrins des broches principale et secondaire. La commande numérique prend en charge :

- La rotation des deux broches.
- Le choix des outils coupants en contrôlant la rotation des tourelles supérieures et inférieures.
- Les déplacements des outils coupants pour exécuter les opérations de coupe avec précision

➤ **Caractéristiques des tours CNC :**

Les tours CNC sont définis par plusieurs éléments clés :

- **Nombre de tourelles** utilisées dans l'usinage.
- **Tourelles motorisées ou non**, influant sur la flexibilité des opérations.
- **Nombre d'outils par tourelle**, permettant un usinage multi-outils.
- **Type de commande numérique**, qui détermine les capacités de programmation et d'automatisation.

Ce type de tour est largement utilisé dans l'industrie pour des applications de haute précision et une production en série efficace.



***Figure I:10. Tour CNC (HAAS).***

- **Tours verticaux:**

Les tours verticaux sont spécialement conçus pour l'usinage de pièces très lourdes et de

---

grand diamètre, pouvant varier de moins d'un mètre jusqu'à 10 mètres.

Dans ce type de machine, la pièce est fixée sur un plateau tournant, tandis que l'usinage est réalisé à l'aide d'un ou deux chariots mobiles qui se déplacent selon les besoins. Cette configuration permet une meilleure stabilité et précision, notamment pour les grandes pièces utilisées dans l'industrie lourde.



*Figure I:11. Tour vertical.*

Certaines versions de tours verticaux sont équipées d'une commande numérique, garantissant une automatisation des opérations et une optimisation des réglages pour des productions en série.

- **Tour parallèle:**

Le tour parallèle est une machine-outil utilisée pour effectuer des opérations de tournage sur des pièces de révolution, c'est-à-dire des pièces dont la forme est symétrique autour d'un axe horizontal.



*Figure I:12. Un tour parallèle.*

---

#### I.1.4.3.2 Principe de fonctionnement :

Lors de l'usinage, la pièce à usiner est placée dans le mandrin, maintenue par des mors. Un moteur entraîne la rotation du mandrin, fixé sur la broche. L'outil coupant est installé dans un porte-outil, solidement fixé à l'aide de vis. Ce porte-outil est ensuite monté sur une tourelle porte-outil, permettant d'ajuster la position de l'outil.

Les chariots transversal et longitudinal assurent les déplacements de l'outil grâce à des moteurs d'avance, garantissant précision et fluidité dans l'usinage. Le contrepoint, quant à lui, joue un rôle essentiel dans les opérations de pointage, centrage, perçage et alésage des extrémités de la pièce.

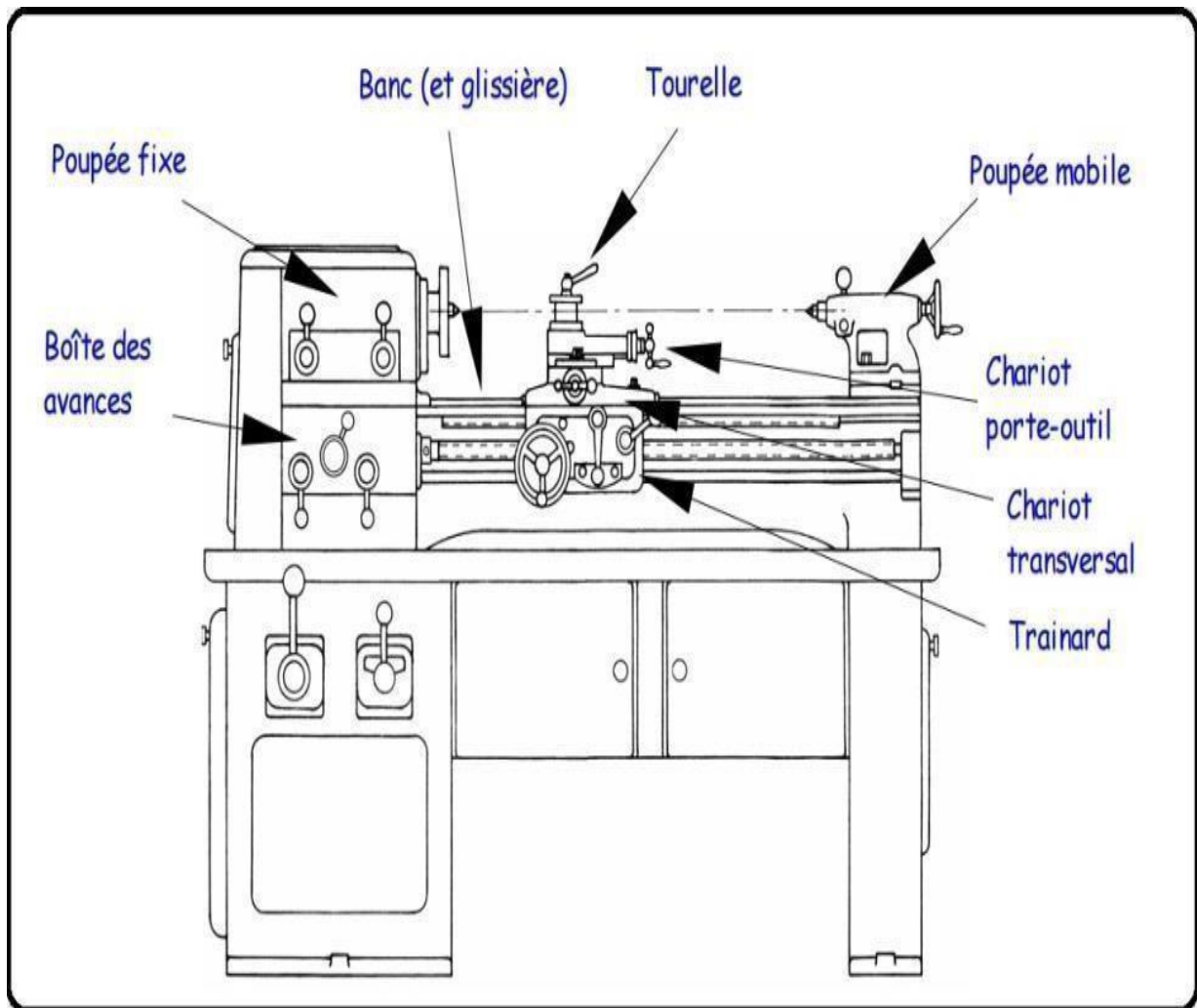
#### I.1.4.3.3 Les organes d'un tour :

Les principales composantes d'un tour sont :

- **Le bâti** : Généralement fabriqué en fonte, il constitue l'ossature de la machine.
- **Le banc** : Rectiligne sur toute sa longueur, assurant un alignement précis des pièces.
- **Les glissières** : De profil prismatique, elles garantissent un guidage précis du traînard et de la poupée mobile. Elles doivent rester impeccablement planes et dégagées.
- **La poupée fixe** : Fixée sur le banc pour maintenir l'axe de la broche parallèle aux glissières, elle contient les mécanismes de commande de la broche et des chariots.
- **La poupée mobile** : Elle joue plusieurs rôles, notamment :
  - Supporter la pièce à usiner
  - Servir de support pour certains outils (fortes charges...)
- **Le traînard** : Repose sur le banc via une portée prismatique identique à celle du banc et se déplace grâce à un système d'engrenage et de crémaillère.
- **Le chariot transversal** : Positionné perpendiculairement au traînard, il soutient le petit chariot porte-outil.
- **Le chariot porte-outil** : Il peut pivoter à 360° et permet des déplacements précis de l'outil sur une longueur de 90mm.
- **La tourelle** : Elle aussi orientable à 360°, elle sert à fixer soit le porte-outil soit directement l'outil.



- **La boîte des avances** : Située sous la poupée fixe, elle commande la vitesse de la vis mère et de la barre de chariotage via un mécanisme d'engrenages.



*Figure I:13. Organes d'un tour [3].*

#### **I.1.4.3.4 Tournage mécanique:**

Le tournage est une technique d'usinage qui consiste à retirer de la matière d'une pièce cylindrique initiale à l'aide d'outils coupants, afin d'obtenir une forme finale précise.

Ce procédé repose sur la combinaison de deux mouvements :

- La rotation de la pièce usinée, qui est fixée dans un mandrin et tourne sur elle-même.
- Le déplacement de l'outil coupant, qui suit un mouvement de translation pour réaliser l'enlèvement de matière.

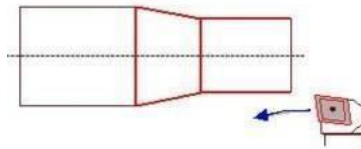
Grâce à cette interaction, le tournage permet de façonner des surfaces variées avec une haute

---

précision, offrant ainsi des résultats adaptés aux exigences industrielles.

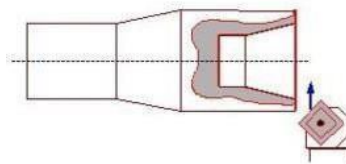
#### I.1.4.3.5 Différentes opérations de tournage:

- **Chariotage** : le chariotage est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure. [4]



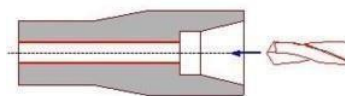
*Figure I:14.Outil de chariotage [4].*

- **Dressage** : le dressage est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche. [4]



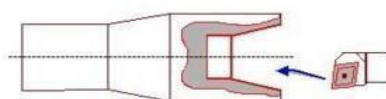
*Figure I:15.Outil de dressage [4].*

- **Perçage** : le perçage est l'opération qui consiste dans la pièce (débouchant ou borgne) à l'aide d'un foret. Souvent l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce. [4]



*Figure I:16.Outil de perçage [4].*

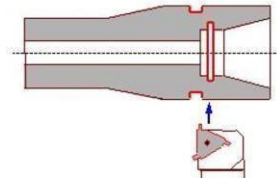
- **Alésage** : l'alésage est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce.[4]



*Figure I:17.Outil d'alésage [4].*

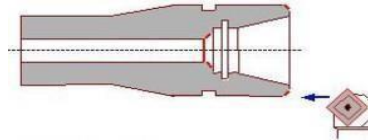


- 
- **Rainurage** : le rainurage est l'opération qui consiste à usiner une rainure (association de 3 plans) intérieur ou extérieur. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlip ou d'un joint torique. [4]



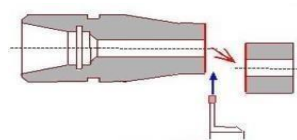
*Figure I:18.outil de rainurage [4].*

- **Chanfreinage** : Le chanfreinage est l'opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif. [4]



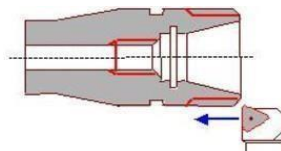
*Figure I:19.Outil de chanfreinage [4].*

- **Tronçonnage** : Le tronçonnage est l'opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de ce afin de détacher un tronçon. [4]



*Figure I:20.Outil de tronçonnage [4].*

- **Filetage** : Le filetage est l'usinage consistant à réaliser un filetage extérieur ou intérieur. [4]



*Figure I:21.Outil de filetage [4].*

#### I.1.4.3.6 Les paramètres de coupe en tournage :

- **La vitesse de coupe :**

Lorsque le mouvement de coupe est circulaire, dans le tour la fréquence de rotation est déterminée par la formule :

$$N = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad \text{donc} \quad v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$$

Avec :

**N** : vitesse de rotation tr/min

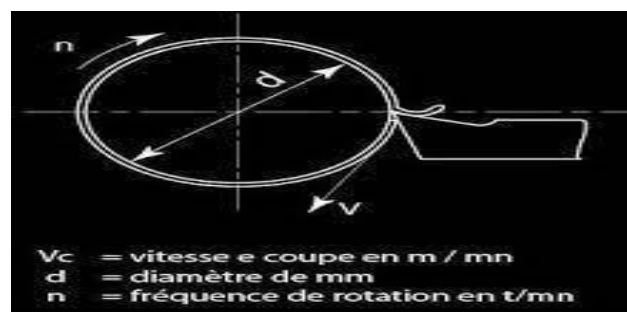
**V<sub>c</sub>** : vitesse de coupe, elle exprime la distance parcourue par une dent en une minute ; en m/min

**D** : diamètre du foret en mm

Le choix de vitesse de coupe dépend de plusieurs paramètres et essentiellement paramètre, type d'outil et la matière de la pièce.

- **La vitesse d'avance:**

L'avance par tour, exprimé généralement par la lettre f, permet le calcul de la vitesse d'avance (V<sub>f</sub>). Lors des opérations de tournage, la vitesse d'avance est donnée par la formule :



**Figure I:22.Paramètre de coupe.**

$$v_f = N \times F$$

L'avance par tour à une incidence sur l'état de surface appelée aussi la rugosité. Pour obtenir un bel état de surface, il est nécessaire de réduire cette avance. A ce stade, l'outil utilisé a lui aussi son importance.

- **Profondeur de passe :**

La profondeur de passe  $a_p$  (mm) correspond à la profondeur d'engagement de l'outil dans

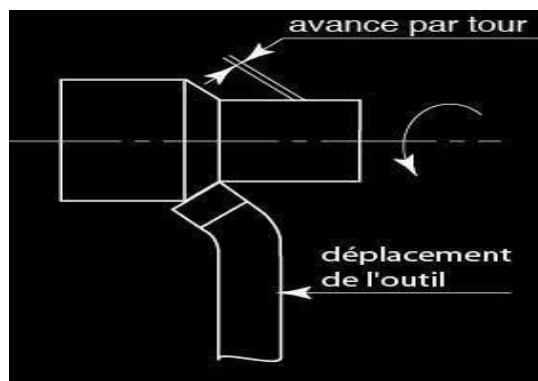
---

la pièce.

Elle varie en fonction de :

- La puissance de la machine
- Les tolérances géométriques à tenir
- Le type de matériau
- L'outil
- Ebauche ou finition

**$A_p$**  ne doit jamais être inférieur au bec de l'outil.

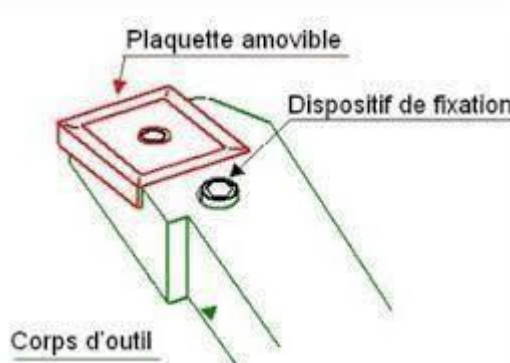


*Figure I:23. Paramètre d'avance.*

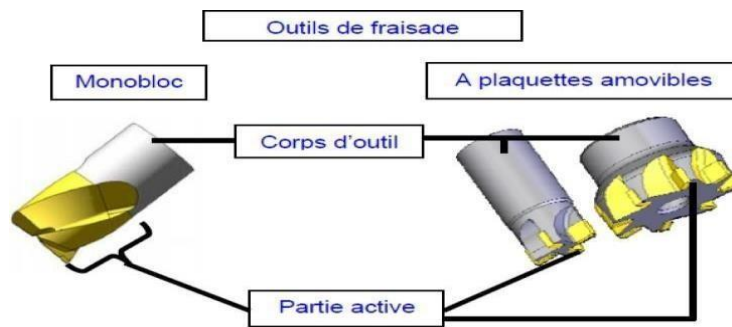
## I.2 Les outils de coupe :

### I.2.1 Composition d'outil :

Les outils répandus sont constitués d'une plaquette amovible montée sur le corps d'outil.



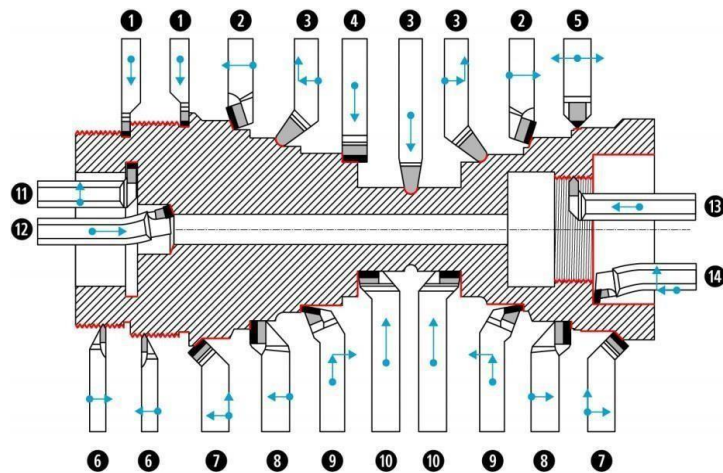
*Figure I:24. composition d'outil*



**Figure I:25. Outils de fraisage.**

Pour la réalisation des diverses opérations de tournage on dispose des outils suivants :

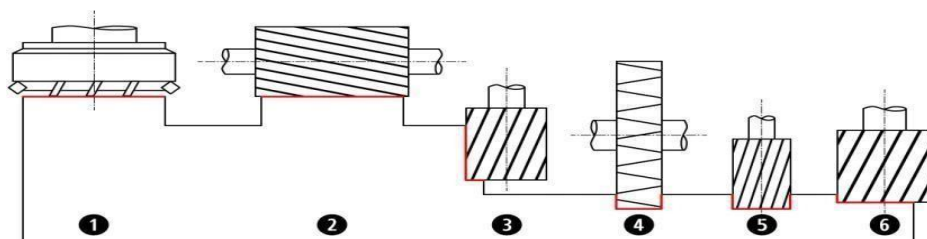
1. Outil à saigner.
2. Outil à charioter droit.
3. Outil à retoucher.
4. Outil pelle.
5. Outil à retoucher.
6. Outil à fileter (extérieur).
7. Outil à charioter coudé.
8. Outil couteau.
9. Outil à dresser.
10. Outil à dresser les faces.
11. Outil à chambrer.
12. Outil à aléser.
13. Outil à fileter (intérieur).
14. Outil à aléser et dresser.



**Figure I:26. Opérations d'usinages en tournage.**

Les opérations d'usinage qui peuvent être exécutées sur une fraiseuse :

1. Surfaçage de face.
2. Surfaçage de profil.
3. Surfaçage - dressage prédominant profil.
4. Rainurage 3 tailles.
5. Rainurage 2 tailles.
6. Surfaçage - dressage prédominant face.



**Figure I:27. Opérations d'usinages en fraise.**

## **I.2.2 Définitions des principaux types de matériaux pour les outils de coupe:**

### **1. Acier rapide supérieur (ARS) :**

Les ARS sont des aciers fortement alliés contenant plus de 0,7 % de carbone, ainsi que divers éléments formant des carbures, tels que :

- Chrome (Cr) (~4 %).

- 
- Tungstène (W), vanadium (V), molybdène (D) en proportions variables.
  - Cobalt (K), qui améliore la dureté à haute température.

Ces aciers acquièrent, après trempe, une dureté élevée qu'ils conservent jusqu'à 600 °C. De nombreuses variantes existent, la norme NF A 35-590 en répertorie 16 types, incluant des aciers sur carburés et des aciers au cobalt.

## **2. Carbures métalliques:**

Fabriqués par frittage selon la métallurgie des poudres, les carbures métalliques sont constitués de :

- Substances dures (60 à 95 % du carbure), garantissant résistance à l'usure (ex. carbure de tungstène (WC), de titane (TiC), de tantale (TaC) et de niobium (NbC)).
- Substances liantes, qui assurent la ténacité du matériau, principalement cobalt (Co).

Selon le pourcentage de ces éléments, on obtient différentes nuances adaptées à la résistance à l'usure et aux chocs. La résistance thermique dépend de la taille des grains WC, du pourcentage de Co et de la composition de la phase Y.

## **3. Carbures micro-grain:**

Ils se caractérisent par des grains ultrafins de carbure de tungstène (0,2 à 1 µm), liés avec cobalt (6 à 13 %). Ces carbures offrent une ténacité élevée, permettant des arêtes de coupe plus fines et des angles de coupe très positifs.

## **4. Aciers et carbures revêtus:**

Les outils en acier rapide et carbures existent sous forme revêtue, avec une couche de 1 à 20 µm de :

- Nitrure de titane (TiN) (~2000 HV, couleur or).
- Carbure de titane (TiC) (~3900 HV, gris).
- Carbonitrure de titane (TiCN) (~3000 HV, gris).
- Oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (~2400 HV, noir).

Ces revêtements prolongent la durée de vie des outils en réduisant les frottements copeau/outil et pièce/outil.

## **5. Cermets:**

---

Composés de titane avec un liant de nickel et/ou cobalt, ces matériaux offrent une excellente résistance à l'usure et stabilité chimique. Ils sont principalement utilisés pour la finition, notamment en tournage des aciers inoxydables.

## **6. Céramiques:**

Les céramiques frittées existent sous deux grandes familles :

- À base d'alumine : pures (blanches) ou avec oxydes métalliques (grises).
- À base de nitrure de silicium, notamment sialons, conçues pour vitesses de coupe élevées et résistant à l'usure, mais sensibles aux chocs. Elles sont adaptées à l'usinage des métaux ferreux, mais non aux alliages légers ou titane.

## **7. Diamant polycristallin :**

Composé de grains fins de 5 à 30  $\mu\text{m}$ , il est utilisé en finition et semi-finition des métaux non ferreux (aluminium, cuivre, plomb) et des matériaux non métalliques (graphite, composites).

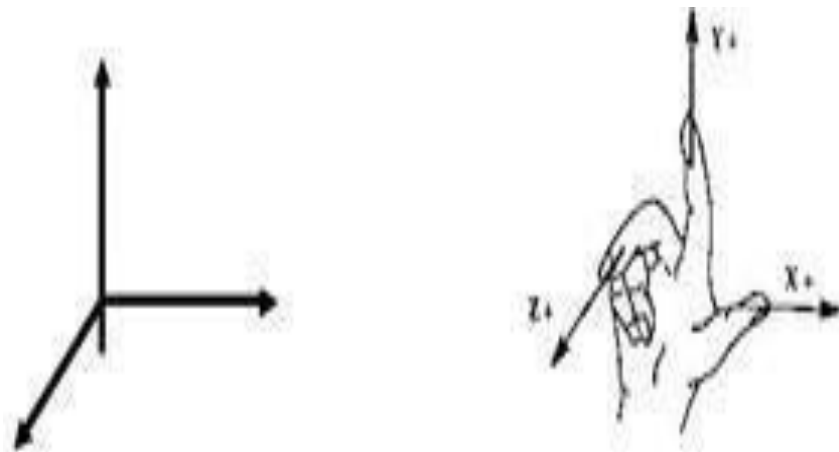
### **I.3 Les axes et les mouvements des machines-outils :**

Dans les machines-outils modernes, c'est à dire programmables (à Commande Numérique, à CN), afin d'établir des programmes d'exécution d'opérations et de faciliter l'interchangeabilité des données de programmation, Les axes des Machines-Outils et leurs Trièdres de référence constituent leur **RÉFÉRENTIEL NORMALISÉ**.

((Extrait de la norme AFNOR NF Z 60-020 : norme qui a pour objet de définir une nomenclature des axes et mouvements pour machines à commande numérique)).

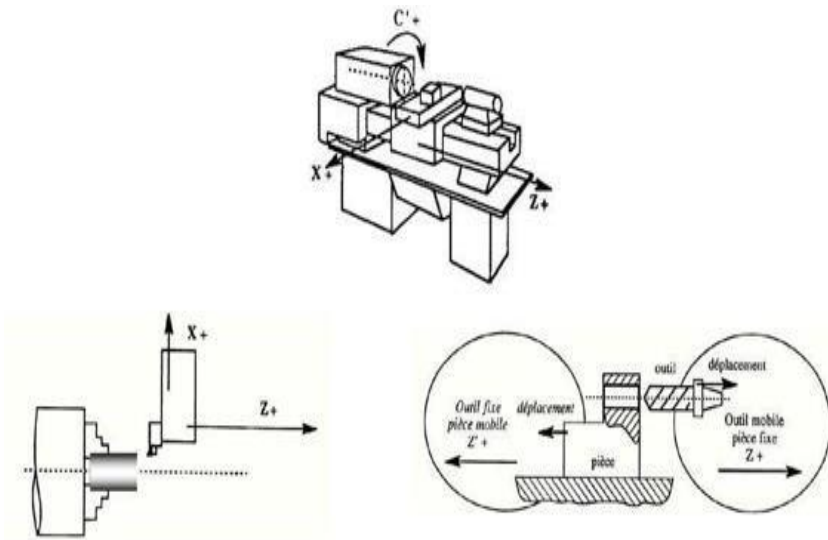
**Axe :** direction suivant laquelle le mouvement est commandé numériquement en continu en vitesse et position.[6]

**Trièdre de référence :** le système de coordonnées (X, Y, Z) est un système cartésien de sens direct lié à une pièce placée sur la machine. On peut le définir par la règle des trois doigts.[6].



*Figure I:28.Trièdre de référence et Règle des trois doigts [6].*

### I.3.1 Les mouvements rectilignes des machines-outils :



*Figure I:29.Situation du trièdre de référence par rapport à la machine-outil (Tour).[6]*

Les machines-outils suivent des **axes de déplacement** précis pour assurer un usinage efficace et structuré :

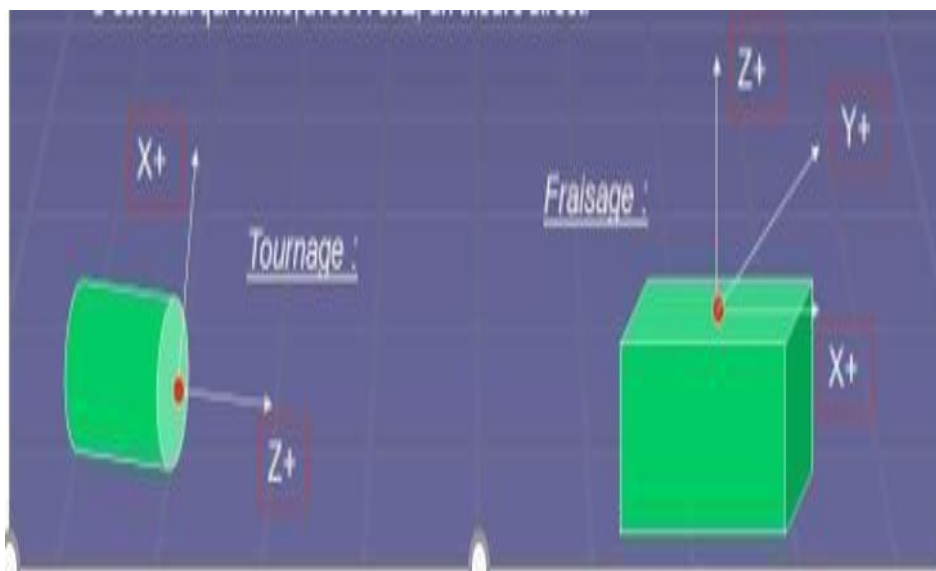
- **L'axe Z** : Il est **parallèle** à l'axe de la **broche principale**, quelle que soit la machine. Pour les machines sans broche, cet axe est **perpendiculaire** à la table.



- **L'axe X** : Il correspond au mouvement qui offre le **plus grand déplacement**, une fois l'axe Z défini.
- **L'axe Y** : Il forme avec les axes X et Z un **trièdre de sens direct**, assurant la coordination des mouvements dans l'espace.
- **Sens positif (+) des déplacements** : Lorsque le chariot se déplace dans un sens positif, cela entraîne **l'éloignement de l'outil** par rapport à la pièce, qui est considérée comme **fixe**.

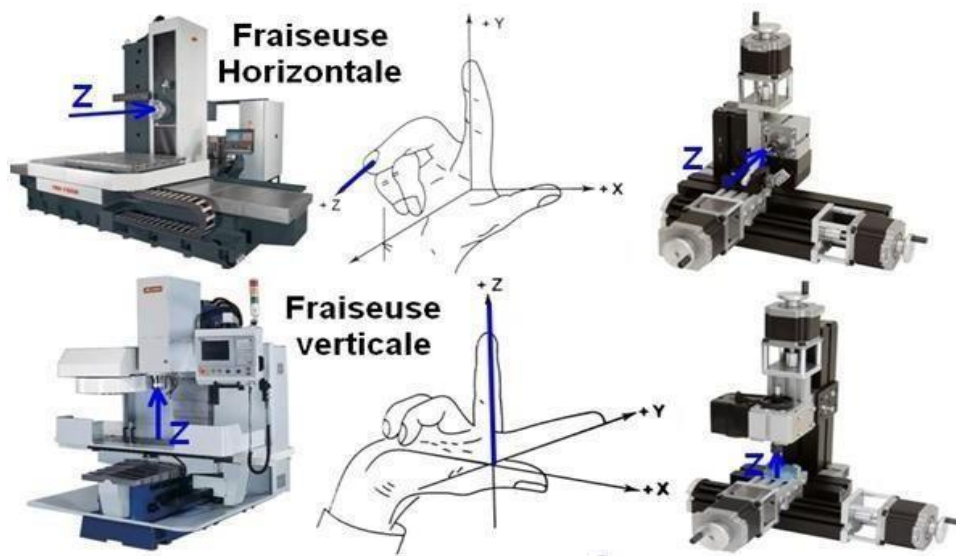
Ces principes permettent de structurer les mouvements des machines-outils et d'assurer un usinage précis et contrôlé.

Remarque importante (NF Z 68-020) : Sur les MOCN, on considère que le trièdre direct de référence est lié à la pièce fixe et que l'outil possède tous les degrés de liberté, or ce sont parfois les tables des machines qui sont en mouvement et qui assurent l'obtention de la surface usinée. Ces mouvements de la pièce sont repérés par le symbole "prime", ajouté à la lettre correspondante du trièdre de référence et se trouvent par conséquent en sens inverse.[6]



*Figure I:30. Dispositions des axes linéaires en tournage et en fraisage.*

**Pour les fraiseuses horizontales** : l'axe de la broche est parallèle à la table.



*Figure I:31. Situation du trièdre de référence par rapport à la machine-outil (Fraiseuse).*

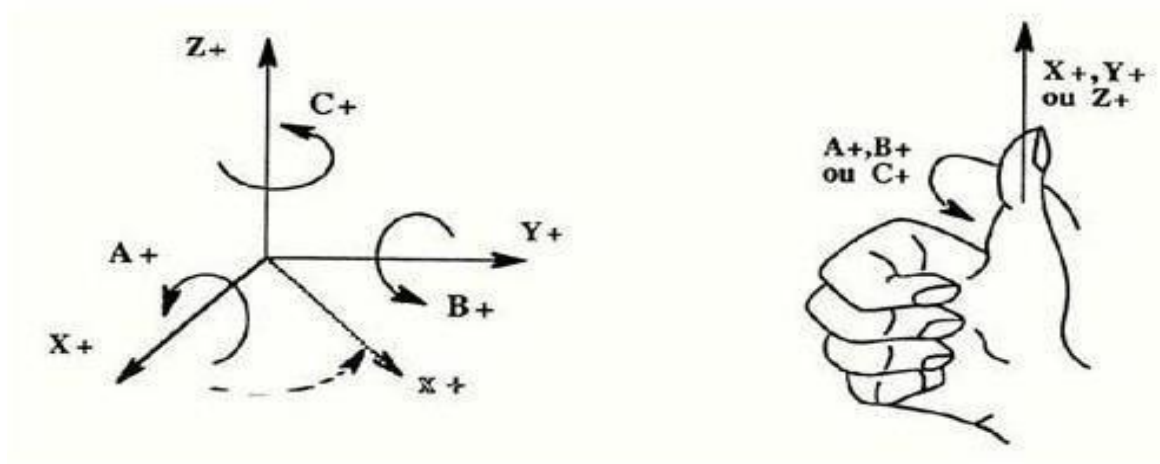
### I.3.2 Les mouvements de rotation des machines-outils :

Les symboles A, B et C représentent les mouvements de rotation effectués autour d'axes parallèles aux axes X, Y et Z, respectivement.

- **Sens positif des rotations :** Contrairement au sens trigonométrique (sens des aiguilles d'une montre), les rotations A, B et C suivent un sens inverse.
- **Observation de l'axe linéaire correspondant :** Le sens de rotation est défini par la direction du déplacement par rapport à l'axe linéaire considéré.

#### Détermination du sens de rotation :

1. **À partir du trièdre de référence :** Le sens de rotation autour de l'axe Z est déterminé lorsque X rejoint Y en passant par l'intérieur du trièdre.
2. **Méthode du pouce :** En orientant le pouce de la main droite vers le sens positif de l'axe linéaire considéré, le sens positif de l'axe de rotation correspond à la direction des autres doigts légèrement repliés.



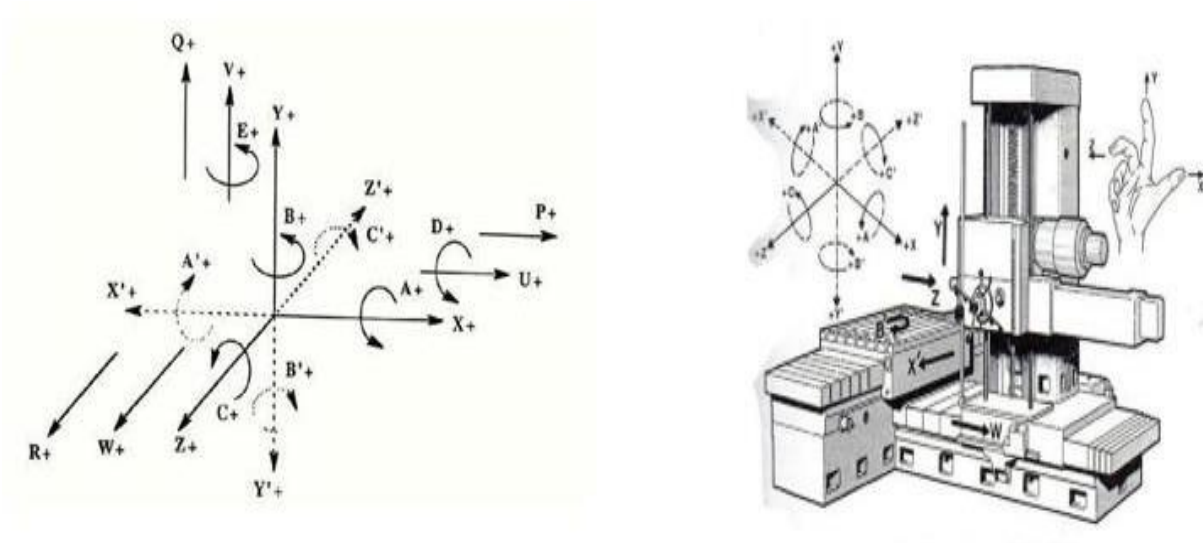
**Figure I:32.**Les mouvements de rotation, dispositions et sens par rapport aux axes.[6]

### I.3.3 Les axes additionnels des machines-outils

Afin d'augmenter les capacités opérationnelles des machines, certaines d'entre elles possèdent des axes en plus des axes principaux.

**Exemple :** tour à 2 tourelles indépendantes + rotation de la broche numérisée. Le repérage de ces axes est normalisé : (NF Z 68-020) Axes des machines-outils (et SENS) [FR] ou Machining Axis [EN]

La représentation des axes normalisés des MOCN ainsi que les axes additionnels selon



**Figure I:33.**Les principaux axes et axes additionnels des MOCN.

**Tableau I-1. Récapitulatif et Description des axes de déplacements normalisés sur une machine-outil.**

Primaire	Secondaire	Tertiaire	Primaire	Secondaire
X	U	P	A	D
Y	V	Q	B	E
Z	W	R	C	F

#### **I.3.4 Les formes en fabrication :**

La complexité des formes d'une pièce influence directement le nombre d'axes nécessaires pour son usinage. Voici un résumé des différentes machines en fonction de leur nombre d'axes

##### **Machines 3 axes (X, Y, Z) :**

- Utilisation : Idéales pour les pièces simples, avec des géométries planes ou nécessitant un usinage vertical.
- Exemples : Plaques, perçages droits, évidements rectangulaires.
- Limites : Pas d'accès aux angles complexes ni aux multiples faces sans repositionner la pièce.

##### **Usinage CNC à 3 axes :**

- Mouvements : Déplacement linéaire sur les axes X, Y et Z.
- Caractéristiques : La pièce reste fixe, tandis que l'outil se déplace dans les trois directions.
- Applications : Convient aux surfaces planes et aux formes 2D.

##### **Machines 4 axes (X, Y, Z + rotation autour de A ou B) :**

- Utilisation : Adaptées aux pièces modérément complexes, nécessitant un usinage rotatif (ex. cylindres).
- Exemples : Vis, arbres à cames, formes hélicoïdales simples.
- Avantage : Permet d'usiner plusieurs faces sans démontage.

##### **Usinage CNC à 4 axes :**

- Mouvements : Ajout d'un axe de rotation (souvent autour de X ou Y).

---

- Caractéristiques : La pièce peut tourner, permettant un accès supplémentaire sans repositionnement.

- Applications : Idéal pour les pièces avec des formes plus complexes.

#### **Machines 5 axes (X, Y, Z + 2 axes de rotation) :**

- Utilisation : Requises pour les pièces complexes, comportant des angles multiples, courbes 3D ou cavités profondes.

- Exemples : Aubes de turbines, prothèses médicales, moules complexes.

- Avantage : Usinage en une seule prise, précision élevée, excellent état de surface.

#### **Usinage CNC à 5 axes :**

- Mouvements : Déplacements linéaires (X, Y, Z) + rotations (A et B).

- Caractéristiques : Très grande flexibilité, permettant l'usinage des formes complexes en une seule configuration.

- Applications : Idéal pour les pièces à géométrie libre, contre-dépouilles et formes 3D complexes.

#### **Machines multiaxes (> 5 axes) :**

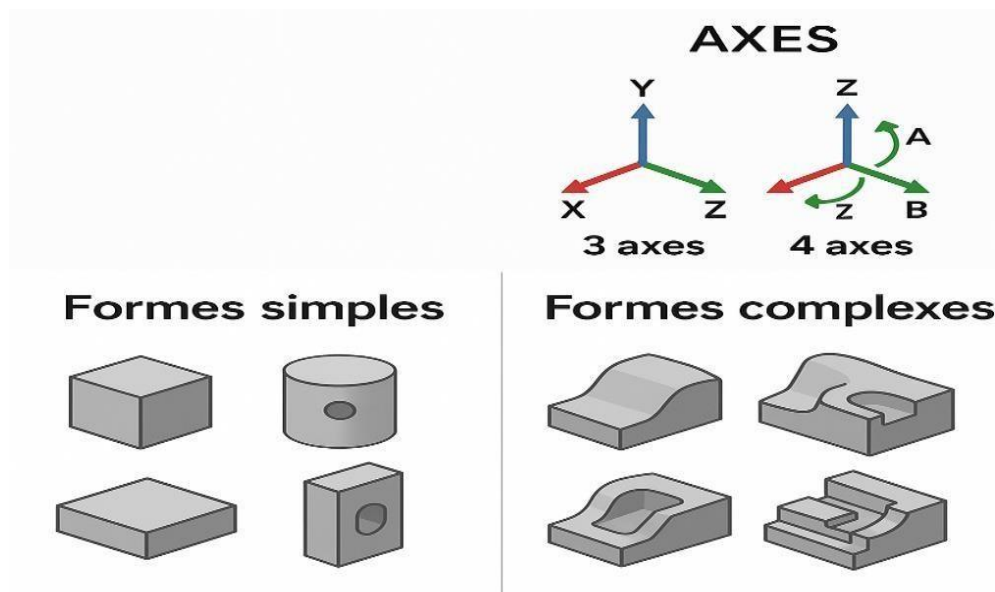
- Utilisation : Pour des pièces extrêmement complexes, notamment en aérospatial ou en médical, avec des exigences de précision très élevées.

- Exemples : Structures organiques, surfaces à géométrie libre, microstructures.

- Avantage : Liberté totale d'usinage, mais avec un coût et une programmation élevée.

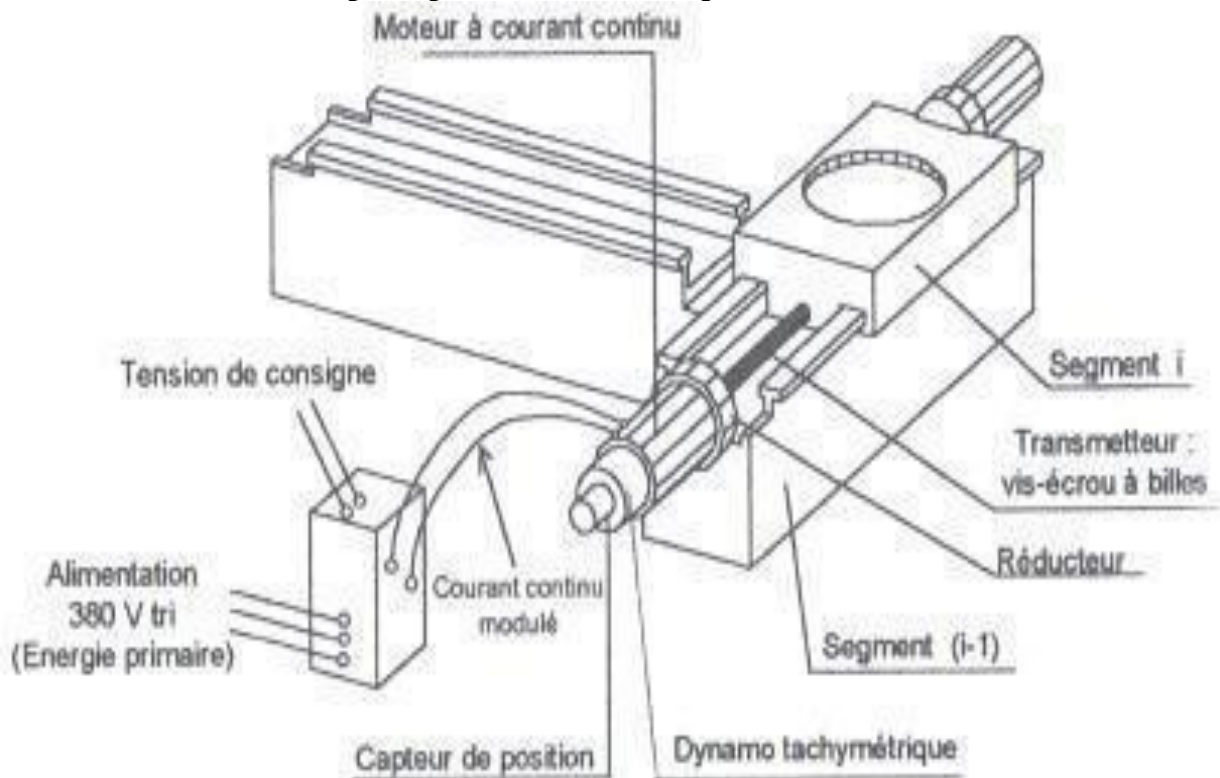
***Tableau I-2.Résumé par complexité de forme.***

Simple (formes 2D/3D basiques)	3 axes	Plaques, trous, poches
Moyenne (formes courbes simples, cylindres)	4 axes	Arbres, gorges circulaires
Complexe (formes 3D multifaces)	5 axes	Aubes, implants, moules
Très complexe (formes libres ou en série)	5 axes et plus	Aérospatial, biomédical avancé



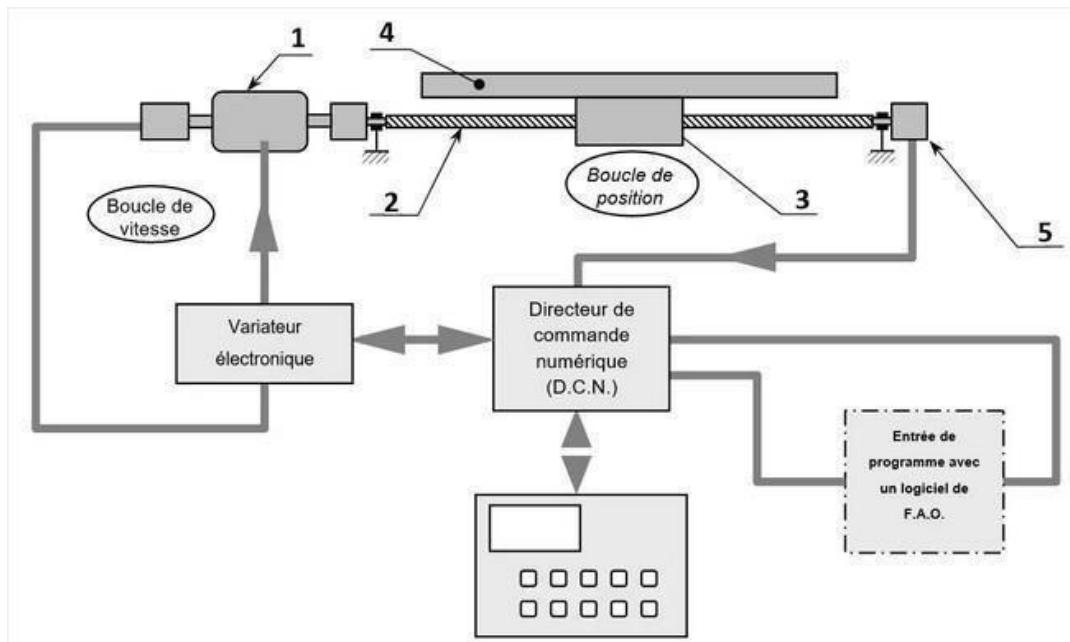
*Figure I:34.les formes simples et complexes.*

#### I.4 Eléments et Schéma de principe d'un axe numérique :



*Figure I:35.Eléments physiques d'un axe numérique classique. [7]*

- Le moteur DC, appelé aussi moteur à courant continu, fait partie de la classe des moteurs électriques et sert essentiellement à transformer de l'énergie électrique en énergie mécanique.
- La dynamo tachymétrique : elle transforme un mouvement mécanique (rotation de l'axe) en énergie électrique (tension continue). La tension délivrée est proportionnelle à la vitesse de rotation, elle est exprimée en mV pour 1 tr/min ou en V à 1 000 tr/min.



**Figure I:36. Schéma d'un axe numérique avec les boucles de positions et de vitesses. [7]**

Le moteur à courant continu 1 entraîne sans jeu la vis à billes 2 dont l'écrou 3 est lié au Chariot

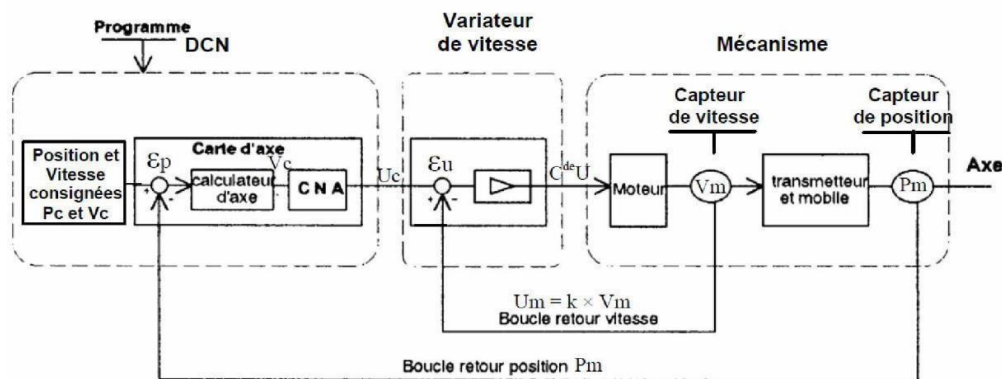
4. À l'extrémité de la vis, un compteur d'impulsions 5 vérifie constamment la position exacte du chariot 4 en additionnant le nombre de fractions (très petites) de tours de vis. Cette information transmise au directeur

de commande numérique (DCN) 6 est comparée avec les positions prévues par le programme, cette seconde action

Continue de contrôle et d'ajustement est appelée « boucle de position »

**Remarque :** Un axe est considéré comme complet s'il possède les 2 boucles (position et vitesse). Dans le cas contraire, on le considère comme un demi axe (ou bien axe positionner).





**Figure I:37. Schéma d'un axe numérique avec corrections des tensions (V) et des positions CNA (Convertisseur Numérique).**

$U_c$  : Tension consignée.

$P_c$  : Position consignée

$V_m$  : Vitesse mesurée

$V_c$  : Vitesse consignée

$U_m$  : Tension mesurée

$P_m$  : Position mesurée

$\epsilon_p$  : Ecart de position

$C_{deU}$  : Commande du moteur en tension

#### I.4.1 Éléments de la commande principale :

La partie commande est destinée à piloter la partie opérative. Elle est composée :

- ☐ D'un calculateur (CNC)
- ☐ Des cartes d'axes, qui sont des éléments électroniques de base des axes de déplacements, reçoivent les ordres du calculateur pour piloter les moteurs, c.à.d. autoriser l'alimentation des moteurs. Celle-ci va varier en fonction de la consigne (vitesse programmée, distance de déplacement) et de la position de l'axe.
- ☐ D'un DCN ou directeur de commande numérique (associé au pupitre), pilote la machine- outil. Il décode le programme, calcule les déplacements et délivre les ordres aux cartes d'axes.
- ☐ Les DCN sont généralement conçues pour faciliter à l'opérateur la programmation.

Le développement de logiciels de CFAO minimise leur intérêt et surtout le type intuitif de programmation.



### I.4.2 Eléments de la partie opérative :

• Les axes de déplacements, au minimum les MO sont équipés de 3 axes : X, Y, Z (norme NF Z6-020), au maximum on y trouve en général 5 axes ; avec Z : axe de la broche, X : plus grand déplacement, Y : axe complétant le trièdre ; les sens positifs (+) des déplacements sont considérés par l'éloignement de l'outil par rapport à la pièce "fixe".

- Le système Porte pièce,
- Le système Porte outil.

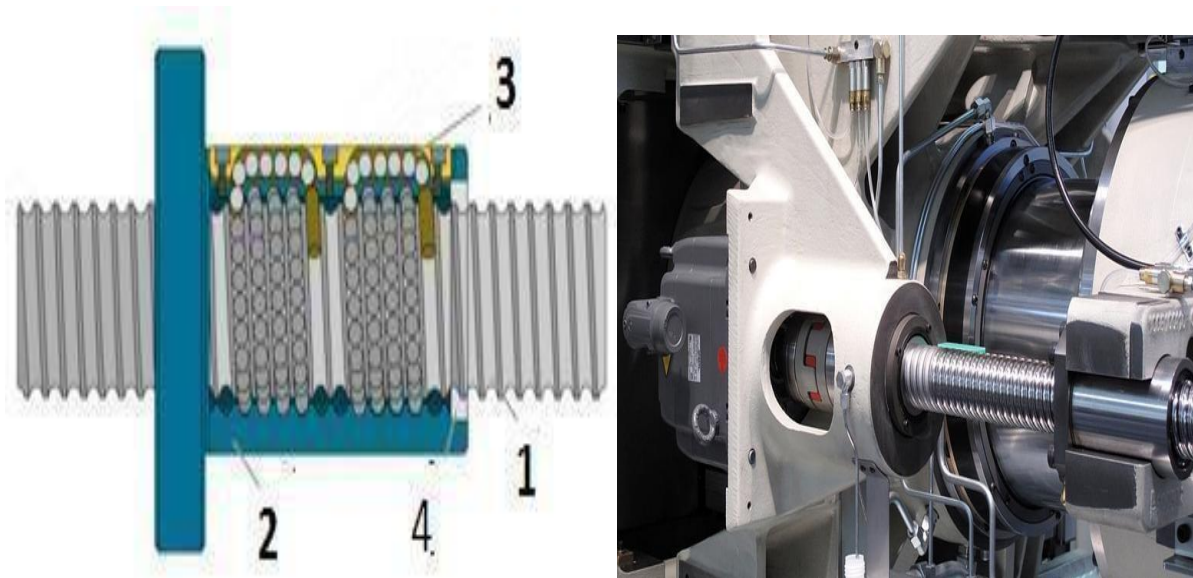
Trois types de moteurs électriques peuvent assurer tous les déplacements :

□ Moteur pas à pas : pour les M.O de faibles puissances, il est possible d'utiliser des moteurs pas à pas sans boucle de retour : pas de contrôle (calculateur → le nombre d'impulsions → nombre de rotations  $d\alpha$ ).

□ Moteur à courant continu : est utilisé en général pour les M.O de faibles, voire de moyennes puissances, mais très peu pour les fortes puissances ; il est remplacé par le moteur cité ci- après.

□ Moteur à courant alternatif : pour les M.O de fortes ou de faibles puissances ; il a la particularité de varier la fréquence du courant d'alimentation (U tension → F fréquence).

Pour les déplacements des systèmes portes pièces et portes outils, on utilise généralement un système vis- écrou à billes.



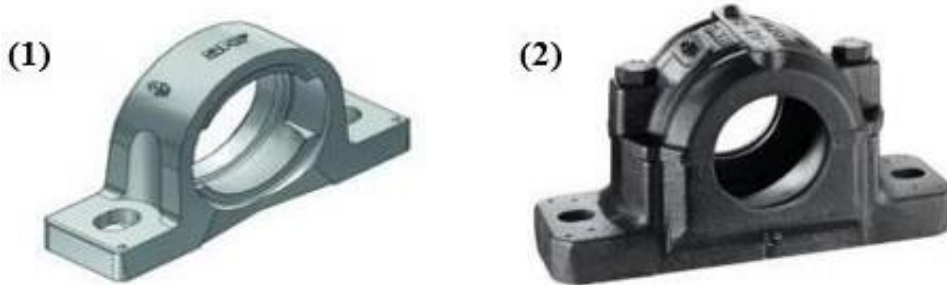
*Figure I:38. Vis-Ecrou à billes. [7]*

- 1) Vis à billes.
- 2) Ecou à billes.
- 3) Circulation des billes à travers l'écrou à billes.
- 4) Essuie-chemin des billes.

---

Pour la transmission des mouvements, dans les contacts fixe/mobile et mobile/mobile, on utilise :

### **I.5 Les paliers :**



***Figure I:39. Paliers à semelle classiques.***

- 1) Monobloc en fonte.
- 2) En deux parties.

Un palier est un ensemble mécanique permettant le guidage en rotation d'un arbre de machine. Il doit être capable de supporter des charges élevées ainsi que des vitesses de rotation importantes, tout en minimisant le frottement et en fonctionnant sans lubrification dans certains cas.

#### **I.5.1 Types de paliers :**

##### **I.5.1.1 Paliers lisses :**

- L'arbre repose sur des coussinets, générant un frottement de glissement entre les surfaces en contact.
- Ce type de palier est souvent utilisé lorsque l'on recherche un fonctionnement silencieux et stable.

##### **I.5.1.2 Paliers à roulement:**

- Le contact est assuré par des billes, aiguilles ou rouleaux placés dans des cages.
- Bien qu'ils réduisent le frottement grâce à la résistance au roulement, ils permettent néanmoins de supporter des charges importantes et d'atteindre des vitesses élevées.

##### **I.5.1.3 Les paliers magnétiques :**

Les roulements à billes rencontrent des limites de fiabilité pour des rotations dépassant 25 000 tr/min, en particulier dans le cadre de l'usinage à grande vitesse (plus de 20 000 tr/min). Pour répondre à ces exigences croissantes, les paliers magnétiques ont été introduits dans la

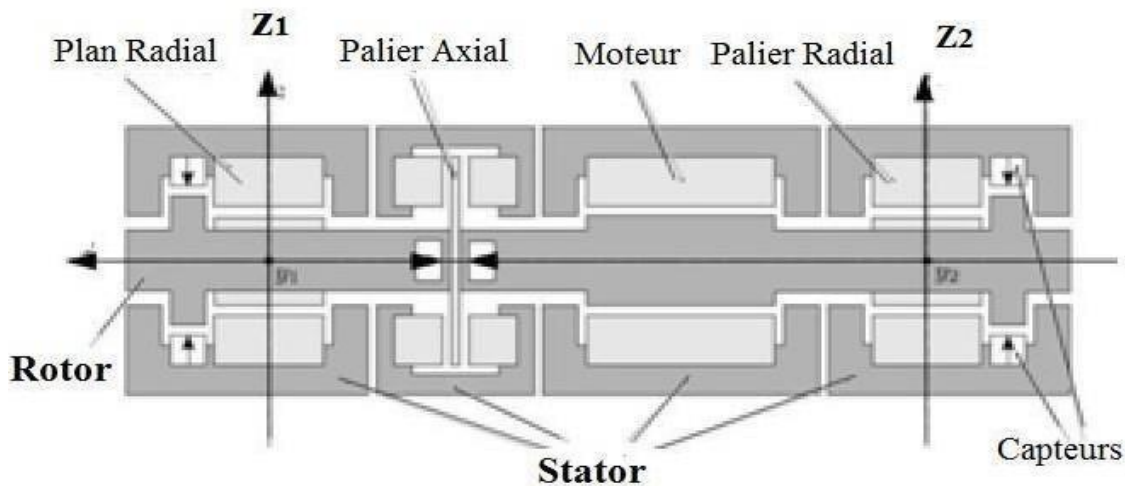
---

conception des machines-outils modernes.

#### I.5.1.3.1 Avantages des paliers magnétiques:

Les broches et paliers magnétiques permettent d'atteindre des vitesses de rotation parfois supérieures à 45 000 tr/min, offrant ainsi : Suppression des contacts mécaniques, réduisant ainsi l'usure des composants. Rigidité améliorée et fonctionnement sans vibrations, optimisant la précision d'usinage. Diminution des frottements, augmentant ainsi l'efficacité et la durée de vie du système.

Cette technologie représente une avancée majeure pour les machines-outils destinées à des applications haute précision et des cadences de production élevées.



**Figure I:40. Schéma en coupe d'une broche à Palier Magnétique Actif.[7]**

Les constructeurs de machines-outils n'ont pas totalement abandonné les broches traditionnelles montées sur paliers à roulements à billes. Toutefois, pour des vitesses de rotation élevées (de 25 000 à 40 000 tr/min), plusieurs nouvelles technologies ont été développées : **Broches à roulements en céramique, Broches à paliers à air ou à fluide.**

#### I.5.1.3.2 Principe de fonctionnement des paliers magnétiques actifs :

Dans un palier magnétique actif, l'arbre tournant est mis en lévitation et maintenu en position grâce à des forces électromagnétiques agissant dans des directions radiales opposées.

Ces forces sont générées par des électro-aimants situés dans le stator, pilotés en temps réel par une électronique de commande, permettant ainsi une adaptation optimale aux conditions de fonctionnement.

---

#### **I.5.1.3.3 Composants d'un palier magnétique actif :**

- **Le stator et le rotor du palier :** Génèrent les forces électromagnétiques assurant la lévitation de l'arbre.
- **Des capteurs de position :** Mesurent la position de l'arbre selon **5 axes (X, Y1, Y2, Z1, Z2)**.
- **Un système électronique et des algorithmes :** Contrôlent le courant envoyé aux bobines du stator, maintenant l'arbre dans une position prédéfinie.

---

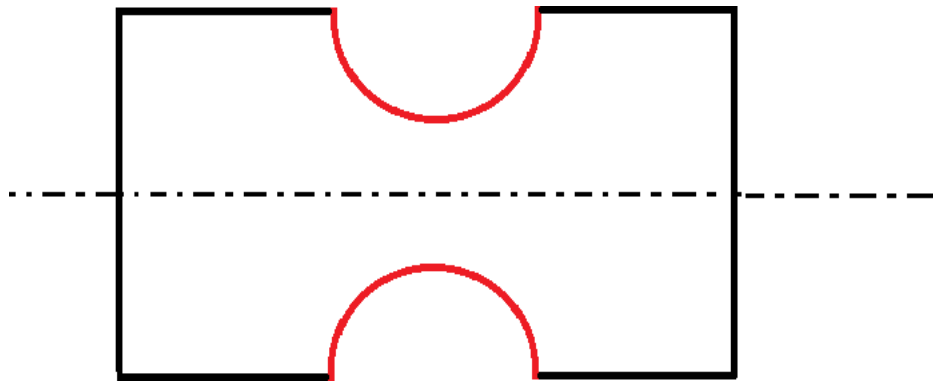
## **Chapiter II: Problème de fabrication de surface rond sur un tour classique**

---

---

## II.1 Définition de problème :

Dans le cadre de l'usinage sur un tour classique, la fabrication de surfaces rondes (cylindriques ou coniques) peut présenter plusieurs difficultés liées à la précision dimensionnelle, à la rugosité de surface, ou encore à la concentricité. Ces problèmes peuvent être causés par des défauts de montage, un mauvais réglage de l'outil, une usure des éléments mécaniques du tour, ou encore une mauvaise sélection des conditions de coupe (vitesse, avance, profondeur de passe).



*Figure II:1.schéma de la forme usinée.*

Ces formes sont fabriquées pour beaucoup de choses :

### II.1.1 Les poulies :

Les poulies sont des dispositifs mécaniques constitués d'une roue sur un axe, utilisée pour changer la direction ou magnitude d'une force.[8]

**Elles sont utilisées notamment pour:**

- Lever des charges lourdes (grues, palans).
- Réduire l'effort nécessaire pour soulever un objet.
- Transmettre de l'énergie ou du mouvement (courroies, moteurs).



*Figure II:2.poulie.[8]*

#### II.1.1.1 Types de poulies :

- ❖ **Poulie fixe** : change la direction de la force.

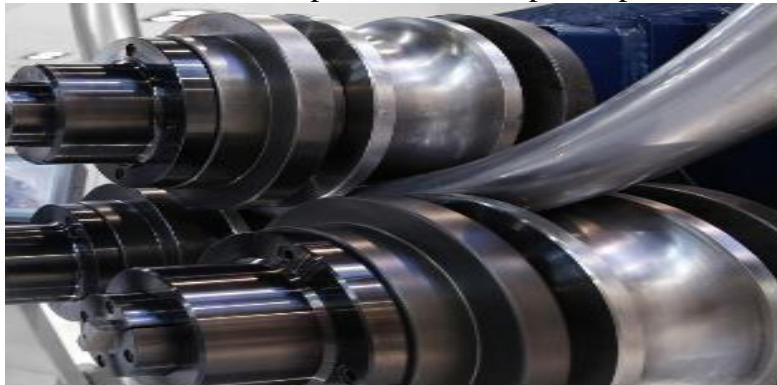
- 
- ❖ **Poulie mobile** : réduit la force nécessaire.
  - ❖ **Poulie composite (ou palan)** : combine les deux.

## II.1.2 Les cintreuses :

Les cintreuses sont des outils utilisés pour courber ou plier des matériaux, surtout des tubes et des barres métalliques.

**Elles sont utilisées dans:**

- La plomberie (tubes en cuivre ou acier).
- La construction métallique (cadres, structures).
- L'automobile ou l'industrie pour former des pièces précises.

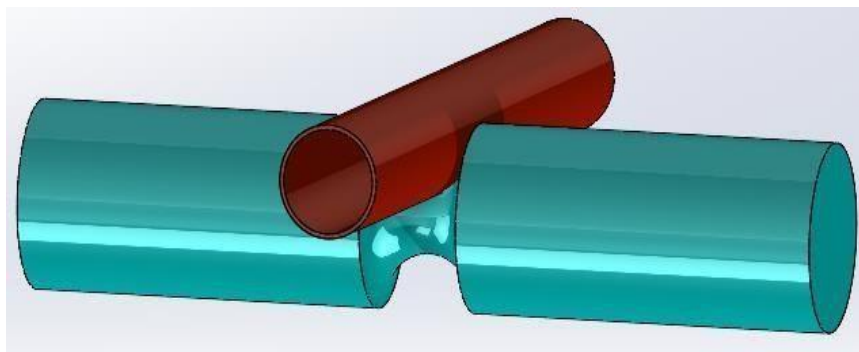


*Figure II:3.cintreuse.[9]*

### II.1.2.1 Types de cintreuses :

- ❖ **Manuelle** : pour petits travaux, simple d'utilisation.
- ❖ **Hydraulique** : plus puissante, pour travaux lourds.
- ❖ **Électrique ou CNC** : contrôle automatique, haute précision.

## II.1.3 Croisement de deux cylindre (assemblage) :



*Figure II:4.Croisement de deux cylindre.*

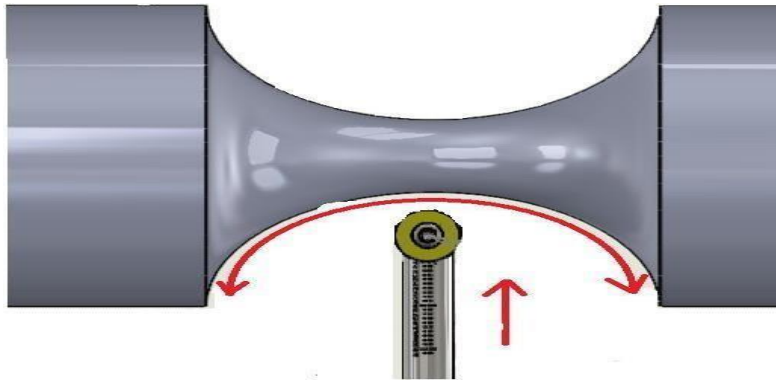
C'est pourquoi je propose un dispositif spécial pour la réalisation une forme cylindrique concave

## II.2 Définition de dispositif :

C'est un outil fixé au porte-outil de tour classique, qui permet la fabrication de surfaces rondes et les formes cylindrique concave

### II.2.1 Principe de travail de dispositif :

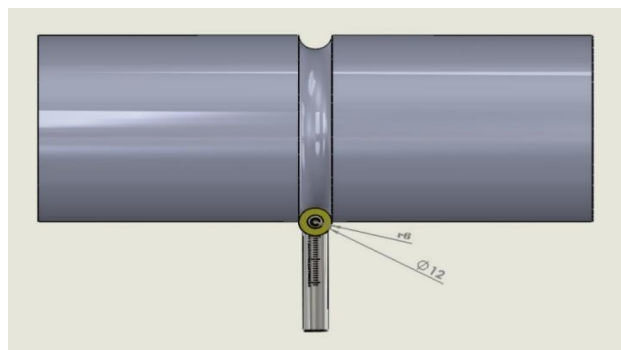
Pénétration de matériau par un demi-tour à droite et à gauche



*Figure II:5.Principe de travail de dispositif.*

### II.2.2 Les rayons mini et maxi qui capable de le faire ce dispositif :

- **Position 1** : pénétration mini sans rotation.

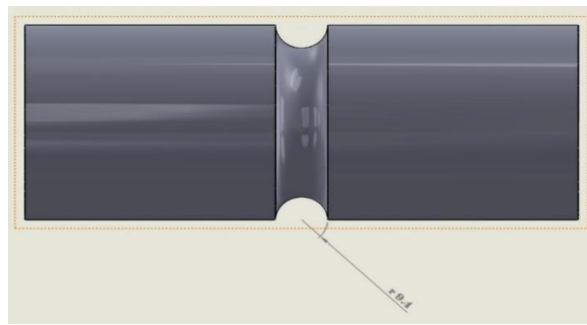


*Figure II:6.pénétration mini sans rotation.*

R Min=r6 mm

- **Position 2**: pénétration mini avec rotation

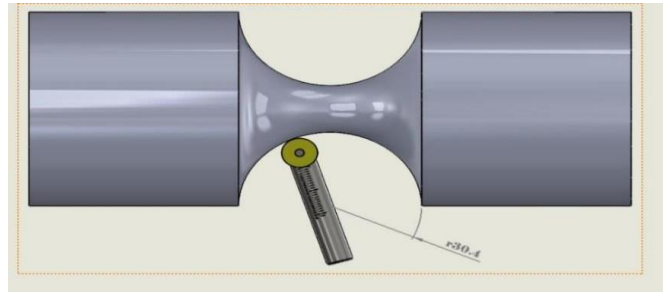




**Figure II:7.pénétation mini avec rotation.**

R Min= r9.4 mm

➤ **Position 3:** pénétation maxi avec rotation



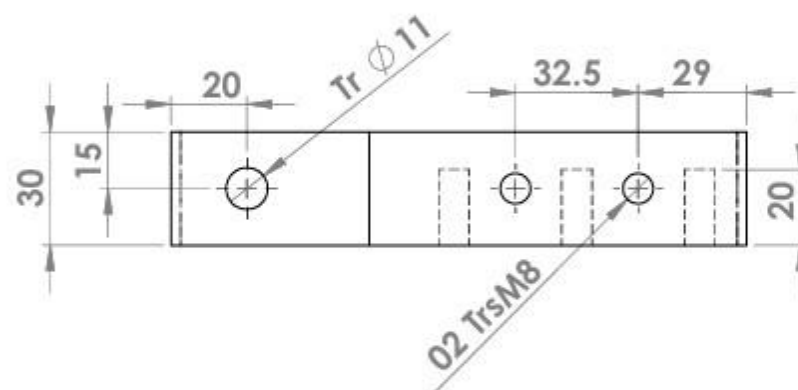
**Figure II:8.pénétration maxi avec rotation.**

R Maxi=r 30.4 mm

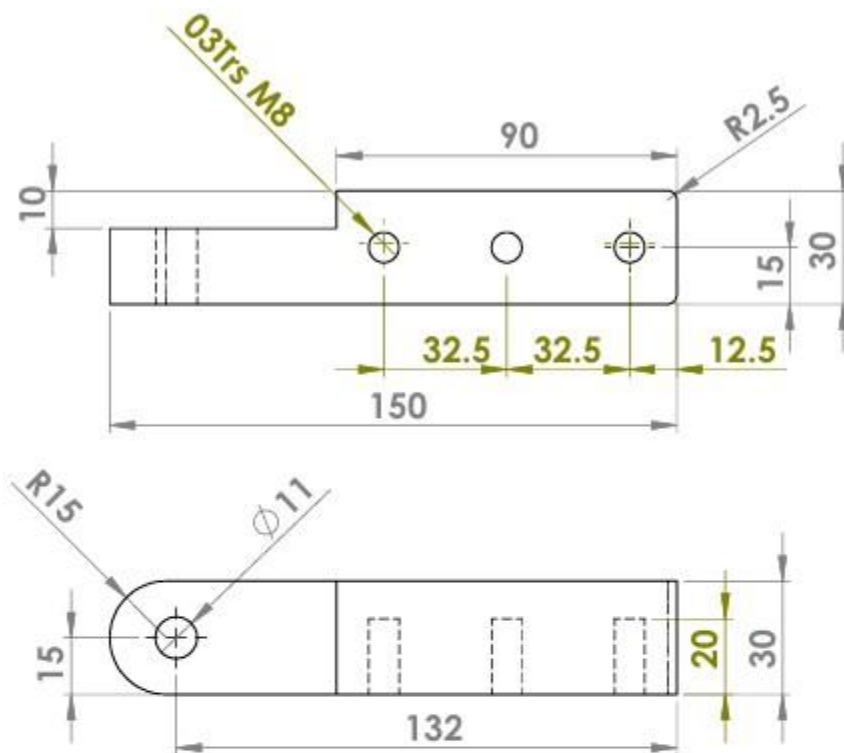
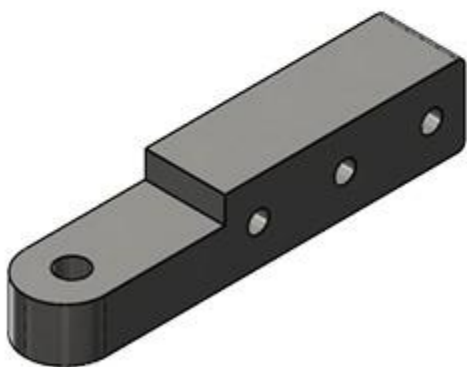
## **Chapiter III: Étude de conception et fabrication.**



	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE	
AUTEUR VERGÉ	ALDOUAT SADDOK MOUHAMEDHACH		31/04/2025	Outil de tournage spécifique	
	ALAOUI M.			DE DE ROUE	
DATE	Revisé			<b>Assemblage OUTILLAGE SDK 2025</b>	A3
QUAL.					
PROJ.			PASSE: 3707.80 grams	ECHELLE 1:2	FEUILLE 1 SUR 1



	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE: <b>Outil de tournage spécifique</b>	
AUTEUR	Aïouaf Saddik		07/04/2025		
VERIF.	Bouchelaghem A/Aziz M.		MATERIAU:  \$235JO	No. DE PLAN	A4
FAB.	Ferrovial			<b>SDK 2025.001</b>	
QUAL.					
APPR.	carti 40*40*200	MASSE:	927.04 grams	ECHELLE: 1:2	FELILLE 1 SUR 1



	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE: Outil de tournage spécifique	
AUTEUR	Aliouat Saddik		07/04/2025	No. DE PLAN <b>SDK 2025.002</b>	A4
VERIF.	Boucheiaghem A/Aziz M.				
FAB.	Ferrovial		S235JO		
QUAL.					
APPR.	carri 40°40°200		MASSE: 858.56 grams	ECHELLE: 1:2	FEUILLE 1 SUR 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

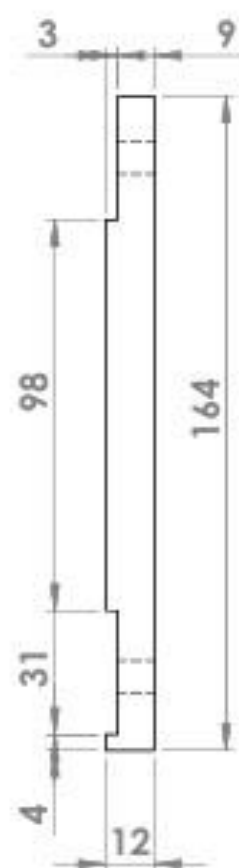
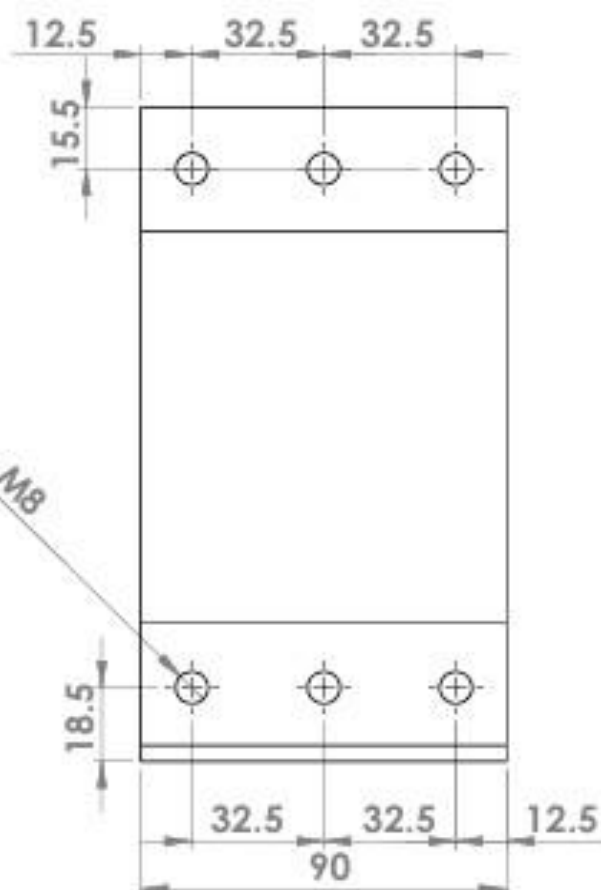
D

C

C

B

B



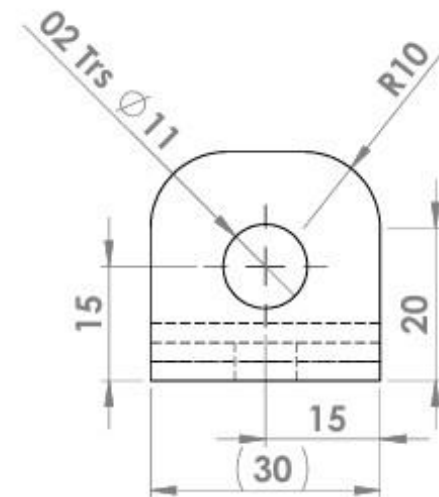
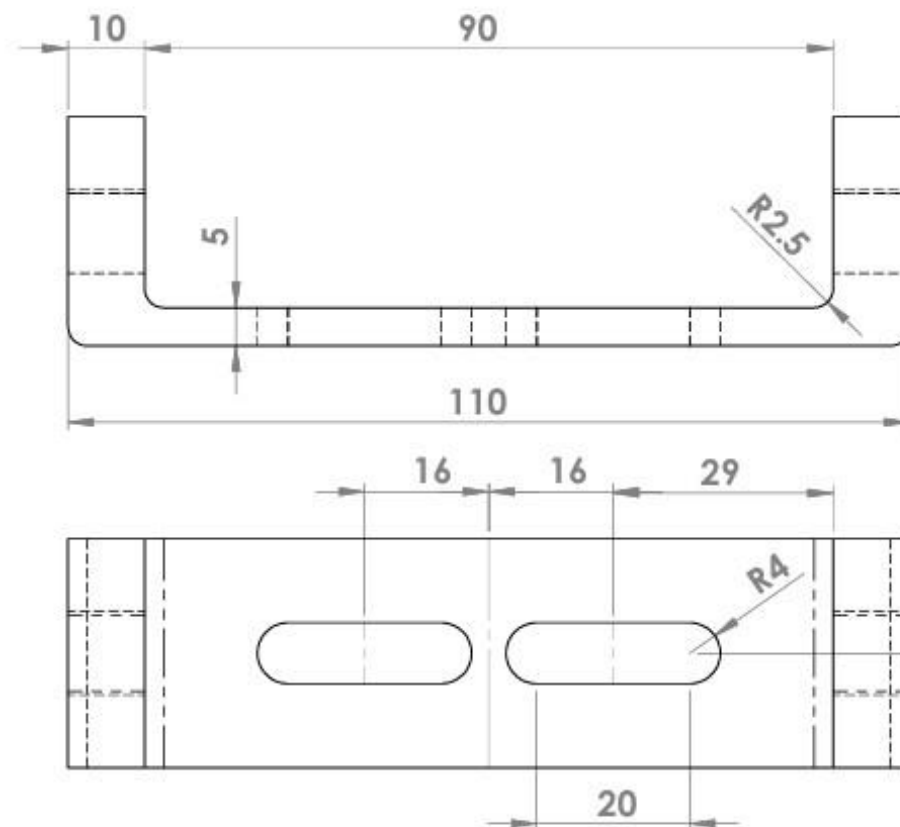
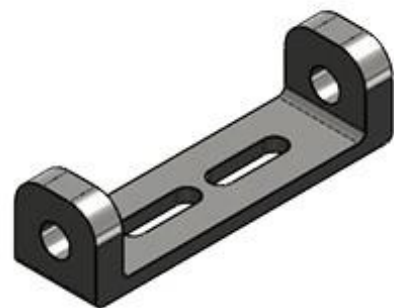
06Trs M8



A

A

	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE	Outil de tournage spécifique	
AUTEUR	Aliouat Soddik		07/04/2025		No. DE PLAN <b>SDK 2025.003</b>	A4
VERIF.	Bouchelaghmem A/Ate M					
FAB.	Petroxid					
QUAL.						
APPR.	Plaf 100 ep=15, lg=175					
			MASSE: 1229.79 grams	ECHELLE: 1/2	FEUILLE 1 SUR 1	



	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE: Outil de tournage spécifique	
AUTEUR:	Aliouat Saddik		07/04/2025	No. DE PLAN <b>SDK 2025.004</b>	A4
VERIF.	Bouchelaghem A/Azis M.				
FAB.	Ferroviai				
QUAL.					
APPR.	cam 40*40*200		MASSE: 207.78 grams	ECHÉLLE: 1:1	FEUILLE 1 SUR 1



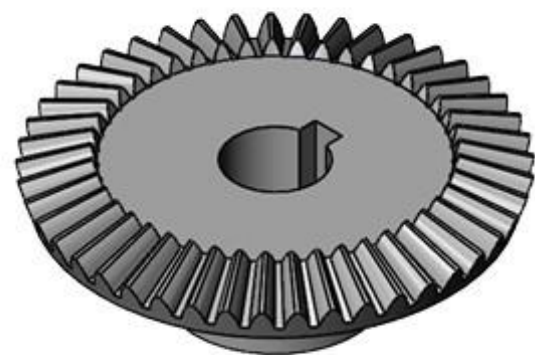
6 5 4 3 2 1

D

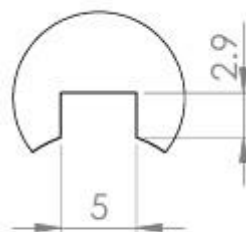
C

B

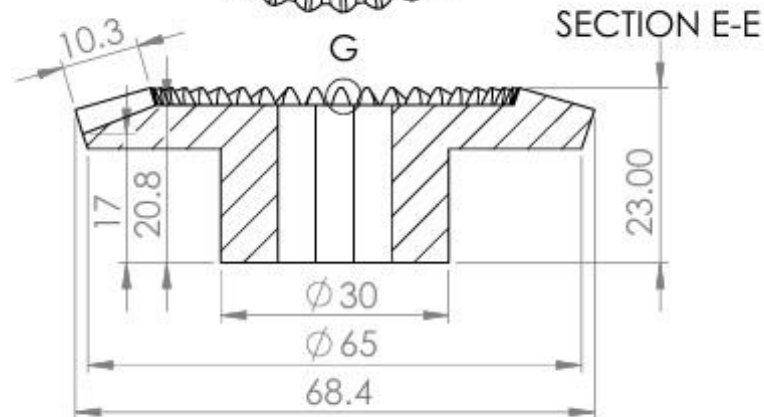
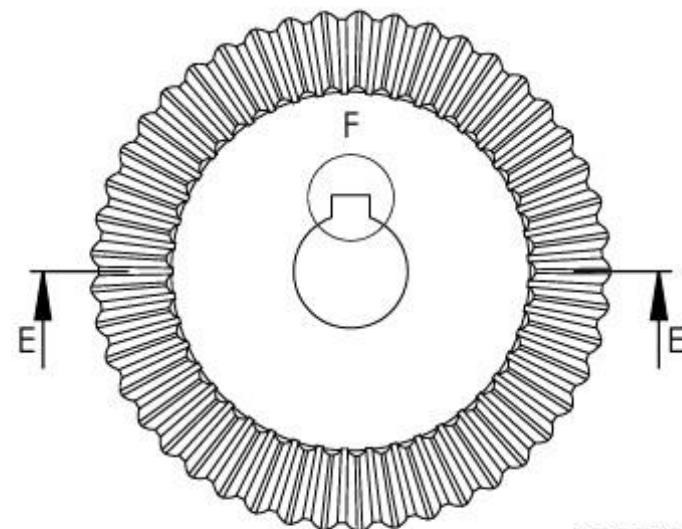
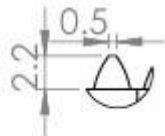
A



DETAIL F  
SCALE 2 : 1



DETAIL G  
SCALE 2 : 1



	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE:
AUTEUR	Aliouat Saddik		07/04/2025	Dispositif spécial pour un four classique
VERIF.	Boucheiaghern A/Azir M		MATERIAU:	No. DE PLAN
FAB.	Ferroval		42CrMo4	Couronne
QUAL.				
APPR.			MASSE: 1229.79 grams	ECHELLE: 1:1
				FEUILLE 1 SUR 1

6 5 4 3 2 1

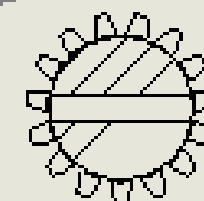
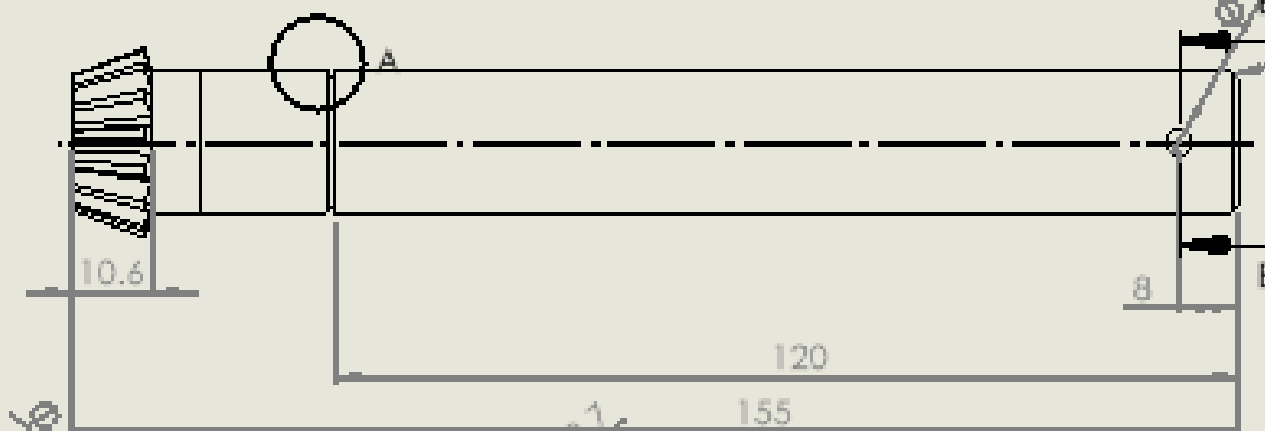
D

C

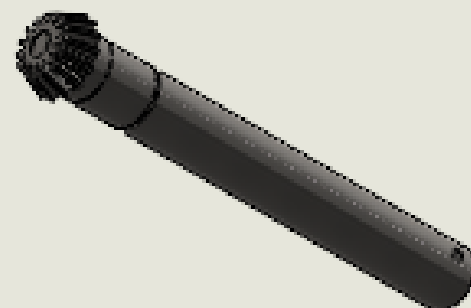
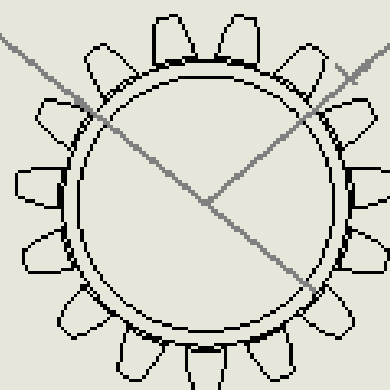
B

A



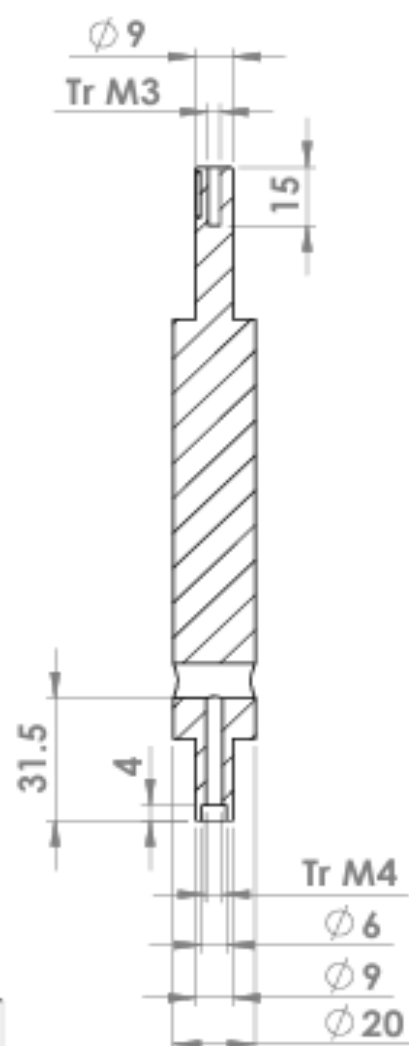


SECTION B-B  
SCALE 1 : 1

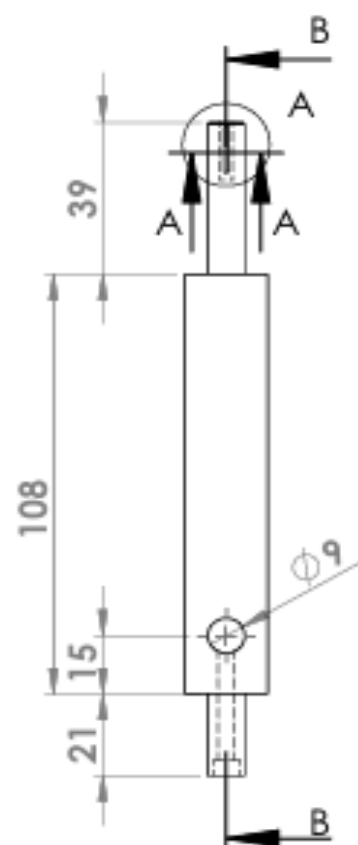
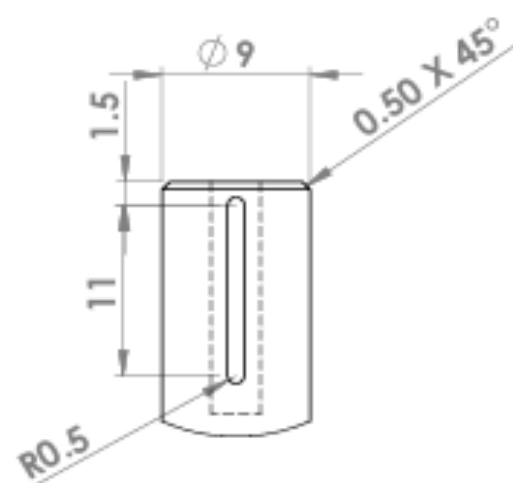


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: FED-STD-889C GRADE A ANODIZED				TYPICAL		SECURE AND STAY SHARP DESIGN		DET. LIST SCALE DRAWING		REVISED:	
		NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE	
DRAWN										Outil de tournage spécifique	
CHECKED											
APPROVED											
BY:											
Q.A.										DRAWING NO.	
										A 4	
										Arbre Pignon	
						WEIGHT: 341.23 grams		SCALE: 10x		SHEET 1 OF 1	

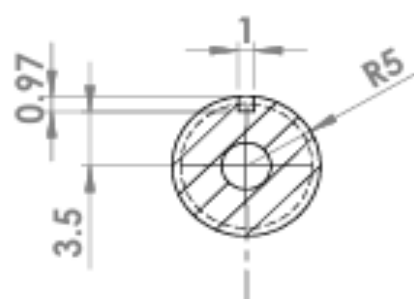
COUPE B-B



DÉTAIL A  
ECHELLE 2 : 1



COUPE A-A  
ECHELLE 2 : 1



NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE
AUTEUR: Aloual Sadiq		07/04/2025	Outil de tournage spécifique
VERIF: Bauchelaghem A/Azi M.			
PAB: Ferrovial			
QUAL:			
APPR: rond DIM=24, Lq=200			
MATERIAU: S235JO			
MASS: 280.28 grams			
ECHELLE: 1:2			
FEUILLE 1 SUR 1			

SDK 2025.007

A4

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

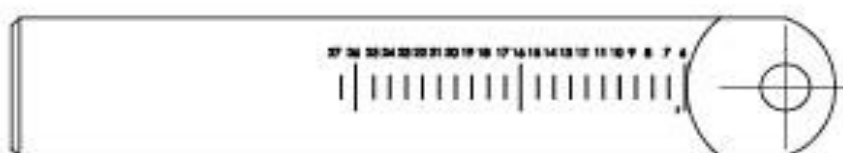
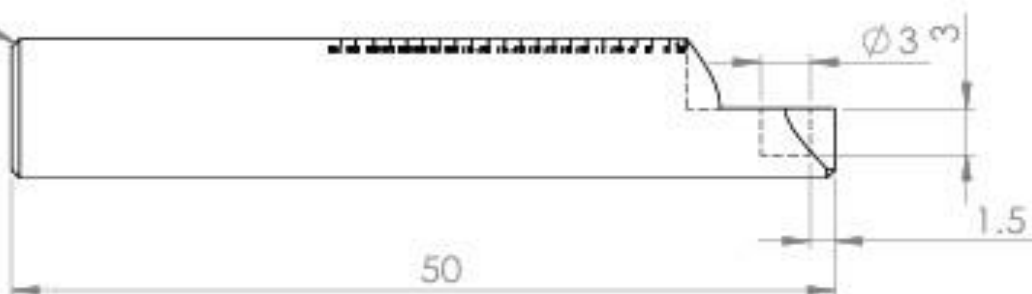
C

B

B

A

A

 $0.5 \times 45^\circ$ 

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHECKED					
APPROVED					
MFG					
QA					

TITLE:

DWG NO.

SDK 2025.011

A4

MATERIAL:

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

### III.1 Analyse de la matière :

Matière proposée (**ACIER DIN 42CRMO4 / 1.7225**)

42CrMo4 est un acier traitable thermiquement qui contient au moins 0.9%Cr, 0.15%Mo comme éléments de renforcement. Après trempé et revenu, il obtient une résistance élevée, une bonne ténacité aux chocs à basse température avec une résistance à la traction typique de 900-1200 N / mm<sup>2</sup>.

Ce matériau a également une bonne usinabilité, une bonne résistance à l'usure, mais la fragilité de la trempe n'est pas évidente, et mauvaise soudabilité.

#### III.1.1 Composition chimique selon en 10083-3 :

*Tableau III-1.composition chimique.*

NOTER	NUMÉRO	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
42CrMo4	1.7225	0.38-0.45	≤ 0,40	0.60-0.90	≤ 0,025	≤ 0,035	0.90-1.20	0.15-0.30

#### III.1.2 Normes pertinentes :

*Tableau III-2.norme.*

Etats-Unis	Royaume-Uni	Chine	Japon	France	Russie
4140	EN19 / 708M40	42CrMo	SCM440	42CD4	42HM

#### III.1.3 Forgeage :

42CrMo4 température de forgeage :900 - 1100 °C, refroidissement aussi lentement que possible dans l'air calme ou dans le sable après forgé.

#### III.1.4 Traitement thermique :

- **Normalisation** : 850-880 °C, refroidissement à l'air.
- **Recuit doux** : 680 - 720 °C, refroidissement dans le four.
- **Soulager le stress** : 450-650 °C, refroidissement à l'air.
- **Trempe** : 820 - 880 °C, trempe à l'huile ou à l'eau.

- **Revenu** : 540-680 °C, refroidissement à l'air.

### III.1.5 Application :

42CrMo4 a une résistance et une résistance à l'usure élevées, largement utilisées dans de nombreuses industries.

Composants à haute résistance et ténacité pour les outils, les pièces automobiles, la construction mécanique, les composants d'armement, tels que les roues Geer, les pignons, les bielles, les pièces pour la construction mécanique.

Composants soumis à des contraintes statiques et dynamiques pour véhicules, moteurs et machines. Pour les pièces de plus grandes sections, vilebrequins, engrenages.

### III.2 La gamme d'usinage :

La gamme d'usinage est une feuille donnant l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinage d'une pièce en fonction des moyens d'usinage.

#### III.2.1 Définitions :

- **Phase (Ph.)** : Ensemble des opérations élémentaires exécutées au même poste de travail.
- **Sous phase S/Ph.)** : Ensemble d'opérations réalisées sur un même poste de travail sans démontage de la pièce.
- **Opération** : est un ensemble d'actions de transformation mettant en œuvre un seul moyen qui a pour but de rapprocher le produit de son état final Tout changement d'outil correspond à un changement d'opération.
- **Opération d'ébauche** : elle permet d'enlever un maximum de matière tout en se rapprochant de la surface finale.
- **Opération de finition** : Cette opération permet d'obtenir un bon état de surface et une précision géométrique et dimensionnelle
- **Le contrat de phase** : Le contrat de phase est le document de référence de l'opérateur. Il décrit l'ensemble des opérations, éventuellement groupées en sous-phases, réalisées sur un même poste de travail

#### Contenu du contrat de phase :

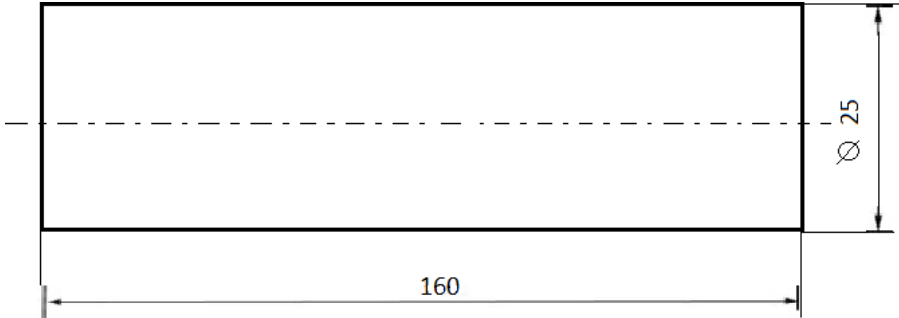
- Informations générales et d'identification.
- Informations relatives au poste de travail.
- Informations relatives aux opérations d'usinage.

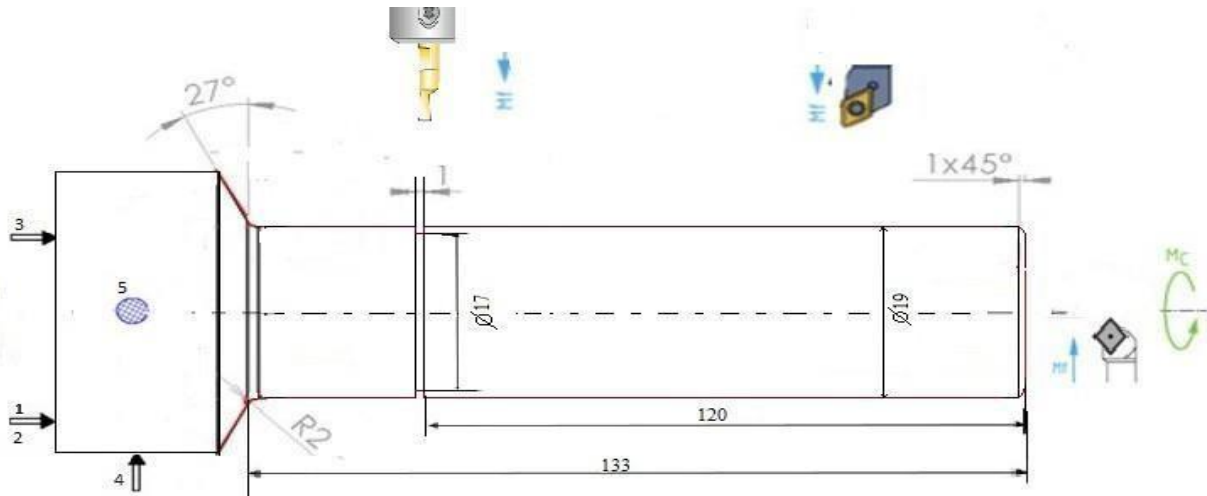
**Tableau III-3.Mode opératoire de fabrication étendu.**

Pièce : Arbre pignon			Gamme d'usage		Brut : cylindrique Ø25mm, L=160mm Nombre de pièces : 1	
Ensemble : Outil de Tournage Spécifique						
N° de Ph. et S/Ph.		Opérations	Machines	Montage	Outils de coupe	Outils de contrôle
100		Contrôle du brut	Atelier de contrôle	/	/	Pieds à coulisse
200	210	<div>- Dressage d'un côté</div> <div>- Chariotage</div> <div>- Gorge</div>	Tour parallèle	En l'air	<div>-Outil a dresser en carbure</div> <div>-outil a charrioter en carbure</div> <div>-outil a rainure</div>	Pieds à coulisse
	220	<div>- Dressage l'outre côté</div> <div>- Chariotage conique Angle=26</div>		En l'air	<div>- Outil a dresser en carbure</div> <div>-outil a charrioter en carbure</div>	Pieds à coulisse
300		Perçage trou Ø3.5	Perceuse verticale	Sur Vés	Foret Ø3.5	Pieds à coulisse
400		Taillage d'engrenages	Tailleuse d'engrenages	Plateau diviseur en l'air	Fraise à disque modulaire en ARS ;  m = 1.5	Jauge module
500		TTH Trempe + Revenu	Four	/	Pince creuse	/
600		Contrôle de la pièce finie	Atelier de contrôle	/	/	<div>- Pieds à coulisse</div> <div>- Jauge module</div>

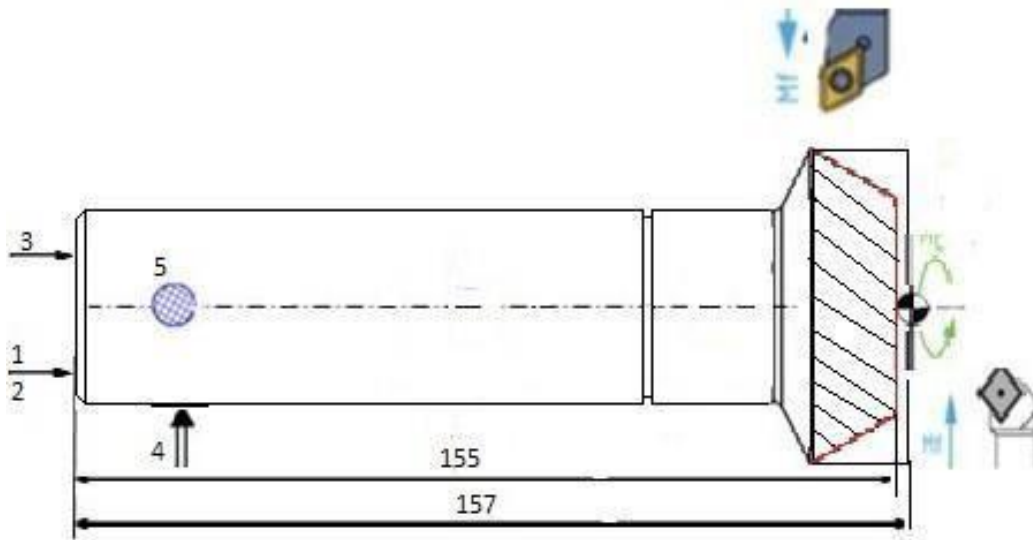
III.2.2 Les contrats de phase :

Tableau III-4. Contrat de phase 100.

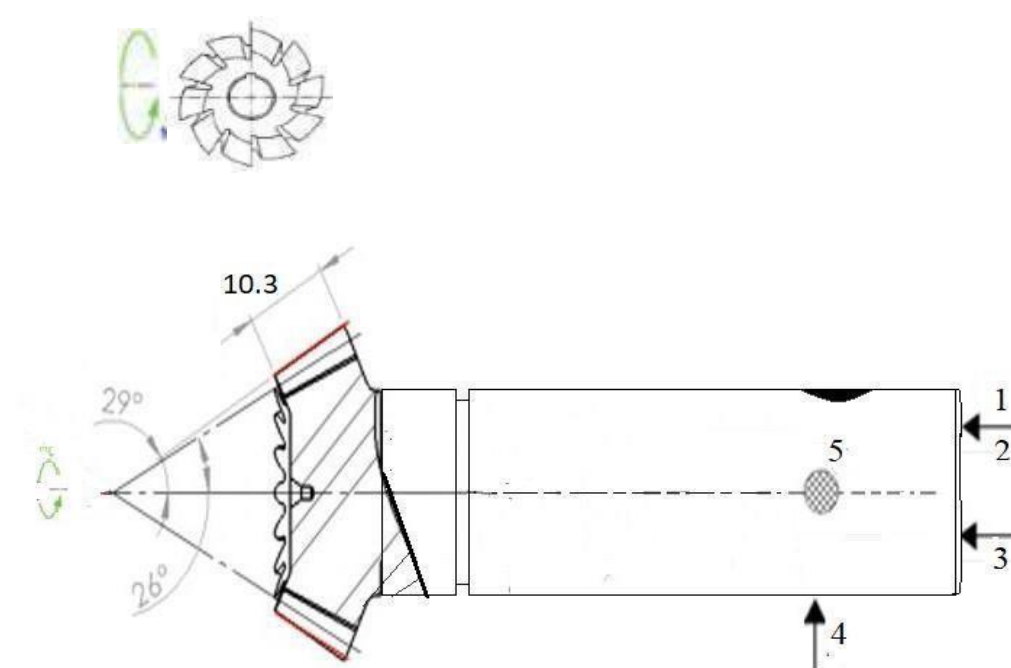
Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 100						Désignation de la pièce		Arbre pignon	
								Matière		42CrMo4	
								Temps machine (min)		1	
								Phase		100	
								Sous phase		100	
								Atelier		Atelier de contrôle	
								Nombre de pièces du lot		1	
								Poids de pièce finie		341.23	
								Programme annuelle		0	
N°	Description des opérations	Montage	Outils	Instrument de mesure	Condition de coupe						
100	Contrôle du brut Ø=25mm et L=160mm	/	/	Pieds à coulisse	/	/	/	/	/	/	

Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 210				Désignation de la pièce		Arbre pignon	
						Matière		42CrMo4	
						Temps machine(min)		1.42	
						Phase		200	
						Sous phase		210	
						Machine outils		Tour parallèle	
						Nombre de pièces du lot		1	
						Poids de pièce finie		341.23	
						Programme annuelle		0	
						Condition de coupe			
N°	Description des opérations	Montage	Outils	Instrument de mesure	Nombre de passe (np)	Profondeur de passe ap (mm)	Vitesse de coupe VC (m/min)	Fréquence de rotation N (tr/min)	Avance f (mm/tr)
211	- Dressage Plan Ø = 25	En l'air	-Outil à dresser en carbure	Pieds à coulisse	2	1.5	200	2546	0.2
212	- Chariotage Ø = 19		-Outil à charioter en carbure direction arête κ = 63°		2	1.5	220	3185	0.25
213	- Gorge à L=120 l = 1 et Ø = 17		- Outil à rainurer en carbure		1	1	180	3016	0.15

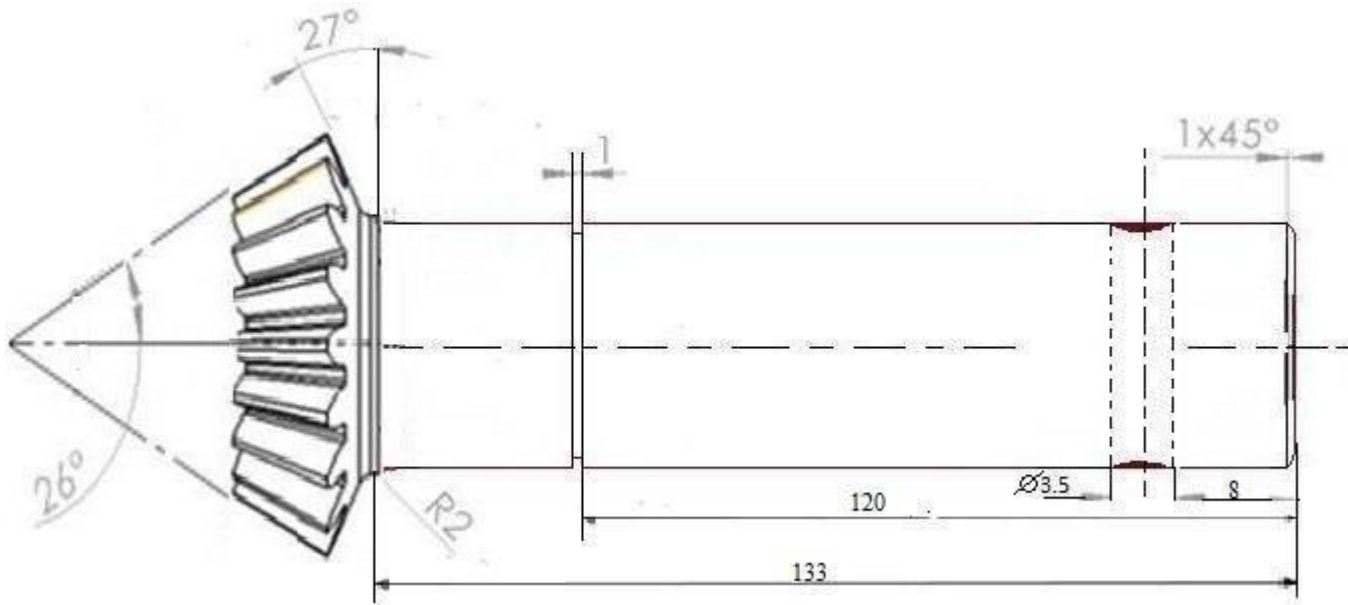


Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 220			Désignation de la pièce					Arbre pignon	
					Matière		42CrMo4				
					Temps machine (min)		1.49				
					Phase		200				
					Sous phase		220				
					Machine outils		Tour parallèle				
					Nombre de pièces du lot		1				
					Poids de pièce finie		341.23				
					Programme annuelle		0				
					Condition de coupe						
N°	Description des opérations	Montage	Outils	Instrument de mesure	Nombre de passe (np)	Profondeur de passe (mm)	Vitesse de coupe VC (m/min)	Fréquence de Rotation N (tr/min)	Avance f (mm/tr)		
221	- Dressage face pignon Ø =25	En l’air	- Outil à dresser en carbure	Pieds à coulisse	2	1	200	2546	0.2		
222	- Chariotage conique Angle = 26		- Outil charriote en carbure		4	1	220	2547	0.25		



Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 400			Désignation de la pièce			Arbre pignon	
					Matière		42CrMo4		
					Temps machine (min)		1.25		
					Phase		400		
					Sous phase		400		
					Machine outils		Tailleuse d'engrenages		
					Nombre de pièces du lot		1		
					Poids de pièce finie		341.23		
					Programme annuelle		0		
N°	Description des opérations	Montage	Outils	Instrument de mesure	Vitesse de coupe VC (m/min)	Fréquence de Rotation N (tr/min)	Nombre de passe (np)	Avance F (mm/tr)	Profondeur de passe (mm)
400	Taillage de denture conique à 26° ; Z = 15 ; angle de division 24°	En l'air Sur un plateau diviseur En inclinant la pièce de 26°	Fraise modulaire en carbure m = 1.5	Jauge module	44	400	4	0.4	1.5

Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 500		<div><div>Température (c°)</div><div><div>maintien</div><div>900</div><div>800</div><div>700</div><div>600</div><div>500</div><div>400</div><div>300</div><div>200</div><div>100</div><div>0</div><div>min</div><div>Trempe</div><div>Revenu</div></div></div>		Désignation de la pièce		Arbre pignon			
<div></div>		Matière				42CrMo4					
		Phase				500					
		Sous phase				500					
		Machine outils				Four					
		Nombre de pièces du lot				1					
		Poids de pièce finie				341.23					
		Programme annuelle				0					
N°	Description des opérations	Montage	Outils	Instrument de mesure		Conditions de coupe					
500	Trempe superficielle et revenu	/	/	/		/	/	/	/	/	/

Badji Mokhtar Annaba		Contrat de phase 600								
Désignation de la pièce		Arbre pignon								
Matière		42CrMo4								
Phase		600								
Sous phase		600								
Machine outils		Atelier de contrôle								
Poids de pièce finie		341.23								
Nombre de pièces du lot		1								
Programme annuelle		0								
N°	Contrôle de la pièce finie	montage	Outils	Instrument de mesure	Conditions de coupe					
600	Contrôle de la pièce finie	/	/	-Pieds à coulisse -Jauge de profondeur	/	/	/	/	/	/

---

### III.3 Calcul du régime de coupe :

- **Vitesse de coupe (Vc) :**

Dépend du matériau et de l'outil utilisé. Pour le 42CrMo4 avec un outil carbure, une valeur typique de Vc se situe entre 150 et 250 m/min, selon les conditions de coupe.

- **Fréquence de rotation N :**

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

**N** : fréquence de rotation (tr/min)

**Vc** : vitesse de coupe (m/min)

**D** : diamètre de la pièce (mm)

- **Avance (f) :**

L'avance dépend du type d'usinage et du matériau :

- Dressage : 0.15 à 0.3 mm/tr
- Chariotage : 0.2 à 0.4 mm/tr
- Gorge : 0.05 à 0.15 mm/tr

- **Profondeur de passe (ap):**

- Dressage : 1 à 3 mm
- Chariotage : 2 à 5 mm
- Gorge : 1

**Calcule :**

#### III.3.1 Fréquence de rotation N :

- **Dressage:**

(D=25mm, Vc=200m /min)

$$N = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 25} \approx 2546 \text{tr/min}$$

Profondeur de passe  $a_p = 1.5$

Nombre de passes = 2

- **Chariotage:**

(D= (25+19) /2=22mm, Vc=220m /min)

$$N = \frac{1000 \cdot 220}{\pi \cdot 22} \approx 3185 \text{tr/min}$$

---

Profondeur de passe  $a_p = 1.5$

Nombre de passes  $= (25-19) / 2 = 3 / 1.5 = 2$  passes

- **Gorge:**

( $D=19\text{mm}$ ,  $V_c=180\text{m/min}$ )

$$N = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 19} \approx 3016 \text{tr/min}$$

Profondeur de passe  $a_p = 1$

Nombre de passes  $= 1$

### III.3.2 Temps machine ( $T_m$ ) :

$$T_m = \frac{L}{F \cdot N} \times 60$$

**L** : longueur d'usinage (mm)

**F** : avance (mm/tr)

**N** : fréquence de rotation (tr/min)

Le facteur 60 permet d'avoir le temps en secondes.

- **Dressage :**

( $L = 25\text{mm}$ ,  $f=0.2\text{mm/tr}$ ,  $N=2546\text{tr/min}$ )

$$T_m = \frac{25}{0.2 \cdot 2546} \times 60 \approx 0.29 \text{min}$$

- **Chariotage:**

( $L = 135\text{mm}$ ,  $f=0.25\text{mm/tr}$ ,  $N=3185\text{tr/min}$ )

$$T_m = \frac{135}{0.25 \cdot 3185} \times 60 \approx 1 \text{min}$$

- **Gorge :**

( $L = 1\text{mm}$ ,  $f=0.15\text{mm/tr}$ ,  $N=3016\text{tr/min}$ )

$$T_m = \frac{1}{0.15 \cdot 3016} \times 60 \approx 0.13 \text{min}$$

- **Temps machine total estimé :**

$$T_{\text{total}} = 0.29 + 1 + 0.13 = 1.42 \text{ min}$$

---

## **Chapter IV: Simulation.**

---



---

## IV.1 Simulation de l'usinage de la phase tournage :

### IV.1.1 Simulation sur shop-Turn :

#### a) Présentation de shop-Trun :

Shop-Turn est un logiciel de commande numérique par ordinateur (CNC) développé par Siemens pour les machines-outils, plus spécifiquement pour les tours CNC. Il fournit une interface conviviale et puissante pour programmer, simuler et exécuter des opérations d'usinage sur des tours CNC. La fonction principale de Shop-Turn est de permettre la programmation de cycles d'usinage sur des tours CNC. Il offre une variété d'options de programmation, y compris la programmation manuelle utilisant une syntaxe simple et intuitive, et des assistants de programmation pour les opérations courantes. Cela permet aux utilisateurs de créer rapidement des programmes d'usinage sans avoir à saisir manuellement chaque instruction.

#### b) Interface de Shop-Turn:

L'interface de Shop-Turn est conçue de manière conviviale et intuitive, offrant aux utilisateurs un accès facile à toutes les fonctionnalités nécessaires à la programmation, à la simulation et à l'exécution des opérations d'usinage sur les tours CNC. Voici une présentation des principales caractéristiques de l'interface de Shop-Turn.

- **Écran principal** : Lorsque vous lancez Shop-turn, vous êtes accueilli par l'écran principal. Cet écran affiche généralement une vue d'ensemble de votre projet en cours, avec des options pour créer de nouveaux programmes, accéder à des programmes existants, gérer les outils et les pièces, ainsi que des liens vers d'autres fonctionnalités importantes.

- **Éditeur de programme** : L'éditeur de programme est l'endroit où vous pouvez créer et modifier vos programmes d'usinage. Il offre une interface de programmation conviviale, avec une syntaxe intuitive et des fonctionnalités d'auto-complétions pour faciliter la saisie des instructions.

Vous pouvez également accéder à des assistants de programmation qui vous guident dans la création de cycles d'usinage courants.

- **Simulation graphique** : Une fonctionnalité clé de Shop-turn est sa capacité à simuler graphiquement les opérations d'usinage. L'interface de simulation affiche une représentation visuelle de votre pièce, de la machine-outil et des outils utilisés. Vous pouvez exécuter la simulation en temps réel pour visualiser le déroulement de l'usinage, détecter les collisions potentielles et optimiser les trajectoires d'outil.


- **Contrôle de la machine** : Shop-turn propose une interface graphique intuitive pour le

contrôle de la machine-outil. Vous pouvez contrôler la rotation de la broche, l'avance de l'outil, le changement d'outil, l'indexation de la tourelle et d'autres fonctions de la machine. L'interface affiche également en temps réel les informations sur l'état de la machine, telles que la vitesse de rotation, la position des axes, etc.

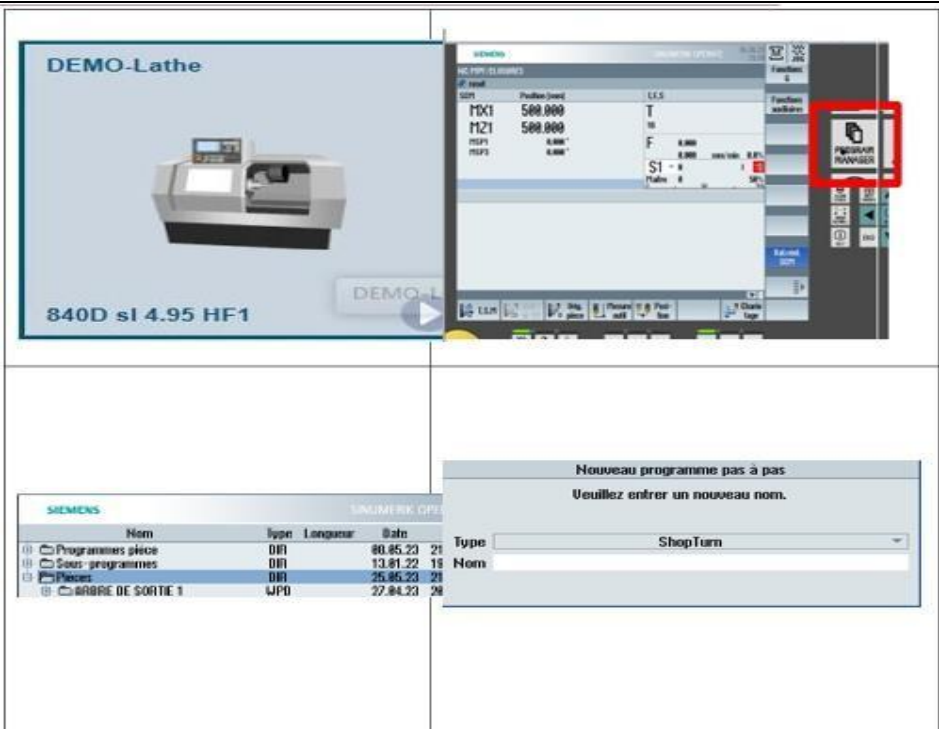
- **Gestion des ressources** : Shop-turn offre des fonctionnalités avancées de gestion des ressources, telles que la gestion des outils et des pièces. L'interface vous permet de définir et d'organiser vos outils, de gérer les données d'usinage associées à chaque outil, de suivre l'utilisation des outils et de planifier les opérations en fonction des ressources disponibles.

- **Rapports et documentation** : L'interface de Shop-turn facilite également la génération de rapports et de documents de production. Vous pouvez extraire des informations sur les opérations d'usinage, les temps de cycle, les outils utilisés, etc., et les exporter sous forme de rapports ou de documents imprimables pour une meilleure documentation.

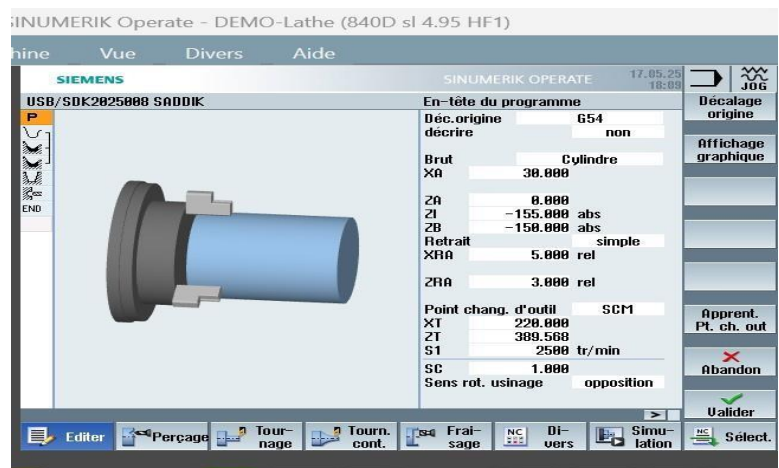
**Tableau IV-1. Etapes de création et simulation du programme :**

Etape	Représentation		
1. Définir la machine réelle : tour DMG mori clx550		Nombres d'axes	3
		Diamètre max. intérieur tube de serrage	480 mm
		Longueur maximale de la pièce à usiner avec contre- poupée (usinable)	1225 mm
		Diamètre maximal du mandrin	400 mm
		Vitesse max. de rotation des broches	5000 Tr/min
		Diamètre max. intérieur tube de serrage	102 mm
		Commande et logiciel	Shop-turn, Code G
		Rendement (100% fdm)	22Kw(AC)

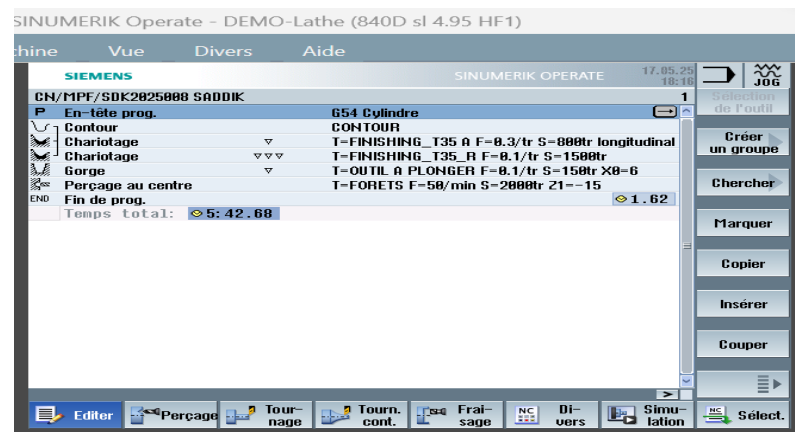
2-Creation  
d'un nouveau  
programme


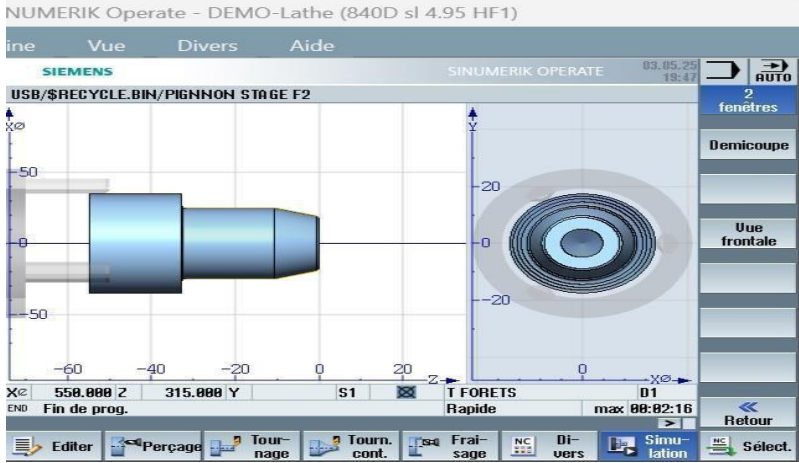


3-  
Definition  
du brut



4-Elaborer  
le  
programme



<p><b>5- Simulation de la phase</b></p>	
<p><b>6-Piece finie</b></p>	

## IV.1.2 Simulation sur Cam-Works :

### IV.1.2.1 Présentation :

Cam-Works est un logiciel de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) qui a été développé par la société américaine Geometric Technologies, désormais une filiale de Dassault Systèmes. Il s'agit d'une solution intégrée de programmation de machines-outils à commande numérique (CNC) qui permet aux ingénieurs et aux fabricants de créer des programmes d'usinage de haute qualité de manière efficace.

Cam-Works est conçu pour fonctionner en tant que module complémentaire de SolidWorks, un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) populaire. L'intégration étroite entre Cam-Works et SolidWorks facilite le transfert transparent des modèles 3D de conception vers l'environnement de programmation de Cam-Works, ce qui permet aux utilisateurs de générer rapidement des trajectoires d'outils et des programmes d'usinage.

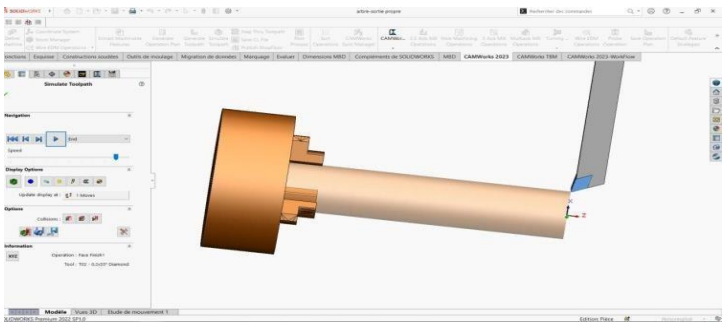
Le principal avantage de Cam-Works est son approche basée sur la reconnaissance

automatique des caractéristiques. Le logiciel analyse les modèles de pièces 3D et identifie automatiquement les caractéristiques géométriques, telles que les trous, les poches et les surfaces, nécessaires à l'usinage. En utilisant ces informations, Cam-Works génère automatiquement des trajectoires d'outils optimisées, ce qui réduit considérablement le temps nécessaire à la programmation manuelle.

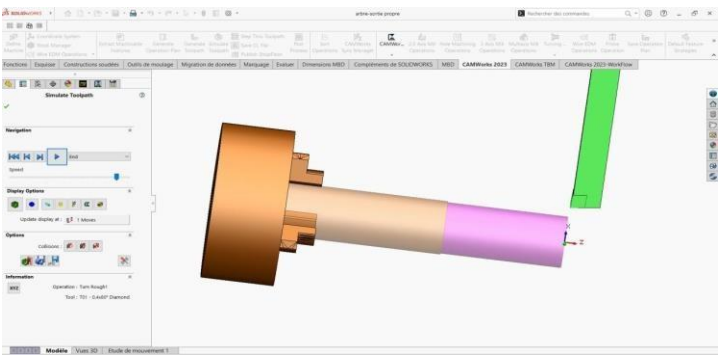
Cam-Works prend également en charge une large gamme de machines-outils, y compris les tours, les centres d'usinage, les fraiseuses et les machines de découpe au laser. Il offre des fonctionnalités avancées telles que la simulation d'usinage, la détection de collisions, l'optimisation des parcours d'outils et la génération de rapports détaillés. Ces fonctionnalités permettent aux utilisateurs d'optimiser les processus d'usinage, d'améliorer la qualité des pièces et de réduire les temps d'arrêt des machines.

Cam-Works prend également en charge une large gamme de machines-outils, y compris les tours, les centres d'usinage, les fraiseuses et les machines de découpe au laser. Il offre des fonctionnalités avancées telles que la simulation d'usinage, la détection de collisions, l'optimisation des parcours d'outils et la génération de rapports détaillés. Ces fonctionnalités permettent aux utilisateurs d'optimiser les processus d'usinage, d'améliorer la qualité des pièces et de réduire les temps d'arrêt des machines.

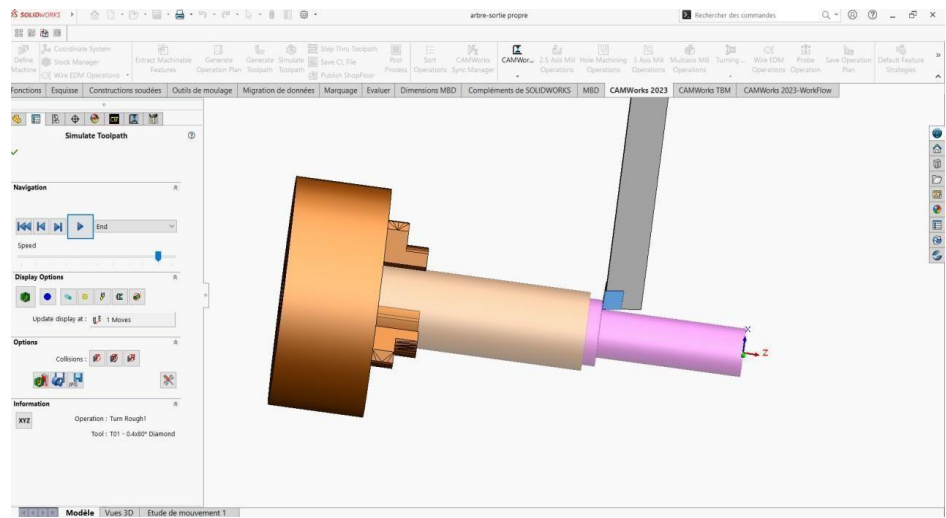
**Tableau IV-2.Simulation d’usinage :**

Etape	Représentation
Pièce brut.	

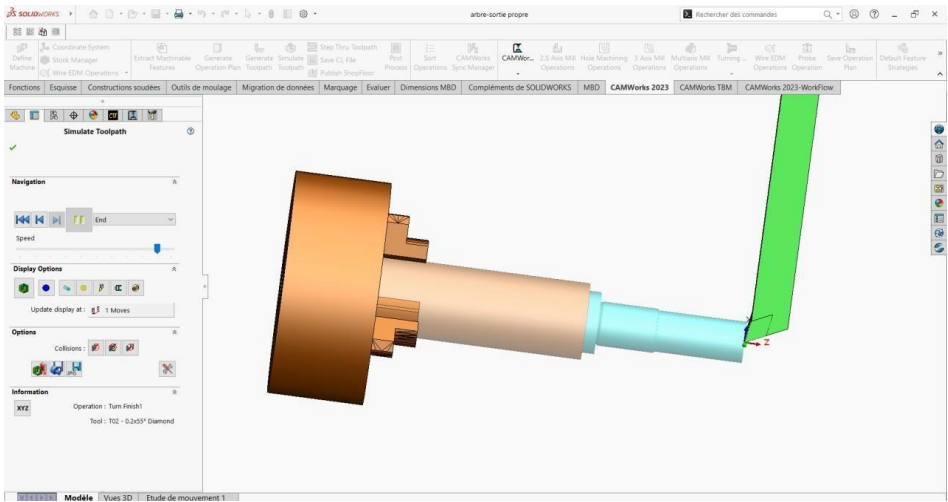
Opération de dressage.

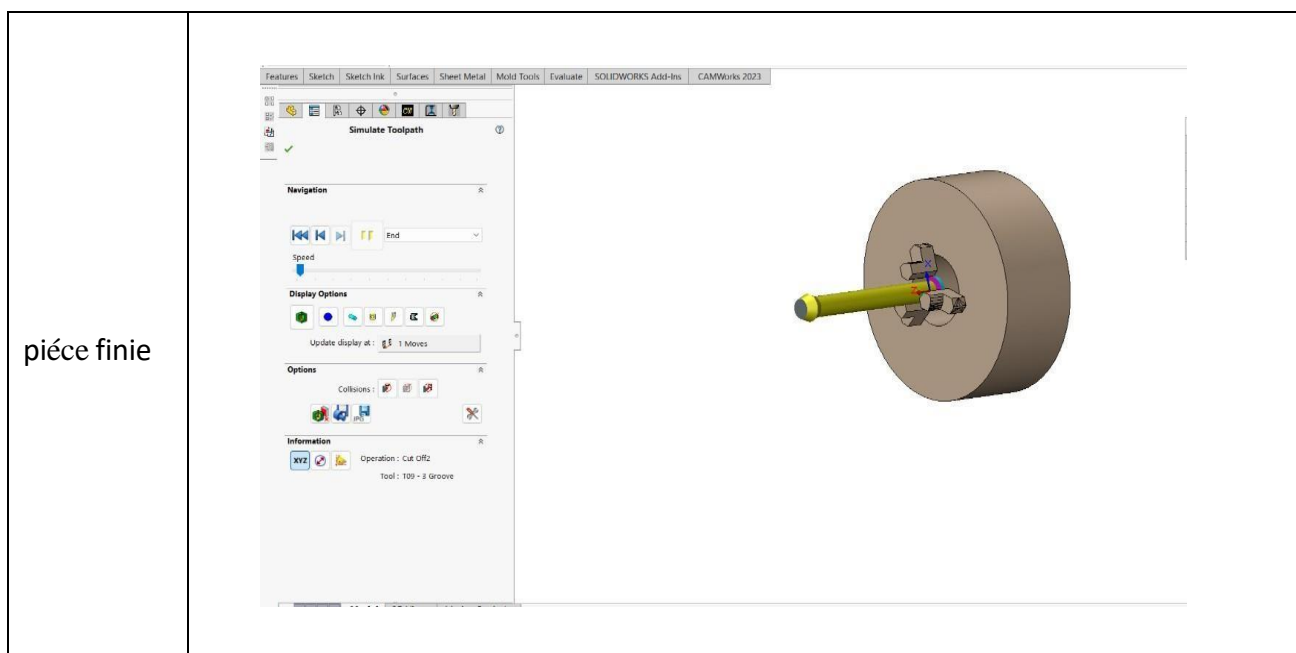


Opération de chariotage.



Finition du chariotage





#### IV.2 Simulation de résistants :

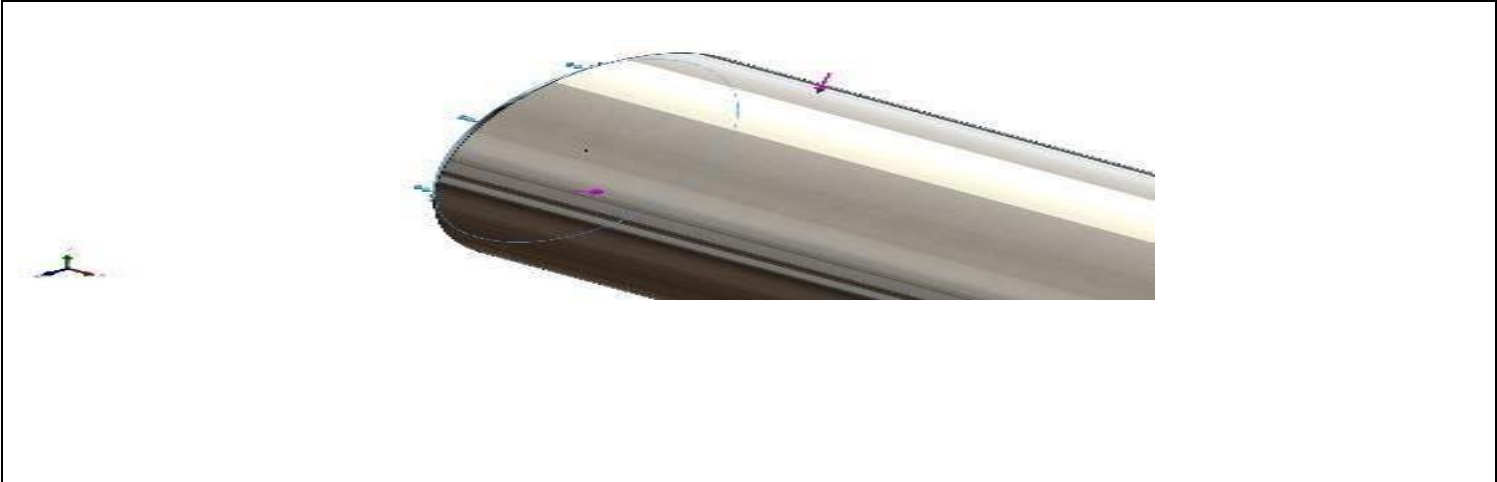
En utilisant le programme de SolidWorks nous avons étudié la résistance du matériau utilisé dans la pièce (SDK 2025.011).

*Tableau IV-3.Simulation de résistants sur Solid-Works :*

La pièce	Propretés
	<p> <b>Name :</b> 1.0577 (S355J2G4)  <b>Type de modelé :</b> Isotrope élastique linéaire  <b>Masse :</b> 0.022348 kg  <b>Volume :</b> 2.86513e-06 m<sup>3</sup>  <b>Poids :</b> 0.21901 N  <b>Limite d'élasticité :</b> 2.75e+08 N/m<sup>2</sup>  <b>Resistance a la traction :</b> 2.75e+08 N/m<sup>2</sup>  <b>Module élastique :</b> 2.1e+11 N/m<sup>2</sup>  <b>Coefficient de poisson :</b> 0.28  <b>Densité de masse :</b> 7,800 kg/m<sup>3</sup>  <b>Module de cisaillement :</b> 7.9e+10 N/m<sup>2</sup>  <b>Dilatation thermique :</b> 1.1e-05 /Kelvin         </p>



Fixation



Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Resultant
Force de reaction (N)	0.150879	-6.53546	5,660.39	5,660.39
Moment de reaction(Nm)	0	0	0	0

Deplacement resultant	Min	Max
<div>Model name: SDK2025.011 Study name: Static2(-Défaut-) Plot type: Static displacement Displacement1 Deformation scale: 1.56653</div> <p>The image shows a 3D model of the same curved component, now displaying displacement results. The model is color-coded according to a scale on the right, ranging from blue (0.000e+00mm) to red (3.208e+00mm). The highest displacement is concentrated at the fixed end of the component. A coordinate system (X, Y, Z) is visible in the bottom left corner.</p>	0.000e+00mm	3.208e+00mm



---

---

### ***Conclusion générale :***

Les outils spéciaux jouent un rôle fondamental dans l'optimisation des processus de travail, que ce soit dans le domaine industriel, mécanique ou technique. Conçus pour répondre à des besoins précis et souvent complexes, ils permettent d'améliorer la précision, la sécurité, la productivité et la qualité des interventions. Contrairement aux outils standards, les outils spéciaux sont souvent adaptés à des tâches spécifiques ou à des machines particulières, ce qui les rend indispensables dans certains environnements professionnels.

En somme, leur utilisation contribue à la performance globale des opérations, à la réduction des erreurs et à la durabilité des équipements. Toutefois, leur conception, leur coût et leur maintenance nécessitent une gestion rigoureuse et un personnel formé. L'avenir des outils spéciaux passe également par l'intégration des nouvelles technologies (numérisation, automatisation, impression 3D), ouvrant la voie à des solutions toujours plus innovantes et efficaces.

## *Références bibliographique*

---

### ***Références bibliographiques :***

- [1] A.Belferkous et A. Boubaia « Etude et maintenance du tour parallèle PMO (SN-40) », Mémoire de fin d'étude, université de M'sila (2004/2005).
- [2] G. Spinnler, « Conception des machines principes et applications », tome 3, presses Polytechniques et universitaires romandes, 1998.
- [3] Fabrication mécanique tournage les organes d'un tour parallèle, 2016. Consulté Avril 2021
- [4] Analyse de fabrication, site d'université de Lille1, « Analyse fabrication.univlille1.fr/co/chapitre\_2\_4\_1\_1.html »,
- [5] Les matériaux pour outils de coupe en usinage, le magazine technique des équipements de production industriel, « <http://www.equip-prod.com> » consulté Mai 2021
- [6] Cours Révisé\_Machines outils\_S1M1FMP2023-2024
- [7] Cours Eléments des Machines Outils\_S2M1FMP2024