

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie Mécanique

# Mémoire

Présenté par :

**Hamza RAMADAN JEBREEL TARDA**

Pour de l'obtention du diplôme de master

Filière : Génie Mécanique

Option : Construction mécanique

## Thème

**Optimisation d'une gamme d'usinage (Tournage,  
Fraisage) pièces fabriqué par l'ERENAV**

**Membre de jury**

Mr. OURARI Kamel

Mr. YAYA Kamel

Mr. BELAMRI Abdelatif

**Grade**

(MAA)

(MCB)

(MCB)

**Qualité**

Président

Examineur

Encadreur

*Soutenu le 26/09/2021*

**Année Universitaire : 2020/2021**

# *Remerciements*

En tout premier lieu, Je remercie le bon Dieu, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail

Je voudrai adresser toute mes gratitudes à l'encadreur de mon mémoire, **Dr BELAMRI Abdelatif**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désirai aussi remercier les ingénieurs du *l'entreprise ERENAY de Bejaïa*, pour leurs efforts, leurs précieuses informations et conseils, ainsi que leurs soutiens et encouragements pendant la période de stage pratique.

Comme j'exprime mes appréciations envers nos *professeurs du département de mécanique de l'université de Bejaïa* pour toute leurs efforts constants pour nous enseigner, sans oublier tous les *amis et collègues* qui ont pris en charge notre soutien moral tout au long de notre préparation de cette mémoire.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

# *Dédicaces*

Mon parcours universitaire s'est terminé après les épreuves, et me voici en train de conclure mon mémoire de fin d'études avec détermination et vigueur. Je dédie ce travail à

## *A mon père vertueux,*

C'est le Père, l'ami, le frère. L'univers à sa plénitude n'est jamais comparable à la capacité du cœur de mon père. C'était grâce à lui que j'ai atteint l'enseignement supérieur

## *A ma mère vertueuse,*

Qui aime sans compter, qui comprend tous sans qu'on lui parle, qui est toujours là et sacrifie pour nous rendre heureux, mon trésor qui ne peut être remplacée par personne

"Que Dieu prolonge vos vie et vous protège pour moi"

## *A mes frères, sœurs et amis*

Les personnes qui m'ont toujours conseillé, qui m'ont écouté et qui étaient avec moi dans les bons et les mauvais moments.

"Que dieu vous garde tous pour moi."

*R.I. Hamza*



---

## تلخيص

الهدف من هذه المذكرة هو إعطاء حل محسن لعملية تصنيع عمود مضخة الطرد المركزي. فعمود المضخة يتعرض للعديد من المشاكل خلال عمل المضخة و هذا ما يستوجب في الغالب ضرورة إعادة تصنيعه. فخلال عملية تصنيع العمود، يتم المرور عبر مرحلتين أساسيتين و هما عمليتا الخراطة و الطحن. كل من هذه العمليتين تنقسم الى عمليات عديدة اخرى مما يجعل من وقت التصنيع الحقيقي أطول. الحلول التحسينية المقترحة تساعد على التقليل من وقت التصنيع. قسم التطبيقي لهذه المذكرة سنقوم بعمل مقارنة بين الوقت الحقيقي و الوقت التكنولوجي (الوقت المحسوب نظريا) و الوقت المحسن.

**كلمات المفتاحية:** تحسين النطاق التصنيع، مضخة الطرد المركزي، عمود، عملية الخراطة، عملية الطحن، وقت الحقيقي، الوقت التكنولوجي، الوقت المحسن

---

## Résumé

L'objectif de ce mémoire est de proposer une solution d'optimisation pour l'usinage d'un arbre d'une pompe centrifuge. L'arbre de la pompe est exposé à de nombreux problèmes pendant le fonctionnement de la pompe, ce qui nécessite souvent de le re-fabriquer. L'arbre passe pendant le processus d'usinage par deux étapes qui sont le tournage et le fraisage. Chaque processus est divisé en de nombreux autres processus, ce qui allonge le temps réel de fabrication. Les solutions d'optimisation proposées contribuent à réduire le temps de fabrication. Dans la partie pratique de cette note, nous ferons une comparaison entre temps réel, temps technologique (temps théoriquement calculé) et temps amélioré.

**Mots clés :** Optimisation d'une gamme d'usinage, Pompe centrifuge, Arbre, Fraisage, Tournage, Temps réel, Temps technologique, Temps amélioré.

---

## Abstract

The objective of this thesis is to propose an optimization solution for the machining of a shaft of a centrifugal pump. The pump shaft is exposed to many problems during pump operation, which often requires re-manufacturing. The shaft passes during the machining process through two step which are turning and milling. Each process is divided into many other processes, which lengthens the actual manufacturing time. The optimization solutions offered help to reduce manufacturing time. In the practical part of this note, we will make a comparison between real time, technological time (theoretically calculated time) and improved time.

**Keywords:** Optimization of a machining range, Centrifugal pump, Shaft, Milling, Turning, Real time, Technological time, Improved time

---

## Sommaire

Remercîment

Dédicace

Résumé

### *Introduction générale*

Introduction générale 1

### ***Chapitre 1 : Arbre d'une pompe et les méthodes de la fabrication***

1.1	Introduction	2
1.2	La pompe	2
1.3	Pompes centrifuges	4
1.3.1	Principe de base de la pompe centrifuge	5
1.3.2	Les avantages de la pompe centrifuge	5
1.3.3	Les inconvénients de la pompe centrifuge	6
1.4	Pompes volumique	6
1.4.1	Principe de base de la pompe volumétrique	7
1.4.2	Les avantages de la pompe volumétrique	7
1.4.3	Les inconvénients de la pompe centrifuge	7
1.5	Description de l'arbre	8
1.5.1	Les sollicitations d'un arbre	9
1.6	Généralité sur les aciers inoxydables	9
1.6.1	INOX 316L	10
1.6.2	Composition chimique d'INOX 316L	11
1.6.3	Domaines d'application	11
1.7	Les méthodes de fabrication de l'arbre	11
1.7.1	Tournage	12
1.7.2	Fraisage	15
1.8	Conclusion	16

## ***Chapitre2 : Calcul de puissance de coupe et temps technologique***

2.1 Introduction	17
2.2 Forces de coupe en usinage	17
2.2.1 Les composants de l'effort de coupe	18
2.3 Puissance en usinage	19
2.4 Puissance de coupe en usinage	19
2.4.1 Force de coupe spécifique (Kc)	20
2.4.2 Formule générale de la puissance de coupe Pc	21
2.4.3 Calculer la puissance de coupe en tournage	21
2.4.4 Calculer la puissance de coupe en fraisage	23
2.5 Temps de technologie	23
2.5.1 Dans le tournage	24
2.5.2 Dans le fraisage	25
2.6 Outil fraise	26
2.7 Outil foret	27
2.8 Outil à charioter plaquettes en carbure	28
2.8.1 Compositions	29
2.9 Conclusion	30

## ***Chapitre 3 : Optimisation d'une gamme d'usinage***

3.1 Introduction	31
3.2 Présentation de l'ERENAV du Bejaïa	31
3.3 Plan de l'arbre	31
3.4 Les étapes d'usinage de l'arbre	32
3.4.1 Dressage et centrage	32
3.4.2 Montage mixte	34
3.4.3 Finition	36
3.4.4 Filetage	38
3.4.5 Rainurage (Rainure de clavettes)	40
3.5 Optimisation d'une gamme d'usinage	43
3.5.1 Dressage et centrage optimisé	43
3.5.2 Montage mixte optimisé	44

3.5.3	Finition optimisé	45
3.5.4	Filetage optimisé	46
3.6	Résumé	48
4.3	Conclusion	51

### ***Conclusion générale***

	Conclusion générale	52
	Les références et bibliographiques	53

## Liste de figure

<b>Figure 1.1</b> : Pompe centrifuge.	3
<b>Figure 1.2</b> : Pompe volumétrique.	4
<b>Figure 1.3</b> : Les composants d'une pompe centrifuge	5
<b>Figure 1.4</b> : Les pièces portées par l'arbre dans une pompe centrifuge	8
<b>Figure 1.5</b> : Les composants de mouvement de tournage	12
<b>Figure 1.6</b> : Dressage extérieur et intérieur	13
<b>Figure 1.7</b> : Perçage	13
<b>Figure 1.8</b> : Montage mixte	14
<b>Figure 1.9</b> : Filetage	14
<b>Figure 1.10</b> : Rainure de clavette	15
<b>Figure 1.11</b> : Rainure de clavette avec une fraise 2 tailles	16
<b>Figure 2.1</b> : Les principales composantes de la force de coupe	18
<b>Figure 2.2</b> : Fraisage centré vu de dessus	22
<b>Figure 2.3</b> : Fraisage décalé vu de dessus	22
<b>Figure 2.4</b> : Tournage	23
<b>Figure 2.5</b> : Fraisage	24
<b>Figure 2.6</b> : Outil fraise	25
<b>Figure 2.7</b> : les différentes formes des fraises	26
<b>Figure 2.8</b> : Foret.	27
<b>Figure 2.9</b> : Foret à centré	27
<b>Figure 2.10</b> : Outil à charioter plaquettes en carbure	29
<b>Figure 2.11</b> : Les compositions d'un outil à charioter plaquettes en carbure	29
<b>Figure 3.1</b> : Plan de l'arbre	32
<b>Figure 3.2</b> : Dressage et centrage de côté 1. (a) Dressage et chariotage (45°). (b) Foret a centré	32
<b>Figure 3.3</b> : Dressage et centrage de côté 2. (a) Dressage et chariotage (45°). (b) Foret a centré.	33
<b>Figure 3.4</b> : Opération de filetage avec outil à filetage extérieure (Longueur =25 mm, diamètre = 24mm)	39
<b>Figure 3.5</b> : Les dimensions des dents (Angle= 60°, longueur entre les dents=3mm)	39
<b>Figure 3.6</b> Rainure de clavette (fraisage sur la longueur 49mm et diamètre= 8mm)	40
<b>Figure 3.7</b> : Rainure de clavette côté 2 (fraisage sur la longueur 45mm et diamètre= 12mm)	42



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Normes et composition et analyse chimique des INOX Austénitique.	10
<b>Tableau 2.2</b> : Composition chimique d'un INOX 316L.	11
<b>Tableau 3.1</b> : Valeurs de dressage et centrage de deux côtés l'arbre.	33
<b>Tableau 3.2</b> : Valeurs des phases de l'opération d'Ebouche.	34
<b>Tableau 3.3</b> : Les résultats de puissance de coupe de l'opération d'Ebouche.	35
<b>Tableau 3.4</b> : Les résultats de temps de technologie de l'opération d'Ebouche	35
<b>Tableau 3.5</b> : Valeurs des phases de l'opération de finition.	35
<b>Tableau 3.6</b> : Les résultats de puissance de coupe de l'opération de finition	37
<b>Tableau 3.7</b> : Les résultats de temps technologique de l'opération de finition.	37
<b>Tableau 3.8</b> : Valeurs de l'opération de filetage.	38
<b>Tableau 3.9</b> : Valeurs de l'opération de Rainurage (fraisage).	40
<b>Tableau 3.10</b> : Valeurs de l'opération de Rainurage (fraisage).	41
<b>Tableau 3.11</b> : Valeurs optimisé avec l'outil dressage et chariotage de l'arbre.	42
<b>Tableau 3.12</b> : Valeurs optimisé avec l'outil foret à centré	42
<b>Tableau 3.13</b> : Temps amélioré des phases de montage mixte.	43
<b>Tableau 3.14</b> : Temps amélioré des phases l'opération de finition.	44
<b>Tableau 3.15</b> : Valeurs optimisé de l'opération filetage	45
<b>Tableau 3.16</b> : Valeurs de l'opération de rainurage (Clavet1).	46
<b>Tableau 3.17</b> : Valeurs de l'opération de rainurage (Clavet 2).	47
<b>Tableau 3.18</b> : Résumée des temps réels et des temps technologiques des étapes d'usinage d'un arbre.	48
<b>Tableau 3.19</b> : Résumée des temps réels et des temps améliorés des étapes d'usinage d'un arbre.	49

## Liste des signes

**Mc** : Mouvement de coupe.

**Ma(M<sub>f</sub>)**: Mouvement d'avance.

**M<sub>p</sub>**: Mouvement de pénétration ou prise de passe.

**Fc**: Force tangentielle du mouvement de coupe.

**Fa (F<sub>γ</sub>)**: Force axiale dans le sens du mouvement l'avance.

**Fp** : Force radiale dans le sens du mouvement pénétration.

**Pc** : Puissance de coupe.

**Pm**: Puissance de la machine.

**η** : Coefficient de machine.

**Kc** : Force de coupe spécifique (N/mm<sup>2</sup>).

**Fc** : Force de coupe (N).

**A<sub>D</sub>** : Section de la puce (mm<sup>2</sup>/tr).

**f** : Avance par révolution (mm/tr).

**a<sub>p</sub>** : Profondeur de coupe (mm).

**Vc** : Vitesse de coupe (m/min).

**Vf** : Vitesse d'avance (en mm/min).

**L** : Longueur de déplacement de l'outil.

**T<sub>t</sub>** : Temps technologique.

**lu** : Longueur usinée.

**e** : Distance de sécurité.

**D**: Diamètre de la fraise.

---

# *I*ntroduction générale

---

- **Problématique**

Une gamme d'usinage décrit un processus d'usinage. Elle est la suite ordonnée d'un ensemble d'opérations d'usinage à appliquer sur la pièce pour atteindre l'état géométrique conforme aux spécifications. Pour décrire une opération d'usinage, il est nécessaire de définir l'outil, ses conditions de coupe, ainsi que la stratégie de mise en œuvre à lui appliquer.

L'usinage des pièces des machines tournantes telle que les pompes devient de plus en plus importante à cause de leur utilisation dans les différents secteurs. Parmi les pièces essentielles dans les pompes, l'arbre. Les arbres représentent les organes les plus vulnérables de ces machines, et exigent une attention plus particulière, afin de maîtriser leur choix, leur paramètre d'exploitation, leur comportement dynamique ... etc. Donc pour un bon fonctionnement de ces machines, il faut que les arbres soient sous un contrôle continu, mais malheureusement peuvent être touchés par des problèmes pires, qui ne sont pas faciles à résoudre et cela nécessite une re-fabrication.

L'arbre passe lors de l'usinage par deux étapes principales : tournage puis le fraisage. Chaque étape principale est divisée en plusieurs étapes supplémentaires ce qui rend le temps de fabrication très long.

- **Objectif de ce mémoire**

Notre but dans ce mémoire est de réaliser un arbre d'une pompe (dans notre cas arbre d'une pompe centrifuge) et enregistré le temps réel lors de sa fabrication en atelier par chrono. Puis proposer des solutions optimales pour réduire le temps de fabrication.

# *Chapitre 1*

---

*A*rbre d'une pompe et les  
méthodes de la fabrication

---

## **1.1 Introduction**

L'histoire des pompes hydrauliques a commencé au première siècle en chine. Et au XVIIe siècle les pompes modernes ont été développées. Le principe de la pompe est apparu lorsque le besoin en eau nécessaire à la survie de l'homme l'obligea à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat.

Un arbre est un organe mécanique qui est l'un des composants de la pompe qui transmet une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation. Après une période de fonctionnement de la pompe, cet organe est soumis à des déformations dues à plusieurs facteurs tels que des pressions et des vibrations, ce qui conduit à la nécessité de le re-fabriquer à nouveau.

L'étape de fabrication de la pièce se divise en deux étapes principales : tournage et le fraisage. Des machines de tournage et de fraisage sont utilisées pour cette tâche.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types des pompes, ensuite nous passons à la description de l'arbre et sur les différents problèmes qui influent sur la durée vie. Après nous présenterons les différentes étapes de la fabrication de l'arbre. Et nous finirons par une conclusion.

## **1.2 La pompe**

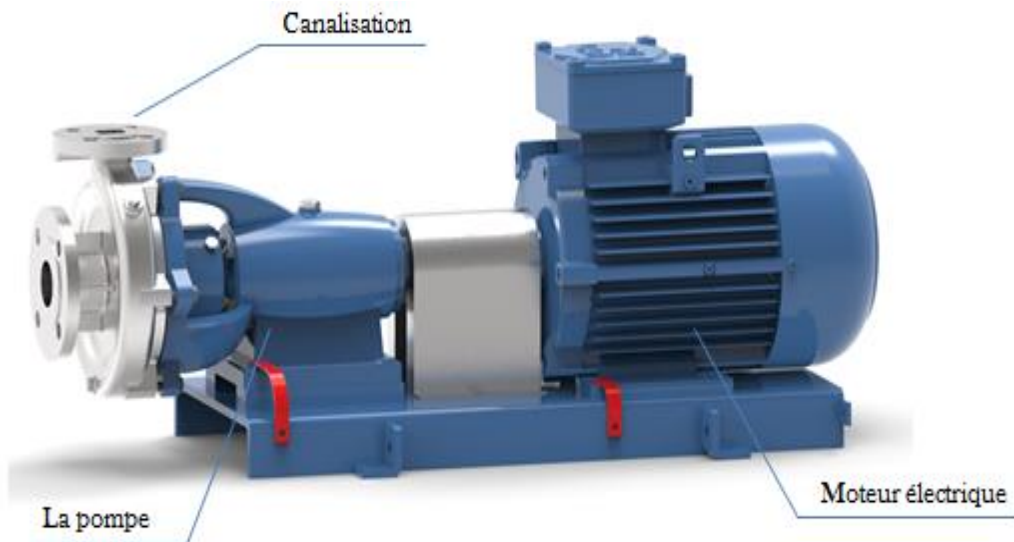
Une pompe est une machine hydraulique qui aspire et refoule un liquide (l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires, etc...) d'un point à un endroit voulu. Il est destiné à élever la charge du liquide pompé. La charge ou l'énergie est la somme de trois catégories d'énergie : énergie cinétique, énergie potentielle, énergie de pression [1].

On distingue deux grandes familles de pompes :

- Les pompes centrifuges où le mouvement du fluide est généré par la force centrifuge
- Les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte d'une variation de volume de l'espace occupé par le liquide

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges.

Dans les pompes centrifuges une roue, munie d'aubes ou d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation, fournit au fluide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en pression, par réduction de vitesse dans un organe appelé récupérateur [1]. La pompe centrifuge est montrée sur la Figure 1.1 :



**Figure 1.1** : Pompe centrifuge.

Dans les pompes volumétriques, l'énergie est fournie par les variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement (grand encombrement) [1]. La pompe volumétrique est montrée sur la Figure 1.2 :



**Figure 1.2 :** Pompe volumétrique.

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique

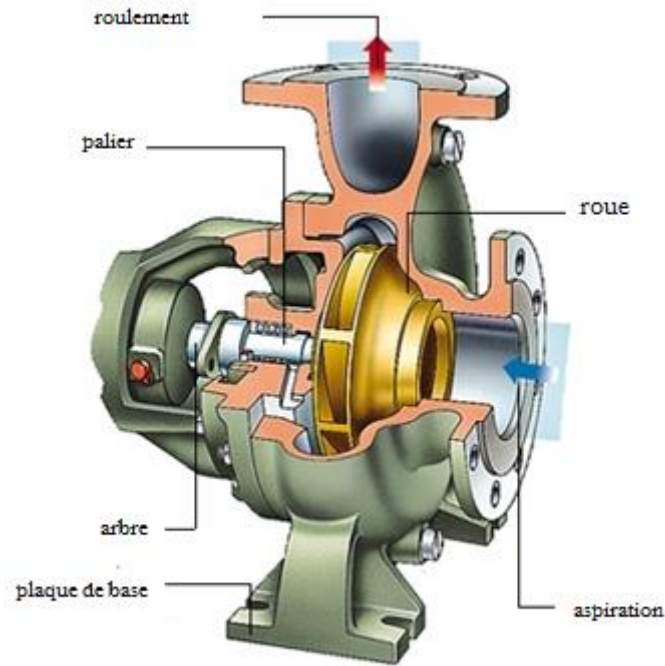
### **1.3 Pompes centrifuges**

Les pompes centrifuges sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute.

Le fluide arrivant par l'ouïe est dirigé vers la roue en rotation qui sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique. Cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression dans la volute. Un diffuseur à la périphérie de la roue permet d'optimiser le flux sortant et ainsi de limiter les pertes d'énergie [2].

Les principaux composants d'une pompe centrifuge sont montés dans la Figure 1.3 :





**Figure 1.3 :** Les composants d'une pompe centrifuge.

### 1.3.1 Principe de base de la pompe centrifuge

Sur la pompe centrifuge, la transmission de l'énergie se fait de manière hydrodynamique. Au contraire de la transmission hydrostatique de l'énergie avec la pompe volumétrique. Lors de la transmission hydrodynamique de l'énergie, le fluide est accéléré par la roue de la pompe centrifuge. C'est pourquoi la roue de la pompe centrifuge doit se déplacer rapidement et donc avoir une vitesse de rotation élevée.

### 1.3.2 Les avantages de la pompe centrifuge

Parmi les avantages de ces types des pompes [3] :

- Construction simple, peu de composants mobiles, longue durée de service.
- Débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de la pompe ou par la vitesse de rotation.
- Vitesse de rotation élevée, entraînement direct possible par moteur électrique ou turbine.
- Limiteur de pression intégré, pas de soupape de sécurité requise.

- Fonctionnement très silencieux grâce à un bon équilibrage des masses et à l'absence de masses oscillantes.
- Refoulement continu sans pulsations.
- Acheminement possible de matières solides.
- Conviennent à des puissances élevées.
- Concentration élevée de la puissance et petit espace de construction.

### **1.3.3 Les inconvénients de la pompe centrifuge**

Malgré les points positifs de cette pompe, elle présente quelques points négatifs, notamment [3]:

- Pas auto-amorçantes (des types spéciaux tels que la pompe à canal latéral peuvent être auto-amorçantes).
- Risque de cavitation avec de l'eau chaude ou des pressions d'aspiration faibles.
- Le débit volumétrique dépend de la pression de refoulement.
- Plusieurs étages requis pour les pressions de refoulement élevées.

## **1.4 Pompes volumique**

Les pompes volumétriques sont constituées d'un volume hermétiquement clos (corps de pompe) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile engendrant soit une dépression à l'aspiration, soit l'impulsion nécessaire au refoulement afin de vaincre la contre-pression régnant à l'aval de la pompe, soit enfin l'une et l'autre de ces fonctions et permettant ainsi le transfert d'un volume de liquide, de viscosité plus ou moins importante, depuis l'aspiration vers le refoulement. Le fluide véhiculé étant incompressible, ces pompes sont toujours équipées d'un dispositif de sécurité d'excès de pression associé [4].

Les pompes volumétriques sont caractérisées par une grande diversité d'emploi et une grande variété de réalisations technologiques. On se limitera ici, à la présentation de quelques types de ces deux grandes familles de machines tournantes :

- Les pompes volumétriques rotatives.
- Les pompes volumétriques alternatives.

### 1.4.1 Principe de base de la pompe volumétrique

Sur les pompes volumétriques, la transmission de l'énergie vers le fluide se fait de manière hydrostatique. Lors de la transmission hydrostatique de l'énergie, un organe déplaceur réduit un espace de travail rempli de fluide et achemine le fluide en direction de la conduite. L'organe déplaceur exerce alors une pression sur le fluide. Lorsque l'espace de travail s'agrandit, l'organe est à nouveau rempli de fluide venant de la conduite.

### 1.4.2 Les avantages de la pompe volumique

La pompe volumétrique présente de nombreux avantages, notamment [5] :

- Faible dépendance du débit de refoulement par rapport à la hauteur de refoulement; conviennent donc bien pour les pompes de dosage et pompes à injection
- Adaptées aux pressions élevées à très élevées; seul un étage requis
- Très bonne puissance d'aspiration, même avec une part gazeuse
- Adaptées aux fortes viscosités (pâtes)
- Débit de refoulement ajustable de manière très exacte et reproductible par le biais de la course et du nombre de courses
- Alimentation cyclique possible
- Bien adaptées aux faibles vitesses de rotation d'entraînement
- Pour les pompes oscillantes, entraînement pneumatique, hydraulique ou électromagnétique direct possible

### 1.4.3 Les inconvénients de la pompe volumétrique

Parmi les inconvénients de ces types des pompes [5] :

- Le principe de fonctionnement n'inclut pas de limitation de la pression, c'est pourquoi une soupape de sécurité ou soupape de limitation de la pression est requise
- Sur les pompes volumétriques oscillantes, un fonctionnement sans vibrations n'est possible qu'avec un complexe équilibrage des masses
- Les pompes volumétriques oscillantes ne sont pas bien adaptées aux vitesses de rotation élevées

- Sur les pompes volumétriques oscillantes, un débit de refoulement, et donc un amortisseur de pulsations sont requis
- Pour certains types, construction avec soupapes compliquée et propice aux pannes
- Davantage de pièces d'usure que sur les pompes centrifuges

### 1.5 Description de l'arbre

Un arbre est un organe mécanique transmettant une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation. La forme cylindrique de cet organe est à l'origine de son nom [6].

Les arbres de machines sont généralement issus de bruts forgés puis usinés par tournage. L'extrusion est également un mode d'obtention courant pour ce type de pièce. Ils sont très rarement issus de bruts moulés, pour des raisons de résistance mécanique. Selon son usage, les arbres peuvent être classés en deux catégories [7]:

- **Arbre de transmission** : sont munis d'un mouvement de rotation autour de leurs axes tout en transmettant un couple entre plusieurs autres organes mécaniques.
- **Essieu ou axe** : à la différence des arbres, ils ne transmettent pas de couple et servent comme support ou axe de rotation pour d'autres organes.

Nous nous intéressons à l'arbre de transmission d'une pompe centrifuge où la figure 1.4 nous montre les pièces portées par l'arbre dans ce type de pompe :

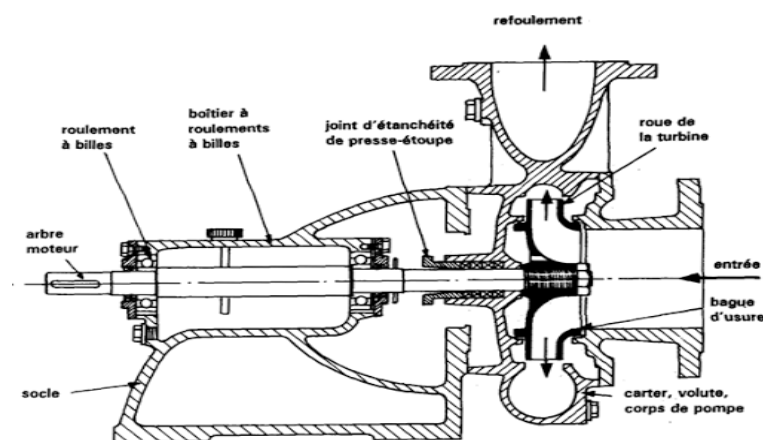


Figure 1.4 : Les pièces portées par l'arbre dans une pompe centrifuge.

### 1.5.1 Les sollicitations d'un arbre

Les arbres sont animés de certaines vitesses de rotations et sont sollicités par certains efforts mécaniques qui peuvent engendrer des contraintes, des déformations et des vibrations dont on doit vérifier qu'elles ne dépassent pas certaines limites pour assurer un fonctionnement normal et sûr de la machine ou bien le refaire

Dans le cas où ces déformations dépassent les limites, on est obligé de le refaire pour disposer d'un arbre neuf.

Un arbre en rotation est soumis à plusieurs sollicitations [6] :

- **La torsion** : l'arbre est un exemple typique de torsion. La torsion est la sollicitation subie par un corps soumis à l'action d'un couple de forces opposées (comme lorsque l'on essore une serpillière) agissant dans des plans parallèles et dont l'élément de réduction est un moment de force agissant dans l'axe de la poutre.
- **Usure de surface de l'arbre** : c'est la dégradation des couches superficielles d'un solide sous l'action mécanique du milieu extérieur (pression, température, lubrification, ambiance corrosive, etc.)
- **Vibration** : on distingue deux types de vibration sur l'arbre : des vibrations relatives d'arbres qui sont les mouvements relatifs de l'arbre par rapport à son palier, et les vibrations absolues d'arbres qui sont les mouvements de l'arbre mesurés par rapport à un point fixe.
- **Problème de température (Echauffement)**

### 1.6 Généralité sur les aciers inoxydables :

Comme les autres aciers, ce sont des **alliages de fer et de carbone** auxquels on vient ajouter du chrome et d'autres éléments afin d'améliorer la résistance de celui-ci. L'acier inoxydable est un terme simple pour dire qu'un matériau est indestructible, ne rouille pas et résiste à toute forme de corrosion.

Pour être classé dans la catégorie inoxydable, un acier doit contenir au moins **10,5%** de chrome et moins de **1,2%** de carbone. La plupart des aciers

inoxydables utilisés sont conformes à des normes : Européennes (Norme EN 10088 en particulier) et Américaines (Norme de l'AISI) [8].

EURONORM EN 10088-1		AISI	AFNOR NFA 35573/574	Valeur représentée en % de masse		
Numérique	Symbolique	Américaine	Française	Cr	Mo	Ni
14 301	X5CrNi18 10	304	Z7CN 18 09	17-19,5	-	8 - 10,5
14 307	X2CrNi18 9	304L	Z3CN18 09	18 - 20	-	10 - 12
14 401	X5CrNiMo17 12 2	316	Z7CND17 11 02	16,5 - 18,5	2 - 2,5	oct-13
14 404	X2CrNiMo17 12 2	316L	Z6CND17 12	16,5 - 18,5	2 - 2,5	oct-13

**Tableau 1.1** : Normes et composition et analyse chimique des INOX Austénitique [8].

### 1.6.1 INOX 316L

L'alliage 316L est un acier inoxydable austénitique fourni à l'état travaillé à chaud et à l'état recuit. L'ajout de molybdène (Mo) confère au produit une résistance à la corrosion nettement supérieure à celle de l'alliage 304, notamment en matière de corrosion par piqûres et crevasses dans les milieux chlorés. L'Alliage 316L résiste à la corrosion atmosphérique ainsi qu'aux milieux modérément oxydants ou réducteurs. Il résiste également à la corrosion dans les atmosphères marines polluées. Cet alliage présente une excellente résistance à la corrosion inter-granulaire à l'état soudé.

Il présente également des propriétés de fluage, de rupture par fluage et de résistance à la traction à des températures élevées supérieures à celles d'un Alliage de base 304. Sa nuance entièrement austénitique lui confère une excellente ténacité, même à des températures cryogéniques. Cette version à faible teneur en carbone de l'alliage 316 est résistante à la sensibilisation provoquée par la précipitation des carbures au niveau inter-granulaire lorsqu'elle est chauffée, ce qui explique qu'elle soit couramment utilisée pour des composants soudés possédant des profilés de grande dimension. Il est facile à former et à usiner, mais sa ténacité relative signifie qu'il est généralement préférable d'utiliser des vitesses plus faibles avec les charges lourdes pour obtenir un usage de meilleure qualité [9].

### 1.6.2 Composition chimique de INOX 316L

Valeur représenté dans le tableau suivant est en % :

	Cr	Ni	Mo	Co	Nb (+Ta)	Ti	V	W	Cu	C	Mn	N	Si	P	S	Fe	Al
Minimum	16.50	10.00	2.00														
Maximum	18.50	13.00	2.50							0.04	2.00	0.11	1.00	0.04	0.03	Bal	

**Tableau 2.2 : Composition chimique d'un INOX 316L [9].**

### 1.6.3 Domaines d'application

Grâce aux nombreuses propriétés de l'INOX 316L, Ce type de d'alliage est utilisé dans de nombreux secteurs [9] :

- Secteur de la transformation : équipements pour conteneurs chimiques, unités de transport, échangeurs thermiques et production d'acides organiques et gras
- Secteur maritime et construction navale : tuyauterie, pompes, vannes, raccords et architecture navale
- Secteur pétrolier & gazier : tuyauterie, vannes, pompes, échangeurs thermiques
- Secteur minier : toiles métalliques

## 1.7 Les méthodes de fabrication de l'arbre

Au cours du processus de fabrication de l'arbre, deux étapes de base sont franchies qui sont :

- **Tournage** : Dressage et centrage (perçage) , Montage mixte, Finition, Filetage
- **Fraisage** : Rainure de clavettes.

### 1.7.1 Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention des surfaces de révolution intérieures et extérieures, des surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage

Pour engendrer une surface de révolution sur un tour parallèle, il faut appliquer à la pièce et à l'outil deux mouvements conjugués [9]:

- A la pièce : un mouvement circulaire continu rapide donné par sa rotation. Il prend le nom de *mouvement de coupe* et est désigné par  $M_c$ .
- A l'outil : un mouvement généralement rectiligne uniforme lent généré par sa translation. Il prend le nom de *mouvement d'avance* et est désigné par  $M_a$  ou  $M_f$ .
- Pour que l'outil produise une surface par enlèvement de copeau, un réglage de position est nécessaire. Ce troisième mouvement est appelé *mouvement de pénétration* ou *prise de passe* et est désigné par  $M_p$ .

Les trois mouvements d'un tournage mécanique sont illustrés dans la (Figure 1.7) :

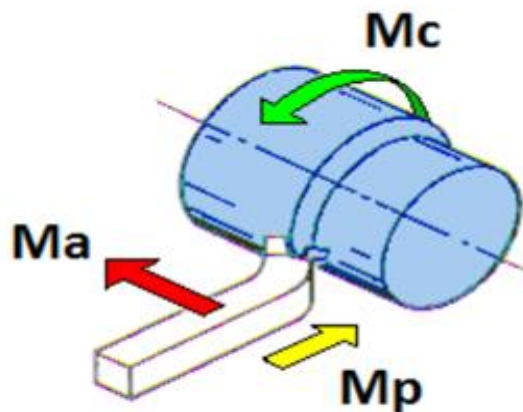


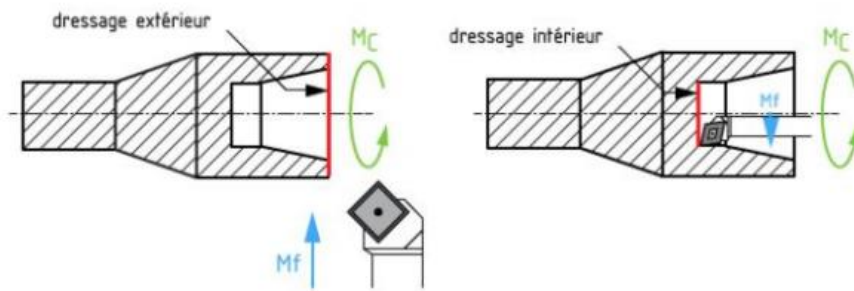
Figure 1.5: Les composants de mouvement de tournage [9].



Parmi les opérations de tournage dans l'usinage de l'arbre :

- **Dressage**

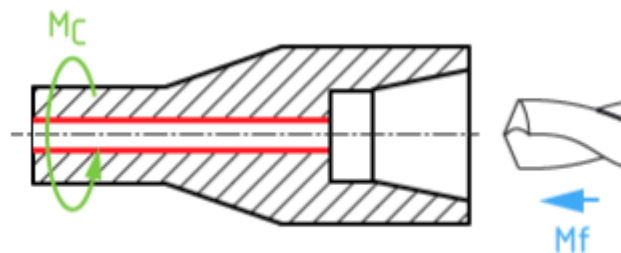
Le dressage est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche[10].



**Figure 1.6:** Dressage extérieur et intérieur [10].

- **Perçage (Centrage)**

Le perçage est l'opération qui consiste à usiner un trou dans la pièce (débouchant ou borgne) à l'aide d'une forêt. Souvent, l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce[10].



**Figure 1.7:** Perçage [10].

- **Montage mixte et Ebouche**

Montage mixte est utilisé pour des pièces relativement longue. Une des deux extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre extrémité est soutenue par de la poupée mobiles [11].

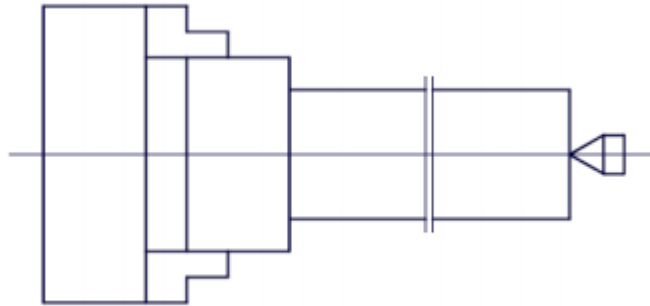


Figure 1.8: Montage mixte [11].

Ebauche est l'opération qui consiste à enlever le maximum de copeaux en un minimum de temps sans s'intéresser à l'état de surface. Il faut donc choisir de grandes profondeurs de passe et de grandes avances [11].

- **Finition**

C'est l'opération qui consiste à finir la pièce aux cotes prescrites. Il faut donc choisir des grandes vitesses de coupe et de petites avances pour obtenir des surfaces de grandes qualité [11].

- **Filetage**

Opération qui consiste à réaliser un filetage extérieure ou intérieure ( dans notre cas c'est extérieure), le mouvement d'avance est combine avec le mouvement de coupe [11].

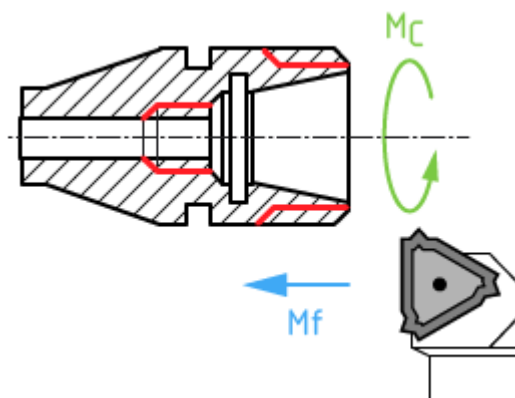


Figure 1.9: Filetage [11].

### 1.7.2 Fraisage

Le fraisage est un procédé d'usinage réalisable sur des machines-outils appelées fraiseuses. Il permet la réalisation des pièces prismatiques ou de révolution, de profils spéciaux tel qu'hélices, cames, engrenages. L'outil appelé fraise est toujours animé d'un mouvement de rotation autour de son axe  $M_c$  (mouvement de coupe). Il est situé et bloqué sur une porte fraise, lui-même fixé dans la broche de la machine.

Un ensemble de chariots se déplaçant suivant trois axes orthogonaux, permet d'animer la pièce d'un mouvement d'avance dans l'espace  $M_a$  (mouvement d'avance) noté encore  $M_f$ . Un *mouvement de pénétration*  $M_p$  donné à la pièce (et dans certaines machines particulières à l'outil) est indispensable pour régler la surépaisseur à enlever à chaque passe [12].

Pour un arbre, un clavetage ou bien Rainurage c'est l'une des opérations effectuée en fraisage qui consiste à mettre des clavettes sur les extrémités des deux côtés d'un arbre. En mécanique, une clavette est une pièce qui a pour fonction de lier en rotation deux pièces (liaison de moyeux).

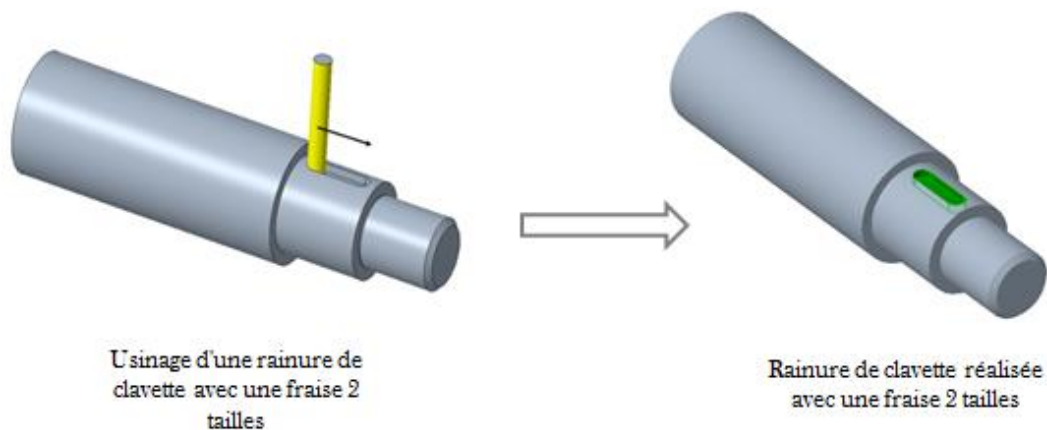
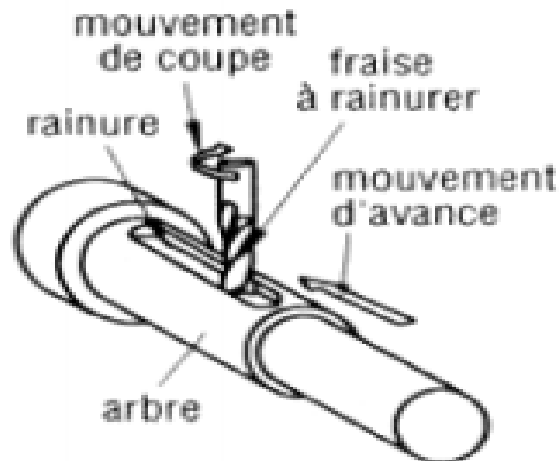


Figure 1.10: Rainure de clavette [13].

En usinage d'une rainure par fraise à rainurer (fraise 2 tailles), la largeur de la rainure correspond au diamètre de la fraise employée. Ce procédé permet d'usiner une longueur de rainure exactement à la longueur de la clavette prévue. Cet usinage est long et coûteux car l'outil doit effectuer plusieurs passes car les efforts de coupe tendent à le faire fléchir.



**Figure 1.11:** Rainure de clavette avec une fraise 2 tailles [13].

### 1.8 Conclusion

On distingue deux grandes familles de pompes industrielles : les pompes centrifuges et les volumétriques. Leur choix dépend essentiellement de la viscosité du liquide qui se définit en fonction de sa résistance à l'écoulement.

L'arbre est un élément essentiel dans la pompe et qui est soumis à de nombreux problèmes qui affectent sur sa durée de vie qui est à cause de

- Problèmes de vibrations.
- Problèmes de température
- Mode de graissage et les incidents...etc.

.Cela nous incite à le re-fabriquer à l'aide de machine de tournage (tour parallèle) et de machine de fraisage (fraiseuse).

## *Chapitre 2*

---

# *C* *alcul de puissance de coupe* *et temps technologique*

---

## 2.1 Introduction

En usinage de coupe, la formation de copeaux ne peut se faire sans une force requise et donc une puissance de coupe requise  $P_c$  au niveau de la broche. L'étude et l'évaluation des efforts de coupe présente un intérêt en usinage principalement [15] :

- Dimensionner les outils et éléments de machines-outils
- Contrôler l'apparition de vibrations (bavardage)
- Evaluer la puissance de coupe et ainsi permettre le choix rationnel d'une machine-outil

Dans ce chapitre, nous parlerons plus sur cette force ainsi puissance de coupe en usinage où nous présenterons la méthode de calcul de ces deux paramètres. Cependant, nous allons présenter comment calculer le temps technologique.

## 2.2 Forces de coupe en usinage

La coupe du métal nécessite une force importante à appliquer par l'outil sur la pièce. La valeur de la force de coupe détermine un certain nombre de problèmes importants, tels que le couple et la puissance de la broche, les déflexions et les vibrations de l'outil et de la pièce, le durcissement à froid et les contraintes résiduelles dans la couche superficielle de la pièce. En conséquence, la valeur de la force de coupe peut influencer la précision de la forme dimensionnelle et l'état de surface obtenu [16].

De nombreux paramètres influent sur les efforts de coupe mais les plus importants sont :

- Le processus de coupe (tournage, fraisage, perçage, etc.)
- La nature du métal à usiner.
- La vitesse d'avance  $f$  (mm/tr.) ou l'épaisseur du copeau  $h_m$
- La profondeur de coupe  $a$  (mm)
- Le type d'outil défini par l'angle d'attaque  $K_r$
- L'angle de coupe
- D'autres paramètres sont susceptibles d'avoir une influence plus ou moins nuancée (lubrification, état de l'outil.)

Malgré l'influence de la vitesse de coupe sur l'effort, elle n'est prise en compte que dans le calcul de puissance car il n'y a pas un grand choix

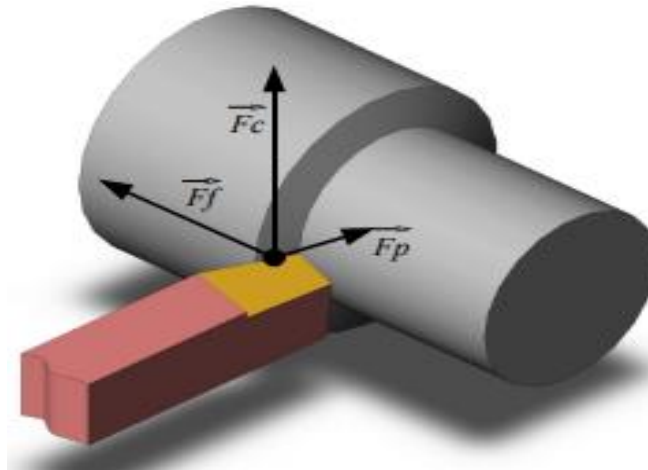
### 2.2.1 Les composants de l'effort de coupe

L'effort de coupe peut être décomposé dans les trois directions principales et permet de définir les efforts de coupe pour toutes les opérations d'usinage. Ces forces sont les suivantes :

**F<sub>c</sub>**: Force tangentielle dans le sens du mouvement de coupe

**F<sub>a</sub> (ou F<sub>f</sub>)** : Force axiale dans le sens du mouvement vers l'avant

**F<sub>p</sub>** : Force radiale dans le sens du mouvement pénétration



**Figure 2.1** : Les principales composantes de la force de coupe [17].

De manière générale :

$$\vec{F_f} \approx \left(\frac{1}{2} \text{ à } \frac{2}{3}\right) \vec{F_c} \text{ and } \vec{F_p} \approx 0.3 \vec{F_c} . \quad (2.1)$$

On remarque que le composant le plus important est F<sub>c</sub>. Cet effort s'exprime par :

$$F_c = K_c \times A_D \quad (2.2)$$

Avec :

**F<sub>c</sub>**: Force tangentielle dans le sens du mouvement de coupe

**K<sub>c</sub>** : Force de coupe spécifique (N/mm<sup>2</sup>).

**A<sub>D</sub>** : Section du copeau (mm<sup>2</sup>/tr).

### 2.3 Puissance en usinage

La puissance est l'un des paramètres les plus importants de l'usinage. Il se dissipe principalement dans la zone de cisaillement et sur la face de coupe. On distingue deux puissances [18] :

- Puissance de coupe P<sub>c</sub>.
- Puissance de la machine P<sub>m</sub> où :  $P_m = \frac{P_c}{\eta}$  (η : Coefficient de machine)

La puissance de coupe P<sub>c</sub> est fournie par le moteur électrique de la machine-outil avec une puissance P<sub>m</sub> légèrement supérieure compte tenu du rendement mécanique η induit par les pertes par frottement des mécanismes de transmission du mouvement.

Dans le cas où la possibilité de choisir la puissance de la machine, il faut calculer P<sub>c</sub> et prendre celle pour laquelle  $P_m \geq P_c / \eta$  [19].

Si la possibilité de choisir la puissance de la machine n'est pas offerte, il est nécessaire de modifier les paramètres de coupe afin d'arriver à la relation  $P_c \leq P_m \cdot \eta$  [19].

### 2.4 Puissance de coupe en usinage

La puissance de coupe absorbée par la broche est déterminée à l'aide d'une formule qui prend en compte :

- Paramètres de coupe en fonction de la matière à usiner,
- Forces de coupe de l'outil sur la pièce grâce à une variable k<sub>c</sub> appelée "Force de coupe spécifique"



### 2.4.1 Force de coupe spécifique (Kc)

La force de coupe spécifique est une représentation d'une force de coupe par unité de surface donnée par l'expression suivante :

$$Kc = \frac{Fc}{A_D} \quad (2.3)$$

Avec :

**Kc** : Force de coupe spécifique (N/mm<sup>2</sup>).

**Fc** : Force de coupe (N).

**A<sub>D</sub>** : Section du copeau donnée par :

$$A_D = f \times a_p. \quad (2.4)$$

Avec :

**f** : Avance par évolution (mm/tr).

**a<sub>p</sub>** : Profondeur de coupe (mm).

Il existe des bases de données qui permettent de déterminer, à l'aide d'un tableau, la valeur de Kc à prendre, en fonction du matériau à usiner, de sa résistance à la traction (dureté Brinell) et de l'épaisseur du matériau (voir ANNEXE).

### 2.4.2 Formule générale de la puissance de coupe Pc

La formule générale de la puissance de coupe Pc qui s'exprime en kiloWatt (kW) peut s'écrire :

$$Pc = \frac{A_D \times Kc \times Vc}{60 \times 10^3 \times \eta} \quad (2.5)$$

Avec :

**Pc** : Puissance de coupe réelle (kW)

**A<sub>D</sub>** : Section du copeau (mm<sup>2</sup>/tr).

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

**Kc** : Force de coupe spécifique (N/mm<sup>2</sup>)

**η**: Coefficient de machine

### 2.4.3 Calculer la puissance de coupe en tournage

La puissance de coupe est donnée par la formule :

$$Pc = Fc.Vc + Ff.Vf \quad (2.6)$$

Puisque Vf n'est en général que de l'ordre du 1/100ème de Vc, le terme Ff Vf est couramment négligé. On obtient donc la formule :

$$Pc = kc \times Ad \times Vc \quad (2.7)$$

$$Pc = kc \times f \times ap \times Vc \quad (2.8)$$

On utilisera donc la formule :

$$Pc = \frac{kc \times f \times ap \times Vc}{60 \times 10^3} \quad (2.9)$$

### 2.4.4 Calculer la puissance de coupe en fraisage

En cas de fraisage centré et par analogie avec le tournage, on a pour une dent :

$$Pc_{1dt} = Fc \times Vc = \frac{Ad \times Kc \times Vc}{60 \times 10^3} \quad (2.10)$$

Section moyenne des copeaux sur un tour :

$$Ad_{av} = \frac{2 \cdot fz \cdot ar \cdot aa}{\alpha D} \quad (2.11)$$

La fraise à Z dents au total donc sur une portion d'angle  $\alpha$  de la fraise on a :

$$Z' = \frac{\alpha}{2\pi} Z \quad (2.12)$$

On substitue les deux équations (2.11) et (2.12) dans l'équation (2.10) on obtient les formules finales :

$$Pc = \frac{Kc \cdot fz \cdot ar \cdot aa \cdot Z Vc}{60 \times 10^3 \cdot \pi \cdot D} \quad (2.13)$$

$$Pc = \frac{Kc \cdot fz \cdot ar \cdot aa \cdot Vf}{60 \times 10^3} \quad (2.14)$$

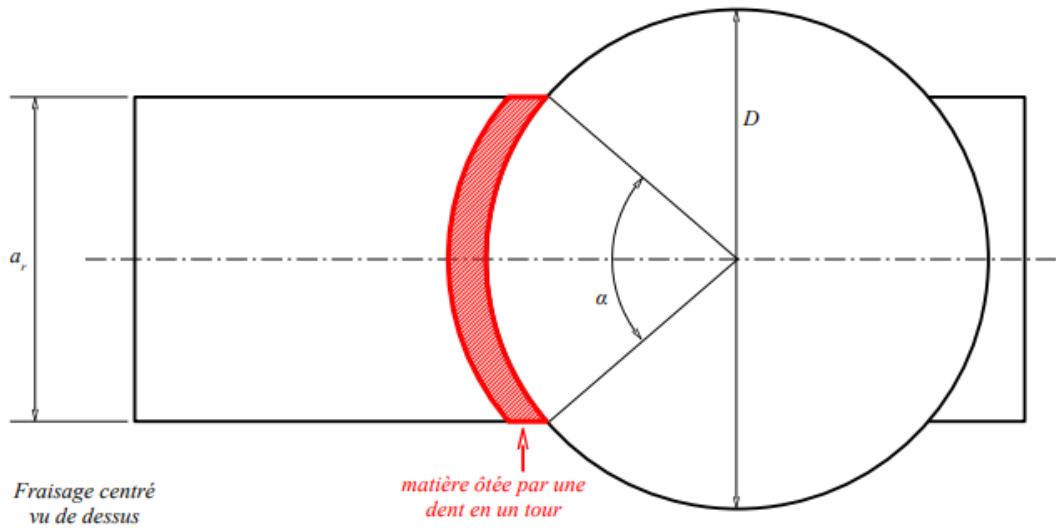


Figure 2.2 : Fraisage centré vu de dessus [17].

Nous suivons les mêmes étapes pour calculer la puissance de coupe dans le cas du fraisage décalé :

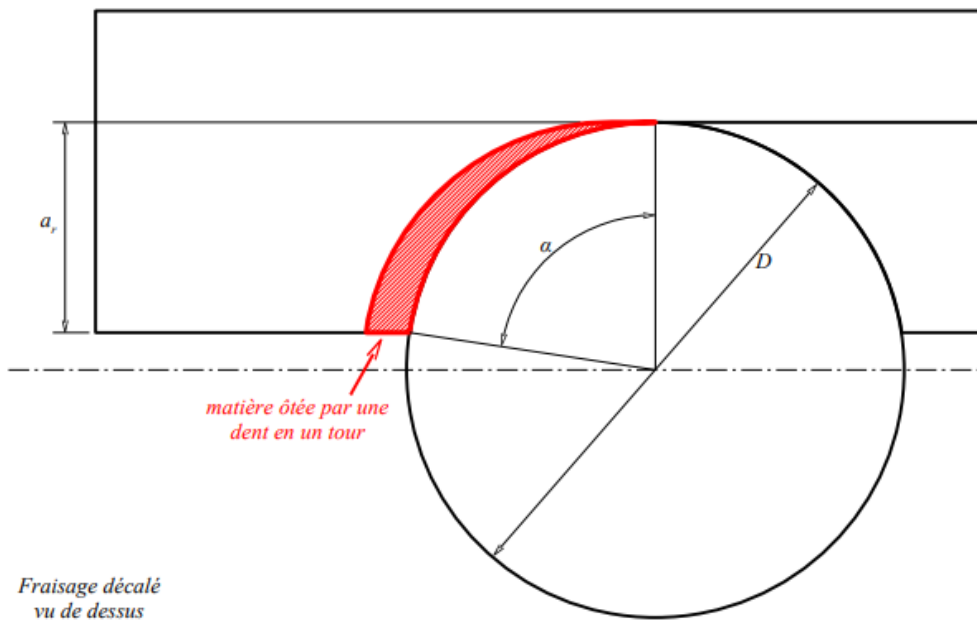


Figure 2.3 : Fraisage décalé vu de dessus [17].

## 2.5 Temps de technologie

En usinage, il est très important de connaître le temps de fabrication d'une pièce où on peut classer les temps dans plusieurs familles : Temps technologique  $T_t$ , Temps de préparation  $T_s$ , Temps manuel  $T_m$ , Temps techno-manuel  $T_{tm}, \dots$  etc.

Temps technologique  $T_t$  représente la durée du travail effectué par un (plusieurs) outil(s). Il est fonction uniquement des moyens matériels et tient compte de l'engagement et du dégagement de l'outil. Ce temps peut être calculé à l'aide de la formule :

$$T_t = \frac{L}{V_f} \quad (2.15)$$

Où :

$L$  : Longueur de déplacement de l'outil

$V_f$  : Vitesse d'avance (en mm/min)

### 2.5.1 En cas de tournage

Le temps technologique en cas de tournage dépend des paramètres présentés dans la (Figure 2.4) :

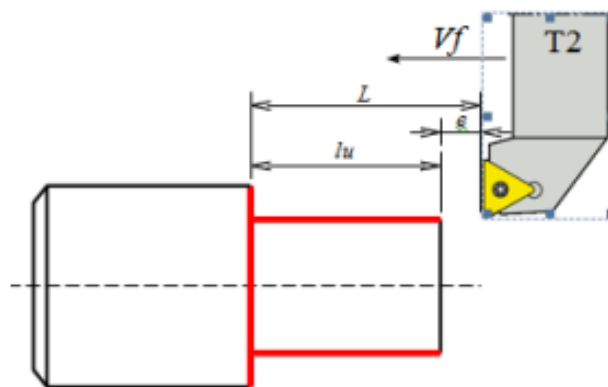


Figure 2.4 : Tournage [20].

Longueur totale de déplacement de l'outil :

$$L = l_u + e \quad (2.16)$$

On a le temps technologique d'usinage d'une pièce donné par l'équation (2.15).  
La vitesse d'avance de l'outil en tournage :

$$Vf = f \times n \quad (2.17)$$

En remplaçant (2.16) sur (2.15), on exprime en tournage le temps technologique d'usinage sous la forme :

$$T_t = \frac{L_u + e}{f \times n} \quad (2.18)$$

Avec :

$l_u$  : Longueur usinée

$e$  : Distance de sécurité

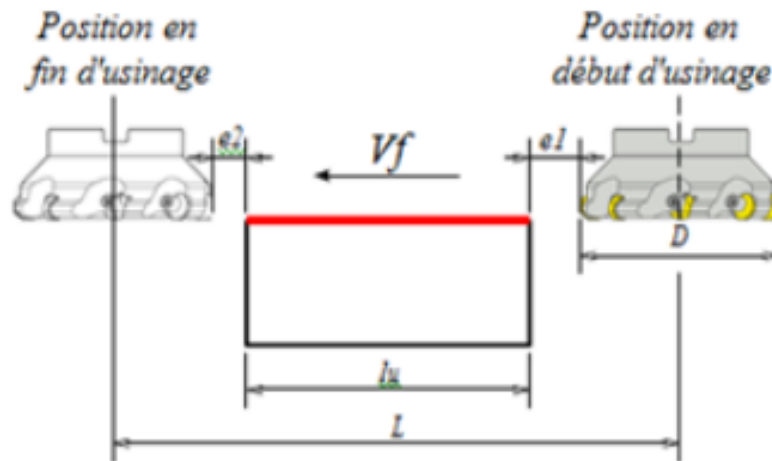
$Vf$  : La vitesse d'avance

$f$  : Avance par évolution (mm/tr).

$n$  : Nombre de tour de la pièce (tr/min).

**En cas de fraisage**

Pour les opérations de fraisage on fait intervenir dans le calcul des temps technologiques le nombre de dents  $Z$  et le diamètre  $D$  de l'outil (fraise). Le temps technologique en cas de fraisage dépend des paramètres présentés dans la (Figure 2.5) :



**Figure 2.5 :** Fraisage [20].

Longueur totale de déplacement de l'outil :

$$L = lu + e1 + e2 + D \quad (2.19)$$

Avec :

**e1**: Distance de sécurité en entrée.

**e2**: Distance desécurité en sortie.

**D**: Diamètre de la fraise.

Vitesse d'avance de l'outil en fraisage :

$$Vf = fz \times Z \times n \quad (2.20)$$

Donc en fraisage le temps technologique d'usinage est donné par la formule :

$$T_t = \frac{lu+e1+e2+D}{fz \times Z \times n} \quad (2.21)$$

## 2.6 Outil fraise

La fraise est un outil qui permet d'usiner la matière (métal, bois, etc.). Elle est généralement utilisée sur une fraiseuse pour faire du fraisage. La fraise doit être fixée sur la broche par l'intermédiaire d'une ouïe, d'un mandrin ou de sa partie conique. La figure 2.6 montre les compositions d'une fraise

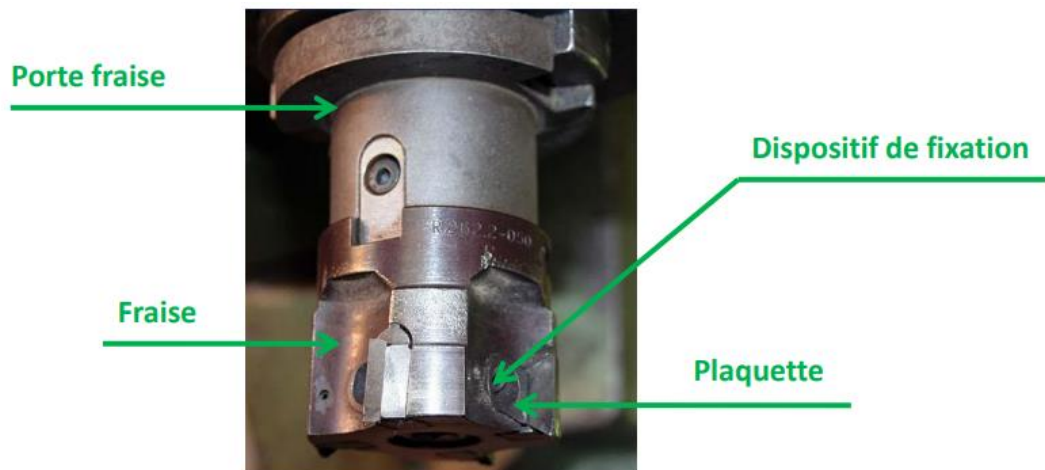


Figure 2.6 : Outil fraise [12].

L'outil de fraise se caractérise par 6 caractérisations [12]:

- **La taille** : Suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, il existe des fraises une taille, deux tailles ou trois tailles
- **La forme**: suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, il existe des fraises cylindriques, coniques et des fraises de forme (voir la figure 2.7).



**Figure 2.7** : les différentes formes des fraises.

- **La denture** : Suivant le sens d'inclinaison des arêtes tranchantes par rapport à l'axe de la fraise, il existe les dentures hélicoïdales à droites ou à gauche et les dentures à double hélice alternées. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise, la denture est droite.
- **Nombre de dents**: Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.
- **Dimensions**: Pour une fraise deux tailles : diamètre et hauteur taillée. Pour une fraise trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre de l'alésage. Pour une fraise conique pour queue d'arête : l'angle, le diamètre de l'outil et l'épaisseur.
- **Mode de fixation** : à trou lisse ou taraudé, à queue cylindrique ou conique.

### 2.7 Outil foret

Un foret ou une mèche est un outil qui sert à faire ou usiner des trous, le plus souvent avec une perceuse. Il en existe différents types suivant la géométrie du perçage à réaliser et les matériaux usinés. Un foret travaille en coupant la matière à son extrémité ; si la coupe survient sur le flanc il s'agit d'une fraise.



**Figure 2.8 :** Foret.

Un foret à centrer (ou mèche à centrer) est l'une des types des forets qui est un foret très rigide, donc très court la déviation du foret, sa flèche, est proportionnelle au cube de sa longueur  $L^3$  qui permet d'effectuer un petit trou positionné avec une très grande précision. Le foret à centrer peut être utilisé [22]:

- Avant de percer avec le foret : le petit cône ainsi créé permet de centrer le foret, d'éviter qu'il ne chasse, et donc garantit la précision sur la position du perçage.
- Pour réaliser un trou de centre (pointe de tour).



**Figure 2.9 :** Foret à centrer.



Les différentes normes et les standards mis au point par les fabricants définissent différentes géométries de forets à centrer :

- Type A : L'angle de chanfrein est de  $60^\circ$  avec le quandain.
- Type B : L'angle de chanfrein est de  $60^\circ$  avec le chanfrein, suivi d'un deuxième angle de  $120^\circ$ .
- Type R : La pointe est en forme de « rayon » (intersection de deux arcs de cercle). Il est surtout utilisé pour réaliser un point de centre pour une reprise entre pointe ou encore percer le verre, la céramique ou le carrelage.

### 2.8 Outil à charioter plaquettes en carbure

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Outils de base pour le tournage traditionnel et numérique. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min). Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner (en phase d'ébauche).

Plaquette est la partie de l'outil qui usine, elle peut être de carbure ou de céramique et présente plusieurs faces actives.

Porte-plaquette C'est un corps carré en acier de différentes sections selon les constructeurs et la machine utilisée (Im.E). Sur ce corps on vient fixer une assise puis une plaquette. Cette assise peut avoir plusieurs inclinaisons [23].



Figure 2.10 : Outil à charioter plaquettes en carbure.

### 2.8.1 Compositions

Outil à charioter plaquettes en carbure consiste en un corps et une queue. Un corps est la partie de l'outil portant les éléments coupants ou les plaquettes. La queue de l'outil est la partie par laquelle celui-ci est maintenu. La partie de l'outil qui intervient directement dans l'opération de coupe (les arêtes, la face de coupe et les faces de dépouille) est appelée partie active (voir la figure 2.11) :

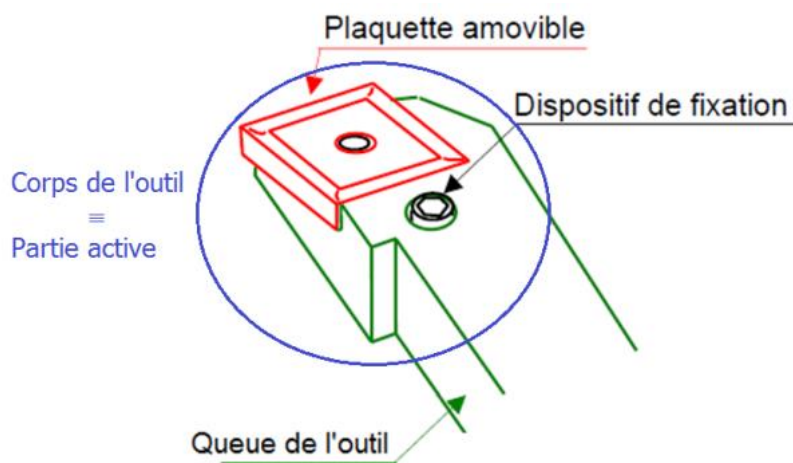


Figure 2.11 : Les compositions d'un outil à charioter plaquettes en carbure [9].

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés les éléments de base utilisés dans les études en usinage (dans le cas de tournage et fraisage) tel que : efforts de coupe  $F$ , la puissance de coupe  $P_c$  et le temps technologique  $T_t$ . L'étude de ces éléments permet la connaissance de

- Dimensionnement des montages d'usinage
- Le contrôle du serrage de la pièce et de l'outil
- Le choix de la machine-outil par rapport au critère de puissance  $P_m$
- Le contrôle et la régulation des paramètres de coupe pour une meilleure adaptation du régime de coupe.

Cette étude nous permet également de proposer des solutions optimales lors de l'usinage, et c'est ce que nous verrons dans le chapitre suivant.

## *Chapitre 3*

---

# *O*ptimisation d'une gamme d'usinage

---

### 3.1 Introduction

Au cours de notre stage pratique à l'ERENAV de Béjaïa, nous avons assisté à la réalisation d'un arbre d'une pompe centrifuge ou nous avons marqué tous les paramètres nécessaires pour le calcul de la puissance de coupe ainsi le temps technologique pendant l'usinage (les temps de coupe) afin de faire une comparaison entre le temps qu'il a fallu pour fabriquer la pièce en réalité (temps réel) avec le temps et le temps technologique (le temps calculé théoriquement) et le temps amélioré (le temps après l'optimisation).

Notre but est de proposer des solutions optimales pour obtenir une pièce dans un minimum de temps possible.

### 3.2 Présentation de l'ERENAV du Béjaïa

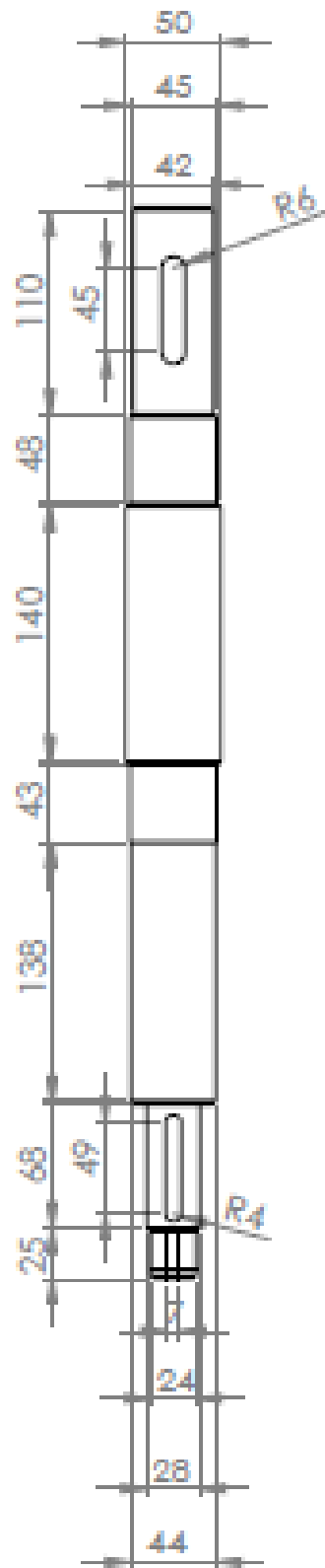
L'Entreprise de Réparation Navale, ERENAV, est une entreprise publique économique au capital social de 1 550 millions de Dinars, détenu en totalité par le Groupe de Transport Maritime « GATMA ». Elle est sous la tutelle du Ministère des Transports.

Son implantation géographique au niveau des plus grands ports d'Algérie, avec des tirants d'eau favorables (Oran : -13 m, Arzew : -16 m, Béjaïa : -12 m et Alger : -8 m), lui permet, d'une part, de couvrir l'ensemble de la façade maritime Algérienne et, d'autre part, d'attirer des navires de différentes tailles. Cela constitue, pour ERENAV, une opportunité d'affaires avantageuse.

ERENAV intervient dans la réparation et la maintenance navale. C'est une activité de service, particulière dans sa structure industrielle. Elle a pour objectif d'apporter des solutions (globales et sur mesure) aux différents problèmes techniques que rencontrent les navires quel qu'en soit le type (Ferries, Cargos, Portes conteneurs, Engins de servitude, Pétroliers et Bâtiments des Forces Navales)

### 3.3 Plan de l'arbre

La figure suivante montre un plan général de l'arbre, y compris les diamètres et les longueurs :



UNIVERSITE A-MIRA BEJAIA

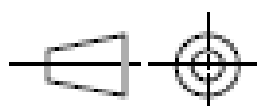
Master 2

Echelle: 1/4

ARBRE DE POMPE CENTRIFUGE

04/07/2021

PFE



M. TARDA Hamza

ACIER  
INOXYDABLE

Figure 3.1 : Plan de l'arbre.

### 3.4 Les étapes de la fabrication de l'arbre

Au début, nous avons préparé la pièce pour la fabrication en découpant la longueur de la matière brute (600 mm) et en obtenant la longueur désirée (574 mm). Pour ce processus nous avons utilisé la machine Csie mécanique.

#### 3.4.1 Dressage et centrage

Afin d'éliminer les distorsions dans les deux côtés de la pièce qu'il a résulté à cause de le processus de découpage, nous réalisons une opération de dressage et centrage suivant :

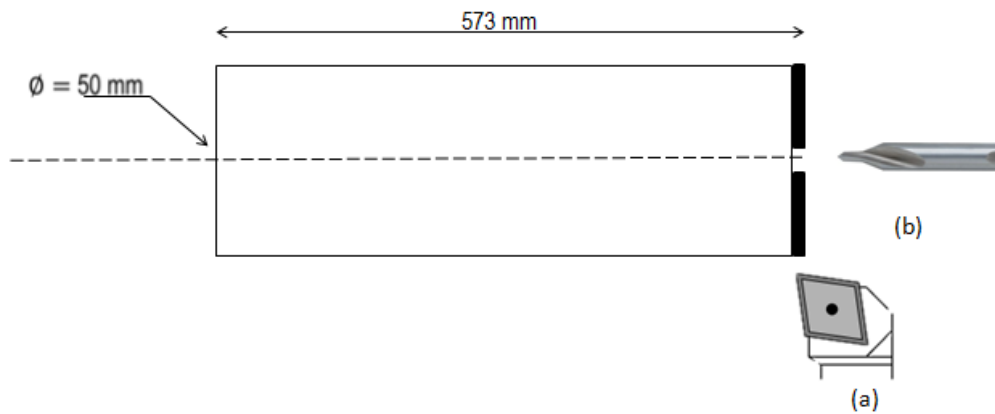
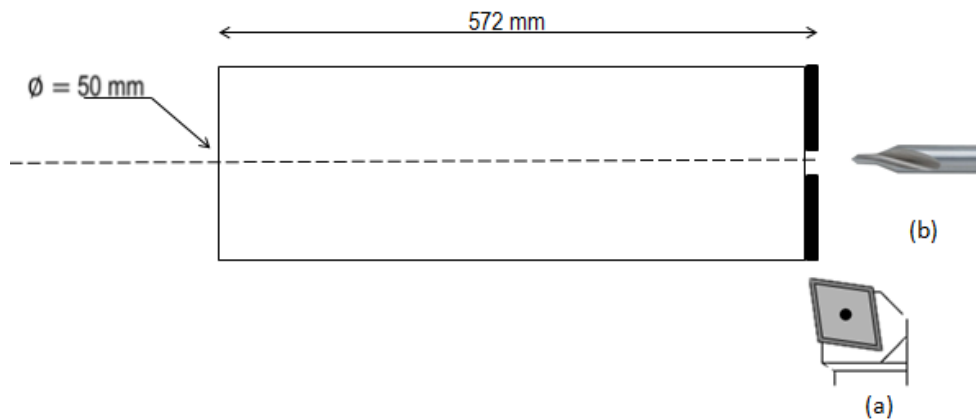


Figure 3.2: Dressage et centrage de côté 1. (a) Dressage et chariotage ( $45^\circ$ ). (b) Foret a centré



**Figure 3.3 :** Dressage et centrage de côté 2. (a) Dressage et chariotage (45°). (b) Foret a centré.

Les valeurs dans le tableau (3.1) sont les valeurs obtenues dans cette opération et les mêmes résultats sont obtenue dans les deux cotés (coté 1 et coté2) :

La vitesse de coupe $V_c$	25 m/min
Avance par dent $f$	0.4 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	180 tr/min
Profondeur $a_p$	0.5
Nombre de passe $i$	2
Temps de dressage et centrage $t$	2 min 35s
Temps de montage $t_m$	10 min

**Tableau 3.1 :** Valeurs de dressage et centrage de deux côtés l'arbre.

A partir de tableau (3.1) et l'annexe 1(pour avoir la valeur de  $K_c$ ), nous calculons la puissance de coupe par les équations suivants:

$$A_D = f \times a_p = 0.2 \text{ mm}^2/\text{tr} \quad (3.1)$$

$$F_c = K_c \times A_D = 750 \text{ N} \quad (3.2)$$

$$P_c = \frac{V_c \times F_c}{60 \times 10^3} = 0.3125 \text{ kW} \quad (3.3)$$

Le temps technologique  $T_t$  (temps de chariotage) pour le dressage est calculé par:

$$T_t = \frac{L_u}{f \times n} = \frac{25}{0.4 \times 180} = 0.3 \times 1 \text{ passe} = 0.3 \times 2 = 0.6 \text{ min} \quad (3.4)$$

Avec:  $L_u$  est longueur usinée

D'autre part, Le temps technologique  $T_t$  pour le centrage est calculé par:



$$T_t = \frac{L_u + e}{f \times n} = \frac{5+3}{0.4 \times 159.2} = \mathbf{0.125 \text{ min}} \quad (3.5)$$

Avec:  $e$  est distance de sécurité

Donc le temps totale de dressage et centrage est la somme des deux résultats (3.4) et (3.5):

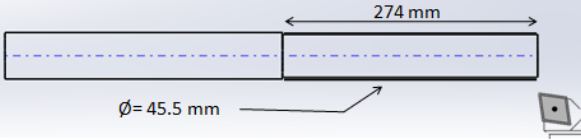
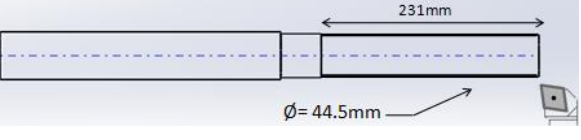
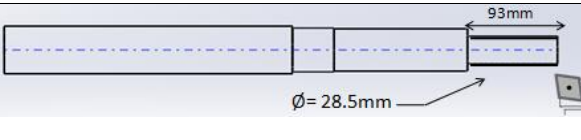
$$T_{t(tot)} = \mathbf{0.6 + 0.125 = 0.72 \text{ min}} \quad (3.6)$$

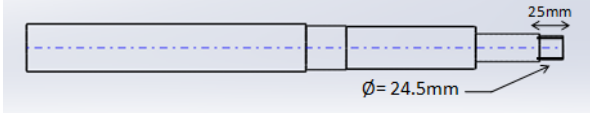
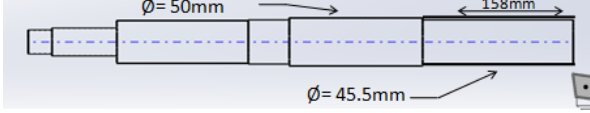
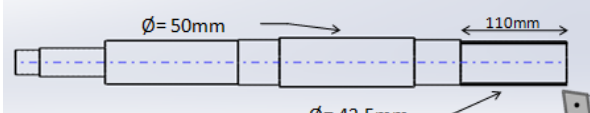
### 3.4.2 Montage mixte

Cette opération est représenté par l'opération d'Ebouche qui consiste a enlevé le maximum de coupeau et en minimum de temps sans intéressés à l'état de surface :

Outil utilisé : outil à charioté

IM : Piéd à coulisse 1/50.

<p><b>Phase 1</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 2</math>  <math>a_p = 2.5 \text{ mm}</math>  <math>t = 14 \text{ min } 57s</math>  <math>t_m = 10 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 2</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 1</math>  <math>a_p = 1 \text{ mm}</math>  <math>t = 6 \text{ min } 13s</math>  <math>t_m = 8 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 3</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 5</math>  <math>a_p = 3.2 \text{ mm}</math>  <math>t = 12 \text{ min } 30s</math>  <math>t_m = 8 \text{ min}</math></p>	

<p><b>Phase 4</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 2</math>  <math>a_p = 2 \text{ mm}</math>  <math>t = 1 \text{ min } 20 \text{ s}</math>  <math>t_m = 8 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 5</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 2</math>  <math>a_p = 2.5 \text{ mm}</math>  <math>t = 10 \text{ min}</math>  <math>t_m = 10 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 6</b></p>	<p><math>V_c = 15 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.2 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 90 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 1</math>  <math>a_p = 3 \text{ mm}</math>  <math>t = 3 \text{ min}</math>  <math>t_m = 8 \text{ min}</math></p>	

**Tableau 3.2 :** Valeurs des phases de l'opération d'Ebouche.

A partir de tableau (3.2) et l'annexe 1 (pour avoir la valeur de  $K_c$ ), nous calculons la puissance de coupe par les même équations précédentes. Les résultants sont résumés sur le tableau (3.3) :

Les phases	Puissance de coupe $P_c$
Phase 1	0.3375 kW
Phase 2	1.875 kW
Phase 3	0.304 kW
Phase 4	0.27 kW
Phase 5	0.3375 kW
Phase 6	0.285kW

**Tableau 3.3 :** Les résultats de puissance de coupe de l'opération d'Ebouche.

Nous calculons le temps technologique  $T_i$  pour chaque phases de l'opération d'Ebouche par l'équation (3.5). Les résultats sont résumés sur le tableau suivant :

Les phases	Temps technologique $T_t$
Phase 1	15.3 min
Phase 2	13 min
Phase 3	5.33 min
Phase 4	1.55 min
Phase 5	9 min
Phase 6	6.2 min

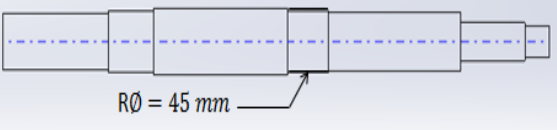
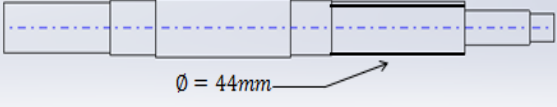
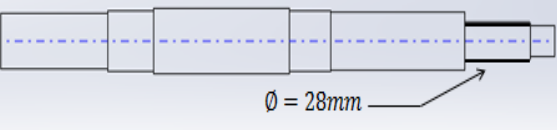
Tableau 3.4 : Les résultats de temps de technologie de l'opération d'Ebouche.

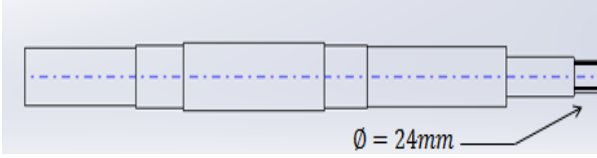
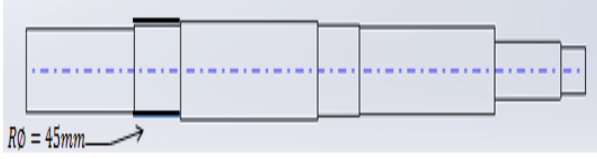
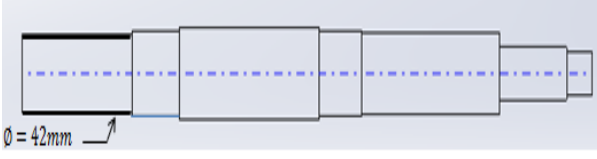
### 3.4.3 Finition

C'est l'opération qui consiste à finir la pièce aux cotes prescrites. Il faut donc choisir des grandes vitesses de coupe et de petits avances afin d'obtenir des surfaces grandes qualités.

Outil utilisé : outil à charioté.

IM : Micromètre EXT.

<p><b>Phase 1</b></p>	<p><math>V_c = 25 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.09 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 180 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 3</math>  <math>a_p = 0.25 \text{ mm}</math>  <math>t = 4 \text{ min}</math>  <math>t_m = 20 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 2</b></p>	<p><math>V_c = 25 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.09 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 180 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 2</math>  <math>a_p = 0.25 \text{ mm}</math>  <math>t = 8 \text{ min}</math>  <math>t_m = 10 \text{ min}</math></p>	
<p><b>Phase 3</b></p>	<p><math>V_c = 25 \text{ m/min}</math>  <math>f = 0.09 \text{ mm/tr}</math>  <math>n = 180 \text{ tr/min}</math>  <math>i = 2</math>  <math>a_p = 0.25 \text{ mm}</math>  <math>t = 4 \text{ min}</math>  <math>t_m = 10 \text{ min}</math></p>	

<b>Phase 4</b>	$V_c = 25 \text{ m/min}$ $f = 0.09 \text{ mm/tr}$ $n = 180 \text{ tr/min}$ $i = 2$ $a_p = 0.25 \text{ mm}$ $t = 1 \text{ min } 33 \text{ s}$ $t_m = 8 \text{ min}$	 <p><math>\varnothing = 24 \text{ mm}</math></p>
<b>Phase 5</b>	$V_c = 25 \text{ m/min}$ $f = 0.09 \text{ mm/tr}$ $n = 180 \text{ tr/min}$ $i = 2$ $a_p = 0.25 \text{ mm}$ $t = 4 \text{ min } 24 \text{ s}$ $t_m = 15 \text{ min}$	 <p><math>R\varnothing = 45 \text{ mm}</math></p>
<b>Phase 6</b>	$V_c = 25 \text{ m/min}$ $f = 0.009 \text{ mm/tr}$ $n = 180 \text{ tr/min}$ $i = 2$ $a_p = 0.25 \text{ mm}$ $t = 9 \text{ min } 42 \text{ s}$ $t_m = 10 \text{ min}$	 <p><math>\varnothing = 42 \text{ mm}</math></p>

**Tableau 3.5 :** Valeurs des phases de l'opération de finition.

Dans les deux derniers phases, nous avons utilisé un autre outil qui est outil à charioté à gauche à cause de la présence d'un (TOCK) montage entre pointes.

A partir de tableau (3.5) et l'annexe 1 (pour avoir la valeur de  $K_c$ ), nous calculons la puissance de coupe par les équations précédentes. Les résultats sont résumés sur les tableaux (3.6) :

<b>Les phases</b>	<b>Puissance de coupe <math>P_c</math></b>
Phase 1	0.04875 kW
Phase 2	0.04875kW
Phase 3	0.04875kW
Phase 4	0.04875kW
Phase 5	0.04875kW
Phase 6	0.04875Kw

**Tableau 3.6 :** Les résultats de puissance de coupe de l'opération de finition.

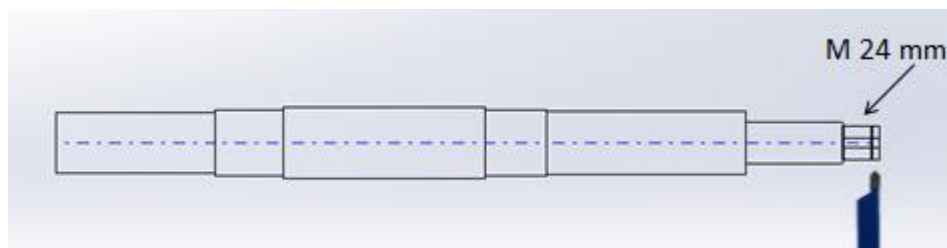
Nous calculons le temps technologique  $T_t$  pour chaque phases de l'opération de finition par l'équation (3.5). Les résultats sont résumés sur le tableau suivant :

Les phases	Temps technologique $T_t$
Phase 1	2.8 min
Phase 2	8.7 min
Phase 3	4.3 min
Phase 4	1.7 min
Phase 5	3.1min
Phase 6	7 min

**Tableau 3.7:** Les résultats de temps technologique de l'opération de finition.

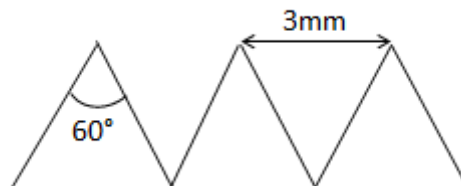
### 3.4.4 Filetage

Dans cette opération, nous appliquons une opération d'un filetage externe qui est l'action de former un ou plusieurs filets hélicoïdaux ou pas de vis à la surface externe d'un cylindre.



**Figure 3.4 :** Opération de filetage avec outil à filetage extérieure  
(Longueur =25 mm, diamètre = 24mm)

Les dimensions des dents sont illustrées dans la figure suivant :



**Figure 3.5:** Les dimensions des dents (Angle= 60°, longueur entre les dents = 3mm)

Les valeurs dans le tableau (3.8) sont les valeurs obtenues dans cette opération :

La vitesse de coupe $V_c$	15 m/min
Avance par dent $f$	3 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	90 tr/min
Profondeur $a_p$	0.5
Nombre de passe $i$	7
Temps de dressage et centrage $t$	9 min
Temps de montage $t_m$	7 min

**Tableau 3.8 :** Valeurs de l'opération de filetage.

A partir de tableau (3.8) et l'annexe 1(pour avoir la valeur de  $K_c$ ), nous calculons la puissance de coupe par les équations suivants:

$$A_D = f \times a_p = 1.5 \text{ mm}^2/\text{tr} \quad (3.7)$$

$$F_c = K_c \times A_D = 2850 \text{ N} \quad (3.8)$$

$$P_c = \frac{V_c \times F_c}{60 \times 10^3} = 0.7125 \text{ kW} \quad (3.9)$$

Le temps de technologie  $T_t$  (temps de chariotage) pour l'opération de filetage est calculé comme suite:

$$\text{Pour une passe: } T_t = \frac{L_u + e}{f \times n} = \frac{25 + 3}{3 \times 90} = 0.1 \text{ min} \quad (3.10)$$

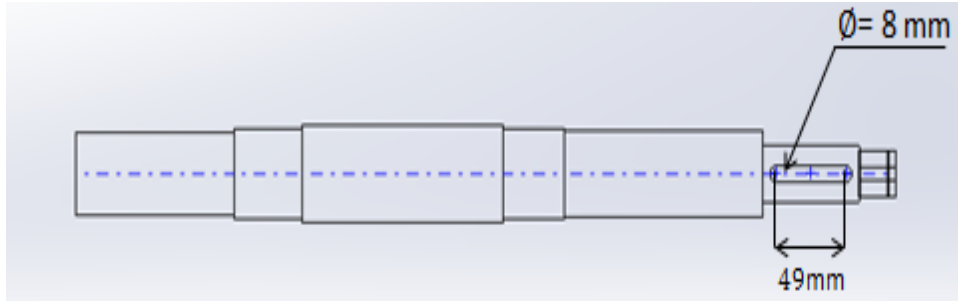
$$\text{Pour tout les passes: } T_t = 0.1 \times 7 = 0.7 \text{ min} \quad (3.11)$$

$$T_t = 1.3 \times 0.7 = 2 \text{ min} \quad (3.12)$$

#### 3.4.5 Rainurage (Rainure de clavettes)

Rainurage (fraisage) est l'opération consistant à creuser une rainure dans une pièce. Dans cette opération, nous avons utilisé les outils suivants :

- (a) Foret à centré.
- (b) Foret du 8 mm
- (c) Faise 02 taille  $\emptyset = 8\text{mm}$ .



**Figure 3.6 :** Rainure de clavette (fraisage sur la longueur 49mm et diamètre= 8mm)

Les valeurs dans le tableau (3.9) sont les valeurs obtenues dans cette opération :

La vitesse de coupe $V_c$	15 m/min
Avance par dent $f$	0.020 mm/dent
Nombre de tour de la pièce $n$	525 tr/min
Profondeur $a_p$	1mm
Nombre de passe $i$	4
Temps de dressage et centrage $t$	34 min
Temps de montage $t_m$	40 min
Vitesse d'avance F	11 mm/min

**Tableau 3.9 :** Valeurs de l'opération de Rainurage (fraisage).

La puissance de coupe est calculé par les équations suivants ( la valeur de  $K_c$  est sur l'annexe 2):

$$A_D = f \times a_p = 0.020 \text{ mm}^2/\text{tr} \quad (3.13)$$

$$F_c = K_c \times A_D = 111.94 \text{ N} \quad (3.14)$$

$$P_c = \frac{V_c \times F_c}{60 \times 10^3} = 0.027 \text{ kW} \quad (3.15)$$

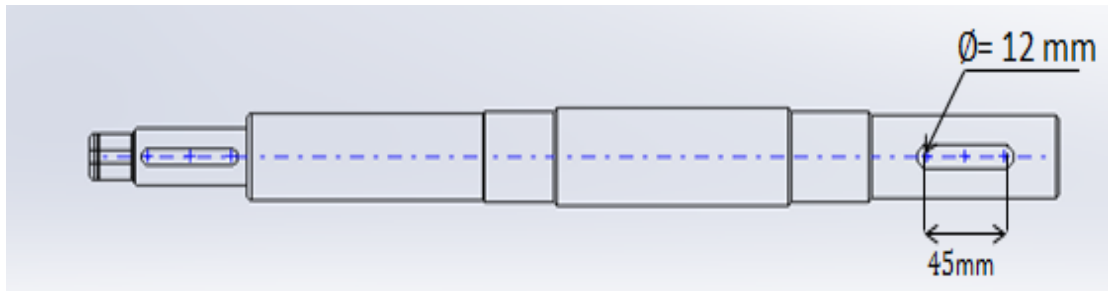
Le temps technologique  $T_t$  pour l'opération de fraisage de côté 1 est calculé comme suite:

$$\text{Pour une passe: } T_t = \frac{L_u}{F} = \frac{49}{11} = 4.4 \text{ min} \quad (3.16)$$

$$\text{Pour tout les passes: } T_t = 4.4 \times 4 = 17.8 \text{ min} \quad (3.17)$$

Nous appliquons une rainure sur l'autre côté de l'arbre on utilisant un autre outil :

- (a) Foret à centré.
- (b) Foret du 12 mm
- (c) Faise O2 taille  $\varnothing = 12\text{mm}$



**Figure 3.7 :** Rainure de clavette côté 2 (fraisage sur la longueur 45mm et diamètre= 12mm)

Les valeurs dans le tableau (3.10) sont les valeurs obtenues dans cette opération :

La vitesse de coupe $V_c$	15 m/min
Avance par dent $f$	0.029 mm/dent
Nombre de tour de la pièce $n$	573tr/min
Profondeur $a_p$	1mm
Nombre de passe $i$	6
Temps de dressage et centrage $t$	50min
Temps de montage $t_m$	50min
Vitesse d'avance $F$	11 mm/min

**Tableau 3.10 :** Valeurs de l'opération de Rainurage (fraisage).

La puissance de coupe est comme suite :

$$A_D = f \times a_p = 0.029 \text{ mm}^2/\text{tr} \quad (3.17)$$

$$F_c = K_c \times A_D = 113.2\text{N} \quad (3.18)$$



$$P_c = \frac{V_c \times F_c}{60 \times 10^3} = \mathbf{0.0283 \text{ kW}} \quad (3.19)$$

Le temps technologique  $T_t$  pour l'opération de fraisage de côté 2 est calculé comme suite:

Pour une passe:  $T_t = \frac{L_u}{F} = \frac{45}{11} = \mathbf{4 \text{ min}}$  (3.20)

Pour tout les passes:  $T_t = 4 \times 6 = \mathbf{24 \text{ min}}$  (3.21)

### 3.5 Optimisation d'une gamme d'usinage

Précédemment, nous avons défini les étapes d'usinage d'un arbre où nous avons calculé la puissance de coupe  $P_c$  et le temps technologie  $T_t$  nécessaire pour chaque phase.

Dans cette partie, nous avons proposé une solution d'optimisation, qui consiste à augmenter la vitesse de coupe  $V_c$  et nous recalculons le temps pour les mêmes opérations précédents afin de faire une comparaison.

#### 3.5.1 Dressage et centrage optimisé

En premier, nous utilisons dans cette opération l'outil « dressage et chariotage ». Les valeurs de cette phase sont résumées sur le tableau suivant :

La vitesse de coupe $V_c$	120 m/min
Avance par dent $f$	0.4 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	764.3tr/min
Longueur usinée $L_u$	25mm
Nombre de passe $i$	2

**Tableau 3.11 :** Valeurs optimisé avec l'outil dressage et chariotage de l'arbre.

A partir de tableau 3.11, nous calculons le temps technologique de phase de dressage  $T_D$  :

Pour une passe:  $T_D = \frac{L_u}{f \times n} = \frac{25}{0.4 \times 764.3} = \mathbf{0.08 \text{ min}}$  (3.22)

Pour tout les passes:  $T_t = 0.08 \times 2 = \mathbf{0.16 \text{ min}}$  (3.23)

Nous changeons l'outil utilisé par l'outil « foret à centré ». Les valeurs sont résumées sur le tableau suivant :

La vitesse de coupe $V_c$	30 m/min
Avance par dent $f$	0.4 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	1910.8tr/min
Longueur usinée $L_u$	5 mm
Distance de sécurité $e$	3 mm

**Tableau 3.12 :** Valeurs optimisé avec l'outil foret à centré.

A partir de tableau 3.12, nous calculons le temps technologique de cette phase:

$$T_{fc} = \frac{L_u + e}{f \times n} = \frac{5 + 3}{0.4 \times 1910.8} = \mathbf{0.01 \text{ min}} \quad (3.24)$$

La somme entre les deux résultats 3.23 et 3.24 nous donne le temps amélioré suivant:

$$T_{\text{amélioré}} = \mathbf{0.01 + 0.16 = 0.170 \text{ min}} \quad (3.25)$$

### 3.5.2 Montage mixte optimisé

Dans cette operation, nous utilisons «l'outil à charioté plaquettes en carbure». La valeur de la vitesse de coupe  $V_c$  de travail est compris entre (100 – 150) m/min. Les valeurs de chaque phases de montage mixte ainsi le calcule de temps amélioré  $T_{\text{amélioré}}$  sont résumées sur le tableau suivant :

		Temps amélioré $T_{\text{amélioré}}$
<b>Phase 1</b>	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 274 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = \mathbf{2.4 \text{ min}}$
<b>Phase 2</b>	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 1$ $L_u = 231 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = \mathbf{1.02 \text{ min}}$
	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$	

<b>Phase 3</b>	$a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 5$ $L_u = 93 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 2.5 \text{ min}$
<b>Phase 4</b>	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 25 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 0.24 \text{ min}$
<b>Phase 5</b>	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 158 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 1.4 \text{ min}$
<b>Phase 6</b>	$f = 0.3 \text{ mm/tr}$ $n = 764.3 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 1$ $L_u = 110 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 0.4 \text{ min}$

Tableau 3.13 : Temps amélioré des phases de montage mixte.

### 3.5.3 Finition optimisé

L'opération de finition nous utilisons aussi « l'outil à charioté plaquettes en carbure ». Nous prenons la valeur de la vitesse de coupe  $V_c = 130 \text{ m/min}$ . Les valeurs de chaque phases de finition ainsi le calcul de temps amélioré  $T_{\text{amélioré}}$  sont résumées sur le tableau suivant :

		Temps amélioré $T_{\text{amélioré}}$
<b>Phase 1</b>	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 3$ $L_u = 43 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 1.5 \text{ min}$
	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$	

<b>Phase 2</b>	$a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 138 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 3.4 \text{ min}$
<b>Phase 3</b>	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 68 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 1.7 \text{ min}$
<b>Phase 4</b>	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 1$ $L_u = 25 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 0.6 \text{ min}$
<b>Phase 5</b>	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 48 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 1.23 \text{ min}$
<b>Phase 6</b>	$f = 0.1 \text{ mm/tr}$ $n = 828 \text{ tr/min}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $i = 2$ $L_u = 110 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	$T_{\text{amélioré}} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 2.7 \text{ min}$

Tableau 3.14 : Temps amélioré des phases l'opération de finition.

### 3.5.4 Filetage optimisé

Dans cette phase, nous utilisons « l'outil à filetage extérieure » et les valeurs sont résumées sur le tableau suivant :

La vitesse de coupe $V_c$	100 m/min
Avance par dent $f$	3 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	636.9 tr/min

Longueur usinée $L_u$	25 mm
distance de sécurité $e$	3 mm
Nombre de passe $i$	7
Temps de réparation $T_{réparation}$	1.3 min

**Tableau 3.15** : Valeurs optimisé de l'opération filetage.

A partir de tableau 3.15, nous calculons le temps technologique de cette phase:

$$T_{tot} = \frac{L_u + e}{f \times n} \times i = 0.102 \text{ min} \quad (3.26)$$

Le temps amélioré est la somme entre le Temps de réparation  $T_{réparation}$  et le temps  $T_{tot}$

$$T_{amélioré} = 0.102 + 1.3 = 1.4 \text{ min} \quad (3.27)$$

### 3.5.5 Rainurage optimisé

Pour faire rainurage Clavet1, nous utilisons les outils suivants :

- (a) Foret à centré.
- (b) Foret du 8 mm
- (c) Faise 02 taille  $\emptyset = 8\text{mm}$ .

Les valeurs de cette opération sont résumées sur le tableau suivant :

La vitesse de coupe $V_c$	80 m/min
Avance par dent $f$	0.15 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	3184.7 tr/min
Longueur usinée $L$	49 mm
Nombre de dent de l'instrument $Z$	2
Nombre de passe $i$	4
$\emptyset$ outil	8mm
La vitesse d'avance F	955.41 mm/min

**Tableau 3.16 :** Valeurs de l'opération de rainurage (Clavet1).

A partir de tableau 3.16, nous calculons le temps amélioré de la rainurage (Clavet1) :

$$T_{\text{amélioré}} = \frac{L}{f} \times i = \mathbf{0.20 \text{ min}} \quad (3.28)$$

Pour rainurage (Clavet2), nous utilisons les outils suivants :

- (d) Foret à centré.
- (e) Foret du 12 mm
- (f) Faise 02 taille  $\varnothing = 12\text{mm}$ .

Les valeurs de cette opération sont résumées sur le tableau suivant :

La vitesse de coupe $V_c$	80 m/min
Avance par dent $f$	0.15 mm/tr
Nombre de tour de la pièce $n$	2123.1 tr/min
Longueur usinée $L$	45 mm
Nombre de dent de l'instrument $Z$	2
Nombre de passe $i$	6
$\varnothing$ outil	12 mm
La vitesse d'avance $F$	636.9 mm/min

**Tableau 3.17 :** Valeurs de l'opération de rainurage (Clavet 2).

A partir de tableau 3.16, nous calculons le temps amélioré de la rainurage (Clavet 2) :

$$T_{\text{amélioré}} = \frac{L}{f} \times i = \mathbf{0.42 \text{ min}} \quad (3.29)$$

### 3.6 Résumé

### Chapitre 03 Optimisation d'une gamme d'usinage

Dans le tableau suivant, nous résumerons les temps réels (les temps où la pièce a été réellement fabriquée) et les temps technologiques (les temps calculés) de chaque étape d'usinage, où nous calculerons la différence entre ces deux temps (Ecart):

/	Les phases	Temps reel (min) $T_r + T_m$	Temps technologique (min) $T_r + T_m$	Ecart $T_r - T_{tec}$
Dressage et centrage	Phase 1	12.35	10.72	1.63
	Phase 2	12.35	10.72	1.63
Montage mixte	Phase 1	25	25.3	0.3
	Phase2	14	21	7
	Phase3	20	13.33	6.67
	Phase 4	9.3	9.55	0.25
	Phase 5	20	19	1
	Phase 6	11	14.2	3.2
Finition	Phase 1	24	22.8	1.2
	Phase2	18	18.7	0.7
	Phase3	14	14.3	0.3
	Phase 4	9.5	9.7	0.2
	Phase 5	19.5	18.1	1.4
	Phase 6	19.7	17	2.7
Filetage	/	16	9	7
Rainurage	Clavet1 $\varnothing = 8\text{mm}$	74	57.8	18.2
	Clavet2 $\varnothing = 12\text{mm}$	100	74	26

**Tableau 3.18 :** Résumée des temps réels et des temps technologiques des étapes d'usinage d'un arbre.

Le tableau 3.19 est le résumé des temps réels et les temps améliorés (les temps calculés) de chaque étape d'usinage. L'ecart  $c$  est la différence entre les deux temps:

	Les phases	Temps reel (min) $T+T_m$	Temps amélioré (min) $T_{em}+T_m$	Ecart
Dressage et centrage	Phase 1	12.35	10.17	2.18
	Phase 2	12.35	10.17	2.18
Montage mixte	Phase 1	25	12.4	12.6
	Phase2	14	9.02	4.98
	Phase3	20	10.5	9.5
	Phase 4	9.3	8.24	1.06
	Phase 5	20	11.4	8.6
	Phase 6	11	8.4	2.6
Finition	Phase 1	24	21.5	2.5
	Phase2	18	13.4	4.6
	Phase3	14	11.7	2.3
	Phase 4	9.5	8.6	0.9
	Phase 5	19.5	16.23	3.27
	Phase 6	19.7	12.7	7
Filetage		16	8.4	7.6
Rainurage	Clavet1 $\varnothing = 8\text{mm}$	74	40.2	33.8
	Clavet2 $\varnothing = 12\text{mm}$	100	50.42	49.58



**Tableau 3.19 :** Résumée des temps réels et des temps améliorés des étapes d'usinage d'un arbre.

A travers les résultats que nous avons obtenus dans les deux tableaux (tableau 3.18 et tableau 3.19), nous remarquons que les résultats de la différence entre le temps réel et le temps amélioré sont supérieurs aux résultats de la différence entre le temps réel et le temps technologique, et cela est dû à l'utilisation de la vitesse de coupe  $V_c$  idéale de l'outil, ce qui nous laisse moins de temps lors l'usinage de l'arbre.

### 3.7 Conclusion

Au cours de l'étape de fabrication de l'arbre, de nombreuses étapes sont franchies et chaque étape prend un certain temps, ce qui entraîne souvent des efforts et de la fatigue pour les ingénieurs.

Des solutions d'optimisation nous permettent de gagner du temps et des efforts, et parmi les solutions que nous avons proposées, une augmentation de la vitesse de coupe. Grâce à notre expérience, nous avons remarqué que plus la vitesse de coupe n'est élevée, moins le temps d'usinage est long.

---

# *C*onclusion générale

---

## Conclusion générale

---

Les machines transportant des pièces mécaniques sensibles qui peuvent être endommagées avec le temps nécessitent une surveillance constante. Dans la plupart des grandes entreprises qui utilisent de telles machines, elles disposent d'un atelier pour re-fabriquer ces pièces endommagées.

L'une des pièces qui sont re-fabriquées dans l'atelier de l'entreprise d'ERENAV est l'arbre de pompe centrifuge. Ce dernier passe par l'opération de tournage (dressage et centrage, montage mixte, finition, filetage), puis par l'opération de fraisage qui consiste à faire des rainures de clavette sur l'arbre. La multiplicité de ces étapes fait que le processus de fabrication de cette pièce prend du temps.

L'optimisation d'une gamme d'usinage a pour but de minimiser ou (maximiser) différents critères tel que le temps. L'utilisation de normes idéales pour un outil lors de la fabrication entraîne une réduction du temps de fabrication et permet ainsi d'économiser beaucoup d'efforts

L'une des optimisations proposé dans ce mémoire est de maximisé la vitesse de coupe pour minimiser le temps. Après avoir enregistré le temps réel et calculé le temps technologique après l'amélioration de toutes les étapes et calculé la différence entre eux, nous avons remarqué qu'il y a une grande différence entre les deux temps. Le temps amélioré est bien inférieur au temps réel, et c'est ce qui rend l'extension de fabrication généralement moindre lorsque la vitesse de coupe est augmentée.

## Les références et Bibliographies

---

- [1] LIMAM Mansouria et BENHAMMAMI Nadia, ETUDE DE COMPARAISON ENERGETIQUE D'UN GROUPEMENT DE POMPES A FLUIDE INCOMPRESSIBLE : EN SERIE ET EN PARALLELES, mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master en énergétique, Université Abdel Hamid Ben Badis Mostaganem, 2019.
- [2] Notes de cours, ANNEXE : Pompes centrifuges, p.1, Disponible sur : <https://www.econologie.com/fichiers/partager3/1316772563esXgEb.pdf>,
- [3] Machine à fluides hydraulique pompe centrifuge, Gunt HAMBURG, p.297, Disponible sur : [https://www.gunt.de/images/download/Connaissances-de-base-en-pompes-centrifuges\\_french.pdf](https://www.gunt.de/images/download/Connaissances-de-base-en-pompes-centrifuges_french.pdf).
- [4] Abdo Walid, Pompe volumique, ENSPM Formation Industrie, p.1, 2014, Disponible sur : <https://fr.scribd.com/doc/237056741/pompes-volumetriques-pdf>
- [5] Machine à fluides hydraulique pompe volumique, Gunt HAMBURG, p.387, Disponible sur : [https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps\\_french.pdf](https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps_french.pdf).
- [6] Éric Béchet, Dimensionnement des arbres, cours en conception mécanique, Université de Liège, p.8-9.
- [7] Site web : <https://www.inox-system.fr/content/23-generalites-sur-les-aciers-inoxydables>.
- [8] Alloy 316L, Langely Alloys, p.1, 4/2017, disponible sur : <https://www.inox-system.fr/content/23-generalites-sur-les-aciers-inoxydables>.
- [9] GARA Souhir, Cours interactif : Le tournage, cours de génie mécanique, Institut Supérieur des Études Technologiques de Nabeul, p.1-3, 2016.
- [10] BOUGOFFA RAMEZ MED LAMINE, L'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier XC48, mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master en fabrication mécanique et productique, université de BADJI MOKHTAR ANNABA, 2018.

## Les références et Bibliographies

---

[11] MAAMRI Deyaeddine et NECIB Abderrahmane, Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage, mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master en génie productique, université de KASDI MERBAH OUARGLA, 2015.

[12] GARA Souhir, Cours interactif : Le fraisage, cours de génie mécanique, Institut Supérieur des Études Technologiques de Nabeul, p.1-3, 2016.

[13] Site web : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Clavette\\_\(m%C3%A9canique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Clavette_(m%C3%A9canique)).

[14] FICHE DE RESSOURCE REALISATION DES RAINURES DE CLAVETTE, Première S-Sciences de l'Ingénieur, Lycée Polyvalent Catherine et Raymond Janot, p.1, Disponiblesur : [http://www.graczyk.fr/lycee/AAA/htm/res/ci4\\_ssi/ci4\\_rainure\\_clavette.pdf](http://www.graczyk.fr/lycee/AAA/htm/res/ci4_ssi/ci4_rainure_clavette.pdf).

[15] Le couple outil-matière, p.1-3, Disponible sur : [http://prof-mpk.fr/Centres\\_interet/CI%2016%20Le%20couple%20outil%20matiere/Cours/Puissances%20coupe%20prof.pdf](http://prof-mpk.fr/Centres_interet/CI%2016%20Le%20couple%20outil%20matiere/Cours/Puissances%20coupe%20prof.pdf).

[16] S.Bolsunovsky et V.Vermel et G.Gubanov, Cutting Forces Calculation and Experimental Measurement for 5-axis Ball End Milling, Institut central d'aérodynamique (TsAGI), Centre des sciences et de la production, Moscou, Russie, Disponiblesur : [file:///C:/Users/PCexpress/Documents/HT/r%C3%A9f/ref2/\[2\]S2212827113003727.htm](file:///C:/Users/PCexpress/Documents/HT/r%C3%A9f/ref2/[2]S2212827113003727.htm).

[17] Hakim Hadjab Hakim, Efforts de coupe et puissance, cours de première année en BTS PM, 2011, Disponible sur : <https://fr.scribd.com/doc/75752413/694-11-Efforts-de-Coupe-Et-Puissances>.

[18] Efforts et puissance de coupe, cours de génie productique, Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/323167445\\_ETUDE\\_DE\\_L'EFFORT\\_DE\\_COUPE\\_EN\\_USINAGE\\_A\\_GRADE\\_VITESSE\\_DE\\_L'ALLIAGE\\_DE\\_TITANE](https://www.researchgate.net/publication/323167445_ETUDE_DE_L'EFFORT_DE_COUPE_EN_USINAGE_A_GRADE_VITESSE_DE_L'ALLIAGE_DE_TITANE).

[19] Cours Efforts et puissance de coupe, p.1-2, Disponible sur : <https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/Cours%206%20Efforts%20et%20puissance%20de%20coupe.pdf>.

## Les références et Bibliographies

---

[20] M. TIGRINE Yougourthen et M. METHIA Mounir, Rapport qualité / prix d'un parc machine bien défini CAS : Pignon satellite fait chez la SNC Meca Tour Seddouk, Mini projet de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de licence en Génie Mécanique, Université A-MIRA Béjaïa, 2013.

[21] Outil de tour, Cours de technologie générale, classe de BTS.BE, 1973, Disponiblesur : <http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/outil%20de%20tour.pdf>.

[22] site web : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Foret>.

## ANNEXE

**Annexe 1 : Force de coupe par unité de surface en fonction de la matière usiné ( Kc en cas de tournage)**

Matière	Résistance Rm en N/mm <sup>2</sup> ou dureté Brinell	Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur h <sub>D</sub> en mm de :			
		0,1	0,2	0,4	0,8
<b>Aciers d'usage général</b>					
A 34-2*	330 à 410	3600	2600	1900	1350
E 295	490 à 630	4000	2900	2100	1500
E 335	590 à 710	4200	3000	2200	1550
E 360	690 à 830	4400	3150	2300	1650
<b>Aciers non alliés pour TTh.</b>					
C 35E, C 45E, XC 65*	500 à 600	3700	2800	2050	1500
C 35E, C 45E, XC 65*	850 à 1190	4700	3400	2500	1800
XC 80*	630 à 850	4800	3600	2600	1900
<b>Aciers faiblement alliés</b>	470 à 770	4100	3000	2200	1600
<b>Aciers faiblement alliés</b>	750 à 1570	4800	3600	2600	1900
<b>Aciers fortement alliés</b>	540 à 850	4800	3600	2600	1900
<b>Aciers fortement alliés</b>	850 à 1750	7900	5800	4250	3100
<b>Acier inox ferritique</b>	540 à 910	4700	3400	2500	1800
<b>Acier inox austénique</b>	540 à 910	4800	3600	2600	1900
<b>Acier au manganèse coulé</b>	690 à 1010	6000	4300	3200	2300
<b>Fonte EN-GJL 150</b>	HB jusqu'à 200	2050	1500	1100	800
<b>Fonte EN-GJL 200</b>	HB 200 à 250	2900	2080	1500	1080
<b>Fonte EN-GJS 350-22</b>	350 à 400	1850	1360	1000	720
<b>Fonte EN-GJS 500-7</b>	500 à 600	3350	2500	1800	1300
<b>Cuivre</b>	HB 50 à 85	2100	1520	1100	800
<b>Laiton</b>	HB 60 à 110	1400	1000	750	550
<b>Laiton rouge</b>	HB 60 à 110	1300	950	700	520
<b>Bronze coulé</b>	HB 85 à 110	3250	2400	1750	1300
<b>Alliage au zinc (Z A10 U2)</b>		940	700	560	430
<b>Aluminium pur</b>	HB 25	1050	760	550	400
<b>Alliage d'aluminium à haute teneur en Si (11 à 13,5 % Si)</b>	HB 55 à 95	1400	1000	700	520
<b>Alliage pour pistons AL-Si (11 à 13 % Si)</b>	HB 55 à 95	1100	1000	700	620
<b>G-Al-Si (11...13,5 % Si)</b>	HB 65 à 80	1250	900	650	480
<b>Alliages de magnésium</b>	HB 60 à 65	580	300	300	220

## ANNEXE

**Annexe 2 : Force de coupe par unité de surface en fonction de la matière usiné ( Kc en cas de fraisage)**

Matière	Résistance Rm en N/mm <sup>2</sup> ou dureté Brinell	Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur h <sub>m</sub> de:					
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
<b>Aciers d'usage général :</b>							
A 50-2	300 à 600	3230	2700	2280	2025	1900	1800
A 70-2	550 à 850	3350	2680	2150	1850	1720	1600
<b>Aciers non alliés pour TTh :</b>							
XC 12	< 400	3000	2530	2130	1900	1790	1690
XC 35, XC 42	500 à 600	3150	2640	2210	1970	1850	1750
XC 35, XC 42	600 à 750	3240	2650	2180	1910	1780	1670
XC 65	700 à 950	3040	2570	2180	1950	1850	1750
<b>Aciers faiblement alliés recuits :</b>							
16 MC 5	500	2650	2340	2060	1890	1810	1740
16 NC 6	590	3040	2550	2140	1910	1800	1700
42 CD 4	570	3210	2680	2230	1980	1860	1750
42 C4	620	3200	2670	2220	1970	1850	1740
100 C6	625	3230	2820	2460	2250	2150	2060
<b>Aciers faiblement alliés traités pour :</b>	690 à 1570	4180	3510	2950	2630	2490	2350
<b>Aciers fortement alliés recuits :</b>	540 à 850	3750	3150	2650	2360	2240	2110
<b>traités pour :</b>	850 à 1750	4390	3690	3100	2770	2620	2470
<b>Aciers inoxydables</b>							
- ferritiques	610 à 770	3860	3240	2720	2430	2300	2170
- austénitiques	540 à 690	4180	3510	2950	2630	2490	2350
<b>Aciers coulés</b>							
- non alliés	770	2790	2340	1970	1760	1660	1570
- faiblement alliés	540 à 850	3000	2520	2120	1890	1790	1690
<b>Fonte FGL</b>							
- faible résistance	HB 150 à 225	1500	1260	1060	950	890	850
- haute résistance	HB 200 à 300	1930	1620	1360	1220	1150	1090
<b>Fontes malléables</b>							
- à copeaux courts	HB 110 à 145	2360	1980	1670	1490	1400	1330
- à copeaux longs	690 à 850	2140	1800	1510	1350	1280	1200