

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHESCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productique

### THEME

Elaboration d'une gamme d'usinage du palier de colonne de direction d'un camion K66 et K120 avec optimisation des conditions de coupe

Présenter par :

M<sup>elle</sup> BOUNOUA Wafaa

M<sup>elle</sup> KAHOUL Maroua

Promoteur

M. TOURAB

Encadreur :

M. BOURAHLA

Promotion : 2020 - 2021



**Remerciements :**

Toute nos gratitude et remerciement vont à **Allah**, le clément et le miséricordieux qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous remercions notre promoteur **Mr TOURAB** enseignant du département de génie mécanique (FSI) Boumerdes pour avoir bien voulu encadrer notre projet, pour son aide, ses conseils et ses suggestions.

Nous remercions très vivement notre encadrant du terrain lors de notre stage au «VIR - SNVI»,

**Mr BOURAHLA**, pour sa qualité humaines et professionnelles, sa disponibilité et pour l'aide qui nous a apporté durant la période de stage.

Nous tenons à remercier **Mr BELAID** ingénieur en fabrication mécanique à la société nationale des véhicules industriels, ainsi que tous les travailleurs dans le bureau de méthode.

Nous voudrions aussi remercier **Mr NOUR**,

**Mr BENDJEDOU**, et **Mr RAHMAOUI** enseignants du département de génie mécanique (FSI) Boumerdes, pour leurs aides et leurs encouragements.

Nous remercions tous qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.



## **Dédicace**

*Louanges à Dieu le très miséricordieux, le tout Miséricordieux qui m'a aidée à franchir un pas vers le chemin du savoir.*

*Je dédie ce modeste travail:*

### **A ma très chère mère**

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

*Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

### **A mon très cher père.**

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*Tu es ma source de volonté. Je te remercie infiniment pour ton constance disponibilité durant tout mon cursus. Je te considère comme un exemple dans la vie.*

***A ma chère grande sœur Zahra et son mari Fateh :** qui n'ont pas cessé de me conseiller encourager soutenir toute au long de mes études. Que dieu les protègent et leur offre la chance de bonheur.*

***A mes nièces Zineb, Ritedj, et mon neveu Youcef.** Que dieu les protègent.*

***A ma chère Sœur Ikram :** Aucune dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir comme sœur.*

*Je ne pourrais jamais imaginer la vie sans toi, tu comptes énormément pour moi, tu es la sœur qui assure sone rôle comme il faut, je n'oublierais jamais ton encouragement et ton soutien le long de mes études, je t'estime beaucoup et je t'aime beaucoup.*

*Je te souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.*



*A mes très chers grands-parents: Maternels et Paternels, Je vous dédie ce mémoire pour vos attentions particulières, vos prières et votre amour inconditionnel. Merci pour tout et que Dieu vous donne bonne santé et longue vie parmi nous.*

*A tous mes oncles et à toutes mes tantes qui ont toujours été présents pour moi.*

*A tous mes cousins et à toutes mes cousines que j'aime tant et à qui je souhaite tout le bonheur du monde.*

*A mes chères amies: Abdallah, Hocine, Rayanne, Samia, Nihad, Soumia Chanez, Amira, Djihane, Saida, et Manel.*

*Mille merci pour votre affection, votre aide et votre soutien qui ont marqué tous les stades de ma vie.*

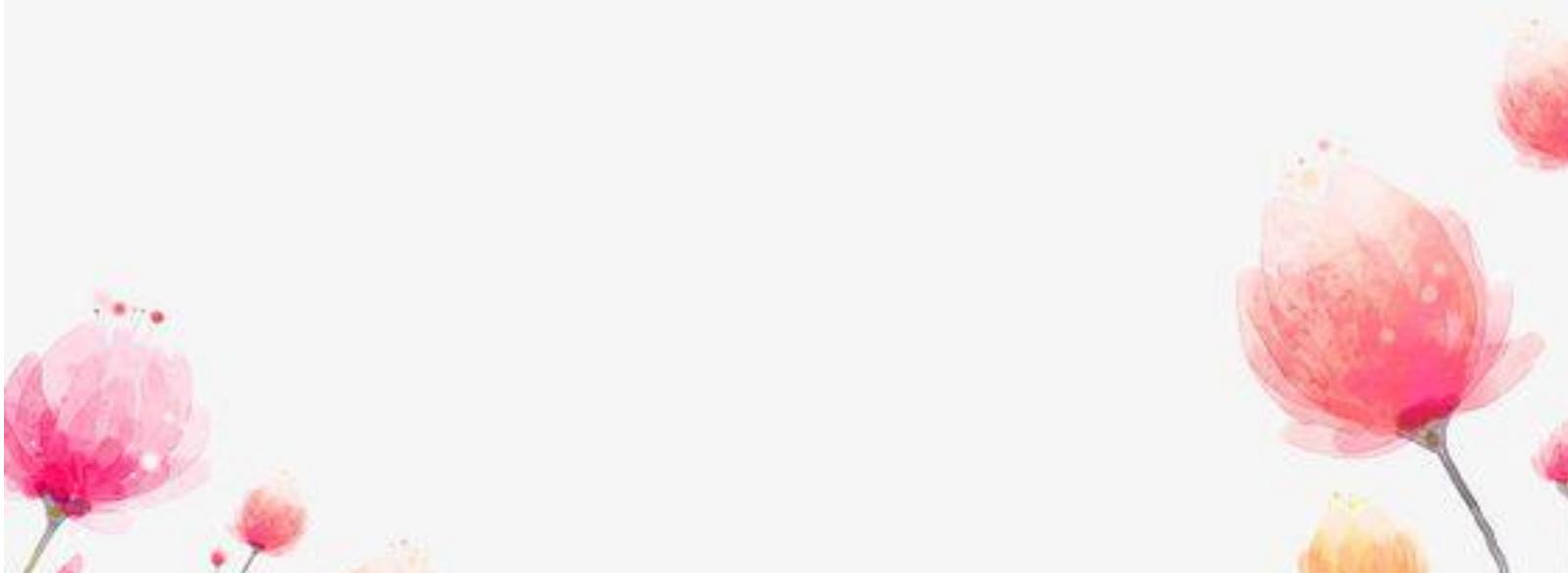
*Que Dieu vous protège.*

*Je voudrais remercier **mon binôme, ma sœur, mon amie et ma confidente Wafaa.** Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*Je te souhaite tout le bonheur du monde chérie.*

*J'adresse mes plus sincères remerciements à toute personne qui a contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, et aux personnes, qui m'ont toujours soutenu et encouragé. Merci à tous et à toutes... Merci aux oubliés.*

**Maroua**





## ***Dédicace***

*Toutes les lettres ne sauront trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance. Aussi, c'est tout simplement que :*

*Je dédie ce modeste travail:*

### ***A ma très chère mère***

*Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement.*

*Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée.*

*Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

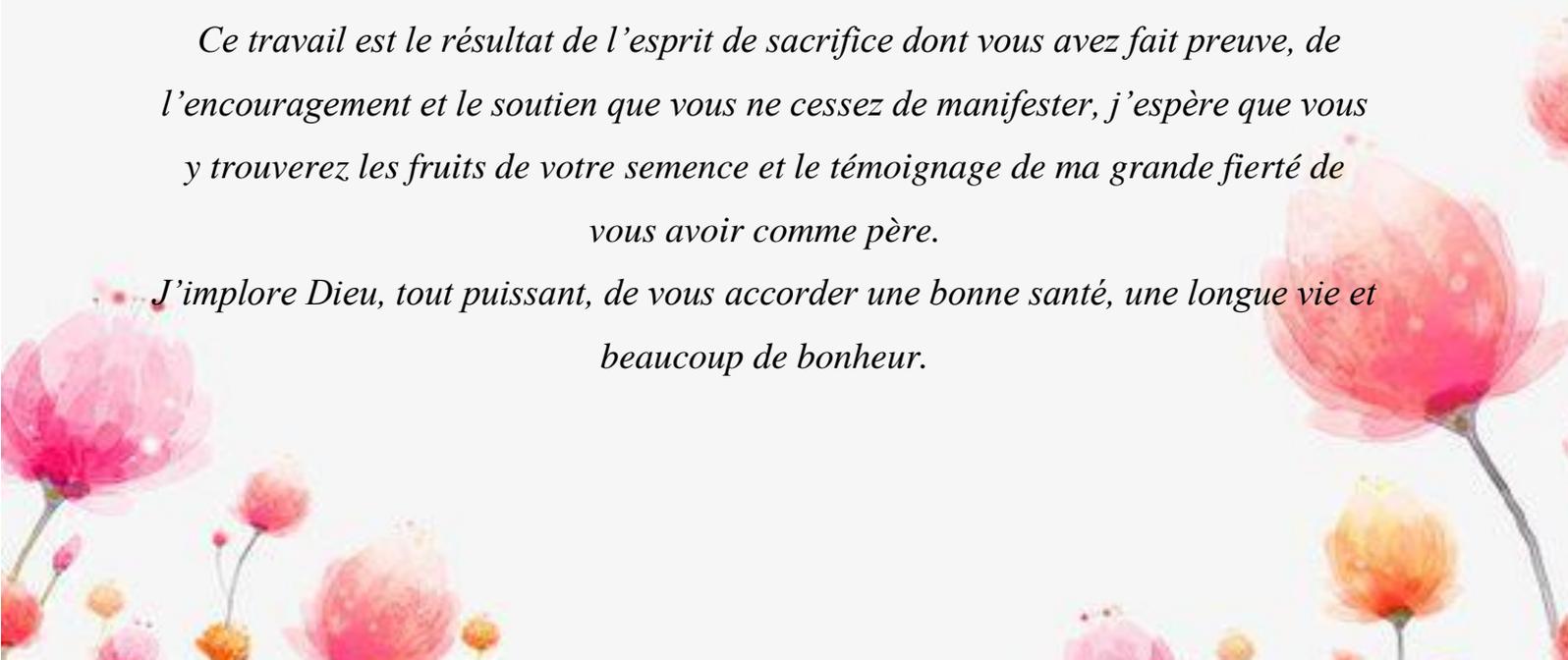
### ***A mon très cher père***

*Toute l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers un être très cher.*

*Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.*

*Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père.*

*J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.*





*À mes sœurs et mes beaux-frères : Fadila, hakim , Assia ,abdenour, Selma, hamza*

*À ma belle-sœur : Ghania.*

*À mes frères : Khaled, Abdelkader, Mohammed.*

*À mes nièces : Nourhan ,Isera,Ines,nihal et mes neveux : Abdelmoumn , Wassim,*

*Loukman, Sohaib, Abdelwadoud , Isehak et Abdeldjalil .*

*A mes grands-parents, mes oncles et mes tantes que dieu leur donne une longue  
et joyeuse vie.*

*A tous les cousins les voisins que j'ai connu jusqu'à maintenant.*

*A mes chers amis : Abdallah, Hocine,Oualid, Zouina, Rayanne, Nihad, Imene,  
Maissa,Sara,et Samia.*

*Merci pour leur amour et leurs encouragements.*

*Sans oublier mon Binôme, ma chère amie Maroua, avec laquelle j'ai pris  
beaucoup de plaisir à travailler. Nous avons formé une belle équipe.*

*Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

**Wafaa**



## Résumé :

Dans ce travail on a étudié une gamme d'usinage d'une pièce appelée **Palier de colonne de direction du véhicule k66 et k120** cette pièce est fabriquée au niveau de la SNVI, Où on a effectués notre stage pratique de fin d'études.

La première partie est consacrée à présentes notre sujet et à l'analyse de fabrication.

Dans la deuxième partie, on a établi une simulation d'usinage, Concernant la troisième partie on a déterminé les différentes conditions de coupe, et on a détaillé notre gamme d'usinage, nous avons également effectué pour chaque phase une étude détaillée tout en indiquant les étapes nécessaire pour réaliser notre pièce.

La quatrième partie consiste à l'optimisation de condition de coupe, Ainsi le choix des paramètres de coupe optimaux est très important a fin d'assures un meilleur état de surface des pièces usinées, une durée de vie plus important des outils de coupe et une productivité plus élevée.

Finalement, on a élaboré un programme à commande numérique pour la réalisation des opérations de tournage sur un MOCN et nous avons créé un programme MATLAB pour chercher les niveaux à partir de la matrice des contraintes d'antériorités.

**Mots clés :** Gamme d'usinage ; Analyse de fabrication ; Conditions de coupe ; Phases ; Etude de phase optimisation ; Programmation MATLAB ; Programmation CNC.

## Abstract:

In this work we studied a range of machining of a part called **Vehicle steering column bearing k66 and k120** this part is manufactured at the level of SNVI, where we did our end of study practical internship.

The first part is now devoted to our topic and manufacturing analysis.

In the second part, we established a machining simulation, concerning the third part we determined the different cutting conditions, and we detailed our machining range, we also carried out for each phase a detailed study while indicating the steps necessary to make our part.

The fourth part consists in the optimization of the cutting condition, thus the choice of the optimal cutting parameters is very important in order to ensure a better surface condition of the machined parts, a longer service life of the cutting tools and a higher productivity.

Finally, a numerically controlled program was developed for performing turning operations on a MOCN, and we created a MATLAB program to load the levels from the prior art constraints matrix.

**Keywords:** Machining range; Manufacturing analysis; Cutting conditions; Phases; optimization phase study; CNC programming; MATLAB programming.

## ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة سلسلة الشغل لعمود تحمل القيادة للشاحنة K66 و K120 التي يتم تصنيعها على مستوى الشركة الوطنية للعربات الصناعية « SNVI » وشرحنا العناصر التي تتحكم في هذا العمل النظري.

فقد تم تخصيص الجزء الأول لعرض موضوع البحث وكذلك تحليل الصنع للقطعة المراد دراستها. أما في الجزء الثاني، قمنا بإنشاء محاكاة الصنع لجميع المراحل اللازمة لتصنيع القطعة ، فيما يتعلق بالجزء الثالث حددنا ظروف القطع المختلفة مع دراسة تفصيلية لسلسلة الشغل حيث قمنا بإجراء دراسة مفصلة لكل مرحلة من مراحل الصنع مع توضيح الخطوات والمعلومات اللازمة لإنتاج هذه القطعة على مستوى ورشات المؤسسة. الجزء الرابع يتكون من تحسين حالة القطع، لذا فإن اختيار عوامل القطع المثالية مهمة للغاية من أجل ضمان حالة سطح أفضل للقطع المصنعة وزيادة صلاحية أطول لأدوات القطع مع انتجائية أكثر. أخيراً قمنا بتطوير برنامج لحساب مختلف المستويات الخاصة بترتيب عمليات الجزئية للأسطح التي تشكل القطعة المراد تصنيعها باستعمال برنامج MATLAB وكذلك قمنا باقتراح برنامج بالتحكم الرقمي CNC لمرحلة الخراطة.

**الكلمات المفتاحية :** سلسلة الشغل، تحليل الصنع، محاكاة الصنع، شروط القطع، دراسة المراحل،دراسة مرحلة التحسين، برنامج MATLAB, برنامج CNC.

# Liste des tableaux

## Chapitre I: Généralités sur fabrication mécanique

<b>Tableau 1</b>	Tableau des tolérances géométriques.	16
<b>Tableau 2</b>	Tableau de définition des opérations élémentaires.	17
<b>Tableau 3</b>	Le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, qualité.	18
<b>Tableau 4</b>	Tableau des groupements évidents des surfaces.	18
<b>Tableau 5</b>	Tableau de contraintes d'antériorités.	19

## Chapitre II: Etude et analyse du produit.

<b>Tableau 6</b>	Indications des différents organes du montage de l'ensemble	22
<b>Tableau 7</b>	Composition chimiques de la pièce	23
<b>Tableau 8</b>	Caractéristiques mécaniques de la pièce	23
<b>Tableau 9</b>	Tableau de définition des opérations élémentaires.	29
<b>Tableau 10</b>	Tableau des groupements évident.	29
<b>Tableau 11</b>	Tableau des contraintes d'antériorités.	30

## Chapitre III : Simulation d'usinage.

<b>Tableau 12</b>	Tableau indicatif des Valeurs du copeau minimal.	50
<b>Tableau 13</b>	Tableau indicatif des valeurs de IT sur les côtes de fabrication.	51
<b>Tableau 14</b>	Tableau des valeurs de tolérance des cotes de brut-Fontes malléables-Fonte à graphite sphéroïdal - aciers.	51

## Chapitre IV : Conditions de coupe.

<b>Tableau 15</b>	Gamme des vitesses de rotation (tr/min).	56
<b>Tableau 16</b>	Gamme des vitesses d'avances (mm/min).	56
<b>Tableau 17</b>	Gamme des vitesses de rotation (tr/min).	56
<b>Tableau 18</b>	Gamme des vitesses d'avance (mm/min).	56

<b>Tableau 19</b>	Valeurs indicatives des conditions de coupe en fraisage.	61
<b>Tableau 20</b>	Valeurs indicatives des conditions de coupe en perçage.	61
<b>Tableau 21</b>	Valeurs indicatives des conditions de coupe en taraudage.	61
<b>Tableau 22</b>	Usinage effectué avec des outils en Acier Rapide Supérieure (ARS).	62
<b>Tableau 23</b>	Usinage effectué avec des outils en carbure métallique.	62
<b>Tableau 24</b>	Tableau des valeurs indicatives de K (pour la durée de vie du taraud).	62
<b>Tableau 25</b>	Influence de l'angle de coupe $\gamma$ sur la coupe.	77
<b>Tableau 26</b>	Valeurs indicatives de « C ».	77

#### **Chapitre V : Etude de phase.**

<b>Tableau 27</b>	Valeur indicatives des temps de préparation et de montage (C min).	96
<b>Tableau 28</b>	Valeur des temps alloués en (C min).	96
<b>Tableau 29</b>	Etude de la phase 200.	97
<b>Tableau 30</b>	Etude de la phase 300.	99
<b>Tableau 31</b>	Etude de la phase 400.	101
<b>Tableau 32</b>	Etude de la phase 500.	103

#### **Chapitre VII : Programmation MATLAB et CNC de phase de tournage**

<b>Tableau 33</b>	Tableau de jauge d'outil phase 400.	131
<b>Tableau 34</b>	Tableau des caractéristiques des outils utilisés en tournage phase400.	132
<b>Tableau 35</b>	Tableau de Jauge d'outil phase 500.	136
<b>Tableau 36</b>	Tableau des caractéristiques des outils utilisés en tournage phase 500.	136

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Organisation d'une entreprise de fabrication.	8
<b>Figure 2</b>	Schéma directeur de la méthode développée.	14
<b>Figure 3</b>	Graphe de liaison.	15
<b>Figure 4</b>	Schémas du montage de l'ensemble : commande de direction.	22
<b>Figure 5</b>	Démarche de choix d'un outillage de coupe.	58
<b>Figure 6</b>	Schéma simplifié de la machine à commande numérique.	126
<b>Figure 7</b>	Décalage d'origine.	131

## Sommaire :

### Introduction Général

Introduction Général	1
----------------------	---

### Historique

Historique de la SNVI	2
Présentations de la S.N.V.I	3
Organigramme de la SNVI	4

### Chapitre I: Généralités sur fabrication mécanique

I. Introduction :	6
I.1. L'entreprise	6
I.2. Production	6
I.3. Organisation d'une entreprise	6
I.4. Principaux services mis en jeu	7
I.4.1. Bureau d'études (BE) :	7
I.4.2. Service méthodes (BM)	9
I.4.2.1. Travail au bureau des méthodes	9
I.4.2.2. Documents exploités au bureau des méthodes	9
I.4.2.3. Les documents créent par le bureau des méthodes	11
I.4.3. Service gestion de production	12
I.4.4. Service ordonnancement lancement	12
I.4.5. Fonction approvisionnement	12
I.5. Méthodes utilisées pour l'analyse de fabrication	13
I.5.1. Définition de la méthode développée	13
I.5.2. Méthodologie	13
I.5.2.1. Repérage des surfaces	15
I.5.2.2. Graphe de liaison	15
I.5.2.3. Tableau de définition des opérations élémentaires	17
I.5.2.4. Tableau des groupements évidents	18
I.5.2.5. Tableau des contraintes d'antériorités	18
I.5.2.6. Tableau des niveaux	19
I.5.2.7. Tableau des groupements en phase	19
I.5.3. Projet de gamme	20

### Chapitre II: Etude et analyse du produit.

II. But de l'analyse de fabrication	21
II.1. Problématique	21
II.2. Objectifs	21
II.3. Présentation et rôle de la pièce	21
II.4. Caractéristique de la pièce	22
II.5. Présentation de la pièce en 3D	24
II.6. Déroulement de la méthode développée	25
II.6.1. Inventaire des surfaces	25
II.7. Tableau des opérations élémentaires	27

II.8. Tableau des groupements évidents	29
II.9. Tableau des contraintes d'antériorité	30
II.10. Tableau des niveaux	30
II.11. Fonction Ordinale par les minimaux	32
II.12. Les projets de gamme :	33
II.12.1. Projet de gamme N°1	33
II.12.2. Gamme N°1	33
II.12.3. Projet de gamme N°2	36
II.12.4. Gamme N°2	36
II.13. Choix du projet de gamme final	39
II.14. Feuille d'analyse de phase	39

### **Chapitre III : Simulation d'usinage.**

III. Simulation d'usinage	49
III.1. Méthode de travail	49
III.2. Calcul des surépaisseurs d'usinage	50
III.2.1. Copeau minimum	50
III.2.2. Tolérances économiques	50
III.2.3. Choix des Tolérances pour les cotes de brut	51

### **Chapitre IV : Conditions de coupe.**

IV. Régime de coupe :	55
IV.1. Choix des équipements	55
IV.2. Choix des machines	55
IV.3. Choix des outils de coupe	57
IV.4. Tableaux des valeurs indicatives des coefficients de Taylor	62
IV.5. Calcul des conditions de coupe	63
IV.6. Efforts de coupe	75
IV.7. Calcul des efforts de coupe	77

### **Chapitre V : Etude de phase**

V. Contrat de phase	93
V.1. But du contrat de phase	93
V.2. Les instructions d'un contrat de phase	93
V.3. Détermination des temps d'exécutions	93
V.4. Simogramme	95
V.5. Valeurs indicatives des temps humain et temps de préparation	95

### **Chapitre VI : Optimisation des conditions de coupe**

VI.1. Généralités	105
VI.1.1. Critères d'optimisation des conditions de coupe	105
VI.1.2. Cout minimal d'usinage $C_u$	105
VI.1.3. Temps minimal d'usinage – cadence maximale de fabrication	106
VI.1.4. Volume donné de copeau par arête de coupe	107
VI.2. Coût minimum d'usinage, recherche de la vitesse économique	108
VI.2.1. Analyse des différents paramètres	109
VI.2.1.1. Coût machine par pièce	109
VI.2.1.2. Coût outil par pièce	110

VI.2.1.3. Coût de changement outil par pièce	111
VI.2.1.4. Coût fixes par pièce	111
VI.2.2. Calcul	111
VI.3. Temps minimal d'usinage Cadence maximale de fabrication	112
VI.3.1. Temps de préparation par pièce	113
VI.3.2. Calcul de la vitesse de coupe pour une production maximale	114
VI.3.2.1. Analyse des différents paramètres	114
VI.3.2.1.a. Temps réel de coupe d'une opération d'usinage	114
VI.3.2.1.b. Temps de changement d'arête	114
VI.3.2.1.c. Temps improductifs d'usinage	115
VI.3. Calcul	115
VI.4. Volume de copeau donné par arête de coupe	116
VI.4.1. Définition du volume donné par arête de coupe	117
VI.4.2. Calcul	118
VI.5. Optimisation des conditions de coupe des opérations Dressage 2F, Chariotage 6E	119
VI.6. Conclusion	121

## **Chapitre VII : Programmation MATLAB et CNC de phase de tournage**

VII.1. Présentation du logiciel Matlab/Simulink	122
VII.1.1. programmation MATLAB comment chercher les niveaux à partir de la matrice d'un graphe BE	123
VII.2. La machine à commande numérique	124
VII.2.1. Généralité	124
VII.2.2. Commande numérique de MO	124
VII.2.3. Eléments d'une machine à commande numérique	124
VII.2.4. Les avantages de la MOCN	126
VII.2.5. Le programme CNC de phase de tournage	127
VII.2.6. Conclusion	136
<b>Conclusion générale</b>	137
<b>Bibliographie</b>	138

## Liste des symboles

$V_0$	Vitesse de coupe théorique (m/min).
$V_1$	Vitesse de coupe réelle (m/min).
$V_c$	Vitesse de coupe (m/min).
$N_t$	Fréquence de rotation théorique de la broche (tr/min).
$N_r$	Fréquence de rotation réelle de la broche (tr/min).
$f_z$	Vitesse d'avance par dent (mm/dent).
$f$	Vitesse d'avance par tour (mm/tour).
$V_f$	Vitesse d'avance (mm/min).
$a_p$	Profondeur de passe (mm).
$z$	Nombre de dents.
$K_0$	Coefficient dépend du diamètre du foret (voir tableau N°19).
$K_1$	Coefficient de correction de $f_z$ en ébauche (fraisage).
$K_2$	Coefficient de correction de la vitesse de coupe théorique en tournage.
$K_3$	Coefficient de correction de la vitesse de coupe théorique en perçage.
$T_0$	Durée de vie de l'arête de coupe pour $V_0$ .
$T_1$	Durée de vie de l'arête de coupe pour $V_1$ .
$F_c$	Effort de coupe principal (N).
$F_f$	Effort d'avance (N).
$F_p$	Effort de pénétration (N).
$K_s$	Pression spécifique de coupe (N/mm <sup>2</sup> ).
$P$	Puissance nécessaire à la coupe (KW).
$P_a$	Puissance absorbée par la coupe (KW).
$M_t$	Moment de torsion (N.mm).
$\eta$	Rendement de la machine.
$C$	Coefficient dépend du matériau (N/mm <sup>2</sup> ), (voir le tableau N°25).
$R_m$	Résistance minimal à la traction (N/mm <sup>2</sup> ).
$K_r$	Angle de direction d'arête (°).
$\rho_1, \rho_2$	Coefficient dépendent des angles de coupe.
$\gamma_{eff}$	Angle de coupe effectif (°).
$L$	Longueur de à usiner (mm).
$P$	Pas.
$\delta$	Angle au sommet d'un foret.

# Introduction Générale

Face à la concurrence, les entreprises doivent diminuer les temps de production et les prix tout en améliorant la qualité. Pour atteindre ces objectifs, elles doivent actualiser en permanence leurs méthodes et moyens de production. Les entreprises industrielles, où l'activité de fabrication prend un rôle important, la fonction méthode présente une lourde charge afin d'assurer le lien entre la fonction étude et la fonction production. Ce lien est assuré par la génération d'une gamme d'usinage, cette dernière a pour but la planification de la production en un minimum de temps et avec des coûts les plus faibles possibles tout en satisfaisant les qualités exigées. Une optimisation sous diverses contraintes liées aux moyens de production (capacité, puissances, précision, etc.) et au produit lui-même (matériaux, volumes de production, qualités, etc.) en utilisant toutes les ressources humaines et techniques de l'entreprise.

Toutefois, lors de notre stage pratique de fin d'étude, nous avons eu la chance de vivre ce cas au sein de l'entreprise **SNVI**, précisément au niveau du bureau des méthodes dont les agents, possèdent à la fois des connaissances et le savoir manier des méthodes d'analyse et le choix des solutions afin d'élaborer une gamme d'usinage en respectant avant tous les spécifications et les exigences du dessin de définition de la pièce effectué par le bureau d'études, cela, par l'exploitation des procédés et des moyens d'œuvre économique disponible au niveau des ateliers. Au niveau de la SNVI -lieu de notre stage- une des entreprises algériennes pionnière (leader) dans le domaine de la fabrication mécanique, le bureau des méthodes nous a confié la tâche d'élaborer et améliorer la gamme d'usinage du **palier de colonne de direction** du camion K66 et K120, tout en jouant sur le facteur temps et coût par l'application d'une analyse de fabrication judicieuse en tenant compte des moyens techniques et humains disponibles au niveau de l'entreprise, bien sûr en respectant les exigences du bureau d'études tout en introduisant l'outil informatique afin de simplifier certains calculs. A cet effet pour d'atteindre notre objectif, ce présent travail est composé de sept chapitres.

- Le premier chapitre : est consacré à des généralités est rappels en fabrication mécanique.
- Le deuxième chapitre : contient la présentation du sujet et analyse de fabrication.
- Le troisième chapitre : consacré à établir la simulation d'usinage.
- Le quatrième chapitre : calcul des conditions de coupe.
- Le cinquième chapitre : concerne l'étude de phase.
- Le sixième chapitre : l'optimisation des conditions de coupe en tournage.
- Le septième chapitre : programmation **MATLAB** et **CNC** de phase de tournage.

Historique

La société national des véhicules industriels, est une grande société nationale qui se caractérise par son héritage historique et organisationnel, sa gamme de produit très variés et aussi par le développement de la production de l'exportation et de la distribution dans le secteur des véhicules industriels, et de leurs composants. Pour toutes ces raisons, nous avons décidé de prendre cette entreprise comme terrain d'étude, en nous intéressant dans ce chapitre à la présentation de la SNVI.

### **Historique de la SNVI :**

La SNVI (Société Nationale des Véhicules Industriels) créé par le décret (N°81/342 du 12/12/81) est née de la restructuration de la SONACOME (Société Nationale de Construction Mécanique) créée par Fordonnance (67.150 du 09/10/1967) pour promouvoir et développer les industriels mécaniques en Algérie.

#### **De 1957 à 1966 :**

Implantation de la société française BERLET, en juin 1957, sur le territoire algérien par la construction d'une usine de montage de véhicules (poids lourd) à 30 Km de l'est d'Aloer rhus précisément à Rouiba.

#### **De 1967 à 1980:**

La création de la SONACOME (Société National de Construction Mécanique), Le schéma d'organisation adopté pour la SONACOME regroupe en son sein dix entreprises autonomes. De 1981 à 1994 : la SNVI (Société National de Véhicules Industriels) devient une entreprise publique Socialiste (EPS). Elle est née à l'issue de la restructuration de la SONACOME, et le décret de sa création lui consacra un statut d'entreprise (GSE).

#### **De 1995 à 2011 :**

Le mois de Mai 1995, la S.N.V.I a changé de statut juridique pour devenir une Entreprise Publique économique régie par le droit commun : la S.N.V.I est alors érigée en Société Par Actions (SPA), au capital social de 2,2 milliards de Dinars. La S.N.V.I devenue groupe industriel.

#### **DE 2011 à Janvier 2015 :**

Le Mois D'Octobre 2011, la S.N.V.I a changé de statut juridique pour devenir un groupe industriel composé d'une Société Mère et de quatre filiales.

**Depuis février 2015 à janvier 2018 :**

Suite de la réorganisation de Secteur Public Marchand de l'Etat en date du 23 Février 2015, l'EPE FERROVIALE et toutes ses participations à été rattachée au Groupe SNVI.

Le Groupe SNVI constitué de :

- ❖ Epe Fonderie de Rouïba (FO.R),
- ❖ Epe Véhicules Industriels de Rouïba (V.I.R),
- ❖ Epe Carrosseries Industriels de Rouïba (C.I.R),
- ❖ Epe Carrosseries Industriels de Tiaret (C.I.T),
- ❖ Epe Entreprise Rénovation Véhicules Industriels (E.R.V.I),
- ❖ Et d'une Société mère composée de :
- ❖ Directions Centrales,
- ❖ Direction Central Commerciale et son réseau

**Présentation de la S.N.V.I :**

L'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels (**S.N.V.I**), Entreprise Publique Economique constituée en société par actions depuis mai 1995, produit et commercialise des véhicules industriels L'Entreprise nationale des véhicules industriels (**S.N.V.I**) a pour vocation la conception, la fabrication, commercialisation et soutien après-vente d'une importante gamme de produits. À la capitale sociale de 2.200.000.000 DA, détenu en totalité par l'Etat algérien, la SNVI construit des camions et camions tracteurs, autocars, et autobus, des équipements ferroviaires. Trois qualités distinguent se fleuron de l'industrie nationale de ses similaires sur marché et expliquent son succès et sa force. Son organisation d'abord. " L'organisation de la société est adossé à des procédures « La maîtrise de la technologie permet à " l'entreprise de faire de la conception, de la fabrication, du montage de véhicules industriels et de pièces de liaison mécanique " est une autre qualité de l'entreprise, La troisième qualité de la SNVI réside dans sa ressource humaine. Nous avons une ressource humaine potentielle en termes de nombre, de qualité et diversité "

**La EPE Véhicules Industriels de Rouïba (V.I.R) :**

Produisant des camions de 6,6 à 26 tonnes de poids total en charge , des tracteurs routiers , des autocars et des autobus en mettant en oeuvre divers techniques et technologie telles : l'emboutissage, le taillage d'engrenages , la rectification , le forgeage et les traitement thermiques.

Capacité de production installé : 4500 véhicules /an.

Cette filiale regroupe elle-même cinq (5) centres de production :

- Forge : obtention des brutes par déformation plastique à chaud,
- Mécanique Produit des Ponts, des essieux, des directions et des pièces de liaisons,
- Tôlerie et Emboutissage : produits des longerons des cadres châssis des cabines et des pièces de liaisons,
- Montage Camion : assemble les camions,
- Montage Autocars et Autobus : produit les caisses les treillis et assemble les cars & bus et produit également des pièces en polyester et sièges.

**Activités :**

**Production :**

- Camions routiers
- Camions chantier
- Camions tous terrains
- Tracteurs routiers
- Autocars et autobus
- Minicars et minibus

**Centres de produits :**

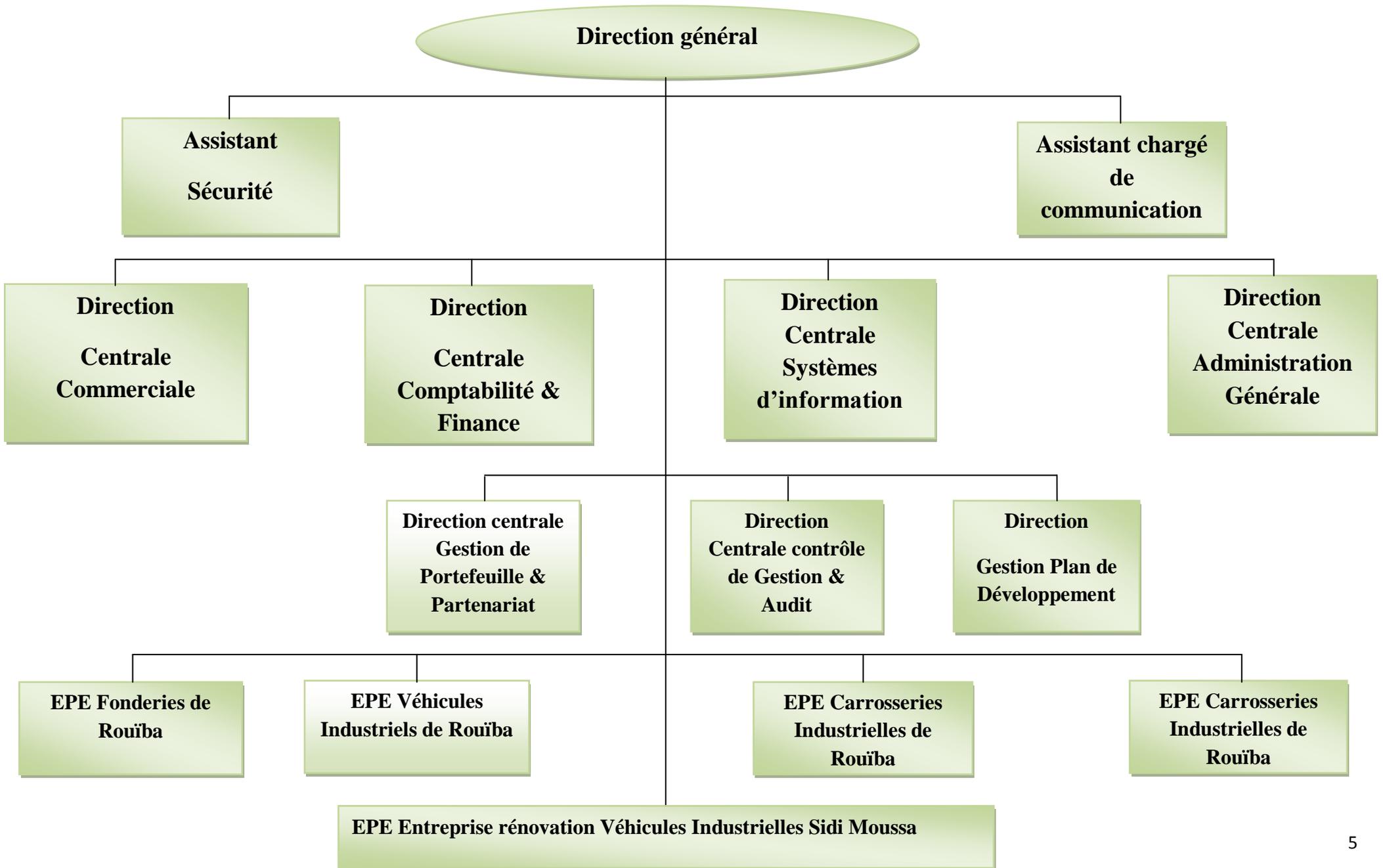
Présentations d'appui :

- Centre informatique (système de GPAO /CMAO intégré)
- Laboratoires de chimie, de métallurgie et de métrologie
- Energies, fluides, maintenance
- Centre Médico-social
- Unité Etudes et Recherche (UER)

**Le Centre Mécanique :**

Dans ce centre sont usinés des barres laminées, des bruts des forges, bruts des fonderies et des organes (ponts, essieux, boîtiers de vitesse, boîtiers de directions ainsi que diverses pièces).

**Organigramme de la SNVI :**



# Chapitre I

## Chapitre I

Généralités et rappels en fabrication  
mécanique.

## **I. Introduction :**

La fabrication mécanique, consiste à transformer des matériaux reçus dans une forme de produit bruts pour réaliser des pièces par enlèvement de métal, les pièces finies seront assemblées entre elles pour constituer le mécanisme prévu.

### **I.1. L'entreprise [1] :**

C'est un concept socio-économique, désignant un groupe humain dont le but est la vente, d'une production afin de satisfaire des intérêts légitimes (besoins de clientèle). Elle est aussi considérée comme la cellule de base de la production, car elle est organisée autour d'un certains nombres de fonctions, qui lui permettent de réaliser ses profits en fonction des recettes et des coûts. Ces fonctions sont les suivantes :

- La fonction de direction.
- La fonction de production.
- La fonction logistique qui est en relation avec les fournisseurs.
- La fonction de distribution.

L'entreprise intègre une grande diversité en ce qui concerne la taille, l'activité, le mode de fonctionnement privée ou publique et son régime juridique **S.P.A** (société par action), **S.N.C** (société à nom collectif). **S.A.R.L** (société a responsabilité limitée). Elle peut être de plusieurs types:

- Entreprise de services.
- Entreprise de commercialisation.
- Entreprise de production.

De part notre formation comme fabricants mécaniciens, nous allons nous étaler seulement sur l'entreprise de production, en commençant par donner la définition du terme.

### **I.2. Production :**

C'est une activité économique qui consiste à créer des biens et des services, c'est aussi le résultat d'une création de richesses, obtenu à partir d'un travail fourni par l'homme et la machine, qui constituent les deux facteurs de production de base.

### **I.3. Organisation d'une entreprise [2]:**

L'organisation d'une entreprise dépend essentiellement, de son importance et des types des produits fabriqués. On peut établir cependant la figure, qui fait apparaître les différents stades d'évolution d'un produit dans, le cadre des fonctions commerciales et techniques d'une entreprise de fabrication. Ces fonctions peuvent être:

- Réparties dans des services indépendants pour les grandes entreprises.
- Regroupées en quelques services pour les entreprises moyennes.
- Centralisées en un même service pour les petites entreprises.

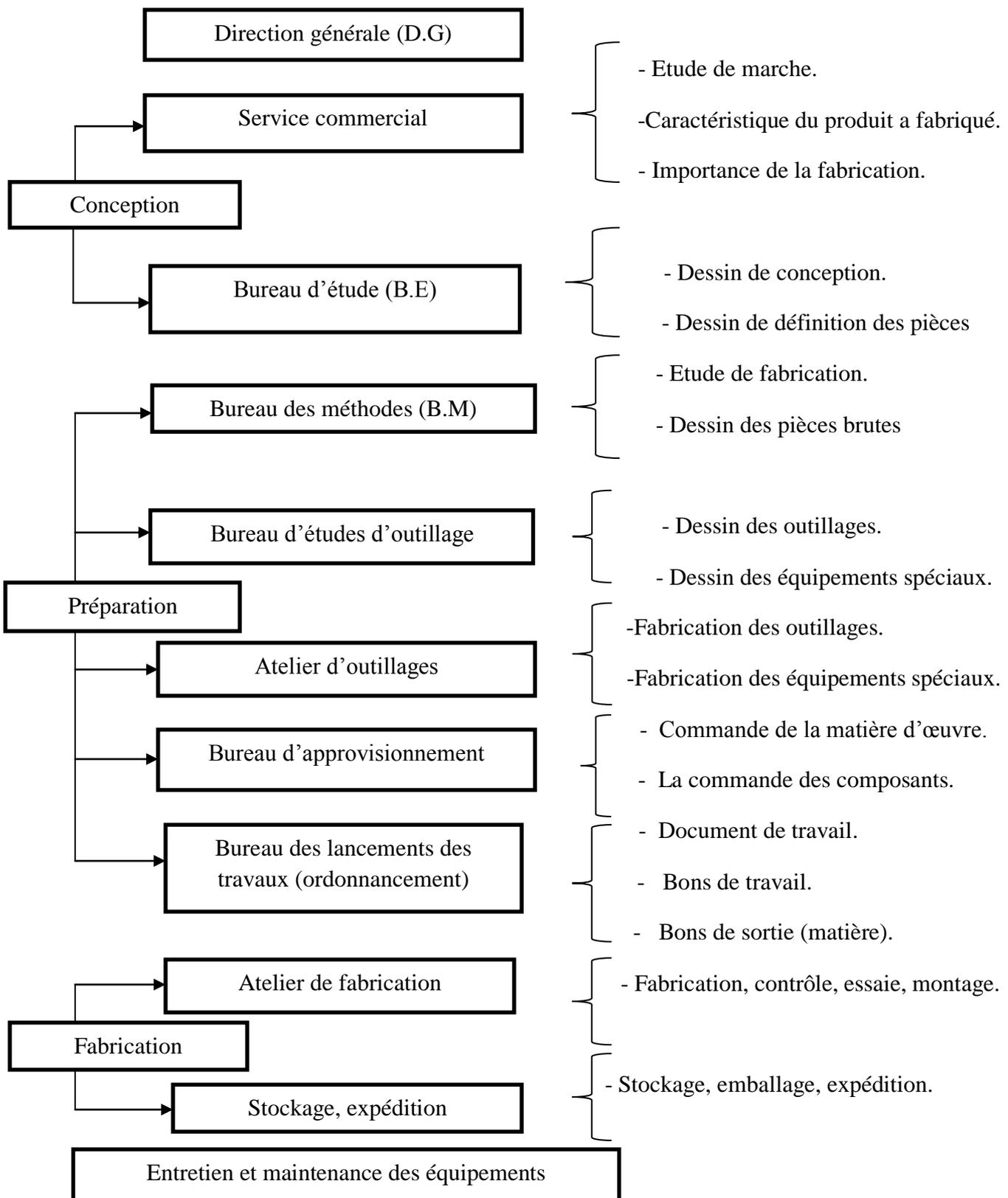
#### **I.4. Principaux services mis en jeu [1] :**

##### **I.4.1. Le Bureau d'études (BE) :**

Il conçoit avec les services marketing commercial, le développement de nouveaux produits et processus. Son objectif est de trouver les solutions les plus simples, en ce qui concerne la technologie à entreprendre afin de satisfaire les divers critères (économiques et efficaces, les matériaux utilisés, l'énergie, les systèmes de production etc...).

Le bureau d'étude supervise une équipe d'ingénieurs et de techniciens qui sont responsables des plans et des spécifications propres au produit à fabriquer par l'entreprise, il cherche aussi sans cesse à motiver le personnel placé sous sa direction. On peut citer quelques fonctions du bureau d'études:

- Entre en relation avec les diverses fonctions marketing et commerciale, pour tenir compte du marché à savoir le comportement du client.
- Entre aussi en relation avec la fonction technique et le bureau des méthodes pour les possibilités techniques de l'entreprise.
- Faire réaliser les dessins de conceptions et de définitions de produits.
- Réaliser un pré étude de l'assemblage.
- Contribuer à définir les normes de fabrication des produits.
- Définir les méthodes et les moyens de conception, en particulier, faire appeler (ou prévoir de le faire) à des moyens de conception assistés par ordinateur (CAO).



**Figure1** : Organisation d'une entreprise de fabrication [2].

### **I.4.2. Le service méthodes (BM) :**

Le préparateur méthode doit connaître toutes les techniques de fabrication et avoir de nombreuses idées, et des solutions exactes aux problèmes posés tel que:

- **Problèmes techniques :** analyse des impératifs du dessin de définition et recherche des méthodes de réalisation des formes et des spécifications liées à ces formes.
- **Problèmes économiques :** l'analyse effectuée doit aboutir au choix de la méthode de production la plus économique, en assurant la meilleure qualité possible.
- **Problèmes humains :** les décisions techniques et économiques qui sont prises doivent tenir compte de l'homme ; celui-ci et non plus la machine [3].

Le contact entre BE et BM est très important du fait qu'ils doivent être en accord sur plusieurs dossiers qui comprennent :

- Le dessin de définition du produit à fabriquer.
- Le programme de fabrication (qualité, délais, cadence et coût).
- Les moyens disponibles envisagés.

Il est nécessaire de recenser méthodiquement toutes les indications portées sur le dessin de définition et les analyser systématiquement.

#### **I.4.2.1. Travail au bureau des méthodes [4]:**

Le travail fait au bureau des méthodes par le préparateur consiste à rechercher des solutions de fabrication de pièces bonnes, en nombre donné, dans un délai déterminé et au prix de revient le plus bas. Quatre facteurs interviennent dans l'étude de fabrication :

- La qualité des pièces.
- L'importance de la série.
- Le délai.
- Le prix.

#### **I.4.2.2. Documents exploités au bureau des méthodes [4]:**

##### **a) Le dessin de définition du produit :**

Comme on l'a déjà cité bien avant, ce dessin est le fruit d'une étroite collaboration entre le bureau d'études et le bureau des méthodes.

Le bureau d'études fixe les spécifications fonctionnelles du dessin, le bureau des méthodes recherche une fabrication au coût minimal compatible avec les spécifications fonctionnelles.

Il constitue, pour le bureau des méthodes, le contrat à remplir; c'est lui qui servira de la référence lors du contrôle final de qualité de la pièce.

Le préparateur doit donc pouvoir interpréter sans ambiguïté la signification des spécifications portées sur le dessin de définition ce qui implique que le langage du dessinateur soit clair et n'admette qu'une seule traduction possible en terme du contrôle.

### **Indications portées sur le dessin :**

- **Désignation du produit:**

Ce renseignement peut donner une information sur le rôle de la pièce.

- **Matière première :**

Cette indication est très importante. Elle est directement liée à un grand nombre de problèmes, tel que:

- ✓ Mode d'obtention du brut.
- ✓ Usinabilité.
- ✓ Mise en place et serrage de la pièce, lors de l'usinage.

- **Forme générale de la pièce :**

Cela nous permet d'apprécier les points suivants:

- ✓ Risque de déformabilité au moment de serrage.
- ✓ Endroits présentant une fragilité particulière.
- ✓ Accessibilité des outils.
- ✓ Difficulté de prise de la pièce.
- ✓ Difficulté géométrique d'usinage.

- **Etat de surface :**

Il peut conditionner:

- ✓ Le nombre de passes d'usinage.
- ✓ La machine à adopter.
- ✓ La forme des outils a utilisés.
- ✓ Les conditions de coupe telles que : vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification.
  - Cotes et indications de formes et de position :

Elles présentent un intérêt pour :

- ✓ La précision de mise en position de la pièce.
- ✓ La difficulté de réalisation.
- ✓ La précision de la machine à adopter.
- ✓ Le choix des outils et outillages.
- ✓ L'ordre des usinages et le contrôle.

b) Le répertoire des moyens disponibles :

Ce répertoire informe le préparateur sur :

- La nature du parc machines, leur état de charge et leur précision.
- Les équipements standards ou spéciaux pouvant être utilisés.
- Le type de main d'ouvre disponible ; le nombre de personnes et la qualification de celle-ci.

#### **I.4.2.3. Les documents créent par le bureau des méthodes [4]:**

Ils précisent l'ordre chronologique des phases de fabrication de la pièce tout en permettant de vérifier que les spécifications du dessin de définition sont respectées.

##### **a) Le dessin de la pièce brute :**

La pièce brute doit être considérée comme une ébauche : la fabrication ultérieure consistera à semi-fini et finir les surfaces à géométrie trop précise, incompatible avec le procédé d'obtention du brut.

##### **b) La feuille d'étude de phase :**

Il en existe une pour chaque phase, Ce document utilisé par l'atelier porte tous les renseignements nécessaires aux réglages de la machine, au lancement de la fabrication, au temps maximal alloués.

##### **c) L'avant-projet d'étude de fabrication :**

Il précise l'ordre chronologique des phases de fabrication de la pièce tout en permettant de vérifier que les spécifications du dessin de définition sont respectées.

#### **I.4.3. Service gestion de production :**

C'est une fonction qui consiste à gérer, et réguler le mouvement de matière et produits, tout le long du cycle de fabrication depuis la commande des matières premières, jusqu'à la livraison des produits finis. Au sens industriel, la production peut être définie comme étant un flux ; c'est-à-dire un écoulement orienté. Parmi ses fonctions principales, on distingue :

##### **a. Gestion des matières:**

Elle correspond au flux physique, il s'agit de gérer les approvisionnements (qualité, délai, les stocks de matières premières produit finis).

##### **b. Gestion des moyens :**

Il s'agit de répartir les tâches pour respecter les délais, connaître à tout moment l'avancement de la réalisation des différents produits, et la capacité des moyens de production disponible.

##### **c. Gestion administrative :**

L'entreprise doit gérer un certain nombre d'actes administratifs, pour assurer le suivi des fonctions de la gestion de production.

#### **I.4.4. Service ordonnancement lancement [5]:**

Ce service prépare les dossiers de fabrication, qui comportent en plus des documents établis par le service préparation:

- Les fiches suiveuses.
- Les bons de travail.
- Les bons de matières.

Il établit le planning de fabrication et veille au respect des délais. A tout moment il doit connaître la charge des postes de travail.

#### **I.4.5. Fonction approvisionnement [1]:**

Pour la plupart des entreprises, les matières premières, les composants, les fournitures et services divers sont acquis à l'extérieur.

Elle a pour mission de procurer à l'entreprise dans les meilleures conditions de qualité, de coût, de délai et sécurité, toutes les matières premières, les composants et les fournitures, les outillages, l'équipement et les services dont l'entreprise a besoin pour ses activités.

Sa tâche est de connaître le marché et les sources d'approvisionnement pour toutes les catégories d'achats et surveiller leurs évolutions:

- Elaborer la liste des caractéristiques et spécifications des produits achetés.
- Rechercher, sélectionner les fournisseurs et négocier avec eux.
- Programmer et passer les commandes.
- Limiter et optimiser le niveau des stocks de matières.

## **I.5. Méthodes utilisées pour l'analyse de fabrication :**

### **I.5.1. Définition de la méthode développée :**

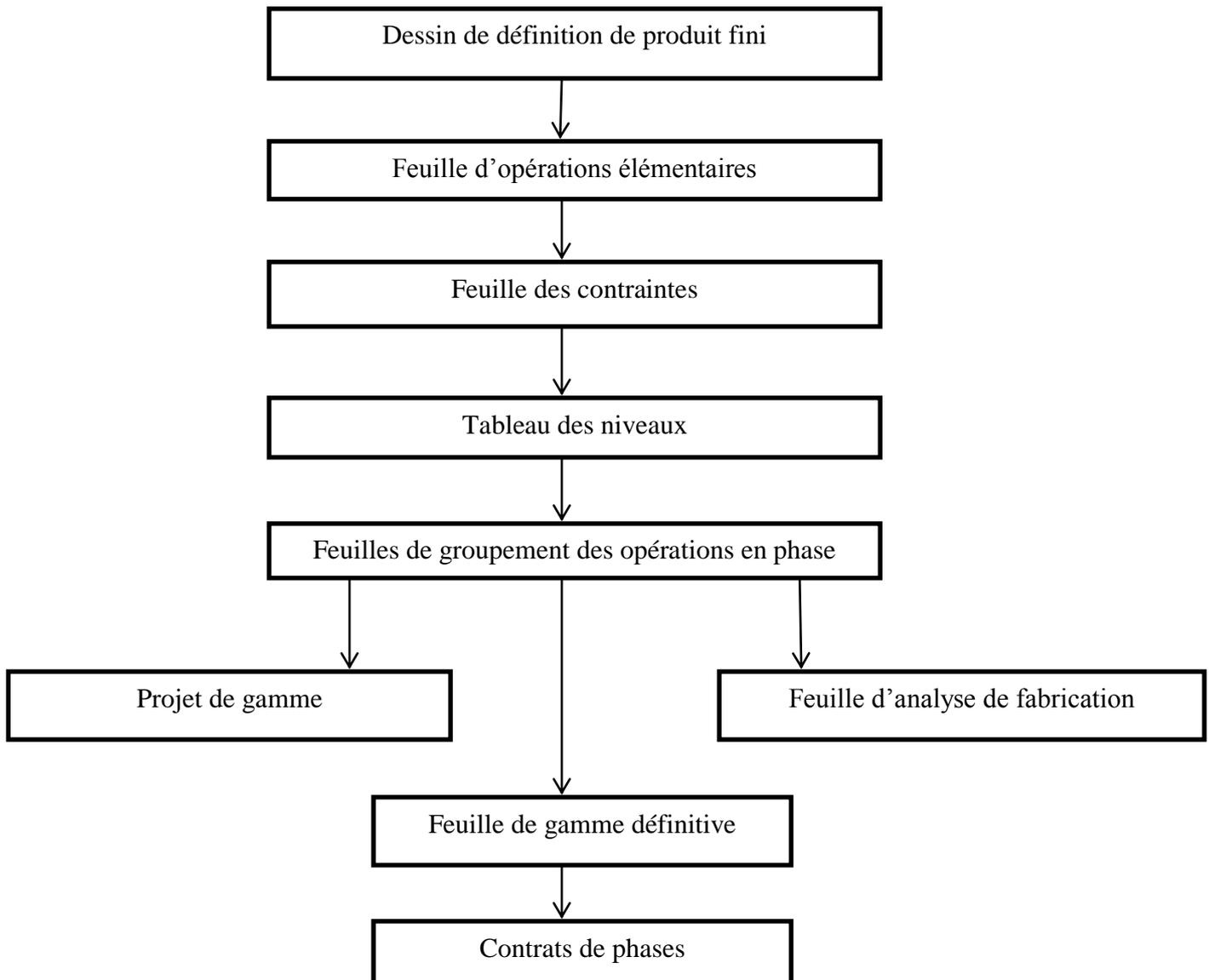
La méthode développée est une méthode d'analyse de fabrication qui nécessite une préparation par le (BM). Elle tient compte des exigences de (BE). Pour cela, elle dispose de plusieurs techniques de fabrication.

### **I.5.2. Méthodologie [6]:**

L'élaboration d'un processus d'usinage, pour une pièce donnée, consiste à organiser une suite logique et chronologique de toutes les opérations d'usinage :

- D'un contrat dimensionnel (dessin de définition).
- Des limites techniques et technologiques, physiques ou technologiques.
- Du programme de production.
- De budget prévisionnel.
- Des moyens humains disponibles.
- La méthode utilisée conduit à :
- Recenser et repère les surfaces usinées de la pièce.
- Etablir un graphe ordonné défini par les liaisons dimensionnelles, entre les surfaces.
- Analyser et coder les opérations successives à réaliser sur les élémentaires.
- Définir un processus d'usinage et rédiger un projet de gamme.

La figure ci-après montre le déroulement de la méthode développée de traitement des gammes d'usinage.



**Figure2** : Schéma directeur de la méthode développée [1].

### I.5.2.1. Repérage des surfaces :

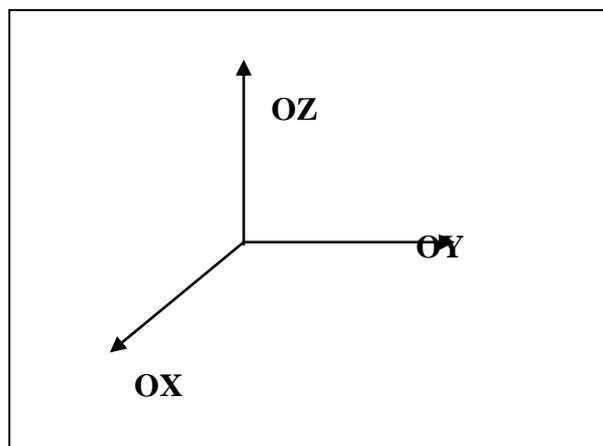
Le bureau des méthodes doit étudier et comprendre le dessin de définition ensuite, il passe au repérage des surfaces (brutes et usinées).

Le choix du repérage des surfaces usinées et brutes se fait par :

- $B_i$  : Surfaces brutes ( $i$  : nombre naturel qui désigne le nombre de surfaces brutes).
- 1,2,3,4,... : surfaces usinées.

### I.5.2.2. Le graphe de liaison :

Ce graphe met en évidence la cotation fonctionnelle entre les surfaces, Et la concentration des contraintes sur certaines surfaces et suivant les trois axes (ox , oy, oz).



**Figure3** : Graphe de liaison [1].

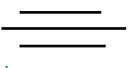
Ce graphe permet aussi de déterminer les transferts de cotes quand deux surfaces ne possèdent pas de cotes de liaison. Et que l'une d'elles sert de référentiel. Il est divisé en plusieurs parties :

#### a. Les contraintes dimensionnelles :

Ceux sont des cotes de liaison entre des surfaces exigées par le dessin de définition, avec des intervalles de tolérances bien précis.

#### b. Les tolérances géométriques :

C'est l'intervalle maximal admissible à l'intérieur duquel peuvent varier les caractéristiques géométriques d'une pièce. Les tolérances géométriques peuvent être de forme, de position, d'orientation ou de battement.

Tolérances d'orientation				Tolérances de position		
<b>Symbole</b>						
<b>Signification</b>	Inclinaison	parallélisme	Perpendicularité	Localisation	Coaxialité Concentricité	symétrie
	Axes, plan, cylindre	Axes, plan, cylindre	Axes, plan, cylindre	Axes	Cylindre, alésage	Plan
Tolérance de forme						
<b>Symbole</b>						
<b>Signification</b>	Surface quelconque	Ligne quelconque	Planéité	Rectitude	Cylindricité	Circularité
	Surface	Profil ou contour	Plan	Axe, arrête	Cylindre, Alésage	Ligne Circulaire
Tolérance de battement						
Les tolérances de battement s'appliquent aux surfaces de révolution. Elles permettent d'exprimer les exigences fonctionnelles de surface telles que : flasque d'embrayage, roue de friction, galet de roulement, jante de roue.				<b>Symbole</b>		
				<b>Signification</b>	Battement simple	Battement Total

**Tableau 1 :** Tableau des tolérances géométriques [7].

Les contraintes géométriques peuvent apparaître soit sur le graphe des cotes dimensionnelles soit sur un graphe à part.

### c. Contraintes technologiques :

Les plus importantes sont les reprises imposées par la cotation (cotes, spécifications, état des surfaces etc....). Les différentes opérations de réalisation sont:

- 1. Ebauche (E) :** permet d'approcher la cote en enlevant le maximum de matière.

**Demi-finition (F/2) :** permet d'obtenir la forme et la précision géométrique

**2. Finition (F) :** termine toutes les spécifications imposées par le dessin de définition du produit.

Elles dépendent des moyens utilisés pour la fabrication. Elles consistent à protéger l'équipement de l'atelier, le respect des exigences du bureau d'études et l'augmentation de la qualité du produit est en rapport direct avec le prix.

**d. Les contraintes économiques :**

Le coût de la fabrication et la durée de l'usinage, l'usure des outils, nous imposent de faire les meilleurs choix sur la fabrication, de façon à minimiser le coût de revient à l'unité.

**I.5.2.3. Tableau de définition des opérations élémentaires:**

La détermination du nombre d'opérations élémentaires est résumée dans le tableau suivant :

Tableau de définition des opérations élémentaires.							
Repérage des surfaces	Cotes de liaisons aux surfaces		Spécifications			Opérations élémentaires	symbole
	Usinées	Brutes	IT	Ra	Forme		

**Tableau 2 :** Tableau de définition des opérations élémentaires [1].

Dans la colonne «Repérage des surfaces »: on désigne la surface usinée à l'aide du graphe des liaisons et du dessin de définition.

Dans la colonne «Cotes de liaisons aux surfaces » : on indique les cotes de liaison aux autres surfaces (brutes ou usinées) et dans la colonne « Spécifications » : on indique l'intervalle de tolérance (IT), rugosité (Ra) et spécifications particulières (de forme, de position et d'orientation).

On mentionne chaque donnée dans la colonne prévue du tableau une fois que les cotes de liaison et les spécifications sont mentionnées, on détermine le nombre d'opérations élémentaires pour chaque surface en fonction des spécifications.

Le tableau ci-dessous donne le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, la qualité et la rugosité.

Plus la spécification est précise, plus le nombre d'opérations élémentaires augmente.

En Fonction de l'intervalle de tolérance « IT » et de la qualité.		
Cotes de longueur ( $\leq 200\text{mm}$ )	$IT \geq 0,5$	Une opération d'usinage(F)
	$0,05 < IT < 0,5$	Deux opérations d'usinage(E, F)
	$IT \leq 0,05$	Trois opérations d'usinage(E, 1/2F, F)
Cotes diamétrales obtenues à l'outil d'enveloppe	Qualités : 12,13,...	Une opération d'usinage(F)
	Qualités : 8, 9, 10,11	Deux opérations d'usinage(E, F)
	Qualités : 6,7	Trois opérations d'usinage(E, 1/2F, F)
En fonction de l'état de surface « Ra ».		
$Ra \geq 6,3$	Une opération d'usinage(F)	
$0,8 \leq Ra \leq 6,3$	Deux opérations d'usinage(E, F)	
$Ra \leq 0,8$	Trois opérations d'usinage(E, 1/2F, F)	

**Tableau 3 :** Le nombre d'opérations élémentaires en fonction de l'intervalle de tolérance, qualité [6].

#### I.5.2.4. Tableau des groupements évidents:

Dans ce tableau sont regroupées les surfaces qui peuvent être réalisées par le même outil ou plusieurs outils associés. Les surfaces groupées sont désignées par une lettre majuscule.

Tableau des groupements évidents des surfaces.			
Repère de groupement	Surface groupées	Motif de groupement	Symbole

**Tableau 4 :** Tableau des groupements évidents des surfaces [1].

#### I.5.2.5. Tableau des contraintes d'antériorités :

Ce tableau s'établit à partir du tableau des opérations élémentaires, dans la colonne « opération », nous classons l'ordre des surfaces (brutes, usinées et groupées) avec leurs symbolisations et nous cherchons les contraintes d'antériorité de chaque opération élémentaire d'ordre géométrique, technologique et économique.

Tableau des contraintes d'antériorités.									
Opération	Contrainte de position				Contraintes technologiques			Contraintes économiques	
	Dimensionnelle				Opération	Reprise	Bavure	Moindre Usinage	Condition De coupe

**Tableau 5 :** Tableau de contraintes d'antériorités [1].

#### I.5.2.6. Tableau des niveaux:

Sur ce tableau qui est une matrice carrée (figure des entrées et sorties), il y a autant de lignes que de colonnes. On poste toutes les opérations élémentaires de toutes les surfaces usinées avec les brutes sur la première lignes et colonne. L'exploitation de ce tableau se fait suivant le tableau des contraintes d'antériorités. Si par exemple une surface XF est à l'intersection de YF et ZF, on place un 1, cela signifie que YF et ZF sont antérieures à XF et c'est ainsi pour toutes les opérations élémentaires.

Il arrive parfois que deux opérations élémentaires soient en contraintes d'antériorités réciproques. il y a donc impossibilité de poursuivre l'étude, donc il faut faire un choix judicieux et supprimer et négliger celle qui n'est pas impérative.

Pour la détermination des niveaux d'usinage, on totalise dans la colonne prévue à cet effet toutes les colonnes ayant un 1, les surfaces ayant un 0 au total (aucune contrainte d'antériorité) sauf évidemment les surfaces brutes qui apparaissent au niveau 1, donc les deuxièmes à réaliser, de la même façon on procède aux autres surface jusqu'au dernier niveau.

#### I.5.2.7. Tableau des groupements en phase :

Une fois les niveaux sont déterminés, on passe aux groupements en phase qui consiste à placer les niveaux horizontalement. Sur les lignes de chaque niveau ; on place les opérations élémentaires de ce niveau, notons qu'un niveau ne constitue pas une phase. En fonction des

conditions économiques et du pare machine on peut grouper les opérations élémentaires en phases d'usinage.

Les associations sont établies en tenant compte :

- D'une mise en position unique.
- Des générations des surfaces sur une même machine.
- Du sens d'accès des outils.
- Des capacités des outils et porte-outils compatibles aux machines.

### **I.5.3. Le projet de gamme [3] :**

A partir du tableau des groupements en phases, on procède à la rédaction du processus d'usinage envisagé.

On désigne toutes les opérations dans des phases ou sous phases.

#### **a. La gamme :** Ou projet d'étude de fabrication

C'est le document définissant la méthode de fabrication d'une pièce.

#### **b. La phase :**

C'est l'ensemble du travail effectué sur un même poste donné ou sur une même unité de production.

#### **c. La sous phase :**

Désigne le travail réalisé sur un poste de travail sans démontage de la pièce. Dans une phase, il y a autant de sous phase qu'il y a de mises en position différentes de la pièce par rapport à l'outil.

#### **d. L'opération :**

C'est l'action d'un outil (de plusieurs outils rendus solidaires, généralement une ou plusieurs surfaces élémentaires : planes, cylindriques. sur un élément ou pièce) ou d'un seul moyen du poste de travail qui rapproche le produit de son état final.

# Chapitre II

## Chapitre II

Présentation du sujet et analyse de  
fabrication

## II. But de l'analyse de fabrication :

Une analyse de fabrication a pour objet de :

- Définir l'ordre chronologique des différentes étapes de fabrication d'un produit ;
- D'organiser la fabrication en tenant compte des moyens disponibles.
- Respecter la qualité imposée par le dessin de définition du produit.
- Comprimer au maximum les coûts de fabrication.

### II.1. Problématique :

La gamme d'usinage réalisé actuellement au niveau de l'entreprise ne répond pas vraiment aux exigences du bureau d'études qui sont indiquées sur le dessin de définition telle que les tolérances géométriques qui ont une incidence directe sur le choix de nombre d'opérations élémentaires pour chaque surface à usiner, ce qui conduit à obtenir des pièces avec moins de précision, conduisant ainsi au rebut de ces dernières et ainsi qu'au rendement d'une manière générale de l'entreprise. D'où le but de notre travail d'améliorer la gamme d'usinage (boîtier commande blocage) et les conditions de coupe

D'autre part, dans un contexte industriel où l'optimisation de la productivité est une préoccupation permanente, les ingénieurs se trouvent confrontés à des problèmes limitant leurs efforts destinés à améliorer leurs moyens de production. C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés à un de ces problèmes : l'optimisation des conditions de coupe en usinage, ainsi que le but de notre travail est le calculer des conditions de coupe optimales.

### II.2. Objectifs :

Le premier objectif visé, consiste en l'élaboration d'une gamme d'usinage optimale pour la pièce **Palier de colonne de direction** qui sera capable de planifier les différentes étapes menant du projet définition de cette pièce, jusqu'à son exécution en production de série en un minimum de temps et avec des coûts les plus faibles possibles tout en satisfaisant les qualités exigées.

L'autre objectif repose sur une optimisation des conditions de coupe pour les deux opérations dressage et chariotage en tournage, et élaborer un programme à commande numérique pour la réalisation des opérations de tournage.

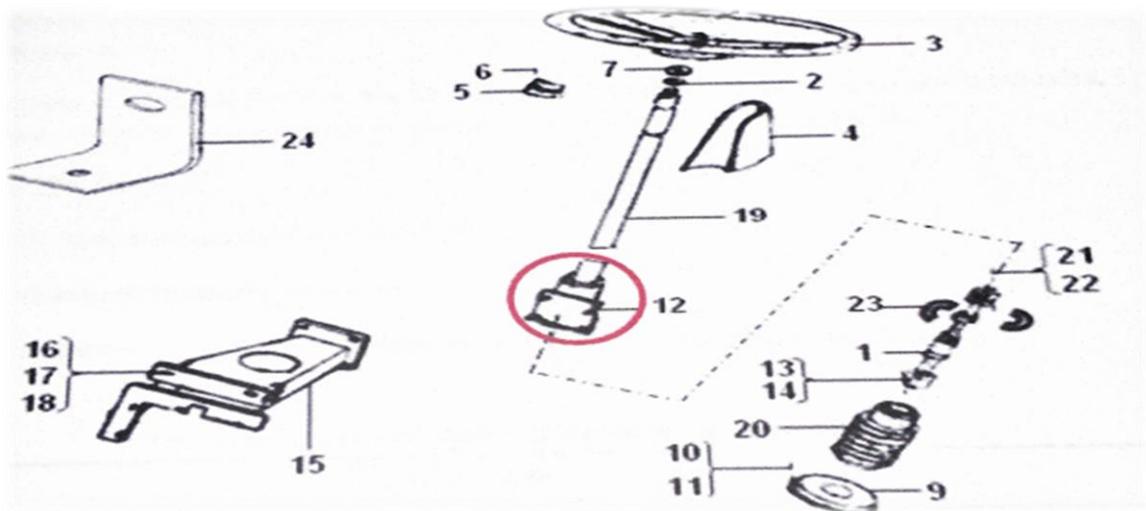
### II.3. Présentation et rôle de la pièce :

Le palier de colonne de direction se monte sur le châssis des camions K66 et K120 et aussi sur le minibus 25L4. Cette pièce est une pièce dite de sécurité, car c'est un élément qui rentre dans une fonction très sensible « la Direction » qui est l'organe de sécurité le plus important, ainsi que le système de freinage, dont la vie des personnes (conducteur et passagers) dépend.

Il a pour rôle Principal:

- D'assurer un alignement précis de l'ensemble arbre de commande de direction.
- Le maintien de l'arbre dans le sens axial et éviter tout déplacement de long de son axe.
- D'éliminer toutes les contraintes dues aux efforts de flexion et de vibration de l'arbre.

Sa position par rapport à l'ensemble direction est schématisée sur la figure suivante :



**Figure 4** : Schémas du montage de l'ensemble : commande de direction

1	Transmission	14	Ecrou 10×55
2	Segment	15	Ens.Support colonne direction
3	Volant Ø 450	16	Rondelle ondudflex
4	Ens. Cache faisceau	17	Vis HM 10×20
5	Cache faisceau électrique	18	Vis HM 8×25
6	Vis	19	Arbre de direction
7	Ecrou	20	Soufflet
9	Cache collerette	21	Ecrou HM 8×50
10	Vis	22	Vis HM 8×50
11	Rondelle	23	Demi bague
<b>12</b>	<b>Ens. Palier Direction</b>	24	Equerre
13	Vis HM 10×55		

**Tableau 6** : Indications des différents organes du montage de l'ensemble

**II.4. Caractéristique de la pièce :****Matière :** Fonte 66.

Fonte à graphite sphéroïdal. Ce sont les plus utilisées après les fontes lamellaires, obtenues par addition de petites quantités de magnésium juste avant moulage.

**Norme :** NF EN1563.**Nuance :** FGS Perlitique (genre FGS 400-15).**Propriétés :** ductilité, résilience et usinabilité.**Application :** vilebrequin, arbre de transmission, pièce de voirie, tuyauteries

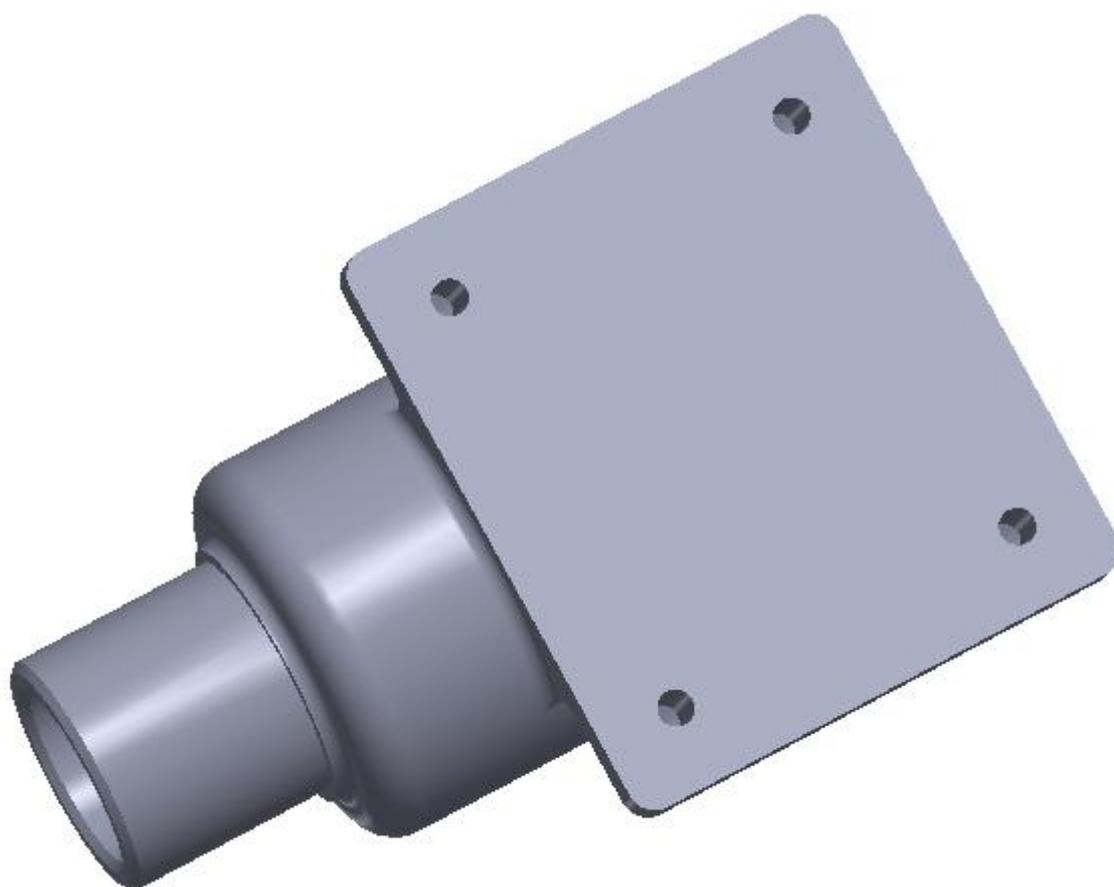
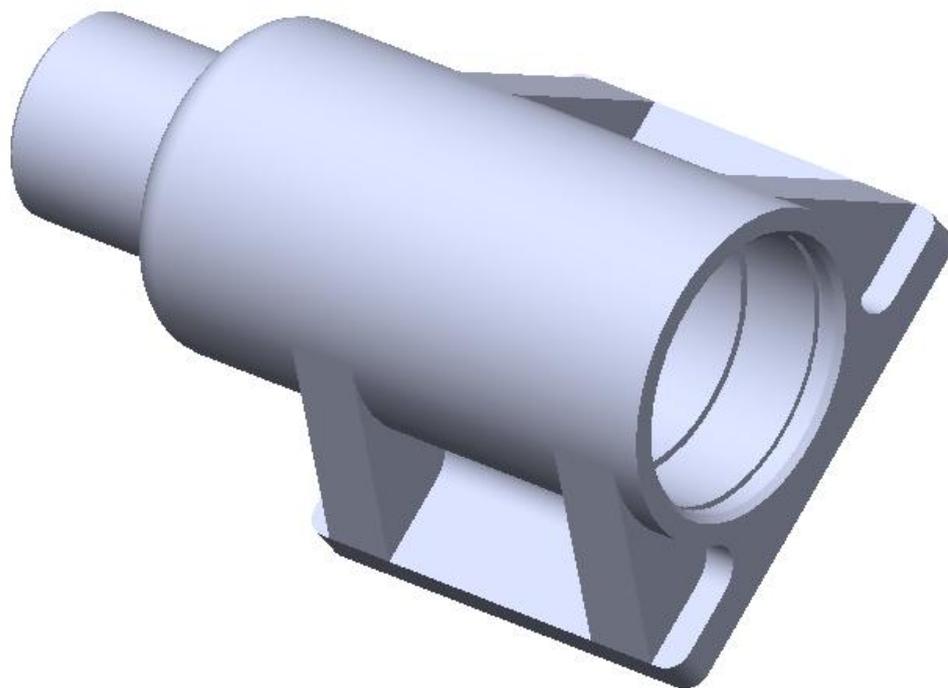
FGS 400-15				
Carbone C%	Silicium Si%	Magnésium Mn%	Soufre S%	Potassium P%
3,50 – 4,00	2,56 – 3,30	≤ 0,05	≤ 0,02	≤ 0,05

**Tableau 7 :** composition chimiques de la pièce [7].

FGS 400-15					
Dureté HB	Résistance à la rupture (MPA)	Limite élastique (MPA)	Allongement (%)	Km (J/cm <sup>2</sup> )	Lf (N/mm <sup>2</sup> )
137 - 179	≥ 400	≥ 250	≥ 15	≥ 15	≥ 210

**Tableau 8 :** caractéristiques mécaniques de la pièce [7].

**II.5. Présentation de la pièce en 3D :**



**II.6. Déroulement de la méthode développée :**

**II.6.1. Inventaire des surfaces :**

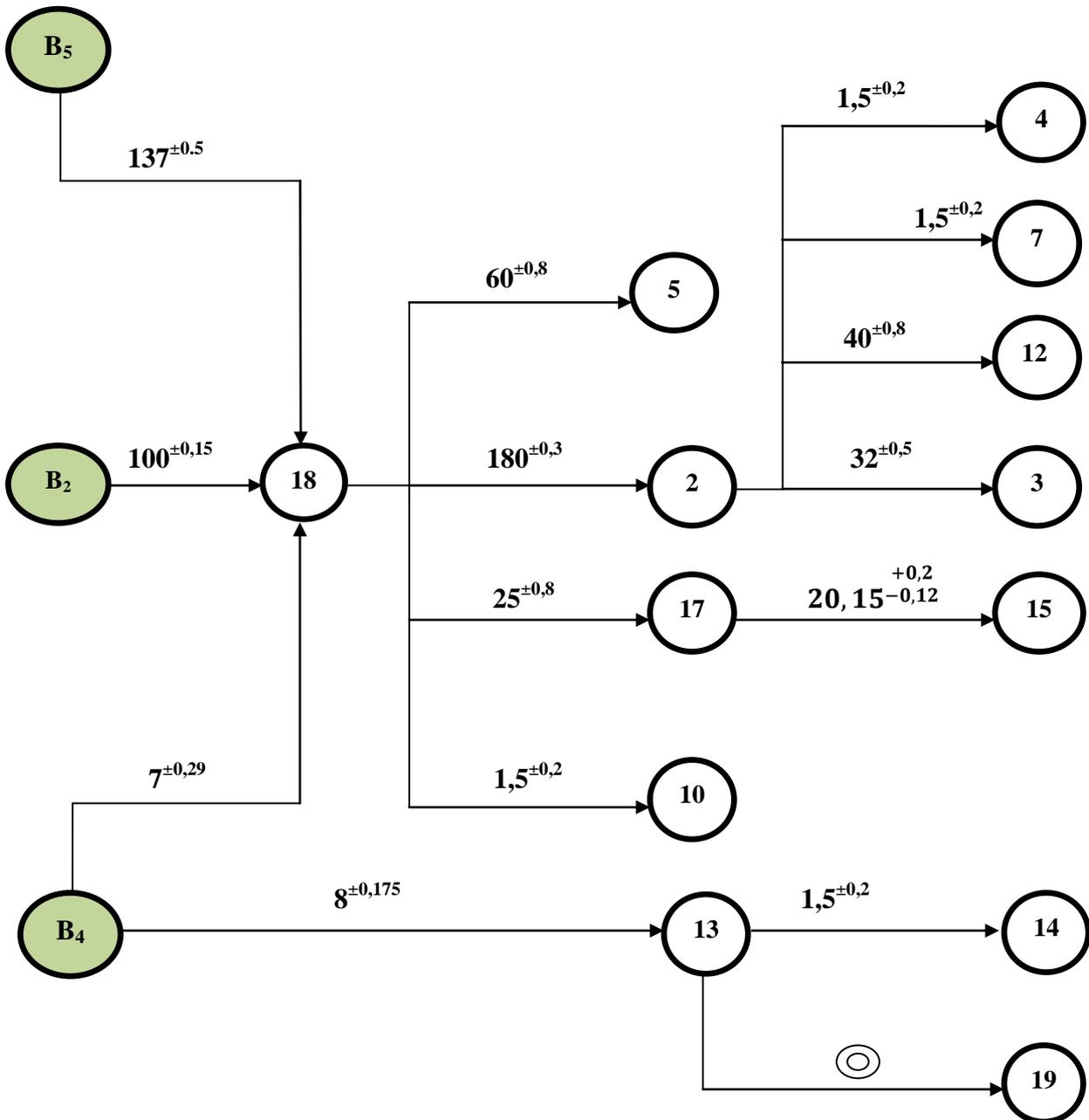
a) **Surface brutes :**

$B_1, B_2, B_3, B_4.$

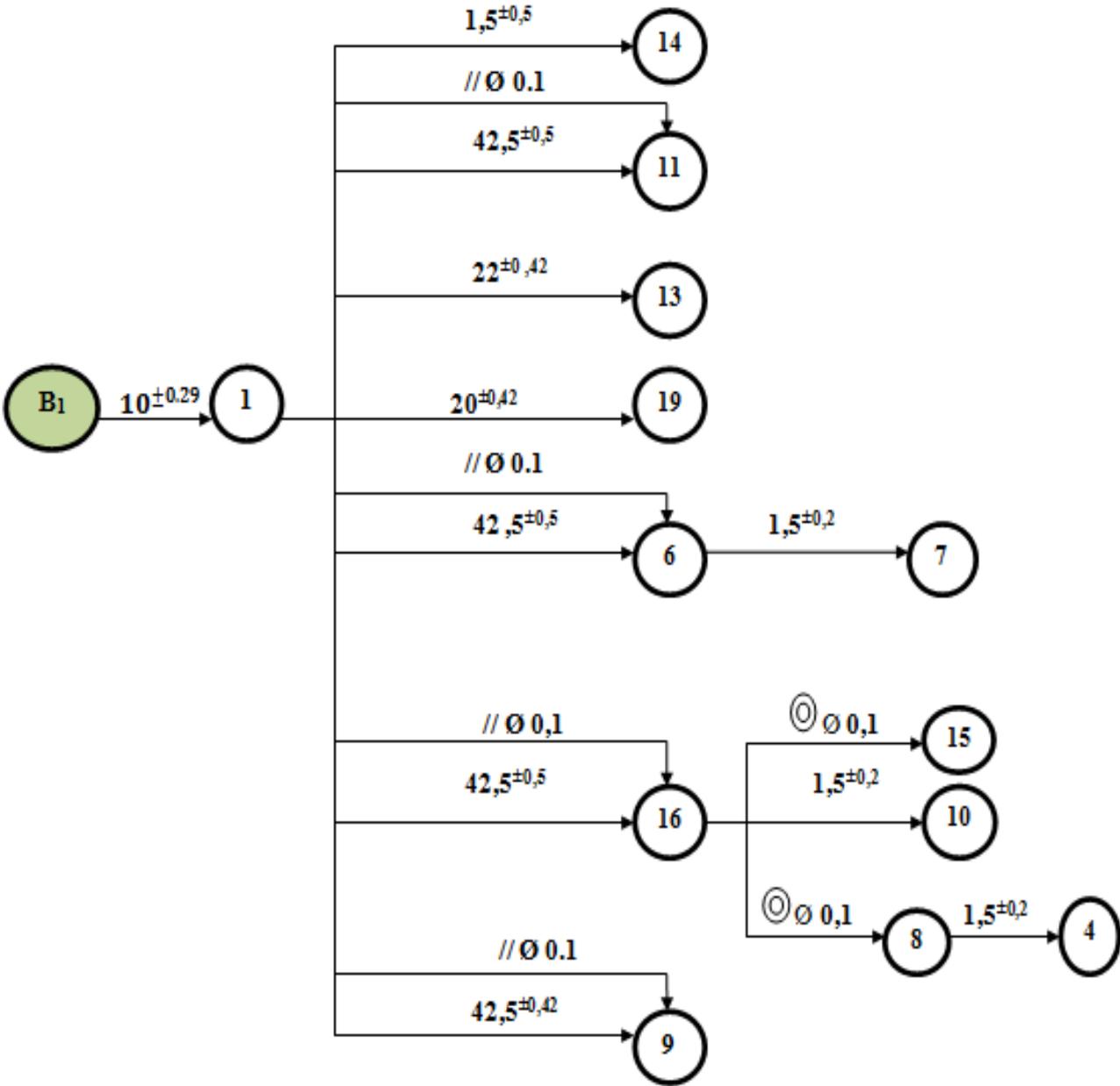
b) **Surfaces Usinées :**

1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19.

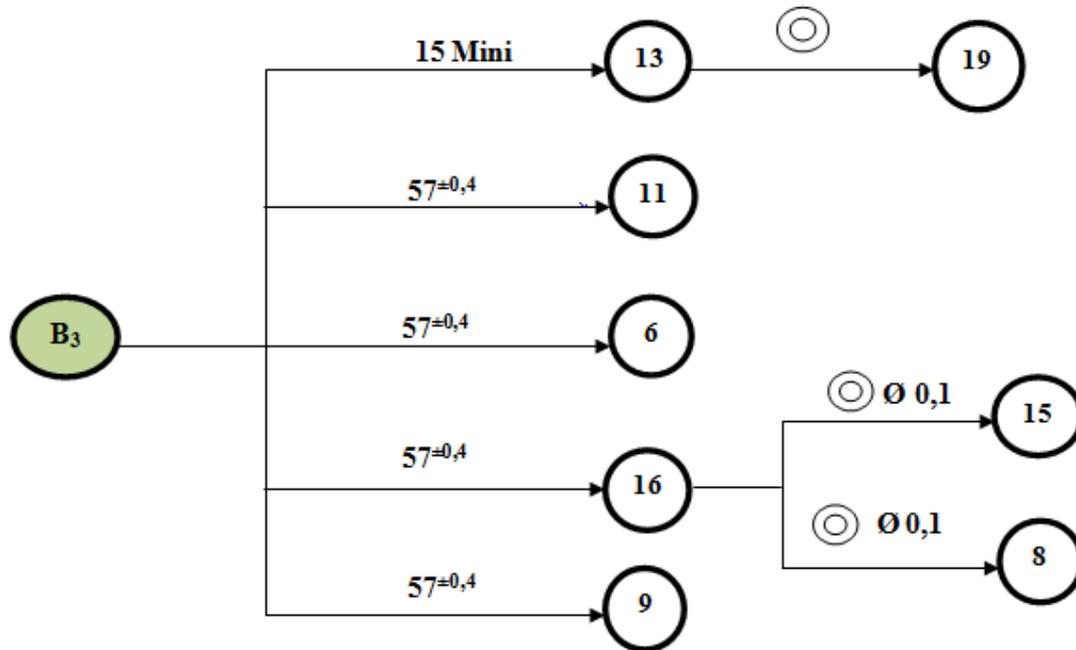
→  
Graphe BE Orienté suivant OX



→  
Graphe BE Orienté suivant OY :



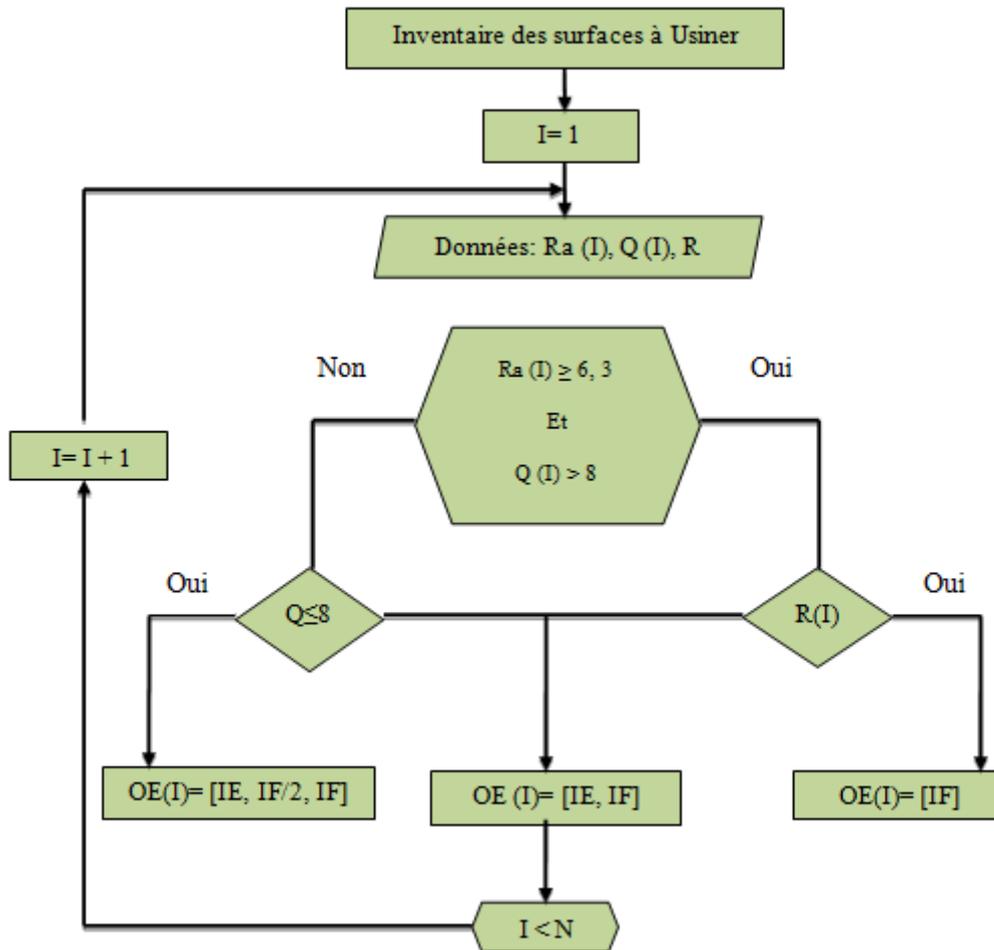
→  
 Graphe BE Orienté suivant OZ :



## II.7. Tableau des opérations élémentaires :

### II.7.1. Détermination des opérations élémentaire

Après l'inventaire des différentes surfaces usinées, la détermination des opérations élémentaires de chaque est une autre étape primordiale dans l'analyse de fabrication elle permet de distinguer entre les surfaces les plus fonctionnelles ayant une précision élevée de celles ayant une faible précision. Le nombre d'opérations élémentaires des surfaces usinées de la pièce à réaliser est déterminé on tenant compte des trois critères à savoir : la qualité de surface « Q », la rugosité de surface « Ra » et la rigidité « R ». Afin de remplir le **tableau 8**. L'organigramme ci-dessous permet de déterminer rapidement le nombre d'opérations élémentaires des différentes surfaces à usiner.



Organigramme pour déterminer les opérations élémentaires.

**Légende :**

- **I** : Indice des surfaces à usiner.
- **N** : Nombre de surfaces à usiner.
- **OE(I)** : Opérations élémentaires sur surface (I).
- **IE** : Surface I ébauche.
- **IF/2** : Surface I demi-fin.
- **IF** : Surface finie.
- **Q(I)** : Qualité dimensionnelle de la surface (I).
- **Ra(I)** : Rugosité arithmétique de la surface (I).
- **R(I)** : Si la surface est rigide  $R(I) = 1$ .

N° de surface	R <sub>a</sub>	R <sub>I</sub>	Q	Nombres d'opérations
1	12,5	1	9	1F
2	12,5	1	12	2F
3	12,5	1	15	3F
4	12,5	1	15	4F
5	12,5	1	15	5F
6	12,5	1	8	6E, 6F/2,6F
7	12,5	1	15	7F
8	3,2	1	7	8E, 8F/2,8F
9	12,5	1	15	9F
10	12,5	1	15	10F
11	6,3	1	9	11F
12	12,5	1	16	12F
13	12,5	1	13	13F
14	12,5	1	15	14F
15	12,5	1	9	15F
16	3,2	1	7	16E, 16F/2,16F
17	3,2	1	9	17F
18	12,5	1	11	18F
19	12,5	1	15	19F

**Tableau 9 :** Tableau de définition des opérations élémentaires.

### II.8. Tableau des groupements évidents :

Repère de groupement	Surface associée	Opération
G <sub>1</sub>	5,11	G <sub>1</sub> F
G <sub>2</sub>	3,8	G <sub>2</sub> E, G <sub>2</sub> F/2, G <sub>2</sub> F
G <sub>3</sub>	6,12	G <sub>3</sub> E, G <sub>3</sub> F/2, G <sub>3</sub> F
G <sub>4</sub>	13,14	G <sub>4</sub> F

**Tableau 10:** Tableau des groupements évident.

**II.9. Tableau des contraintes d'antériorité :**

Opérations	Contraintes d'antériorités			
	Dimensionnelles	Géométriques	Technologiques	Economiques
<b>1F</b>	$B_1$			
<b>2F</b>	18F			
<b>G<sub>2</sub>E</b>	2F	16F		
<b>G<sub>2</sub>F/2</b>			G <sub>2</sub> E	
<b>G<sub>2</sub>F</b>			G <sub>2</sub> F/2	
<b>4F</b>	2F, G <sub>2</sub> F			
<b>G<sub>1</sub>F</b>	18F, 1F, $B_3$	1F		
<b>G<sub>3</sub>E</b>	1F, 2F, $B_3$	1F		
<b>G<sub>3</sub>F/2</b>			G <sub>3</sub> E	
<b>G<sub>3</sub>F</b>			G <sub>3</sub> F/2	
<b>7F</b>	2F, G <sub>3</sub> F			
<b>9F</b>	1F, $B_3$			
<b>10F</b>	18F, 16F			
<b>G<sub>4</sub>F</b>	$B_3, B_4, 1F$			
<b>15F</b>	17F	16F		
<b>16E</b>	1F, $B_3$	1F		
<b>16F/2</b>			16E	
<b>16F</b>			16F/2	
<b>17F</b>	18F			
<b>18F</b>	$B_5, B_2, B_4$			
<b>19F</b>	1F		G <sub>4</sub> F	

**Tableau 11 :** Tableau des contraintes d'antériorités.**II.10. Tableau des niveaux :**

**MATRICE DES CONTRAINTES ET LES NIVEAUX DES VARIATIONS AVEC L'ENSEMBLE DES OPERATIONS ORDONNEES PAR LES MINIMAUX**

	1F	2F	G <sub>2</sub> E	G <sub>2</sub> F/2	G <sub>2</sub> F	4F	G <sub>1</sub> F	G <sub>3</sub> E	G <sub>3</sub> F/2	G <sub>3</sub> F	7F	9F	10F	G <sub>4</sub> F	15F	16E	16F/2	16F	17F	18F	19F	
1F							1	1				1		1		1						1
2F			1			1		1			1											
G <sub>2</sub> E				1																		
G <sub>2</sub> F/2					1																	
G <sub>2</sub> F						1																
4F																						
G <sub>1</sub> F																						
G <sub>3</sub> E									1													
G <sub>3</sub> F/2										1												
G <sub>3</sub> F											1											
7F												1										
9F													1									
10F														1								
G <sub>4</sub> F															1							1
15F																1						
16E																	1					
16F/2																		1				
16F			1										1		1				1			
17F															1					1		
18F		1					1						1								1	
19F																						1

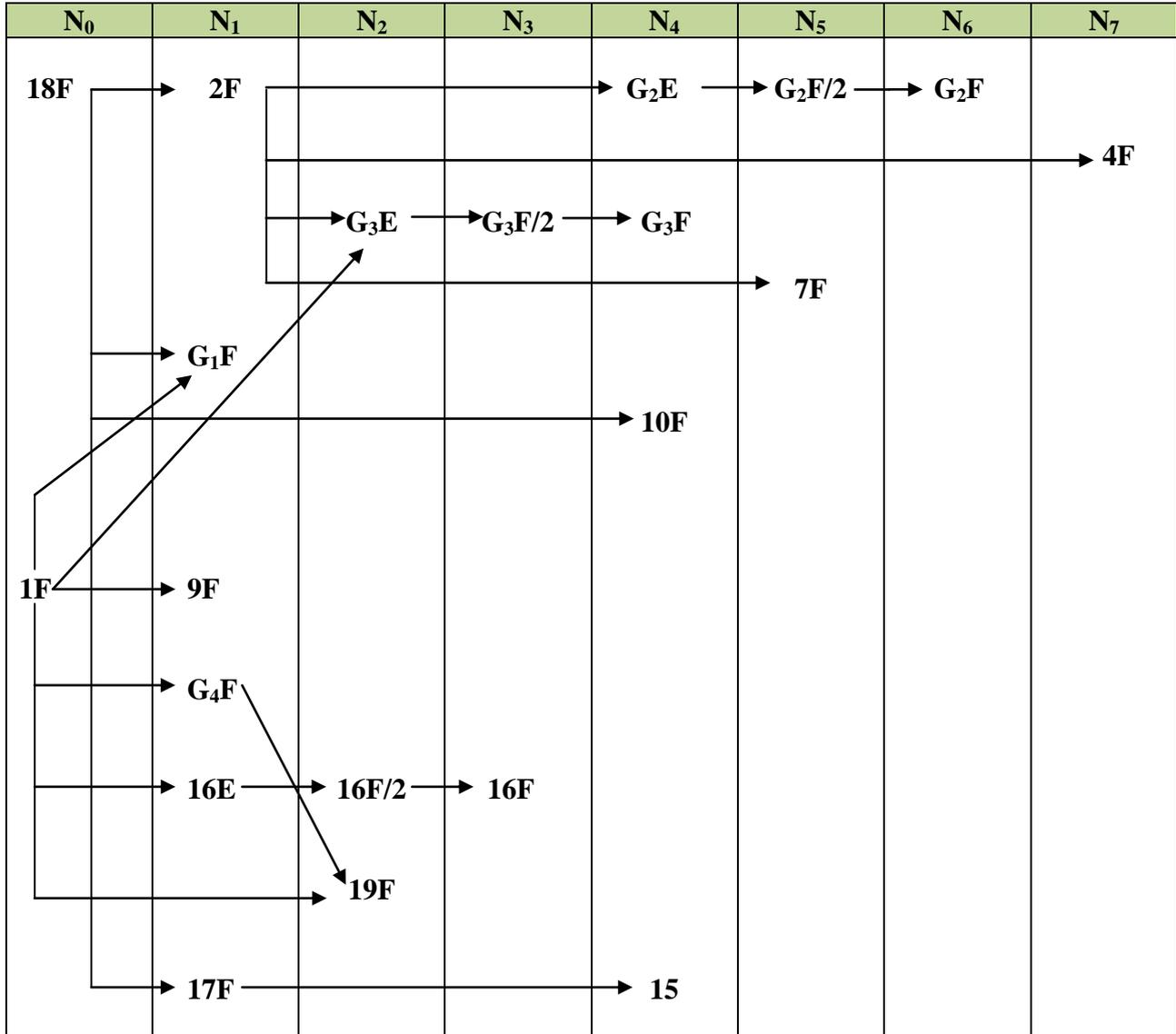
V <sub>0</sub>	0	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	0	2
V <sub>1</sub>		0	2	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1	0	2	0	1	1	0		1
V <sub>2</sub>			1	1	1	1		0	1	1	1		1		1		0	1			0
V <sub>3</sub>			1	1	1	1			0	1	1		1		1			0			
V <sub>4</sub>			0	1	1	1				0	1		0		0						
V <sub>5</sub>				0	1	1					0										
V <sub>6</sub>					0	1															
V <sub>7</sub>						0															

N <sub>0</sub>	1F, 18F
N <sub>1</sub>	2F, G <sub>1</sub> F, 9F, G <sub>4</sub> F, 16E, 17E
N <sub>2</sub>	G <sub>3</sub> E, 16F/2, 19F
N <sub>3</sub>	G <sub>3</sub> F/2, 16F
N <sub>4</sub>	G <sub>2</sub> E, 10F, 15F, G <sub>3</sub> F
N <sub>5</sub>	G <sub>2</sub> F/2, 7F
N <sub>6</sub>	G <sub>2</sub> F
N <sub>7</sub>	4F

**II.11. Fonction Ordinale par les minimaux :**

La fonction ordinale constitue une base de travail pour l'établissement du projet de gamme qui consiste à étudier la réalisation de chaque surface et l'enchaînement de ces réalisations.

A partir de cette fonction, divers types d'enchaînement peuvent être envisagés, et doivent cependant respecter

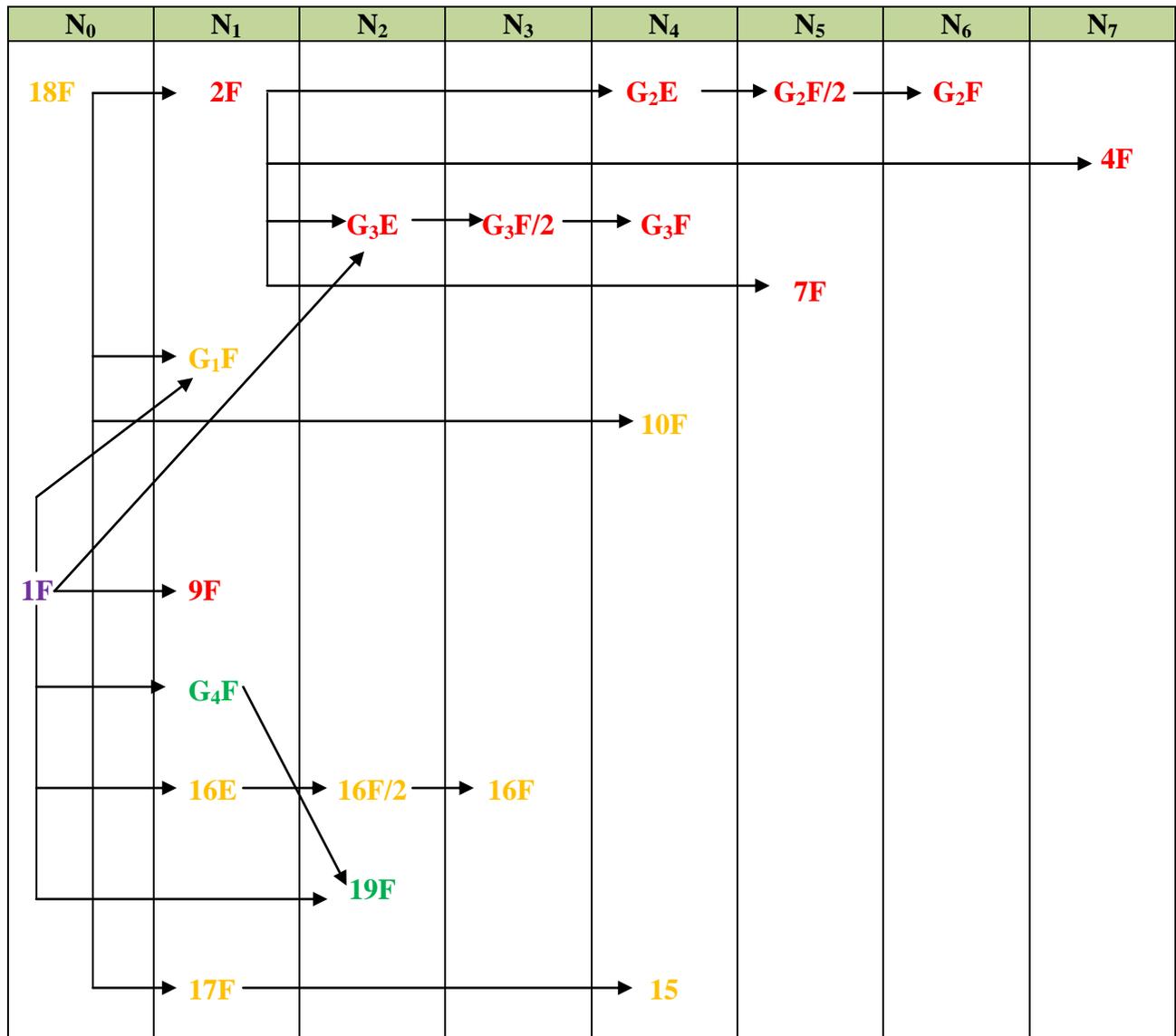


Fonction ordinale par les minimaux

**II.12. Les projets de gamme :****II.12.1. Projet de gamme N°1 :**

N° de phase	Désignation	Machine-outil
100	Contrôle de brut	Poste de contrôle
200	<b>Fraisage :</b> Surfaçage 1F.	Fraiseuse verticale
300	<b>Perçage :</b> Perçage et chanfreinage $G_4$ F. Taraudage 19F.	Perceuse GSP
400	<b>Tournage :</b> Dressage 18F. Alésage 16E ,16F/2 ,16F. Alésage 11F. Dressage 5F. Dressage 17F. Chanfreinage 10F gorgeage 15F.	Tour à commande numérique
500	<b>Tournage :</b> Dressage 2F. Chariotage 6E, 6F/2,6F. Dressage 12F. Chanfreinage 7F. Alésage 8E, 8F/2,8F. Dressage 3F. Alésage 9F. Chanfreinage 4F.	Tour à commande numérique
600	Contrôle final de la pièce.	Poste de contrôle

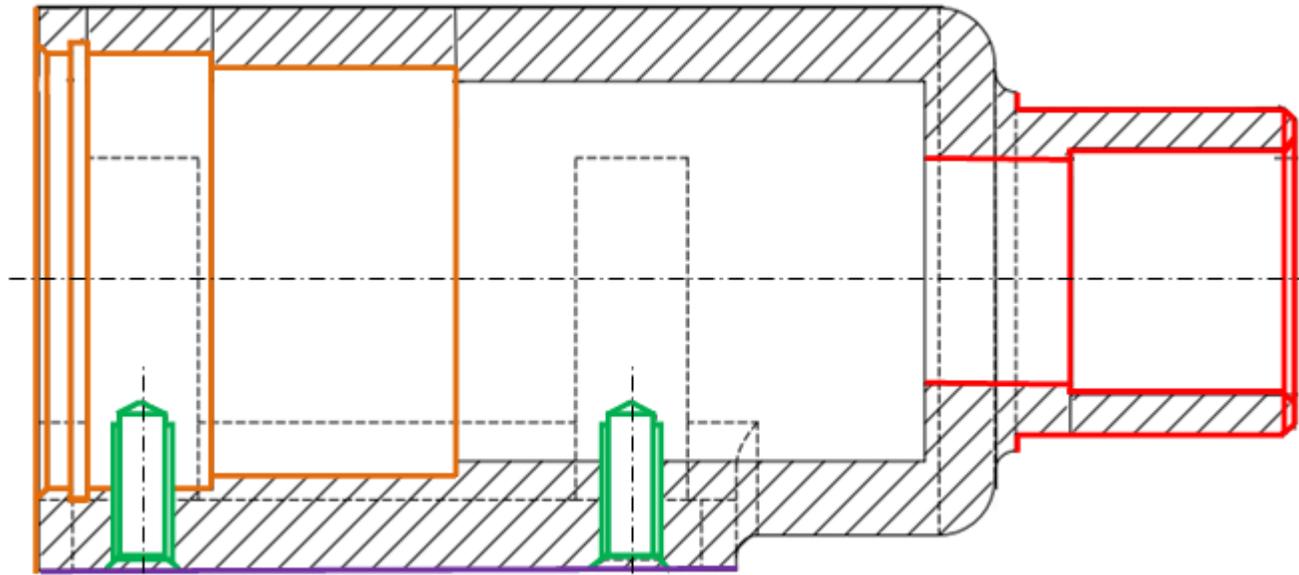
**II.12.2. Gamme N°1 :**



Projet de gamme N°1

- Phase 200 : fraisage.
- Phase 300 : perçage.
- Phase 400 : tournage.
- Phase 500 : tournage.

Projet de gamme N°1

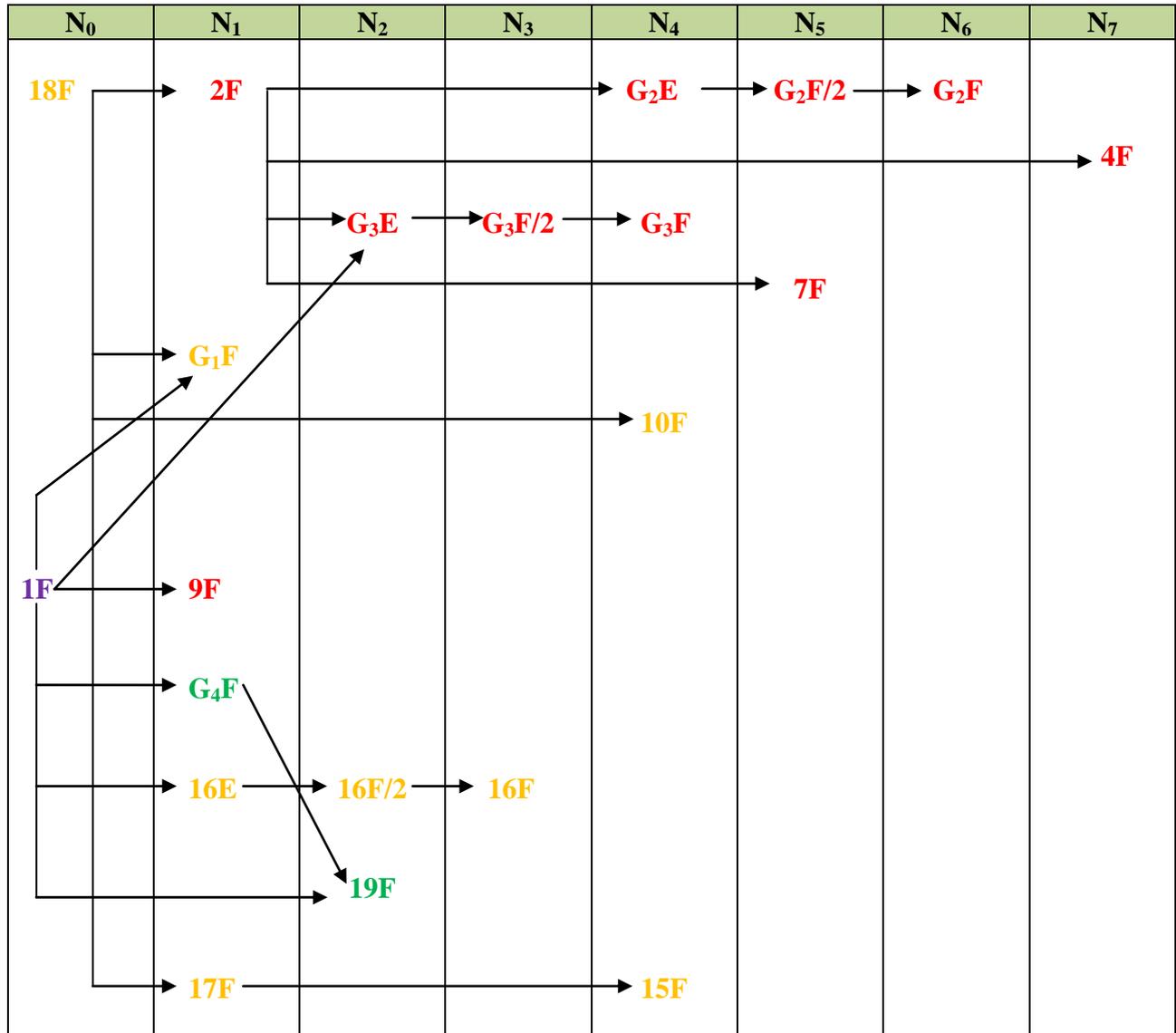


- Phase 200 : fraisage.
- Phase 300 : perçage.
- Phase 400 : tournage.
- Phase 500 : tournage.

**II.12.3. Projet de gamme N°2 :**

N° de phase	Désignation	Machine-outil
100	Contrôle de brut	Poste de contrôle
200	<b>Fraisage :</b> Surfaçage 1F.	Fraiseuse verticale
300	<b>Tournage :</b> Dressage 18F. Alésage 16E ,16F/2 ,16F. Alésage 11F. Dressage 5F. Dressage 17F. Chanfreinage 10F gorgeage 15F.	Tour à commande numérique
400	<b>Tournage :</b> Dressage 2F. Chariotage 6E, 6F/2,6F. Dressage 12F. Chanfreinage 7F. Alésage 8E, 8F/2,8F. Dressage 3F. Alésage 9F. Chanfreinage 4F	Tour à commande numérique
500	<b>Perçage :</b> Perçage et chanfreinage G <sub>4</sub> F. Taraudage 19F.	Perceuse GSP
600	Contrôle final de la pièce.	Poste de contrôle

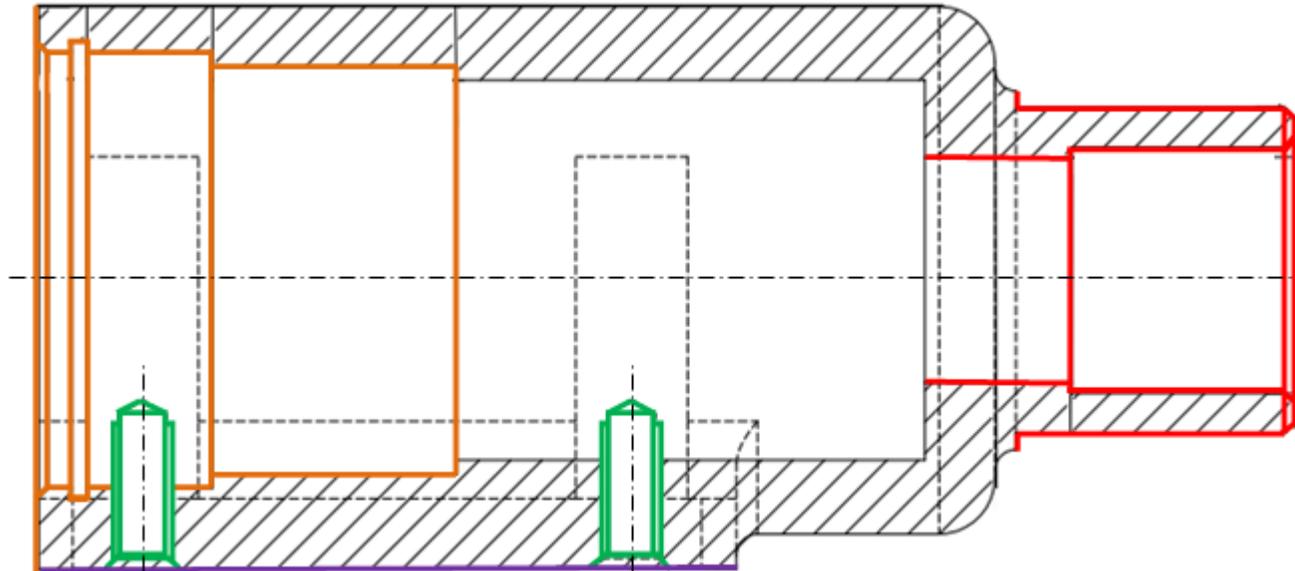
**II.12.4. Gamme N°2 :**



Projet de gamme N°2

- Phase 100 : control de brut.
- Phase 200 : fraisage.
- Phase 300 : tournage.
- Phase 400 : tournage.
- Phase 500 : perçage.
- Phase 600 : control final

## Projet de gamme N°2



- 200 : fraisage.
- Phase300 : tournage.
- Phase 400 : tournage.
- Phase 500 : perçage.

### II.13. Choix du projet de gamme final :

Après l'étude des deux gammes élaborées précédemment, le choix du projet de gamme adopté a été fait à partir des points suivants :

- Disponibilité des machines-outils au niveau du secteur.
- La facilité de réalisation.
- L'organisation des machines-outils dans l'atelier.

D'autre part la réalisation de maximums d'opérations possible.

A cet effet, on a sélectionné trois machines-outils :

- Une fraiseuse verticale Rouchaud.
- Un Tour à commande numérique.
- Une Perceuse radiale GSP.

Le choix final a été alors porté sur la 1<sup>ère</sup> proposition du projet de gamme.

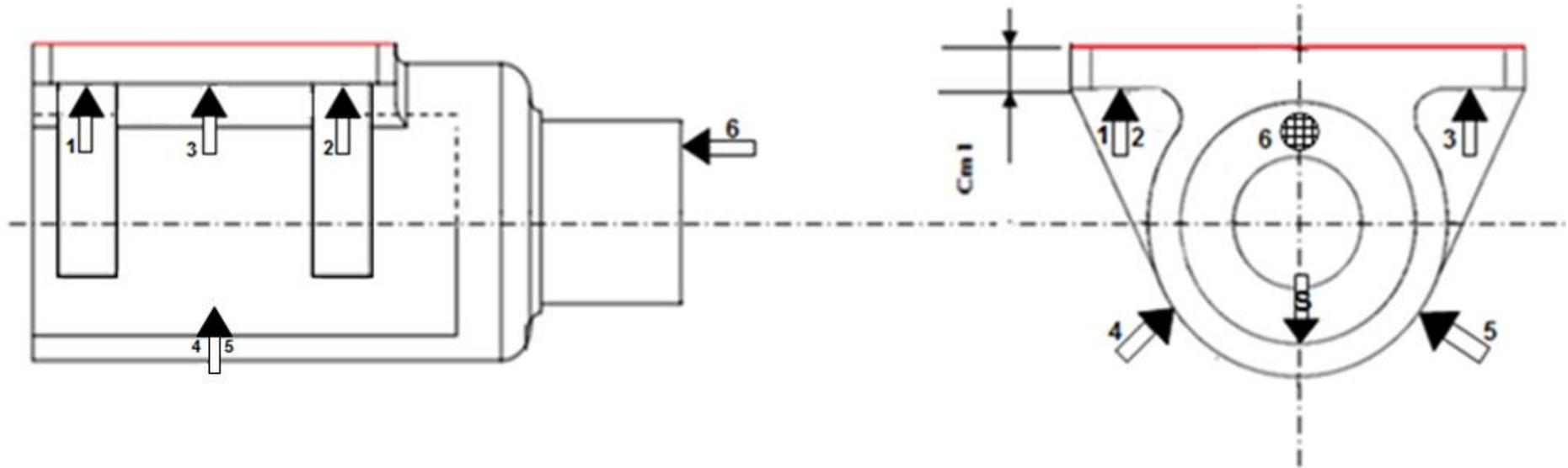
### II.14. Feuille d'analyse de phase :

Le projet de gamme final étant choisi, l'avant-projet de production devient un projet de fabrication.

Nous proposons la démarche générale suivante, afin d'avoir une vision beaucoup plus globale au projet de fabrication de notre pièce.

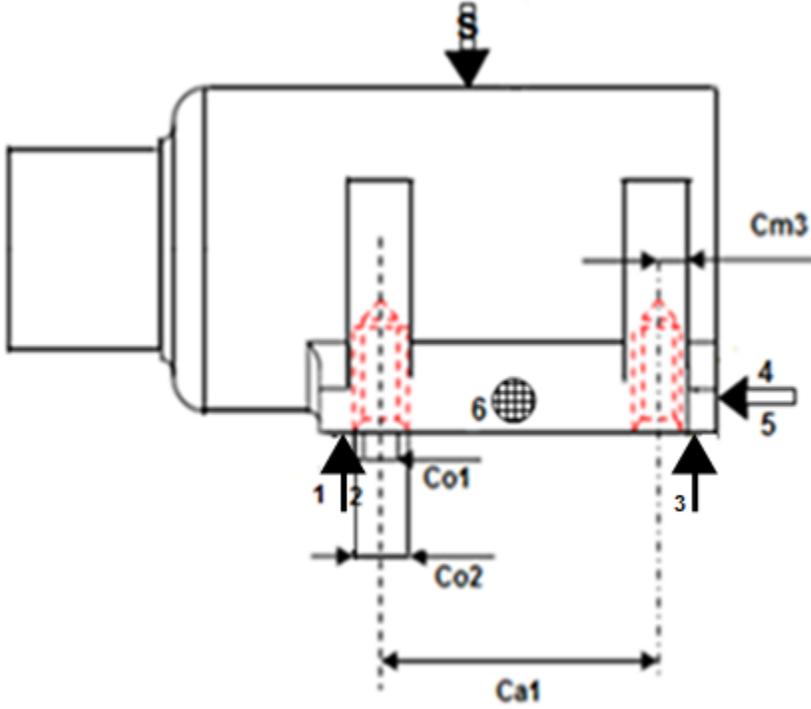
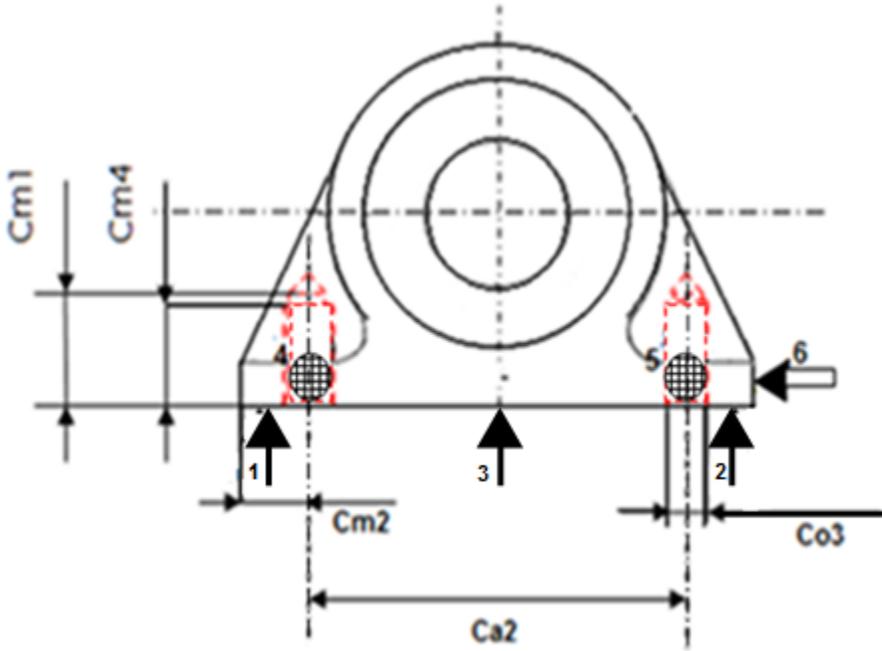
Etabli par : Bounoua & Kahoul	Année : 2021 Spécialité : Fabrication mécanique et productive			Département de génie mécanique
Projet d'étude de fabrication	Elément : Palier de colonne de direction Matière : FGS 400-15			Feuille d'analyse d'usinage
Nombre de phases	Nombre de sous phases	Désignation de phase, sous phase et opération	Machine utilisée	Outillages d'usinage et contrôle
100		Contrôle de brut	Poste de contrôle	Vérifier les cotes brutes apables
200		<p><b>Fraisage :</b></p> <p>Une pièce en montage,</p> <p>Référentiel de départ :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appui plan (1, 2,3) sur la surface B<sub>1</sub>.</li> <li>• Appui linéaire (4,5) sur la surface B<sub>3</sub>.</li> <li>• Appui ponctuel (6) sur la surface B<sub>4</sub>.</li> <li>• Serrage sur B.</li> </ul> <p>Surfaçage de 1F.  <math>Cm_1 = 10^{\pm 0.29}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p>	Fraiseuse verticale Rouchaud	<p>Fraise à surfacer à plaquettes amovibles en carbure, Ø160 mm 10 dents Nuance K20 Calibre <math>10^{\pm 0.29}</math> Pied à coulisse Contrôle de rugosité</p>

Croquis phase 200



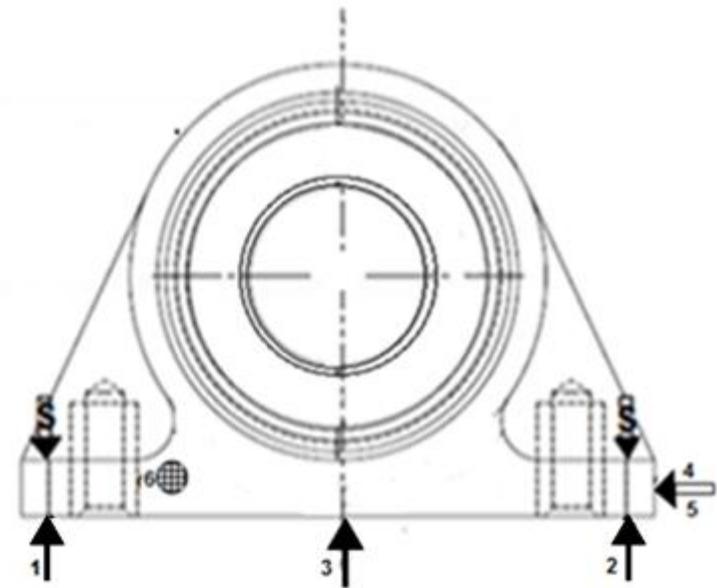
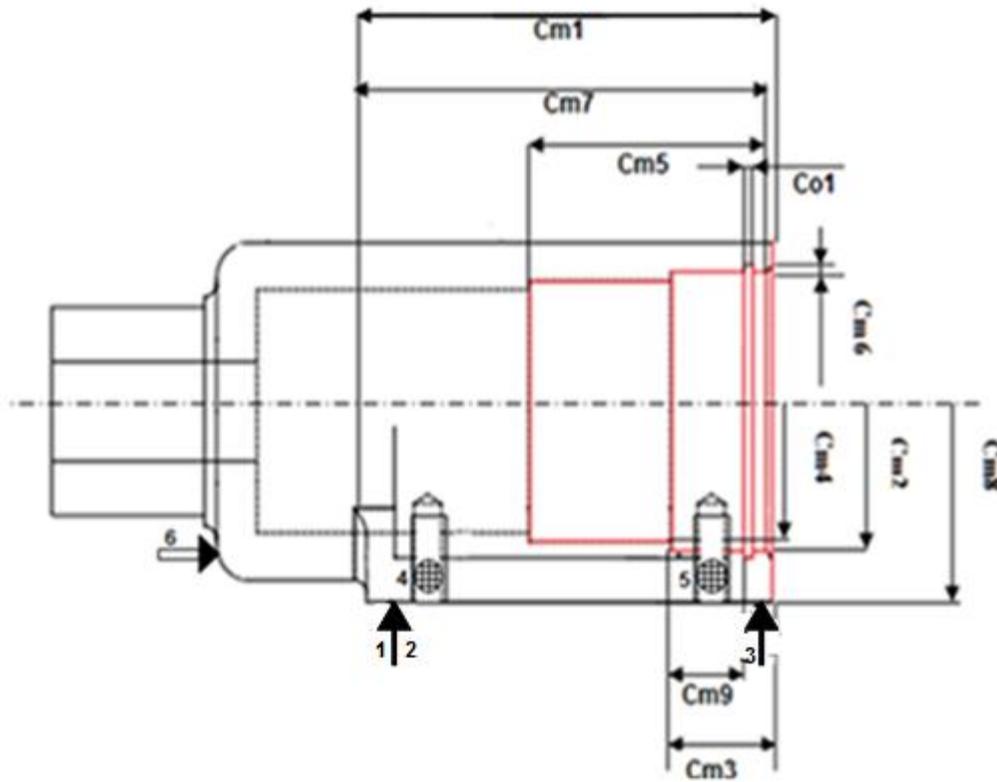
Etabli par : Bounoua & Kahoul		Année : 2021 Spécialité : Fabrication mécanique et productive		Département de génie mécanique
Projet d'étude de fabrication		Elément : Palier de colonne de direction Matière : FGS 400-15		Feuille d'analyse d'usinage
Nombre de phases	Nombre de sous phases	Désignation de phase, sous phase et opération	Machine utilisée	Outils d'usinage et contrôle
300		<p><b>Perçage Chanfreinage Taraudage</b></p> <p>Une pièce en montage,</p> <p>Référentiel de départ :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appui plan (1, 2,3) sur la surface 1.</li> <li>• Appui linéaire (4,5) sur la surface B<sub>4</sub>.</li> <li>• Appui ponctuel (6) sur surface B<sub>3</sub>.</li> <li>• Serrage sur B<sub>6</sub>.</li> </ul> <p><b>1) Perçage et Chanfreinage des 4 trous G<sub>4</sub>F :</b></p> <p><math>Cm_1 = 22^{\pm 0.42}</math>  <math>Cm_2 = 15 \text{ mini}</math>  <math>Cm_3 = 8^{\pm 0.175}</math></p> <p><math>Ra = 12,5\mu\text{m}</math></p> <p><math>Co_1 = \text{Ø}6.8</math>  <math>Co_2 = \text{Ø}12</math>  <math>Ca_1 = 84^{\pm 0.8}</math>  <math>Ca_2 = 70^{\pm 0.8}</math></p> <p><b>2) Taraudage 19F :</b></p> <p><math>Cm_4 = 20^{\pm 0.42}</math>  <math>Ra = 12,5\mu\text{m}</math>  <math>Co_3 = \text{M}8 \times 125</math></p>	Perceuse Radiale GSP	<p>Foret en ARS Ø6.8</p> <p>Foret en ARS Ø12</p> <p>Taraud M8 en ARS</p> <p>Tampon fileté M8</p> <p>Pied à coulisse</p>

Croquis phase 300



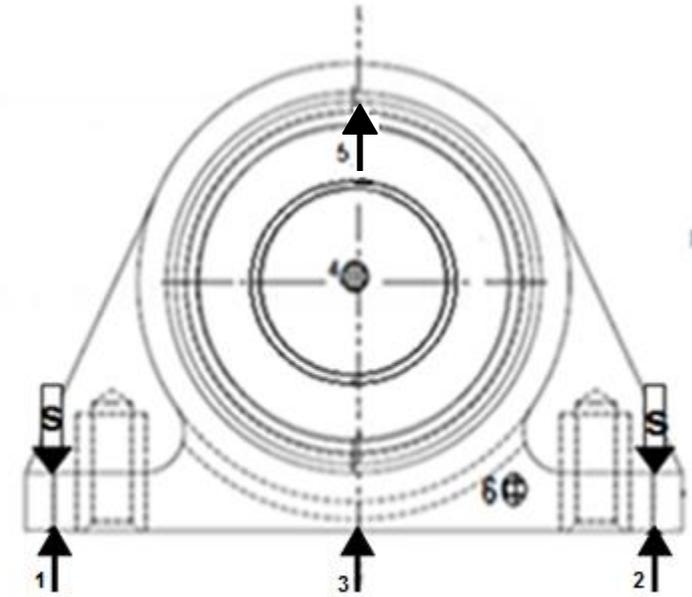
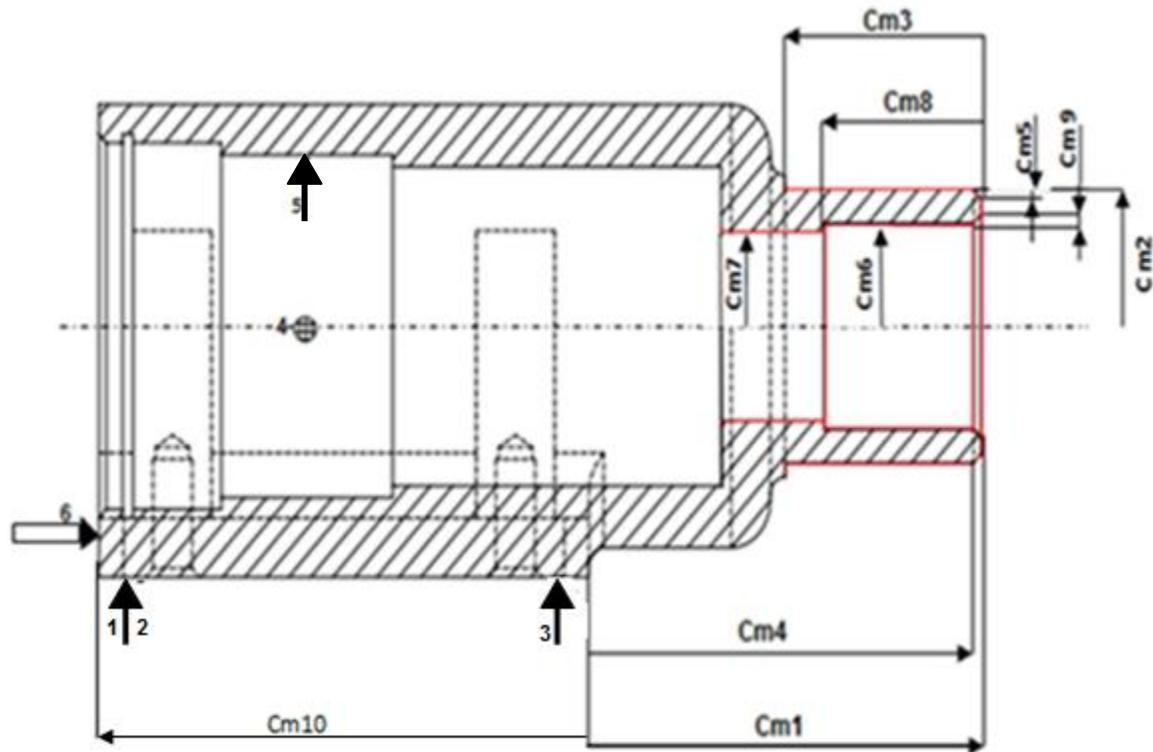
Etabli par : Bounoua & Kahoul		Année : 2021 Spécialité : Fabrication mécanique et productique		Département de génie mécanique
Projet d'étude de fabrication		Elément : Palier de colonne de direction Matière : FGS 400-15		Feuille d'analyse d'usinage
Nombre de phase	Nombre de sous phase	Désignation de phase, sous phase et opération	Machine utilisée	Outillage d'usinage et contrôle
400		<p><b>Tournage :</b> Une pièce en montage, Référentiel de départ :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appui plan (1, 2,3) sur la surface 1.</li> <li>• Appui ponctuel(6) sur la surface B<sub>1</sub>.</li> <li>• Appui linéaire (4,5) sur la surface B<sub>2</sub>.</li> <li>• Serrage sur B<sub>6</sub>.</li> </ul> <p>1) Dressage <b>18F</b> : Cm<sub>1</sub> = 100<sup>±0.15</sup> Ra = 12,5µm</p> <p>2) Alésage <b>16E</b> : Cm<sub>2</sub> = 31<sup>+0.015</sup><sub>0</sub> Ra = 3,2µm Cm<sub>3</sub> = 25<sup>±0.8</sup> Ra = 12,5µm</p> <p>3) Alésage <b>11F</b>, Dressage <b>5F</b>: Cm<sub>4</sub> = 29<sup>±0.075</sup> Ra = 3,2µm Cm<sub>5</sub> = 60<sup>±0.8</sup> Ra = 12,5µm</p> <p>4) Alésage <b>16F/2</b> : Cm<sub>2</sub> = 31<sup>+0.015</sup><sub>0</sub></p> <p>5) Dressage <b>17F</b>, chanfreinage <b>10F</b>: Cm<sub>2</sub> = 31<sup>+0.015</sup><sub>0</sub> Ra = 3,2µm Cm<sub>6</sub> = 1.5<sup>±0.2</sup> à 45° Cm<sub>7</sub> = 98,5<sup>±0.05</sup> Ra = 12,5µm</p> <p>6) Gorge <b>15F</b> : Cm<sub>8</sub> = 32,5<sup>±0.075</sup> Cm<sub>9</sub> = 20.15<sup>+0.2</sup><sub>+0.12</sub> Ra = 12,5µm Co<sub>1</sub> = 2,15<sup>+0.12</sup><sub>0</sub></p>	Tour à commande numérique	<p>P.CNMA 12 04 08 Nuance GC315.</p> <p>P. CNMG 12 04 08 Nuance GC415.</p> <p>P.CNMG 12 04 04 Nuance GC3015</p> <p>Molette 67 465 pour la gorge</p> <p>Tampon lisse double Ø 25<sup>±0.8</sup></p> <p>Tampon lisse double Ø 60<sup>±0.8</sup></p> <p>Pied à coulisse</p> <p>Calibre de gorge Ø 65<sup>±0.15</sup></p> <p>Contrôle rugosité</p>

Croquis phase 400

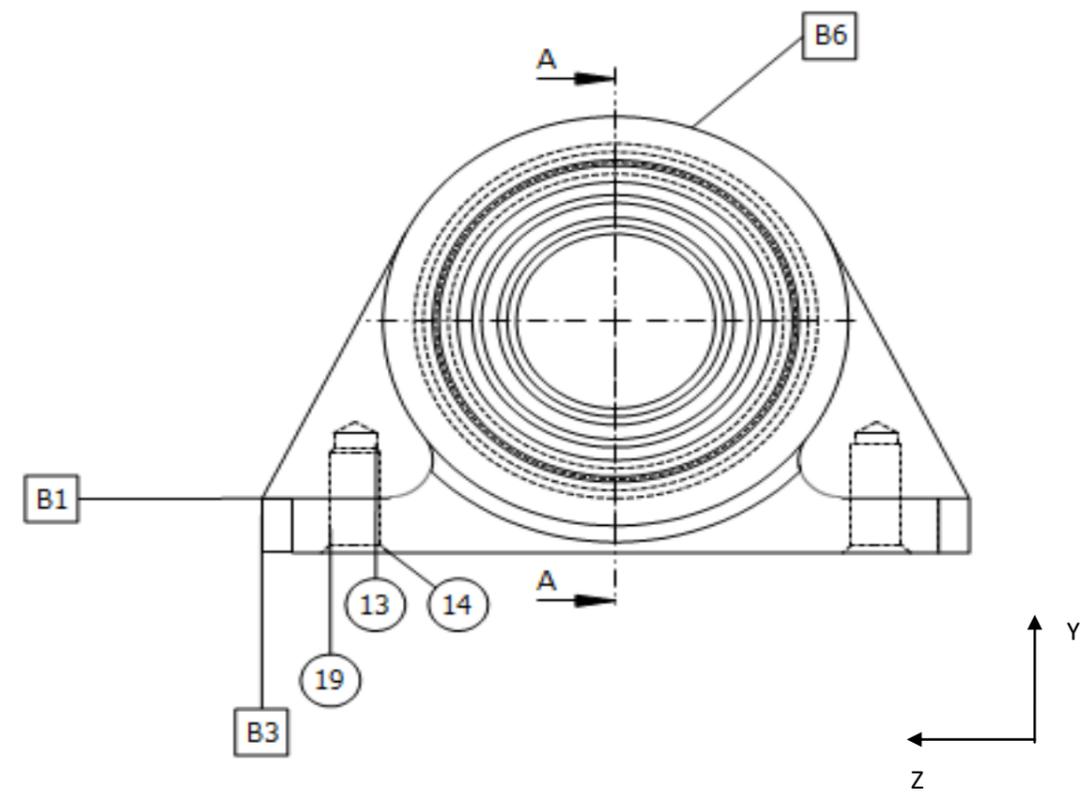
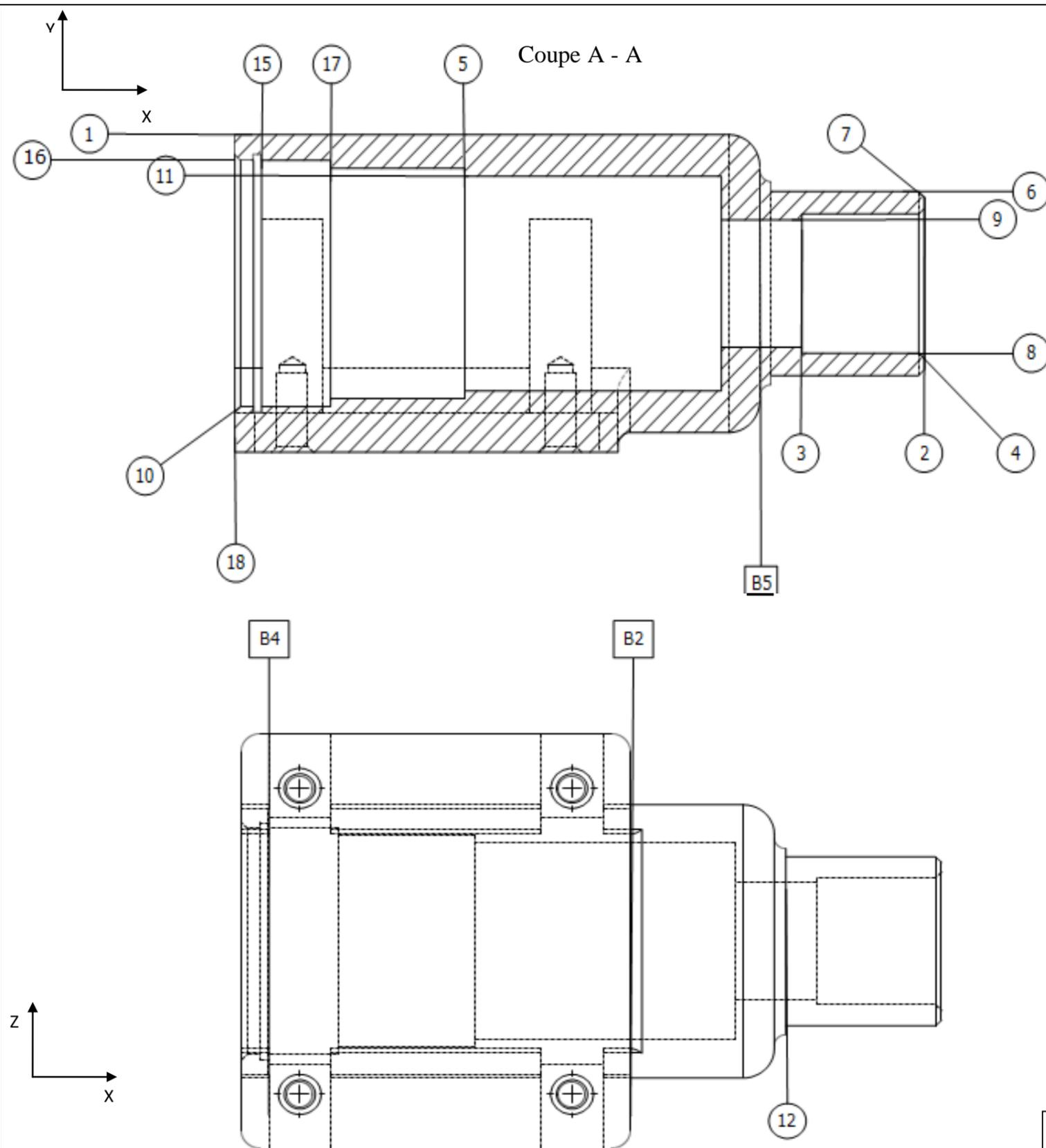


Etabli par : Bounoua & Kahoul	Année : 2021 Spécialité : Fabrication mécanique et productive			Département de génie mécanique
Projet d'étude de fabrication	Elément : Palier de colonne de direction Matière : FGS 400-15			Feuille d'analyse d'usinage
Nombre de phases	Nombre de sous phases	Désignation de phase, sous phase et opération	Machine utilisée	Outillages d'usinage et contrôle
500		<p><b>Tournage 2</b> Une pièce en montage, Référentiel de départ :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une centrage long (1,2,3 et 4) sur la surface 11</li> <li>• Appui ponctuel 5 sur la surface 18</li> </ul> <p>1) Dressage <b>2F</b> :  <math>Cm_1 = 80^{\pm 0.15}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p> <p>2) Chariotage <b>6E</b> :  <math>Cm_2 = 23,15_{-0,0445}^{-0,025}</math>  <math>Cm_3 = 40^{\pm 0.8}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p> <p>3) Chariotage <b>6F/2</b> :  <math>Cm_2 = 23,15_{-0,0445}^{-0,025}</math></p> <p>4) Chariotage <b>6E</b>, Dressage <b>12F</b>, Chanfreinage <b>7F</b> :  <math>Cm_2 = 23,15_{-0,0445}^{-0,025}</math>  <math>Cm_4 = 78,5^{\pm 0.15}</math>  <math>Cm_5 = 1.5^{\pm 0.2}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p> <p>5) Alésage <b>8E</b> :  <math>Cm_6 = 17,5_{0}^{+0.3}</math>  <math>Ra = 3,2\mu m</math>  <math>Cm_7 = 16^{\pm 0.25}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p> <p>6) Alésage <b>9F</b> :  <math>Cm_8 = 32_{0}^{+0.3}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p> <p>7) Alésage <b>8F/2</b> :  <math>Cm_6 = 17,5_{+0,0045}^{+0.017}</math></p> <p>8) Alésage <b>8E</b>, Dressage <b>3F</b>, Chanfreinage <b>4F</b> :  <math>Cm_6 = 35G7</math>  <math>Cm_7 = 1.5^{\pm 0.2}</math>  <math>Ra = 12,5\mu m</math></p>	Tout à commande numérique	<p>P.CNMA 12 04 08 nuance GC315</p> <p>P.CNMG 12 04 04 nuance GC415</p> <p>P.TPGN 11 03 04 nuance GC3015</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>Tampon lisse double <math>\varnothing 32_{0}^{+0.3}</math></p> <p>Tampon lisse double <math>\varnothing 52</math></p> <p>Contrôle rugosité</p>

Croquis phase 500



<b>Etabli par : Bounoua &amp; Kahoul</b>	<b>Année : 2021 Spécialité : Fabrication mécanique et productique</b>			<b>Département de génie mécanique</b>
<b>Projet d'étude de fabrication</b>	<b>Elément : Palier de colonne de direction Matière : FGS 400-15</b>			<b>Feuille d'analyse d'usinage</b>
<b>Nombre de phases</b>	<b>Nombre de sous phases</b>	<b>Désignation de phase, sous phase et opération</b>	<b>Machine utilisée</b>	<b>Outillages d'usinage et contrôle</b>
<b>600</b>		Contrôle final de la pièce : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionnel.</li> <li>• Spécifications.</li> <li>• Etat de surface.</li> </ul>	Poste de contrôle	



La rugosité non indiquée sur les surfaces est 12.5

Matière : FGS 400-15

Date: 15/04/2021

Echelle:1/1

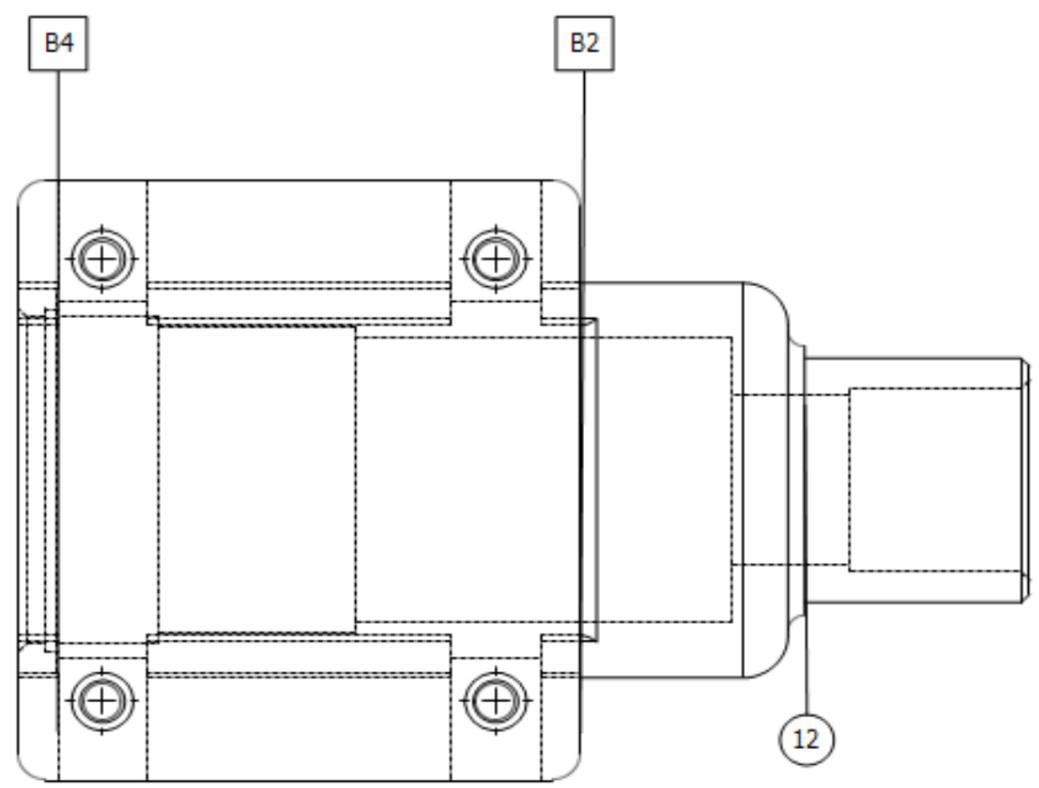
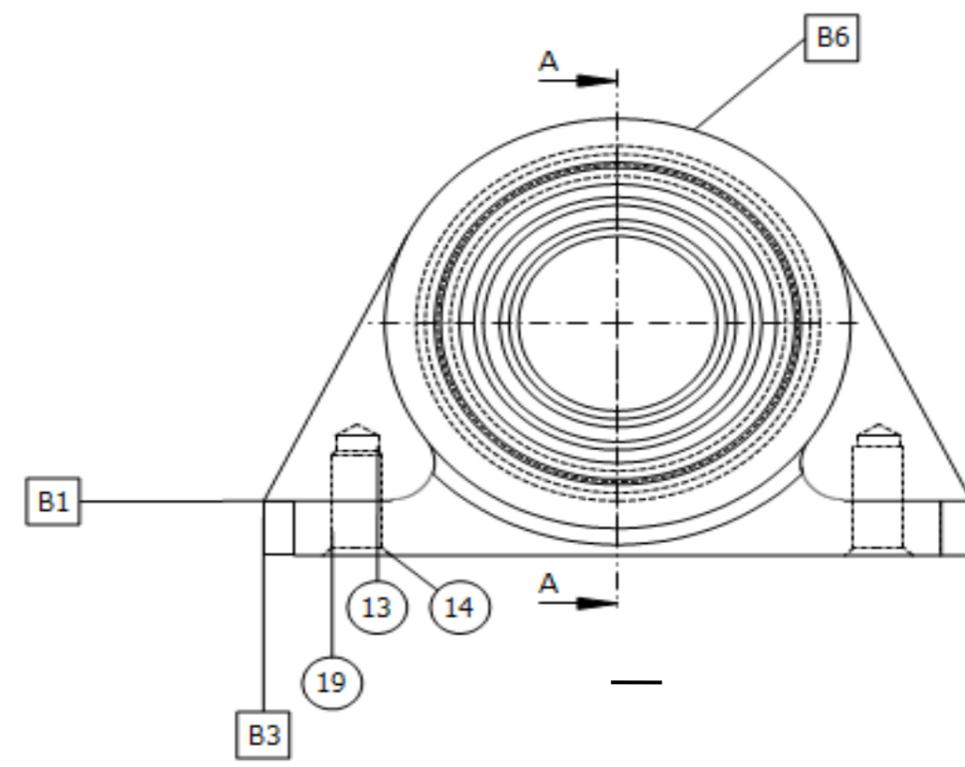
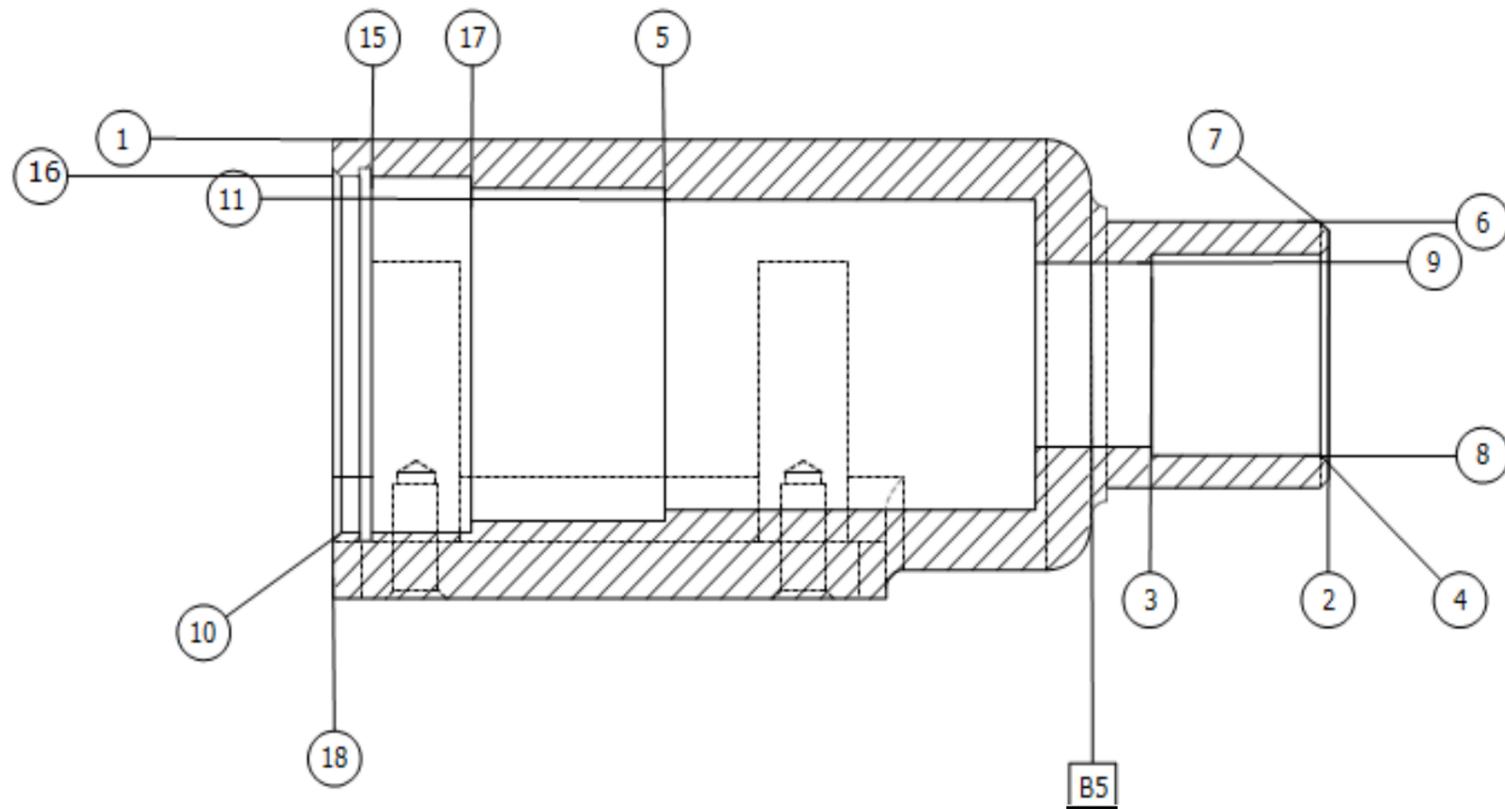
Palier de Colonne de direction

Réaliser par:  
KAHOUL ET BOUNOUA



Université M'Hamed Bougerra Boumerdes  
Faculté sciène de l'ingénieur

Suivi par :  
Mr. TOURAB



La rugosité non indiquée sur les surfaces est 12.5		
Matière : FGS 400-15	<b>Palier de Colonne de direction</b>	Date:
Echelle: 1/1		Réaliser par: <b>KAHOUL ET BOUNOUA</b>
		Suivi par : <b>Mr. TOURAB</b>
<b>Université M'Hamed Bougerra Boumerdes</b> <b>Faculté sciène de l'ingénieur</b>		

# Chapitre III: Chapitre III:

Simulation d'usinage

### III. Simulation d'usinage :

La simulation d'usinage permet le calcul des cotes brutes (afin d'usiner une pièce correcte en mettant en œuvre une quantité minimal de matière brute), des cotes de fabrication (Co, Cm ,Ca) et vérifier la validité du processus d'usinage.

Pour la simulation d'usinage il y a deux conditions à respecter :

- Condition du bureau d'études BE : les cotes conditions.
- Condition du bureau des méthodes BM : le copeau minimum, la tolérance économique d'usinage.

#### III.1. Méthode de travail :

On peut utiliser la méthode suivante:

- 1) Effectuer le croquis en coupe de la pièce. Pour établir ultérieurement, avec clarté, les chaînes de côtes, les surfaces cotées ne doivent pas être situées dans un même plan, si cela se présente, il faut les décaler arbitrairement d'une ligne, afin que les lignes de rappel ne soient pas confondues.
- 2) Dessiner les surépaisseurs d'usinage en commençant par la dernière phase.
- 3) Porter les cotes fonctionnelles du dessin de définition au-dessus de croquis de la pièce.
- 4) Tracer les cotes d'usinage dans l'ordre de la gamme.
- 5) Les cotes d'usinage sont représentées sous forme de vecteurs ayant pour origine la face d'appui et pour extrémité la phase usinée.
- 6) Chaque cote représente une opération.
- 7) Traduire les cotes fonctionnelles en cotes minimales et maximales et porter ces valeurs dans les colonnes correspondantes.
- 8) Choisir la valeur des copeaux minima à partir du tableau de la page précédente. Inscrire ces valeurs dans la colonne min.
- 9) Repérer les cotes fonctionnelles Repérer les copeaux minima. Repérer les cotes de brut. Repérer les cotes-machine.
- 10) Tracer le graphe permettant la détermination des composantes de chaque chaîne.
- 11) Tracer la première chaîne en prenant comme cote condition la première cote fonctionnelle.

### III.2. Calcul des surépaisseurs d'usinage :

#### III.2.1. Copeau minimum :

Lorsque la profondeur de passe est trop faible, l'outil ne coupe plus la matière, il se produit un écrouissage de la surface et une usure importante de l'outil, d'où on parle du copeau minimal noté **C<sub>pm</sub>**.

C'est l'épaisseur minimale de matière que l'outil doit enlever pour garantir :

- La qualité de la surface usinée.
- La coupe dans de bonnes conditions.

Modes d'usinage	Opérations	Copeaux minimal
<b>Tournage</b>	Ecroutage	1,5 à 3
	Ebauche sans écroutage	1
<b>Fraisage</b>	Ebauche après écroutage	0,5
	Demi-finition	0,5
<b>Rabotage</b>	Finition	0,2
<b>Rectification</b>	Finition	0,05
<b>Rodage</b>	Finition	0,03
<b>Brochage</b>	Finition	0,05

**Tableau 12** : Tableau indicatif des Valeurs du copeau minimal [2].

#### III.2.2. Tolérances économiques :

Pour chaque procédé de fabrication, suivant l'opération effectué (ébauche, demi-finition, finition), il existe une tolérance économique qui permet la réalisation de la cote de fabrication dans un intervalle satisfaisant, compte tenu la précision de la machine et du prix de revient.

Modes d'usinage	Ebauche	Demi-Finition	Finition
sciage	2	-	-
Tournage- Fraisage	0,5	0,25	0,05
Rabotage	0,5	0,25	0,1
Perçage	0,3	0,1	0,1
Alésage	0,3	0,15	0,03
alésage	0,2	0,1	0,03
Rectification	0,2	0,1	0,01
Brochage	0,1	0,03	0,01
Rodage	/	/	0,05

**Tableau 13 :** Tableau indicatif des valeurs de IT sur les côtes de fabrication [2].

### III.2.3. Choix des Tolérances pour les cotes de brut :

**Tolérance L :** Elles s'appliquent pour des pièces acceptant des tolérances larges.

**Tolérance A :** Elles correspondent à l'utilisation de modèles en bois fixés sur plaques.

**Tolérance B :** Elles nécessitent des modèles métalliques, plaques modèles, etc.

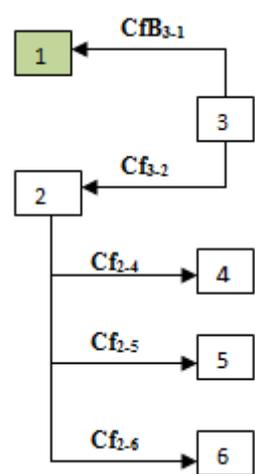
**Tolérance P :** Elles concernent les cotes indépendantes des surfaces de départ d'usinage.

Cote Nominal	Tolérance de position (cotes y)						Tolérances d'éléments (cotes l)		
	Plus grande dimension de la pièce								
	≤250			250 à 1000			P <sub>L</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>
L	A	B	L	A	B				
≤16	4	2	2	4	3	2	4	4	4
16 à 14	4	2	2	4	3	2	6	6	4
40 à 65	4	4	2	4	4	2	12	8	6
65 à 100	4	4	2	6	4	2	12	8	6
100 à 160	6	4	2	6	4	2	14	10	8
160 à 250	8	4	4	8	6	4	16	12	10
250 à 400				10	6	5			

**Tableau 14 :** Tableau des valeurs de tolérance des cotes de brut-Fontes malléables-Fonte à graphite sphéroïdal - aciers.

Simulation d'usinage suivant l'axe $\vec{Ox}$						
Conditions	Schéma	Rep	C <sub>min</sub>		IT	N °de chaîne
			→ Min	← Max		
Cotes bureau d'études		1	136,5	137,5	1	
		2	179,7	180,3	0,6	
		3	59,2	60,8	1,6	
		4	24,2	25,8	1,6	
		5	20,27	20,35	0,32	
		6	39,2	40,8	1,6	
		7	31,5	32,5	1	
Croquis de la pièce						
Copeaux		8	0,2			
		9	0,2			
Cotes de brut		Cf <sub>6-1</sub>	137,7	147,7	10	8
		Cf <sub>2-10</sub>	180,5	192,5	12	9
Cotes de fabrication		Cf <sub>6-2</sub>	136,5	137,5	1	1
		Cf <sub>2-9</sub>	179,7	180,5	0,6	2
		Cf <sub>2-5</sub>	59,2	60,8	1,6	3
		Cf <sub>2-4</sub>	24,2	25,8	1,6	4
		Cf <sub>3-4</sub>	24,2	25,8	1,6	5
		Cf <sub>8-6</sub>	39,2	40,8	1,6	6
		Cf <sub>8-7</sub>	31,5	32,5	1	7
Chaîne N °1		1		136,5	1	
		Cf <sub>5-2</sub>	136,5		1	1
Chaîne N °2		2		179,7	0,6	
		Cf <sub>2-9</sub>	179,7		0,6	2
Chaîne N °3		3		59,2	1,6	
		Cf <sub>2-5</sub>	59,2		1,6	3
Chaîne N °4		4		24,2	1,6	
		Cf <sub>2-4</sub>	24,2		1,6	4
Chaîne N °5		5		20,27	0,32	
		Cf <sub>3-4</sub>	20,27		0,32	5
Chaîne N °6		6		39,2	1,6	
		Cf <sub>9-6</sub>	39,2		1,6	6
Chaîne N °7		7		31,5	1	
		Cf <sub>9-8</sub>	31,5		1	7
Chaîne N °8		8		0,2	11	
		Cf <sub>6-2</sub>		137,5	1	
		Cf <sub>6-1</sub>	137,7		10	8
Chaîne N °9		9		0,2	12,6	
		Cf <sub>9-2</sub>		180,3	0,6	
		Cf <sub>2-10</sub>	180,5		12	9

Simulation d'usinage suivant l'axe $oy$						
Conditions	Schéma	Rep	$C_{min}$		IT	N° de chaîne
			Min	Max		
Cotes bureau d'études		1	9,71	10,29	0,58	
		2	19,58	20,42	0,84	
		3	21,58	22,42	0,84	
		4	42	43	1	
Cotes de brut		$Cf_{3-1}$	10,49	14,49	4	5
		$Cf_{3-2}$	9,71	10,29	0,58	1
Cotes de fabrication		$Cf_{2-4}$	19,58	20,42	0,84	2
		$Cf_{2-5}$	21,58	22,42	0,84	3
		$Cf_{2-6}$	42	43	1	4
Chaîne N°1		1		9,71	0,58	
		$Cf_{2-3}$	9,71		0,58	1
Chaîne N°2		2		19,58	0,84	
		$Cf_{2-4}$	19,58		0,84	2
Chaîne N°3		3		21,58	0,84	
		$Cf_{2-5}$	21,58		0,84	3
Chaîne N°4		4		42	1	
		$Cf_{2-6}$	42		1	4
Chaîne N°5		5		0,2	4,58	
		$Cf_{3-2}$		10,29	0,58	
		$Cf_{1-3}$	10,49		4	5



Simulation d'usinage suivant l'axe oz

Conditions	Schéma	Rep	C <sub>min</sub>		IT	N ° de chaîne
			Min	Max		
Cotes bureau d'études		1	32,425	32,575	0,15	
		2	31	31,115	0,015	
		3	28,925	29,075	0,15	
		4	15,75	16,25	0,5	
		5	17,505	17,517	0,014	
		6	23,106	23,125	0,02	
Croquis de la pièce						
Copeaux		7	0,2			
		8	0,5			
		9	0,5			
		10	0,2			
		11	0,5			
		12	0,5			
		13	0,2			
		14	0,5			
Cotes de brut		CFB <sub>1-7</sub>	11,55	15,55	4	7
		CFB <sub>1-12</sub>	24,625	30,625	6	12
		CFB <sub>1-13</sub>	23,725	28,725	6	13
Cotes de fabrication		Cf <sub>1-18</sub>	32,425	32,575	0,15	1
		Cf <sub>1-17</sub>	31	31,015	0,015	2
		Cf <sub>1-14</sub>	28,925	29,075	0,15	3
		Cf <sub>1-3</sub>	15,75	16,25	0,5	4
		Cf <sub>1-6</sub>	17,505	17,517	0,014	5
		Cf <sub>1-9</sub>	23,106	23,125	0,02	6
		Cf <sub>1-4</sub>	16,75	17,25	0,5	8
		Cf <sub>1-5</sub>	17,25	17,5	0,25	9
		Cf <sub>1-10</sub>	23,325	23,375	0,05	10
		Cf <sub>1-11</sub>	23,875	24,125	0,25	11
Chaîne N °1		1		32,425	0,15	
		Cf <sub>1-18</sub>	32,425	32,425	0,15	1
Chaîne N °2		2		31	0,015	
		Cf <sub>1-17</sub>	31	31	0,015	2
Chaîne N °3		3		28,925	0,15	
		Cf <sub>1-14</sub>	28,925	28,925	0,15	3
Chaîne N °4		4		15,75	0,5	
		Cf <sub>1-3</sub>	15,75	15,75	0,5	4
Chaîne N °5		5		17,505	0,014	
		Cf <sub>1-6</sub>	17,505	17,505	0,014	5
Chaîne N °6		6		23,106	0,02	
		Cf <sub>1-9</sub>	23,106	23,106	0,02	6
Chaîne N °7		7		0,2	4,5	
		CFB <sub>1-2</sub>		15,55	4	7
		Cf <sub>1-3</sub>	15,75	15,75	0,5	
Chaîne N °8		8		0,5	1	
		Cf <sub>1-3</sub>		16,25	0,5	8
		Cf <sub>1-4</sub>	16,75	16,75	0,5	
Chaîne N °9		9		0,5	0,75	
		Cf <sub>1-4</sub>		16,75	0,5	9
		Cf <sub>1-5</sub>	17,25	17,25	0,25	
Chaîne N °10		10		0,2	0,07	
		Cf <sub>1-10</sub>	23,325	23,125	0,05	10
		Cf <sub>1-9</sub>	23,325	23,325	0,02	
Chaîne N °11		11		0,5	0,3	
		Cf <sub>1-10</sub>	23,375	23,375	0,05	11
		Cf <sub>1-11</sub>	23,875	23,875	0,25	
Chaîne N °12		12		0,5	6,25	
		Cf <sub>1-11</sub>	24,125	24,125	0,25	12
		CFB <sub>12</sub>	24,625	24,625	6	
Chaîne N °13		13		0,2	6,15	
		Cf <sub>1-14</sub>	28,925	28,725	0,15	13
		CFB <sub>1-13</sub>	28,925	28,925	6	
Chaîne N °14		14		0,5	0,65	
		Cf <sub>1-15</sub>	29,575	29,075	0,5	14
		Cf <sub>1-14</sub>	29,575	29,575	0,15	
Chaîne N °15		15		0,5	0,75	
		Cf <sub>1-15</sub>	30,075	30,075	0,5	15
		Cf <sub>1-16</sub>	30,575	30,575	0,25	

# Chapitre IV:

## Chapitre IV:

Conditions de coupe

## IV. Régime de coupe :

### IV.1. Choix des équipements :

Pour une production en série, on établit une analyse de fabrication élaborée, le mieux possible sur une pièce représentation un gain de temps, assez important et un cout minimal.

Le choix des types d'outils et des machines-outils se porte comme suit :

### IV.2. Choix des machines :

Afin d'arriver à choisir les machines-outils, les mieux appropriées à l'exécution d'une fabrication bien déterminée, on doit au préalable connaitre certains renseignements utiles :

- ❖ Limites d'utilisation.
- ❖ Caractéristiques de la machine-outil.
- ❖ Les valeurs de déformation des ensembles machines – pièces possibles.
- ❖ Les équipements spéciaux possibles.
- ❖ La précision.
- ❖ Le mode d'action de l'outil.

Tandis que les conditions à satisfaire sont :

- ❖ Les tolérances dimensionnelles et géométriques.
- ❖ La rugosité.
- ❖ Le prix de revient.

Puisque le choix des machines-outils doit se porter sur celles qui se trouvent dans le parc machine de la S.N.V.I, alors nous avons optés pour les machines suivantes :

- ❖ Une fraiseuse Verticale ROUCHAUD.
- ❖ Une tour à commande numérique.
- ❖ Une perceuses Radiales GSP.

#### a. Caractéristiques des machines :

- ❖ Fraiseuse Verticale ROUCHAUD :

- Surface utile de la table 2250x450.
- Rainures 18H7.
- Entre axe 100mm.
- Puissance 20 Ch. (14,72KW)

<b>55</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>
<b>200</b>	<b>250</b>	<b>315</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>800</b>

**Tableau 15 :** Gamme des vitesses de rotation (tr/min).

<b>25</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>
<b>250</b>	<b>320</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>630</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>1250</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>

**Tableau N16:** Gamme des vitesses d'avances (mm/min).

## ❖ Perceuse Radiales GSP :

- Cours de tête                      325mm.
- Poids                                    3200kg.
- Table                                    720x1300.
- Entre axe                              180mm.
- Cône morse                          N°4.
- Largeur des rainures              24mm.
- Puissance                              4KW.

<b>40</b>	<b>56</b>	<b>80</b>	<b>112</b>	<b>160</b>	<b>224</b>
<b>320</b>	<b>450</b>	<b>640</b>	<b>900</b>	<b>1250</b>	<b>1800</b>

**Tableau 17 :** Gamme des vitesses de rotation (tr/min).

<b>0,045</b>	<b>0,065</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>
<b>0,17</b>	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,5</b>

**Tableau 18 :** Gamme des vitesses d'avance (mm/min).

## ❖ Tour à commande numérique :

- Type 16jj3RT12
- Longueur 5000 mm
- Largeur 2400 mm
- Hauteur 2100 mm
- Puissance 22 mm
- Poids 7000Kg
- Fréquence de rotation De 20à32000 Tour/ min

**IV.3. Choix des outils de coupe [6] :**

La coupe des métaux est un procédé de mise en forme, des pièces mécaniques par l'enlèvement de matière, à l'aide d'un outil coupant. Afin de réaliser un choix de l'outil de coupe adéquat, il faut prendre en considération certains paramètres :

- Type d'opération.
- La matière de la pièce.
- Les différentes formes géométriques.

La **figure 5** illustre les démarches à suivre pour effectuer ce choix adéquat.

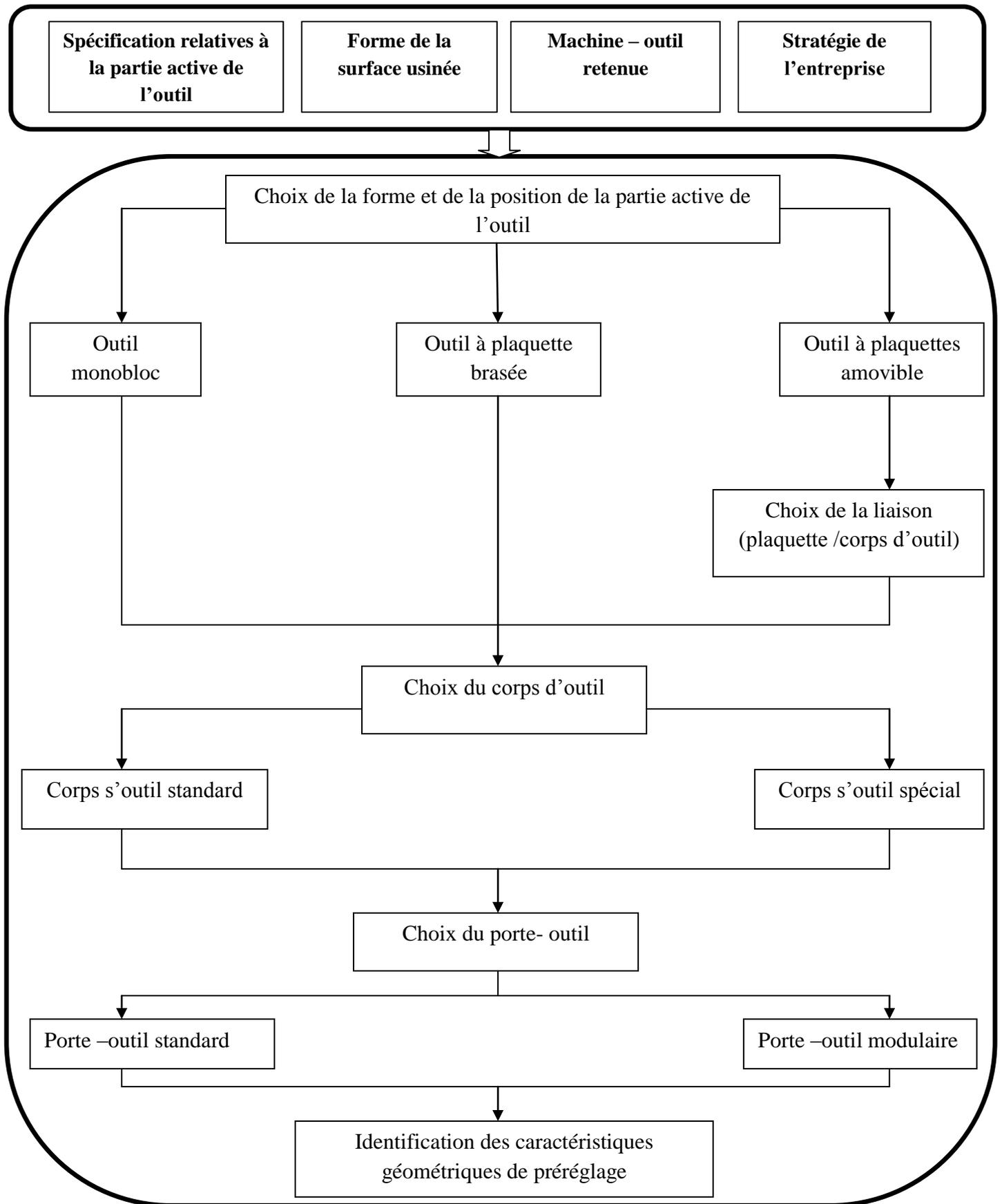


Figure 5 : Démarche de choix d'un outillage de coupe [8]

- **Choix d'une plaquette en carbure:**

Celle-ci est destinée à être fixée sur les queues d'outils par bride (plaquette sans trou) ou par l'intermédiaire du trou central. Elles sont désignées par sept symboles obligatoires, et dépendent du type d'opération et de la forme à obtenir.

- **Choix du rayon de bec d'une plaquette en carbure [8] :**

Le choix du rayon de bec est fonction de l'opération à effectuer, ébauche ou finition

**Ebauche :**

Afin d'obtenir une arête de coupe résistante, il faut choisir le rayon de bec le plus grand possible.

**Remarque :**

- Un grand rayon permet une grande avance.
- En cas de risque de vibration, il faut réduire le rayon de bec.

**Finition :**

L'état de surface et les tolérances qu'il est possible d'obtenir sont essentiellement fonction du rayon de bec et de l'avance.

**Remarque:**

- L'état de surface peut être amélioré avec une augmentation de la vitesse de coupe et une géométrie de coupe positive ( $\gamma$  positif).
- En cas de risque de vibrations, il faut réduire le rayon de bec.

Vu la disponibilité des outils au niveau du magasin, le choix a été effectué sur les outils suivants :

- ❖ **Choix des outils pour le fraisage:**

- **Phase 200:**

- **Surfaçage de 1F.**

Fraise à surfacer en carbure métallique de  $\varnothing$  160mm, Z = 10dents

Plaquette TNMA 16 04 12, nuance K20.

❖ **Choix des outils pour le perçage :**

• **Phase 300 :**

➤ **Perçage de 13 F.**

On a choisi un foret hélicoïdal en A.R.S  $\varnothing$  6,8 mm.

➤ **Chanfreinage 14F.**

On a choisi un foret hélicoïdal en A.R.S  $\varnothing$  12 mm.

➤ **Taroudage 19 F.**

On a choisi un taraud M8 en A.R.S.

❖ **Choix des outils pour le tournage Phase 400:**

➤ **Dressage 18F, 5F, 17F :**

P.CNMA 12 04 08, nuance GC315.

➤ **Alésage 16 E :**

P. CNMG 12 04 08, nuance GC415.

➤ **Alésage 16F, 11F, et Chanfreinage 10F :**

P.CNMG 12 04 04, nuance GC3015.

➤ **Gorge 15F :**

Molette 67 465.

❖ **Choix des outils pour le tournage Phase 500 :**

➤ **Dressage 2F, et Chariotage 6E :**

P.CNMA 12 04 08, nuance GC315.

➤ **Chariotage 6F, Dressage 12F et Chanfreinage 7F :**

P.CNMG 12 04 04, nuance GC415.

➤ **Alésage 8E, 8F, 9F, Dressage 3F et Chanfreinage 4F:**

P.TPGN 11 03 04, nuance GC3015.

Les tableaux suivants représentent les paramètres de coupe.

**Fraisage :**

Matière	Fraise à plaquette amovible en carbure				Dureté
	$V_{45}$ de coupe		Avance par dent		
	Ebauche	Finition	Ebauche	Finition	
Fonte GS Feritique	58-62	75-80	0,3-0,4	0,1-0,2	220-285 HB
Fonte GS Perlitique	115-125	160-170	0,4-0,5	0,1-0,2	140-180 HB

**Tableau 19 :** Valeurs indicatives des conditions de coupe en fraisage [6].

**Perçage :**

Matière	Forets hélicoïdaux en ARS qualité $\geq 11$					Dureté HB
	$V$ (m/min)	Avance (mm/tr) $D \geq 6$ $F = K \cdot D^{0.76}$	Avance (mm/tr) $D \leq 6$ $F = K \cdot D^{0.76}$	Angle		
				$\sigma$	$\gamma$	
Fonte GS Feritique	13 à 15	0.033	0.010	118	18 à 25	220 à 285 HB
Fonte GS Perlitique	34 à 38	0.033	0.015	118	18 à 25	140 à 180 HB

**Tableau 20 :** Valeurs indicatives des conditions de coupe en perçage [6].

**Note :** perçage avec canons guides (prendre  $V_c=0.8$ ).

**Taroudage :**

Désignation		Taroudage
Matière	Résistance $daN/mm^2$ ou dureté HB	Vitesse de coupe
Fonte GS Ferritique	220-285 HB	2-5
Fonte GS Perlitique	140 – 180 HB	10 - 14

**Tableau 21 :** Valeurs indicatives des conditions de coupe en taroudage [6].

## IV.4. Tableaux des valeurs indicatives des coefficients de Taylor :

Matière / Procédés	Acier	Fonte Grise	Fonte malléable	Alliage d'aluminium
Tournage	-8.5	-10	-8.5	-2.5
Fraisage	-5	-6.5	-5	-2
Perçage	-5	-8,5	-8,5	-2,5

Tableau 22 : Usinage effectué avec des outils en Acier Rapide Supérieure (ARS) [9].

Matière / Procédés	Acier	Fonte Grise	Fonte malléable	Alliage d'aluminium
Tournage	-4,5	-5	-5	-2,5
Fraisage	-3	-3	-3	-2
Perçage	-3,5	-2,5	-2,5	-2,5

Tableau 23 : Usinage effectué avec des outils en carbure métallique [9].

Matière / Procédés	Taraudage	
Fonte Grise	ARS	-1.6
	Carbure	/

Tableau 24 : Tableau des valeurs indicatives de K (pour la durée de vie du taraud) [6].

## Remarque :

Dans le cas des outils en carbure métallique  $T_0 = 45 \text{ min}$ , et pour les outils en acier rapide, il est fixé à  $90 \text{ min}$  [6].

**IV.5. Calcul des conditions de coupe :****a. formules de calcul des conditions de coupe [6] :**❖ **Cas du fraisage :****Fréquence de rotation de la broche (tr/min).**

$$N_t = 1000 \times V_c / \pi \times D \dots\dots\dots(1)$$

Avec D : diamètre de la fraise (mm).

**Vitesse de coupe réelle (m/min).**

$$V_1 = \pi \times D \times N_r / 1000 \dots\dots\dots(2)$$

**Vitesse d'avance par tour (mm/tr).**

$$f = f_z \times z \dots\dots\dots(3)$$

**Vitesse d'avance (mm/min).**

$$V_f = f \times N_r \dots\dots\dots(4)$$

**Durée de vie de l'arrête de coupe (min).**

$$T_1 = T_0 (V_1 / V_0)^n \dots\dots\dots(5)$$

❖ **Cas du perçage :****Avance par tour (mm/tr).**

$$f = K_0 \times D^{0,76} \dots\dots\dots(6)$$

Avec D : diamètre du foret (mm).

**Vitesse de coupe théorique (m/min).**

$$V_0 = V \times K_3 \dots\dots\dots(7)$$

**Fréquence de rotation (tr/min).**

$$N = 1000 \times V_0 / \pi \times D \dots\dots\dots(8)$$

**Vitesse de coupe réelle (m/min).**

$$V_1 = \pi \times D \times N_r / 1000 \dots\dots\dots(9)$$

**Vitesse d'avance (mm/min).**

$$V_f = f \times N_r \dots\dots\dots(10)$$

**Durée de vie de l'arrête de coupe (min).**

$$T_1 = T_0 (V_1 / V_0)^n \dots\dots\dots(11)$$

❖ **Cas du taraudage :**

**Fréquence de rotation de la broche (tr/min).**

$$N_t = 1000 \times V_c / \pi \times D \dots\dots\dots(12)$$

Avec D : diamètre de taraud (mm).

**Vitesse de coupe réelle (m/min).**

$$V_1 = \pi \times D \times N_r / 1000 \dots\dots\dots(13)$$

**Avance par tour (mm/tr).**

$$f = pas \dots\dots\dots(14)$$

**Vitesse d'avance (mm/min).**

$$V_f = f \times N_r \dots\dots\dots(15)$$

**Durée de vie de l'arrête de coupe (min).**

$$T_1 = T_0 (V_1 / V_0)^{-K} \dots\dots\dots(16)$$

❖ **Cas du tournage :**

**Fréquence de rotation (tr/min)**

$$N = V_c \times 1000 / \pi \times D \dots\dots\dots(17)$$

**Vitesse d'avance (mm/min).**

$$V_f = f \times N \dots\dots\dots(18)$$

**La Longueur de coupe :**

**Dressage :**

$$L_c = 2 + a_p + tgk + \frac{(D_1 - D_2)}{2} \dots\dots\dots(19)$$

**Alésage, Chanfreinage, Gorgeage :**

$$L_c = 2 + L \dots\dots\dots(20)$$

**Le temps technologique (min).**

$$T_{ich} = L_c / V_f \dots\dots\dots(21)$$

**b. Calcul des conditions de coupe :**

❖ **Cas du fraisage :**

**Phase 200 :**

**Surfaçage 1F**

**Données :** D = 160 mm                      Z = 10 dent                       $f_z = 0.2$  mm/dent

$V_c = 165$  m/min                      n = -3                       $T_0 = 45$  min

▪ **Fréquence de rotation de la broche :**

$$N_r = \frac{1000 \times 165}{\pi \times 160} = 328,26 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(1)$$

$$N_r = 315 \text{ tr / min}$$

▪ **Vitesse de coupe réelle :**

$$V_1 = \frac{\pi \times 160 \times 135}{1000} = 158,34 \text{ m / min} \dots\dots\dots(2)$$

- Vitesse d'avance par tour :

$$f = 0,2 \times 10 = 2 \text{ mm/tr} \dots\dots\dots(3)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 2 \times 315 = 630 \text{ mm/min} \dots\dots\dots(4)$$

- Durée de vie de l'arrête de coupe :

$$T_1 = 45 \times \left( \frac{158,34}{165} \right)^{-3} = 50,92 \text{ min} \dots\dots\dots(5)$$

#### ❖ Cas du perçage :

#### Phase 300 :

#### Perçage G<sub>4</sub>F :

**Données :** D = 6,8 mm V = 38 m/min k<sub>0</sub> = 0,033 k<sub>1</sub> = 0,8 n = -8,5

- Avance par tour :

$$f = 0,033 \times 6,8^{0,76} = 0,14 \text{ mm/tr} \dots\dots\dots(6)$$

- Vitesse de coupe théorique :

$$V_0 = 38 \times 0,8 = 30,4 \text{ m/min} \dots\dots\dots(7)$$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000}{\pi \times 6,8} = 1423,03 \text{ tr/min} \dots\dots\dots(8)$$

$$N_r = 1250 \text{ tr/min}$$

- Vitesse de coupe de réelle :

$$V_1 = \frac{\pi \times 6,8 \times 1250}{1000} = 26,70 \text{ m/min} \dots\dots\dots(9)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,14 \times 1250 = 175 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(10)$$

- Durée de vie de l'arrête de coupe :

$$T_1 = 90 \times \left( \frac{26,70}{30,4} \right)^{-8,5} = 271,22 \text{ min} \dots\dots\dots(11)$$

### Taroudage 19 F:

**Données :** D = 8 mm    V = 14 m/min    Pas = 1.25    K = -1.6

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 14}{\pi \times 8} = 557,04 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(12)$$

$$N_r = 450 \text{ tr / min}$$

- Vitesse de coupe de réelle :

$$V_1 = \frac{\pi \times 8 \times 450}{1000} = 11,31 \text{ m / min} \dots\dots\dots(13)$$

- Avance par tour :

$$f = 1,25 \text{ mm / tr} \dots\dots\dots(14)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 1,25 \times 450 = 562,5 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(15)$$

- Durée de vie de l'arrête de coupe :

$$T_1 = 90 \times \left( \frac{11,31}{14} \right)^{1,6} = 63,97 \text{ min} \dots\dots\dots(16)$$

### ❖ Cas du tournage :

**Phase 400 :**

**Dressage 18F :**

**Données :** D<sub>1</sub> = 58 mm    D<sub>2</sub> = 58 mm    V<sub>c</sub> = 185 m / min    f = 0.35 mm / tr

a<sub>p</sub> = 4 mm    K = -5

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 185}{\pi \times 114} = 516,55 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,35 \times 516,55 = 180,79 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 4 \times \text{tg}(-5) + \frac{(114 - 58)}{2} = 29,65 \text{ mm} \dots\dots\dots(19)$$

- Le temps technologique :

$$T_{tech} = \frac{29,65}{180,79} = 0,16 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### Alésage 16 E :

**Données :** D = 62 mm      V<sub>c</sub> = 180 m / min      f = 0.38 mm / tr      a<sub>p</sub> = 3.5 mm  
L = 25 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 180}{\pi \times 62} = 924,13 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,38 \times 924,13 = 351,17 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 25 = 27 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{27}{351,17} = 0,07 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

**Alésage 16 F :**

**Données :** D = 62 mm       $V_c = 225 \text{ m / min}$       f = 0.15 mm / tr       $a_p = 0.4 \text{ mm}$

L = 25 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 225}{\pi \times 62} = 1155,16 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,15 \times 1155,16 = 173,27 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 25 = 25 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{27}{173,27} = 0,15 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

**Alésage G<sub>1</sub>F:**

**Données :** D = 58 mm       $V_c = 225 \text{ m / min}$       f = 0.15 mm / tr       $a_p = 0.4 \text{ mm}$

L = 60 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 225}{\pi \times 58} = 1234,82 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,15 \times 1234,82 = 185,22 \text{ mm/min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 60 + 2 = 62 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{62}{185,22} = 0,33 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

### Dressage 17F :

**Données :**  $D_1 = 62 \text{ mm}$        $V_c = 185 \text{ m/min}$        $f = 0.35 \text{ mm/tr}$        $a_p = 4 \text{ mm}$

$D_2 = 58 \text{ mm}$        $K = -5$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000}{\pi \times 62} = 949,80 \text{ tr/min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,35 \times 949,43 = 332,43 \text{ mm/min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 4 \times \text{tg}(-5) + \frac{(62 - 58)}{2} = 3,65 \text{ mm} \dots\dots\dots(19)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{3,65}{332,43} = 0,01 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

### Chanfreinage 10F :

**Données :**  $D = 65 \text{ mm}$        $V_c = 225 \text{ m/min}$        $f = 0.15 \text{ mm/tr}$        $a_p = 0.4 \text{ mm}$

$L = 1,5 \text{ mm}$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 225}{\pi \times 65} = 1101,84 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,15 \times 1101,84 = 165,28 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 1,5 + 2 = 3,5 \text{ mm} \dots\dots\dots(19)$$

- Le temps technologique :

$$T_t = \frac{3,5}{165,28} = 0,02 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### Gorgeoge 15F :

**Données :** D = 65 mm       $V_c = 125 \text{ m / min}$       f = 0.12 mm / tr

$$L = 2,15 \text{ mm}$$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 125}{\pi \times 65} = 612,13 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,12 \times 612,13 = 73,45 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2,15 + 2 = 4,15 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_t = \frac{4,15}{73,45} = 0,06 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

## ❖ Cas du tournage :

## ❖ Phase 500 :

**Dressage 2F :**

**Données :**  $D_1 = 46,3 \text{ mm}$        $D_2 = 32 \text{ mm}$        $V_c = 185 \text{ m / min}$

$a_p = 4 \text{ mm}$        $f = 0,35 \text{ mm / tr}$        $K = -5$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 185}{\pi \times 46,3} = 1271,86 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,35 \times 1271,86 = 445,15 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 4 \times \text{tg}(-5) + \frac{(46,3 - 32)}{2} = 8,80 \text{ mm} \dots\dots\dots(19)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{8,80}{445,15} = 0,02 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

**Chariotage G<sub>3</sub>E :**

**Données :**  $D = 46,3 \text{ mm}$        $V_c = 185 \text{ m / min}$        $f = 0,35 \text{ mm / tr}$        $a_p = 4 \text{ mm}$

$L = 40 \text{ mm}$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 185}{\pi \times 46,3} = 1271,86 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,35 \times 1271,86 = 445,151 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 40 + 2 = 42 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{42}{445,151} = 0,09 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

### Chariotage G<sub>3</sub>F :

**Données :** D = 46,3 mm      V<sub>c</sub> = 185 m / min      f = 0.15 mm / tr      a<sub>p</sub> = 4 mm

$$L = 40 \text{ mm}$$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 185}{\pi \times 46,3} = 1271,86 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,35 \times 1271,86 = 445,151 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 40 + 2 = 42 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{42}{190,779} = 0,22 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

### Chanfreinage 7F :

**Données :** D = 46.3 mm      V<sub>c</sub> = 185 m / min      f = 0.15 mm / tr

$$L = 1,5 \text{ mm}$$

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 185}{\pi \times 46,3} = 1271,86 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,15 \times 1271,86 = 190,78 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 1,5 + 2 = 2,5 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{2,5}{190,78} = 0,01 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### Alésage G<sub>2</sub>E et G<sub>2</sub>F :

**Données :** D = 35 mm      V<sub>c</sub> = 160 m / min      f = 0.11 mm / tr      L = 32 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 160}{\pi \times 35} = 1455,13 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,11 \times 1455,13 = 160,06 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 32 + 2 = 34 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{34}{160,06} = 0,21 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### Alésage 9F :

**Données :** D = 32 mm      V<sub>c</sub> = 160 m / min      f = 0.11 mm / tr      L = 54 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 160}{\pi \times 32} = 1591,55 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,11 \times 1591,55 = 175,07 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 54 + 2 = 56 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{56}{175,07} = 0,32 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### Chanfreinage 4F :

**Données :** D = 38 mm      V<sub>c</sub> = 160 m / min      f = 0.11 mm / tr      L = 1,5 mm

- Fréquence de rotation :

$$N_t = \frac{1000 \times 160}{\pi \times 38} = 1340,25 \text{ tr / min} \dots\dots\dots(17)$$

- Vitesse d'avance :

$$V_f = 0,11 \times 1340,25 = 147,43 \text{ mm / min} \dots\dots\dots(18)$$

- La longueur de coupe :

$$L_c = 1,5 + 2 = 2,5 \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

- Le temps technologique :

$$T_{ich} = \frac{2,5}{147,43} = 0,02 \text{ min} \dots\dots\dots(21)$$

#### IV.6. Efforts de coupe [6] :

L'effort de coupe caractérise l'action exercée par l'outil sur la pièce, sa valeur souvent élevée pour permettre la formation du copeau.

##### ➤ Les efforts de coupe :

L'enlèvement de matière à l'outil coupant, provoque sur l'outil un effort **F** qui se décompose en :

- Un effort de coupe principal **F<sub>c</sub>**.
- Un effort d'avance **F<sub>f</sub>**.
- Un effort de pénétration **F<sub>p</sub>**.

##### ➤ Pression spécifique de coupe :

A chaque matériau et type d'usinage donnés correspond une valeur expérimentale de pression spécifique de coupe qui a pour expression :

$$K_s = F_c / S \text{ (N/mm)}^2$$

Avec :

**K<sub>s</sub>**: Pression spécifique de coupe en (N/mm)<sup>2</sup>.

**F<sub>c</sub>** : effort de coupe en (N).

**S** : aire de la section de coupe en (mm)<sup>2</sup>.

La valeur de la pression spécifique de coupe « *K<sub>s</sub>* » est en fonction de différents facteurs d'influence :

$$K_s = C \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 [ ]$$

On a:

**C** : Coefficient dépend du matériau (N/mm)<sup>2</sup>. (**Voir tableau 25**)

**ρ<sub>1</sub> · ρ<sub>2</sub>** : étant fonction des angles de coupe.

**ρ<sub>1</sub> = h<sup>n</sup>** Avec : **h = f. sin Kr.**

**n = - 0.3** pour les fonts.

$K_r$ : Angle de direction d'arête.

-Pour le surfaçage les valeurs usuelles de  $K_r$  sont :  $75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ .

L'angle  $45^\circ$  nous permet :

- De diminuer les vibrations (section du copeau faible).
- Une tenue du bec de l'outil.
- D'évacuer les copeaux. [8]

$$\rho_2 = 1 + (m \cdot \theta)$$

$m = 0.01$  pour les fontes

$$\theta = \gamma_0 - \gamma_{\text{eff}} \quad \text{Avec : } \gamma_0 = 14^\circ \text{ et } \gamma_{\text{eff}} = -7^\circ$$

$\theta$ : C'est l'écart angulaire entre l'angle  $\gamma_0$  (essai de référence) et l'angle  $\gamma_{\text{eff}}$  (sa valeur est  $-7^\circ$  pour les fontes).

Positif		Négatif
Grand	Petit	
Arête fragile, écoulement du copeau continu	Frottement important du copeau sur la face de coupe	(Coupe négative) Réserver aux outils en carbure métallique et céramique. Bonne tenue aux efforts, les copeaux se brise facilement

**Tableau 25:** Influence de l'angle de coupe  $\gamma$  sur la coupe [8].

Matériau	C (N/mm <sup>2</sup> )
FGS Ferritique	950
FGS Perlitique	1400

**Tableau 26 :** valeurs indicatives de « C » [6].

**IV.7. Calcul des efforts de coupe :****a. Formules des efforts de coupe [6].****❖ Surfaçage :****Pression spécifique de coupe (N/mm<sup>2</sup>) :**

$$K_s = C \left( \sin K_r \frac{360 \times f \times L}{\pi \times D \times \varphi} \right) (1 + m\theta) \dots\dots\dots(20)$$

$$\varphi_1 = \text{Arcsin} \left[ \left( \frac{L}{2} \right) - e / (e \times 10) \right]$$

$$\varphi_2 = \text{Arcsin} \left[ \left( \frac{L}{2} \right) + e / (e \times 10) \right]$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

**Effort de coupe (N) :**

$$F_c = K_s \times f \times a_p \dots\dots\dots(21)$$

**Effort de pénétration (N) :**

$$F_p = 0,3 \times F_c \dots\dots\dots(22)$$

**Effort d'avance (N) :**

$$F_f = F_c \times (0,15 - 0,1 \cos K_r) \dots\dots\dots(23)$$

**Puissance de coupe (KW) :**

$$P_c = \frac{K_s \times a_p \times f_z \times V_1 \times z \times L}{192,27 \times D \times 10^3} \dots\dots\dots(24)$$

**Puissance absorbée (KW) :**

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \dots\dots\dots(25)$$

**Longueur de coupe (mm) :**

$$L_c = 2 + e + L + R \dots\dots\dots(26)$$

**Temps technologique (min) :**

$$T_t = \frac{L_c}{V_f} \dots\dots\dots(27)$$

❖ **Cas du perçage :**

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

$$K_s = C \times \left( \frac{f}{2} \times \sin K_r \right)^n (1 + m\theta) \dots\dots\dots(28)$$

**Effort de coupe (N) :**

$$F_c = K_s \times f \times D / 4 \dots\dots\dots(29)$$

**Effort d'avance (N) :**

$$F_f = (K_s \times f \times D \times \sin K_r) / 2 \dots\dots\dots(30)$$

**Moment de torsion (N.mm) :**

$$M_t = F_c \times D / 2 \dots\dots\dots(31)$$

**Puissance de coupe (KW) :**

$$P = F_c \times V_1 / 60 \dots\dots\dots(32)$$

**Puissance absorbée (KW) :**

$$P_a = \frac{P}{\eta} \dots\dots\dots(33)$$

**Longueur de coupe (mm) :**

$$L_c = 2 + L + D / 2 (1 + \operatorname{tg}(\delta / 2)) \dots\dots\dots(34)$$

**Temps technologique (min) :**

$$T_t = \frac{L_c}{V_f} \dots\dots\dots(35)$$

**Taroudage 19 F:**

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

$$K_s = C \times \left( \frac{f}{2} \times \sin K_r \right)^n (1 \times \sin \theta) \dots\dots\dots(36)$$

**Effort de coupe (N) :**

$$F_c = K_s \times f \times D / 4 \dots\dots\dots(37)$$

**Effort d'avance (N) :**

$$F_f = (K_s \times f \times D \times \sin K_r)^{1/2} \dots\dots\dots(38)$$

**Moment de torsion (N.mm) :**

$$M_t = F_c \times D / 2 \dots\dots\dots(39)$$

**Puissance de coupe (KW) :**

$$P = F_c \times V_1 / 60 \dots\dots\dots(40)$$

**Puissance absorbée (KW) :**

$$P_a = 3 \times R_m \times (P)^2 \times V_1 / 85,6 \dots\dots\dots(41)$$

**Longueur de coupe (mm) :**

$$L_c = 2 + L \dots\dots\dots(42)$$

**Temps technologique (min) :**

$$T_t = \frac{L_c}{V_f} \dots\dots\dots(43)$$

❖ **Cas de tournage :**

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

$$K_s = C \times (f \times \sin K_r) \times (1 + m \times \theta) \dots\dots\dots(44)$$

**Effort de coupe (N) :**

$$F_c = K_s \times f \times a_p \dots\dots\dots(45)$$

**Effort d'avance (N) :**

$$F_f = F_c \times (0,15 - 0,1 \times \cos K_r) \dots\dots\dots(46)$$

**Effort de pénétration (N) :**

$$F_p = 0,3 \times F_c \dots\dots\dots(47)$$

**Puissance de coupe (KW) :**

$$P_c = \frac{F_c \times V_c}{60 \times 1000} \dots\dots\dots(48)$$

**Puissance absorbée (KW) :**

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \dots\dots\dots(49)$$

**b. Calcul des efforts de coupe :****❖ Cas du fraisage :****Phase 200 :****Surfaçage 1F****Données :**  $D_z = 160 \text{ mm}$      $Z = 10 \text{ dents}$      $f = 2 \text{ mm/tr}$      $a_p = 0,5 \text{ mm}$      $n = -3$  $m = 0.01$      $f_z = 0.2 \text{ mm/dents}$      $V_1 = 158,34 \text{ m/min}$      $K = 45^\circ$  $C = 1400 \text{ N/mm}^2$      $L = 114 \text{ mm}$      $\varphi = 92,11^\circ$      $\eta = 0,85$      $\theta = 21^\circ$ **▪ Pression spécifique de coupe :**

$$K_s = 1400 \times \left( \sin 45^\circ \times \frac{360 \times 2 \times 114}{\pi \times 160 \times 92,11} \right)^{-0,3} (1 + 0,01 \times 21)$$

$$K_s = 1582,96 \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots(20)$$

$$\varphi_1 = \text{Arcsin} \left[ \frac{\left( \frac{114}{2} \right)^{-8}}{8 \times 10} \right] = 37,77^\circ$$

$$\varphi_2 = \text{Arcsin} \left[ \frac{\left( \frac{114}{2} \right)^{+8}}{8 \times 10} \right] = 54,34^\circ$$

$$\varphi = 37,77 + 54,34 = 92,11^\circ$$

**▪ Effort de coupe :**

$$F_c = 1582,96 \times 0,5 \times 2 = 1582,96 \text{ N} \dots\dots\dots(21)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 1582,96 = 474,88 \text{ N} \dots\dots\dots(22)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 1582,96 \times (0,15 - 0,1 \cos 45) = 125,51 \text{ N} \dots\dots\dots(23)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{1528,96 \times 0,5 \times 0,2 \times 158,34 \times 10 \times 114}{10^3 \times 192,27 \times 160} = 0,93 \text{ KW} \dots\dots\dots(24)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{0,93}{0,85} = 1,09 \text{ KW} \dots\dots\dots(25)$$

- Longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 2 + 114 + \left( \frac{160}{2} \right) = 198 \text{ mm} \dots\dots\dots(26)$$

- Temps technologique :

$$T_t = \frac{198}{630} = 0,31 \text{ min} \dots\dots\dots(27)$$

$$T_t = 31 \text{ Centième de minutes}$$

#### ❖ Cas du perçage :

#### Phase 300 :

#### Perçage G<sub>4</sub>F :

$$\text{Données : } D = 6,8 \text{ mm} \quad f = 0,14 \text{ mm/tr} \quad V_1 = 26,7 \text{ m/min} \quad n = -0,3$$

$$\theta = 21^\circ \quad K_r = 59^\circ \quad m = 0,01 \quad C = 1400 \text{ N/mm}^2 \quad \eta = 0,85 \quad L = 224 \text{ mm}$$

- Pression spécifique de coupe :

$$K_s = 1400 \times \left( \frac{0,14}{2} \times \sin 59 \right)^{-0,3} (1 + 0,01 \times 21) = 3939,71 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(28)$$

- Effort de coupe :

$$F_c = 3939,71 \times 0,14 \times \frac{6,8}{4} = 937,65 \text{ N} \dots\dots\dots(29)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = \left( \frac{3939,71 \times 0,14 \times 6,8 \times \sin 59}{2} \right) = 1607,45 \text{ N} \dots\dots\dots(30)$$

- Moment de torsion :

$$M_t = \frac{937,65 \times 6,8}{2} = 3188,01 \text{ N} \dots\dots\dots(31)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{937,65 \times 26,70}{60} = 417,25 \text{ W} \dots\dots\dots(32)$$

- Puissance absorbée :

$$P_a = \frac{0,41}{0,85} = 0,48 \text{ KW} \dots\dots\dots(33)$$

- Longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 22 + \frac{6,8}{2} \left( 1 + \text{tg} \left( \frac{118}{2} \right) \right) = 33,06 \text{ mm} \dots\dots\dots(34)$$

- Temps technologique :

$$T_t = \frac{33,06}{137} = 0,24 \text{ min} \dots\dots\dots(35)$$

$$T_t = 24 \text{ Centième de minute}$$

**Taraudage 19 F:**

$$\text{Données : } D_z = 8 \text{ mm} \quad f = 1,25 \text{ mm / tr} \quad V_1 = 11,31 \text{ m/min} \quad n = -0,3$$

$$\theta = 21^\circ \quad L = 20 \text{ mm} \quad K_r = 59^\circ \quad R_m = 180 \text{ dan / mm}^2$$

$$C = 1400 \text{ N/mm}^2 \quad \eta = 0,85 \quad e = 2 \text{ mm} \quad \text{Pas} = 1,25$$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times \left( \frac{1,25}{2} \times \sin 59^\circ \right)^{-0,3} (1 \times \sin 21^\circ) = 605,02 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(36)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 605,02 \times 1,25 \times \frac{8}{4} = 1512,55 \text{ N} \dots\dots\dots(37)$$

- Effort d'avance:

$$F_f = (605,02 \times 1,25 \times 8 \times \sin 59^\circ)^{1/2} = 72,01 \text{ N} \dots\dots\dots(38)$$

- Moment de torsion :

$$M_t = 1512,55 \times \frac{8}{2} = 6050,2 \text{ N} \dots\dots\dots(39)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{3 \times 400 \times (1,25)^2 \times 11,31}{85,6} = 247,74 \text{ W} \dots\dots\dots(40)$$

$$P_c = 0,24 \text{ KW}$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{0,24}{0,85} = 0,28 \text{ KW} \dots\dots\dots(41)$$

- Longueur de coupe :

$$L_c = 2 + 20 = 22 \text{ mm} \dots\dots\dots(42)$$

- Temps technologique :

$$T_t = \frac{22}{562,5} = 0,04 \text{ min} \dots\dots\dots(43)$$

$$T_t = 4 \text{ Centième de minutes}$$

- ❖ Cas de tournage :

#### Phase 400 :

##### Dressage 18F, 17F :

$$\text{Données : } V_c = 185 \text{ m / min} \quad f = 0,35 \text{ mm / tr} \quad C = 1400 \text{ N/mm}^2$$

$$a_p = 4 \text{ mm} \quad K_r = 90^\circ \quad \eta = 0,85 \quad \theta = 21^\circ \quad m = 0,01$$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,35 \times \sin 90)^{-0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 2321,09 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 1400 \times (0,35 \times \sin 90)^{-0,3} (1 + 0,01 \times 21) = 2321,09 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 3249,53 \times (0,15 - 0,1 \cos 90) = 487,42 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 487,42 = 146,226 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{3249,53 \times 185}{60 \times 1000} = 10,02 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{10,02}{0,85} = 11,79 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

### Alésage 16E :

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,38 \times \sin 90)^{-0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 2264,53 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 2246,53 \times 0,38 \times 3,5 = 3011,82 \text{ N} \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 3011,82 \times (0,15 - 0,1 \cos 90) = 451,77 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 3011,82 = 903,55 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{3011,82 \times 180}{60 \times 1000} = 9,04 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{9,04}{0,85} = 10,63 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

**Alésage 16F, Alésage G<sub>1</sub>F, Chanfreinage 10F :**

**Données :**  $K_r = 90^\circ$      $m = 0,01$      $\theta = 21^\circ$      $V_c = 225$  m /min     $a_p = 0,4$  mm

$f = 0,15$  mm/tr     $n = -0,3$      $C = 1400$  N/mm<sup>2</sup>     $\eta = 0,85$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,15 \times \sin 90)^{-0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 2992,86 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 2992,86 \times 0,15 \times 0,4 = 179,57 \text{ N} \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 179,57 \times (0,15 - 0,1 \times \cos 90) = 26,94 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 26,94 = 8,08 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{179,57 \times 225}{60 \times 1000} = 0,67 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{0,67}{0,85} = 0,79 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

**Gorgeoge 15F :**

**Données :**  $V_c = 125$  m/min     $f = 0,12$  mm/tr     $a_p = 3$ mm     $\theta = 21^\circ$

$$K_r = 90^\circ \quad n = -0,3 \quad C = 1400 \text{ N/mm}^2 \quad \eta = 0,85$$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,12 \times \sin 90^\circ)^{0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 3200,06 \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 3200,06 \times 0,12 \times 0,3 = 1152,02 \text{ N} \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 1152,02 \times (0,15 - 0,1 \times \cos 90^\circ) = 172,80 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 172,80 = 51,48 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{1152,02 \times 125}{60 \times 1000} = 2,4 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{2,4}{0,85} = 2,8 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

**Phase 500 :**

**Dressage 2F, Chariotage G<sub>3</sub>E :**

**Données :**  $V_c = 185 \text{ m/min}$      $f = 0,35 \text{ mm/tr}$      $C = 1400 \text{ N/mm}^2$

$$a_p = 4 \text{ mm} \quad K_r = 90^\circ \quad \eta = 0,85 \quad \theta = 21^\circ \quad m = 0,01$$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,35 \times \sin 90)^{-0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 2321,09 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 1400 \times (0,35 \times \sin 90)^{-0,3} (1 + 0,01 \times 21) = 2321,09 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 3249,53 \times (0,15 - 0,1 \cos 90) = 487,42 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 487,42 = 146,226 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{3249,53 \times 185}{60 \times 1000} = 10,02 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{10,02}{0,85} = 11,79 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

### Chariotage G<sub>3</sub>F, Chanfreinage 7F :

**Données :**  $V_c = 185 \text{ m/min}$        $a_p = 0,4 \text{ mm}$        $f = 0,15 \text{ mm/tr}$        $C = 1400 \text{ N/mm}^2$

$K_r = 90^\circ$        $\eta = 0,85$        $\theta = 21^\circ$        $m = 0,01$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,15 \times \sin 90)^{-0,3} \times (1 + 0,01 \times 21) = 2992,86 \text{ N / mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 2992,86 \times 0,15 \times 0,4 = 179,57 \text{ N} \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 179,57 \times (0,15 - 0,1 \times \cos 90) = 26,93 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 0,3 \times 26,93 = 8,08 \text{ KW} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{179,57 \times 185}{60 \times 1000} = 0,55 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{0,55}{0,85} = 0,65 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

#### Alésage 8E, 3F, G2F, 9F, Chanfreinage 4F :

**Données :**  $V_c = 160 \text{ m/min}$      $f = 0,11 \text{ mm/tr}$      $a_p = 0,6 \text{ mm}$      $K_r = 90^\circ$

$$\eta = 0,85 \quad \theta = 21^\circ \quad m = 0,01 \quad C = 1400 \text{ N/mm}^2$$

- Pression spécifique de coupe:

$$K_s = 1400 \times (0,11 \times \sin 90)^{-0,3} (1 + 0,01 \times 21) = 2714,8 \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots(44)$$

- Effort de coupe:

$$F_c = 2714,8 \times 0,11 \times 0,6 = 179,18 \text{ N} \dots\dots\dots(45)$$

- Effort d'avance :

$$F_f = 2714,8 \times (0,15 - 0,1 \times \cos 90) = 407,22 \text{ N} \dots\dots\dots(46)$$

- Effort de pénétration :

$$F_p = 407,22 \times 0,3 = 122,17 \text{ N} \dots\dots\dots(47)$$

- Puissance de coupe :

$$P_c = \frac{179,18 \times 160}{60 \times 1000} = 0,48 \text{ KW} \dots\dots\dots(48)$$

- Puissance absorbée:

$$P_a = \frac{0,48}{0,85} = 0,56 \text{ KW} \dots\dots\dots(49)$$

# Chapitre V:

## Chapitre V:

Etude de phase

## V. Le contrat de phase :

Le contrat de phase est document établi par le bureau des méthodes il est destiné à l'atelier. Il comporte tous les renseignements utiles pour la réalisation d'une phase déterminée.

### V.1. But du contrat de phase :

Le but du contrat de phase se résume à :

- Calculer un temps alloué.
- Rechercher des simplifications économiques.
- Guider l'ouvrier dans sa tâche.
- Minimiser au maximum le cout de la fabrication.

### V.2. Les instructions d'un contrat de phase :

- Schéma de phase complet avec normales de repérage et cotes de fabrication.
- Décomposition du travail : ordre chronologique des opérations, gestes et mouvements.
- Choix des éléments de coupe : vitesse de coupe, fréquence de rotation, avance, profondeur.
- Détermination du temps d'exécution :  $T_t, T_m, T_z, T_s, T_f$ .
- Détermination du temps de fabrication pour une pièce et pour n pièce en appliquant la majoration.
- Tracé du simogramme de la pièce.

### V.3. Détermination des temps d'exécutions :

La durée de réalisation d'une phase d'usinage est le résultat d'un ensemble de temps que l'on peut classer :

- Temps technologique :  $T_t$ .
- Temps humain :  $T_m$ .
- Temps masqué :  $T_z$ .
- Temps fréquentiel :  $T_f$ .
- Temps de préparation :  $T_s$ .

**a) Temps technologique :**

C'est le temps de travail dont la durée dépend uniquement des conditions techniques d'exécution.

Les paramètres de coupe ( $V_f$ ,  $a_p$ ,  $f...$ ) étant fixés, la longueur à usiner étant connue, le temps technologique s'écrit :

$$T_t = L_c / V_f$$

Avec :

$T_t$  : Temps technologique (min).

$L_c$  : La course de l'outil (mm).

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

Si l'on désire  $T_t$  en centièmes de minute, il faut multiplier le résultat par 100.

**b) Temps humain ( $T_m$ ) :**

C'est le temps correspondant à un travail humain (physique ou moral), qui dépend uniquement de l'opérateur.

Exemple :

Réglage de la machine, recherche des conditions de coupe, prendre la pièce, monter la pièce sur le montage.

**c) Temps technico-humain :**

C'est la durée des actions combinées, qui est le temps pendant lequel l'opérateur et la machine travaillent conjointement.

Exemple :

Réaliser une passe sur tour avec déplacement d'avance assuré par l'opérateur.

**d) Temps masqué ( $T_z$ ) :**

C'est le temps d'un travail accompli pendant l'exécution d'un autre travail dont la durée est seule prise en considération ou bien c'est la durée d'une action pendant une opération.

Exemple :

Contrôler une pièce pendant l'usinage automatique de la pièce suivante.

**e) Temps fréquentiel ( $T_f$ ) :**

C'est le temps correspondant à un travail répété de toutes les unités de production au cours de l'exécution d'une opération.

Exemple :

- Vérifier une pièce sur cinq.
- Contrôler toutes les 20 pièces.

**f) Temps de préparation ( $T_s$ ) :**

C'est le temps correspondant à des travaux exécutés une seule fois par série lancée d'unité de production.

Ce temps peut se situer au début ou à la fin de la série.

Exemple :

- Réglage de porte pièce, réglage des outils, (mise au point de la machine).
- Réglage des butés.

**V.4. Simogramme :**

C'est la représentation graphique, chronologique, des différents temps d'exécutions, simultanés ou successifs, intervenant dans une phase.

L'identification des différents temps est assurée par un numéro correspondant à leur rang d'intervention dans la phase.

Il comporte toujours une échelle des temps écoulés.

**V.5. Valeurs indicatives des temps humain et temps de préparation :**

Pour la détermination des temps  $T_m, T_s$ , le tableau N° nous indique les temps moyens exprimés en centième de minutes.

Elément de travail	Tour	Fraiseuse	Perceuse
Prendre la pièce à la main (selon la distance)	(8 – 15)	(8 – 15)	(8 – 15)
Prendre une pièce au plan (selon le poids)	(180 – 300)	(180 – 300)	(180 – 300)
Poser une pièce (légère)	6	6	6
Serre une pièce (légère au mandrin, entre pointes)	15	15	15
Fixer ou retirer un toc	20	20	-
Desserrer une pièce (légère monté au mandrin, entre pointes, mixtes, étau)	8	8	8
Serrer une bride	(80 – 90)	(80 – 90)	(80 – 90)
Desserrer une bride	(80 – 70)	(80 – 70)	(80 – 70)
Mettre une machine en marche, arrêter une machine	(6– 14)	(6– 14)	(6– 14)
Embrayer ou débrayer Mc ou Mf	6	6	6
Avancer ou reculer le chariot (sur une longueur 100 mm)	(6– 18)	(6– 18)	(6– 18)
Mesurer une cote (pied à coulisse, pied de profondeur)	30	30	30
Contrôler une cote (calibre CMD, jauge JPD mini, maxi)	20	20	20
Contrôler une cote (tampon TD, ou la bague LB)	35	35	35

**Tableau 27:** Valeur indicatives des temps de préparation et de montage (Cmin) [12]

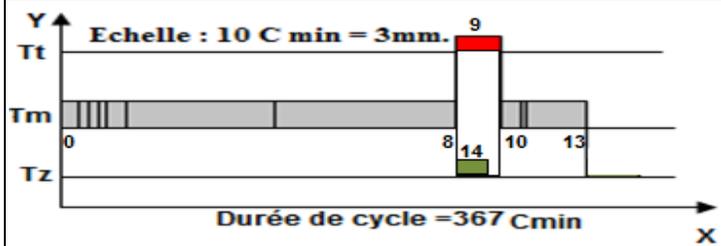
Nous indiquons les temps alloués en centième de minutes aux préparations et aux montages des pièces dans tableau suivant.

	Tour	Fraiseuse	Perceuse
Monter un outil (simple)	48	138	9
Démonter un outil (simple)	35	100	30
Monter ou démonter une pièce fixe, ou tournante	35 et 25	-	-
Régler la profondeur de passe ou tambour gradué	(60 – 80)	(60 – 80)	(60 – 80)
Régler le buter et le bloquer	48	48	48
Régler la vitesse de coupe ou avance	8	8	8

**Tableau 28:** Valeurs des temps alloués en (Cmin) [12]

Tableau 29 : Etude de la phase 200

Pièce : Palier de colonne de direction Matière : FGS-400-15 Nombre : 1000pièce /an		Phase : Fraisage Numéro : 200 Machine : Fraiseuse verticale Rouchaud		ETUDE DE PHASE							Date : 22/06/2021 Nom : Bounoua et Kahoul Folio : 1/1					
N°	Désignation des sous-phases Opérations et éléments de travail	Outillages	vérificateurs	Eléments de coupe			Eléments de passes				Temps en : cmin					
				Vc	fn	ap	p	N	Vf	Lc	Tt	Tm	Ttm	Tz		
1	Prendre la pièce à la main											12				
2	La monter en position serrée											22				
3	Monter l'outil de fraisage											138				
4	Réglage des vitesses											8				
5	Embrayer le Mc											6				
6	Mettre la machine en marche											10				
7	Réglage de ap											70				
8	Embrayer le Ma											6				
9	Surfaçage de 1F	Fraise à surfacer en carbure métallique		158,34	2	0,5		315	630	198	31					
10	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12				
11	Arrêter la machine											10				
12	Desserrer la pièce											30				
13	Prendre la pièce											12				
14	Contrôler la pièce		Calibre 10 <sup>±0,29</sup> Rugosimètre											18		
											<b>Totaux</b>	<b>31</b>	<b>336</b>	<b>/</b>	<b>18</b>	
											<b>Ts : temps série</b>					
											<b>Temps pour 1000 pièces</b>		<b>61h16 min</b>			
<b>Tt : Temps technologique</b>		<b>Tm : Temps manuel</b>		<b>Ttm : Temps techno-manuel</b>			<b>Tz : Temps masqué</b>									



Croquis de phase 200

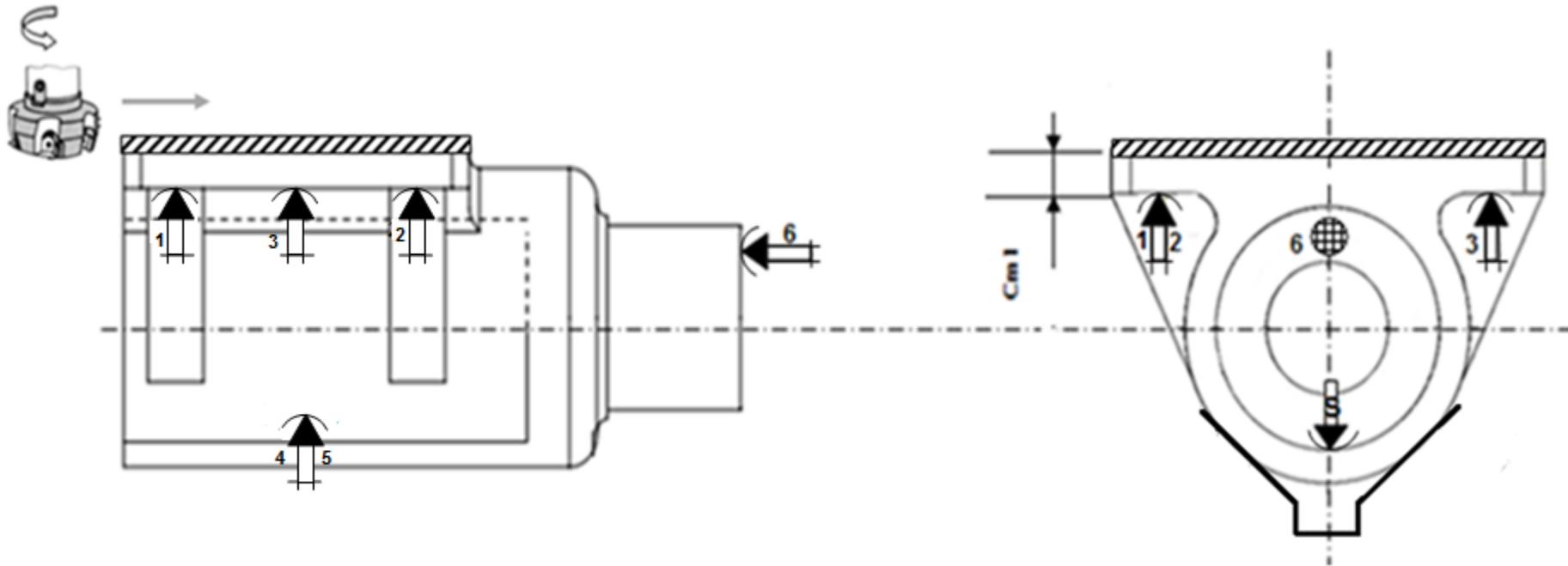


Tableau 30 : Etude de la phase 300

Pièce : Palier de colonne de direction Matière : FGS-400-15 Nombre : 1000 pièces / an		Phase : Perçage Numéro : 300 Machine : Perceuse radiale GSP		ETUDE DE PHASE						Date : 22/06/2021 Nom : Bounoua et Kahoul Folio : 1/1					
N°	Désignation des sous-phases Opérations et éléments de travail	Outillages	vérificateurs	Eléments de coupe			Eléments de passes			Temps en : cmin					
				V <sub>c</sub>	f <sub>n</sub>	N	p	a <sub>p</sub>	V <sub>f</sub>	L <sub>c</sub>	Tt	Tm	Ttm	Tz	
1	Prendre la pièce à la main											12			
2	La monter en position serrée											15			
3	Monter l'outil de Perçage											9			
4	Réglage des vitesses											8			
5	Embrayer le Mc											6			
6	Embrayer le Ma											6			
7	Mettre la machine en marche											10			
8	Perçage et chanfreinage G <sub>4</sub> F N°1	Foret en ARS Ø6,8 / Ø12		38	0,14	1250			175	33,06	24				
9	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
10	Déplacement de la tête porte broche											10			
11	Approche Rapide											12			
12	Perçage et chanfreinage G <sub>4</sub> F N°2	Foret en ARS Ø6,8 / Ø12		38	0,14	1250			175	33,06	24				
13	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
14	Déplacement de la tête porte broche											15			
15	Approche rapide											12			
16	Perçage et chanfreinage G <sub>4</sub> F N°3	Foret en ARS Ø6,8 / Ø12		38	0,14	1250			175	33,06	24				
17	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
18	Déplacement de la tête porte broche											15			
19	Approche rapide											12			
20	Perçage et chanfreinage G <sub>4</sub> F N°4	Foret en ARS Ø6,8 / Ø12		38	0,14	1250			175	33,06	24				
21	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
22	Arrêter la machine											10			
23	Démonter l'outil de perçage et monter l'outil de taraudage.											39			
24	Embrayer le Mc											6			
25	Embrayer le Ma											6			
26	Régler le pas											8			
27	Mettre la machine en marche											10			
28	Taraudage 19F N°1	Taraud M8 en ARS		14	1,25	450	1,25		562,5	22	4				
29	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
30	Déplacement de la tête porte broche											15			
31	Approche rapide											12			
32	Taraudage 19F N°2	Taraud M8 en ARS		14	1,25	450	1,25		562,5	22	4				
33	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
34	Déplacement de la tête porte broche											15			
35	Approche rapide											12			
36	Taraudage 19F N°3	Taraud M8 en ARS		14	1,25	450	1,25		562,5	22	4				
37	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
38	Déplacement de la tête porte broche											15			
39	Approche rapide											12			
40	Taraudage 19F N°4	Taraud M8 en ARS		14	1,25	450	1,25		562,5	22	4				
41	Cycle de dégagement et retour rapide en position											12			
42	Arrêter la machine											10			
43	Desserrer la pièce											8			
44	Prendre la pièce											12			
45	Contrôler la pièce		Tampon fileté M8											18	
										<b>Totaux</b>		<b>112</b>	<b>428</b>		<b>18</b>
										<b>Ts : temps série</b>					
										<b>Temps pour 1000 pièces</b>		<b>90h</b>			

**Echelle : 10Cmin = 3 mm.**

Y ↑

Tt

Tm

Tz

0 7 45 9 11 13 15 17 19 21 27 29 31 33 35 37 39 41 44

Durée de cycle = 540 Cmin

x →

**Tt : Temps technologique**

**Tm : Temps manuel**

**Ttm : Temps techno-manuel**

**Tz : Temps masqué**

Croquis de phase 300

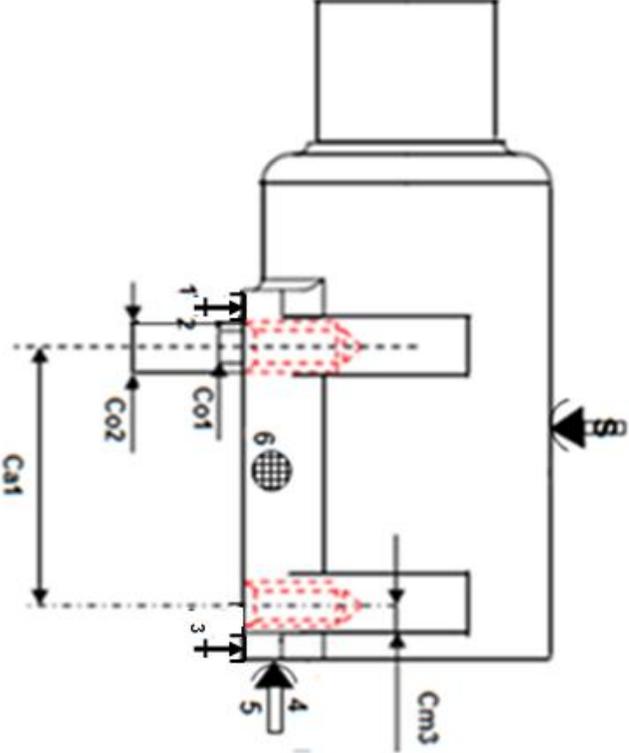
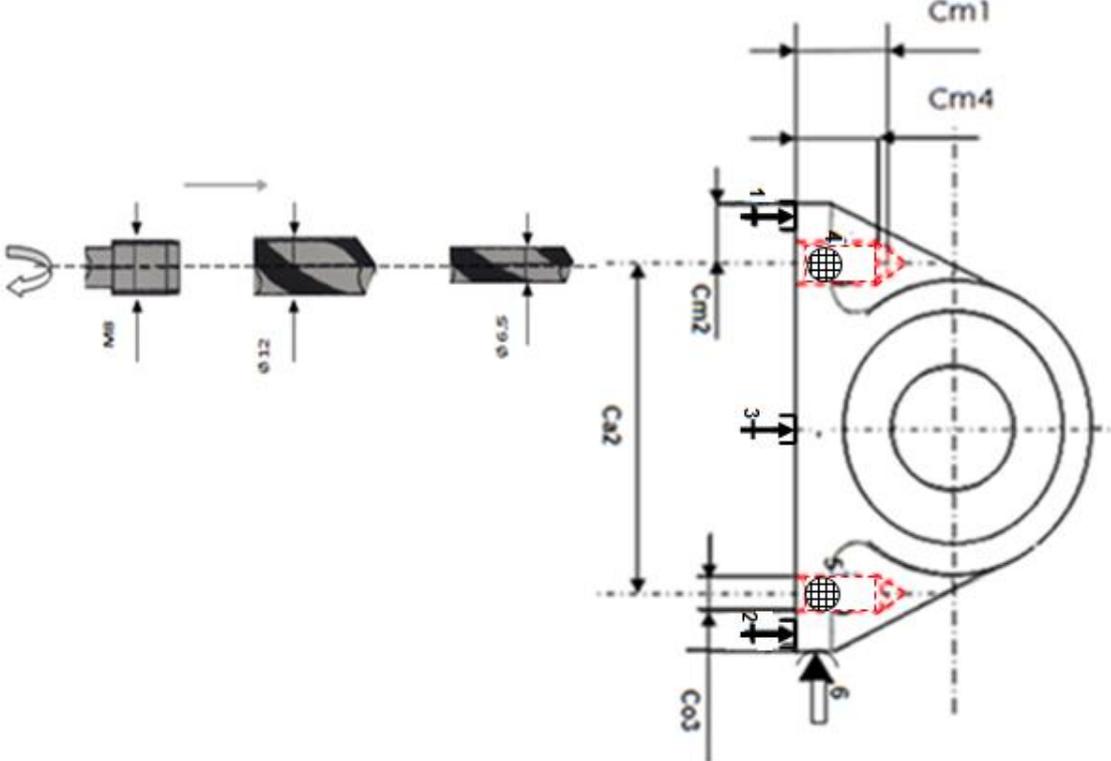
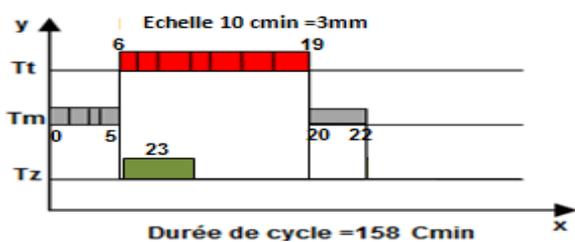


Tableau 31 : Etude de la phase 400

Pièce : Palier de colonne de direction Matière : FGS-400-15 Nombre : 1000 pièces / an		Phase : Tournage Numéro : 400 Machine : Tour à commande numérique		ETUDE DE PHASE							Date : 22/06/2021 Nom : Bounoua et Kahoul Folio : 1/1				
N°	Désignation des sous-phases Opérations et éléments de travail	Outillages	vérificateurs	Eléments de coupe			Eléments de passes				Temps en : cmin				
				V <sub>c</sub>	f <sub>n</sub>	N	p	a <sub>p</sub>	V <sub>f</sub>	L <sub>c</sub>	Tt	Tm	Ttm	Tz	
1	Prendre la pièce à la main											12			
2	La monter en position serré											15			
3	Fermer le capot											10			
4	Actionner le départ du cycle											5			
5	Avance rapide										1				
6	<b>Dressage 18F</b>			185	0,35	516,55		4	180,79	29,65	16				
7	Dégager l'outil										1				
8	<b>Alésage 16E</b>			180	0,38	924,13		3,5	351,17	27	7				
9	Dégager l'outil										1				
10	<b>Alésage 11F et Dressage 5F</b>			225	0,15	1234,82		0,4	185,22	62	33				
11	Dégager l'outil										1				
12	<b>Alésage 16F</b>			225	0,15	1155,16		0,4	173,27	25	15				
13	Dégager l'outil										1				
14	<b>Dressage17F</b>			185	0,35	949,80		4	332,43	3,65	1				
15	Dégager l'outil										1				
16	<b>Chanfreinage 10F</b>			225	0,15	1101,84		0,4	165,28	3,5	2				
17	Dégager l'outil										1				
18	<b>Gorgeage 5F</b>			125	0,12	612,13			73,45	4,15	6				
19	Dégager l'outil										1				
20	Arrêter la machine											10			
21	Ouvrir le capot											10			
22	Desserrer la pièce											8			
23	Contrôler la pièce													18	
											<b>Totaux</b>	<b>88</b>	<b>70</b>		<b>18</b>
											<b>Ts : temps série</b>				
											<b>Temps pour 1000 pièces</b>		<b>26 h33 min</b>		
<b>Tt : Temps technologique</b>		<b>Tm : Temps manuel</b>		<b>Ttm : Temps techno-manuel</b>			<b>Tz : Temps masqué</b>								



Croquis de phase 400

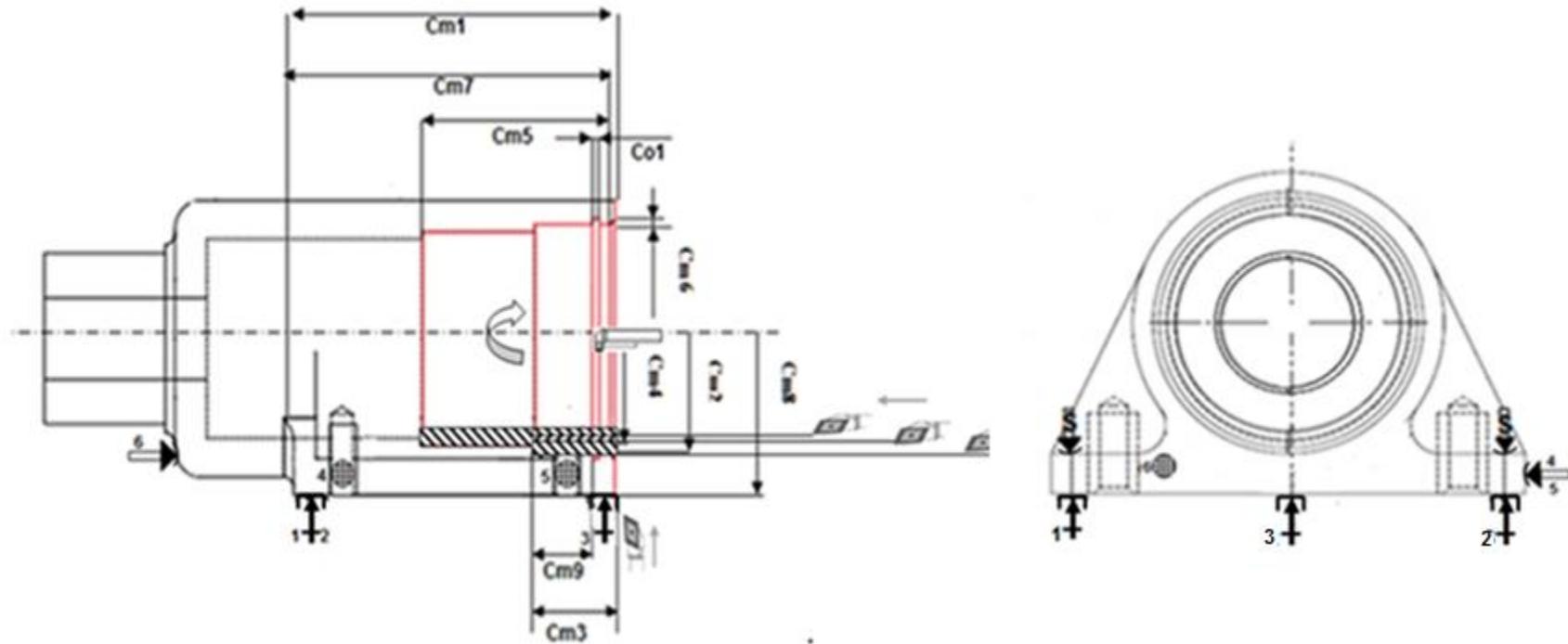
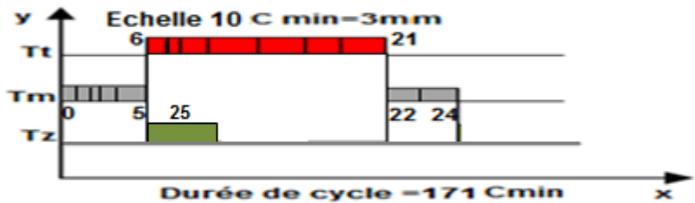
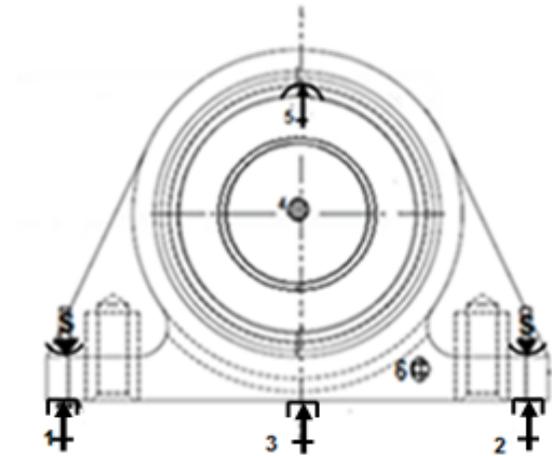
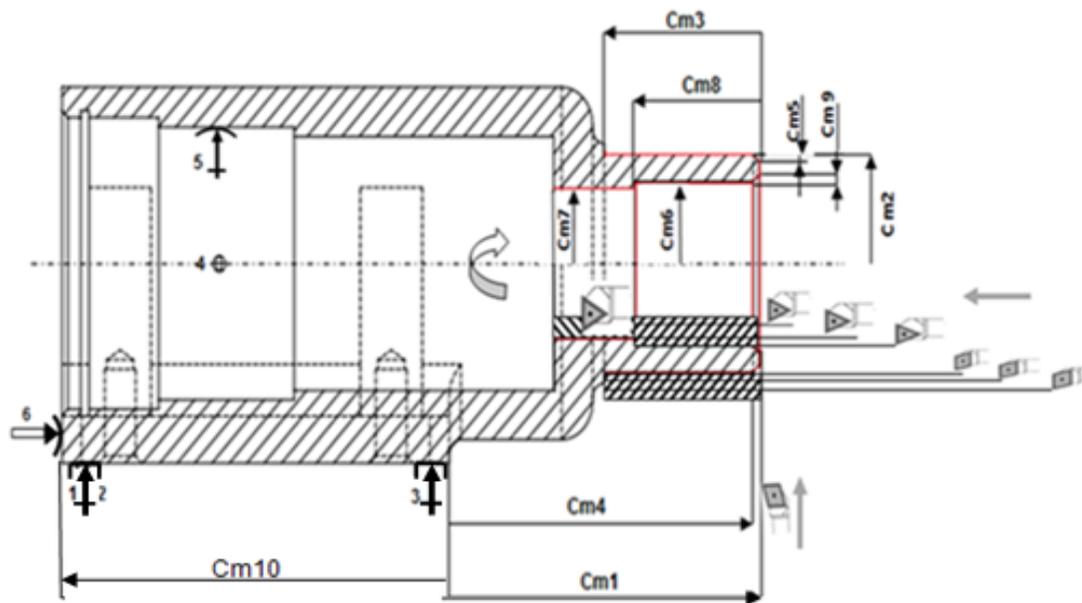


Tableau 32 : Etude de la phase 500

Pièce : Palier de colonne de direction Matière : FGS-400-15 Nombre : 1000 pièces / an		Phase : Tournage Numéro : 500 Machine : Tour à commande numérique		ETUDE DE PHASE							Date : 22/06/2021 Nom : Bounoua et Kahoul				
											Folio : 1/1				
N°	Désignation des sous-phases Opérations et éléments de travail	Outillages Montages d'usinage	vérificateurs	Eléments de coupe			Eléments de passes				Temps en : cmin				
				V <sub>c</sub>	f <sub>n</sub>	N	p	a <sub>p</sub>	V <sub>f</sub>	L <sub>c</sub>	Tt	Tm	Ttm	Tz	
1	Prendre la pièce à la main											12			
2	La monter en position serré											15			
3	Fermer le capot											10			
4	Actionner le départ du cycle											5			
5	Avance rapide											1			
6	Dressage 2F			185	0,35	1271,86		4	445,15	8,80	2				
7	Dégager l'outil											1			
8	Chariotage G <sub>3</sub> E			185	0,35	1271,86		4	445,15	42	9				
9	Dégager l'outil											1			
10	Chariotage G <sub>3</sub> F			185	0,35	1271,86		4	445,15	42	22				
11	Dégager l'outil											1			
12	Chanfreinage 7F			185	0,15	1271,86		4	445,15	2,5	1				
13	Dégager l'outil											1			
14	Alésage G <sub>2</sub> E			160	0,11	1455,13			160,06	34	21				
15	Dégager l'outil											1			
16	Alésage G <sub>2</sub> F			160	0,11	1455,13			160,06	34	21				
17	Dégager l'outil											1			
18	Alésage 9F			160	0,11	1591,55			175,07	56	32				
19	Dégager l'outil											1			
20	Chanfreinage 4F			160	0,11	1340,25			147,43	2,5	2				
21	Dégager l'outil											1			
22	Arrêter la machine											10			
23	Ouvrir le capot											10			
24	Desserrer la pièce											8			
25	Contrôler la pièce													18	
											<b>Totaux</b>	<b>101</b>	<b>70</b>		<b>18</b>
											<b>Ts : temps série</b>				
											<b>Temps pour 1000 pièces</b>		<b>28h 5min.</b>		
<b>Tt : Temps technologique</b>		<b>Tm : Temps manuel</b>		<b>Ttm : Temps techno-manuel</b>			<b>Tz : Temps masqué</b>								



Croquis de phase 500



# Chapitre VI

## Chapitre VI

Optimisation des conditions de coupe

## VI.1. Généralités :

Optimiser c'est rechercher la solution la plus satisfaisante dans un ensemble de contraintes.

On ne peut optimiser que suivant un critère choisi.

### Domaines d'application :

- Dans le cas de mise en œuvre d'une nouvelle fabrication ou sont stabilisés les paramètres liés à la précision dimensionnelle et à l'état de surface.
- Dans le cas où la condition de précision dimensionnel et l'état de surface ne sont pas prépondérants (ébauche).
- Dans le cas d'une série en cours ou l'amélioration est justifiée par un profit substantiel (séries importants, répétitives, pièce importante).

### VI.1.1. Critères d'optimisation des conditions de coupe :

**Remarque préalable :** Dans le cadre de l'augmentation des performances de l'outil, des couts d'usinages et des durés de vie d'outil, on a toujours l'intérêt à travailler avec l'avance et la profondeur de passe maximales compatibles avec :

La pièce à usiner, sa géométrie, la précision et l'état de surface requis ;

La géométrie, la résistance de l'outil ;

La rigidité de l'ensemble machine-pièce et outil ; Pour un outil donné, l'augmentation d'avance peut être accompagnée d'une réduction de la vitesse de coupe pour conserver une durée de vie économique tout en augmentant la productivité.

### VI.1.2. Cout minimal d'usinage $C_u$ :

Paramètres à maîtriser

- Durée de vie économique de l'outil  $T_e$ .
- Vitesse de coupe économique  $V_e$ .

Ces deux paramètres sont liés par la relation de Taylor  $T_e = C_v \cdot V_{ec}^{-n}$

**Choix :** L'établissement d'un calcul des frais d'usinage d'une pièce se heurte à des problèmes difficiles à résoudre, les conditions d'usinage n'étant pratiquement jamais identiques d'une opération à l'autre (surépaisseurs diverses, limite d'usure acceptable variable, etc...). L'optimisation des résultats supposerait que soient connus tous les paramètres. Or ils sont bien trop nombreux.

Par conséquent il est important de cerner les paramètres essentiels et d'en diminuer le nombre, pour cela nous ramènerons le calcul à une pièce pour une opération d'usinage avec un seul outil (dressage d'une face, chariotage) ou les conditions varient peu.

Comparé aux frais d'usinage et d'outillage le coût de l'outil lui-même est en générale insignifiant devant les frais d'usinage. Cependant, ceci ne doit pas conduire à négliger l'incidence que peut avoir l'outil sur les frais d'usinage, notamment à travers ses performances ou à travers son temps de changement sur le site.

Les frais fixes seront pris en compte dans le calcul afin de compléter la vue globale du coût, mais leur optimisation ne sera pas traitée ici, ils relèvent plus la gestion de l'atelier que de l'usinage (bien que les coûts d'étude et la standardisation des outillages qui entrent dans leur calcul puissent être améliorés).

### **VI.1.3. Temps minimal d'usinage – cadence maximale de fabrication :**

Paramètres à maîtriser :

- Durée de vie de l'outil  $T_p$ .
- Vitesse de coupe pour production maximale  $V_p$ .

La cadence maximum de fabrication est recherchée indépendamment du cout de fabrication quand on souhaite fabriquer le plus grand nombre de pièces dans le minimum de temps pour des raisons de délai ou de synchronisation.

#### **VI.1.4. Volume donné de copeau par arête de coupe :**

Paramètres à maîtriser :

- Durée de vie de l'outil  $T_d$ .
- Vitesse pour un volume donné  $V_d$ .
- Avance, profondeur de coupe.

Le volume donné de copeau est recherché quand on souhaite réduire au minimum le nombre de réaffutages par nécessité de conserver un profil exact de l'outil, lorsque le réglage ou l'affutage de cet outil est très onéreux, ou lorsqu'on désire maîtriser le nombre de pièces entre deux changements d'arêtes dans le cas d'une gestion d'outils (cas où la recherche de la vitesse économique donne des résultats aberrants).

## VI.2. Cout minimum d'usinage, recherche de la vitesse économique :

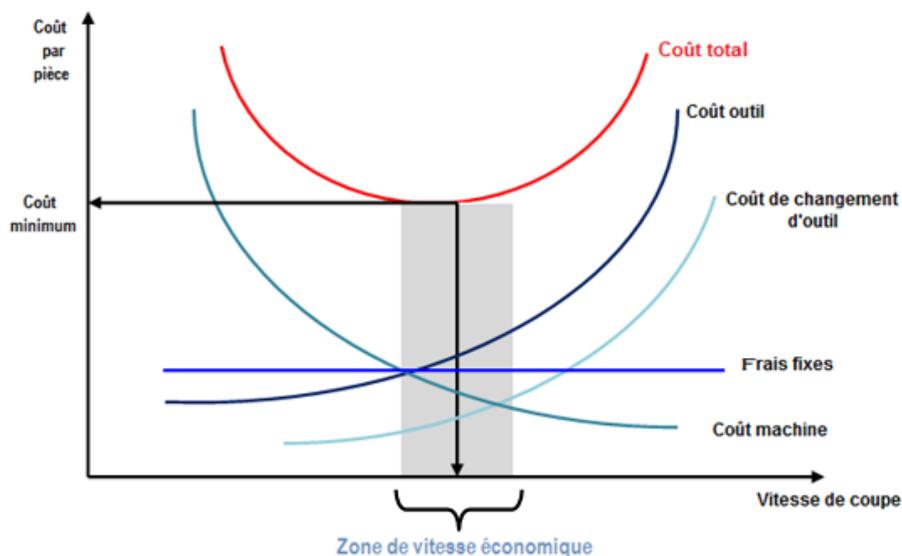
Le cout de fabrication d'une pièce est la somme des quatre couts suivants :

- Cout d'utilisation de la machine (amortissement, salaire...).
- Cout de l'outil.
- Cout de changement de l'outil.
- Frais fixes (matière manutention, outillage, matière...)

La variable principale est la vitesse de coupe.

**Remarque :** La vitesse de coupe étant fixé, il faudra réajuster l'avance et la profondeur dans des limites optimales compatibles avec la machine, l'outil et la pièce.

Le diagramme suivant visualise l'influence des différents couts en fonction de la vitesse de coupe sur le cout total.



L'allure générale de cette courbe montre que la somme des frais atteint une valeur minimale pour une vitesse donnée : c'est la vitesse économique.

**VI.2.1. Analyse des différents paramètres :****VI.2.1.1. Cout machine par pièce :**

Il comprend :

Le cout machine = le cout de la coupe + les couts improductifs d'usinage

$$C_m = C_c + C_i$$

$$C_m = c_m \times t_c + c_m \times t_i$$

$$t_c = W / V_c$$

$$t_i = C^{te}$$

Le coût de la coupe  $C_c$  est le produit du temps réel de coupe par le taux machine  $C_m$ .

Le cout improductif d'usinage  $C_i$  est le produit des temps improductifs d'usinage  $t_i$  par le taux machine  $C_m$ .

Le taux machine  $C_m$  comprend en générale le salaire de l'ouvrier, l'amortissement de la machine-outil et un cout d'exploitation lié directement à l'usinage (électricité, lubrifiant, air comprimé, entretien), dont l'évaluation est souvent globale.

Les temps improductifs d'usinage  $t_i$  comprennent les temps d'évolution des outils et appareillages. Ils sont constants quels que soient les paramètres de coupe. Leur évaluation se fait par calcul selon les données constructeur par chronométrage.

Le temps réel de coupe  $t_c$  est celui ou l'outil produit du copeau : cinématiquement, c'est le quotient du chemin total parcouru par l'outil  $W$  par la vitesse relative outil/pièce  $V_c$ , en fait la longueur du copeau par sa vitesse. Sa détermination pratique est réalisée par approximation à travers des moyens simples de calcul ou par chronométrage.

$$C_m = c_m \times (W / V_c + t_i)$$

On fonction de la durée de vie :

$$C_m = c_m \times W \times T^{-1/n} \times C_v^{1/n} + c_m \times t_i$$

### VI.2.1.2. Coût outil par pièce : $C_s = P_o / P$

C'est le produit de prix d'une arête de coupe par le nombre d'arêtes nécessaires à l'opération.

P : nombre de pièces ou d'opérations par arête

$$P = T / t_c$$

$$t_c = W / V_c$$

$$1 / P = W / (C_v \times V_c^{n+1})$$

$$C_s = P_o \times t_c \times C_v^{-1} \times V_c^{-n}$$

Ou en fonction de la durée de vie

$$C_s = P_o \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)}$$

Ou

$$C_s = P_o \times t_c \times V_c \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)}$$

**VI.2.1.3. Cout de changement outil par pièce :**  $C_{cs} = c_m \cdot t_{cs} / P$ 

$$C_{cs} = t_{cs} \times c_m \times W \times C_v^{-1} \times V_c^{-(n+1)}$$

Ou en fonction de la durée de vie :

$$C_{cs} = t_{cs} \times c_m \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)}$$

Le cout de changement d'outil est le produit du cout machine par le temps de remplacement d'une arrête imputable à l'opération.

**VI.2.1.4. Cout fixes par pièce :**  $C_f$ 

Communément intégrés au calcul du cout global, ils n'interviennent pas dans la recherche de l'optimisation des conditions de coupe car ils opèrent simples additionneurs et la fonction est une constante.

L'accroissement de la productivité les diminue à long terme.

**VI.2.2. Calcul :**

Cout par pièce d'une opération d'usinage :  $C_u = c_m + c_s + C_s + C_{cs} + C_f$

Expression de  $C_u$  en fonction de la vitesse de coupe :

$$C_u = c_m \times W / V_c + c_m \times t_i + (P_o + t_{cs} \times c_m) W \times V_c^{-(n+1)} \times C_v^{-1} + C_f$$

Expression de  $C_u$  en fonction de la durée de vie de l'outil :

$$C_u = c_m \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-1/n} + c_m \times t_i + (P_o + c_m \times t_{cs}) \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)} + C_f$$

**Optimisation** : pour  $dC_u/dT=0$

**Durée de vie économique  $T_e$**  :

$$T_e = -(n+1) \times \left[ \left( P_o / c_m \right) + t_{cs} \right]$$

- $T_e$  en **min**
- $P_o$  en **DA**
- $C_m$  en **DA/min**
- $t_{cs}$  en **min**

**Vitesse de coupe économique  $V_e$**

$$V_e = C_v^{-1/n} \times T_e^{1/n} \quad \text{On connaissant un couple } (T_o, V_o) \quad V_e = V(T_e / T)^{1/n}$$

**Remarque** : Les frais fixes, les temps improductifs, l'avance, la longueur de passe et la profondeur de passe n'apparaissent pas dans le calcul de l'optimisation.

### VI.3. Temps minimal d'usinage Cadence maximale de fabrication :

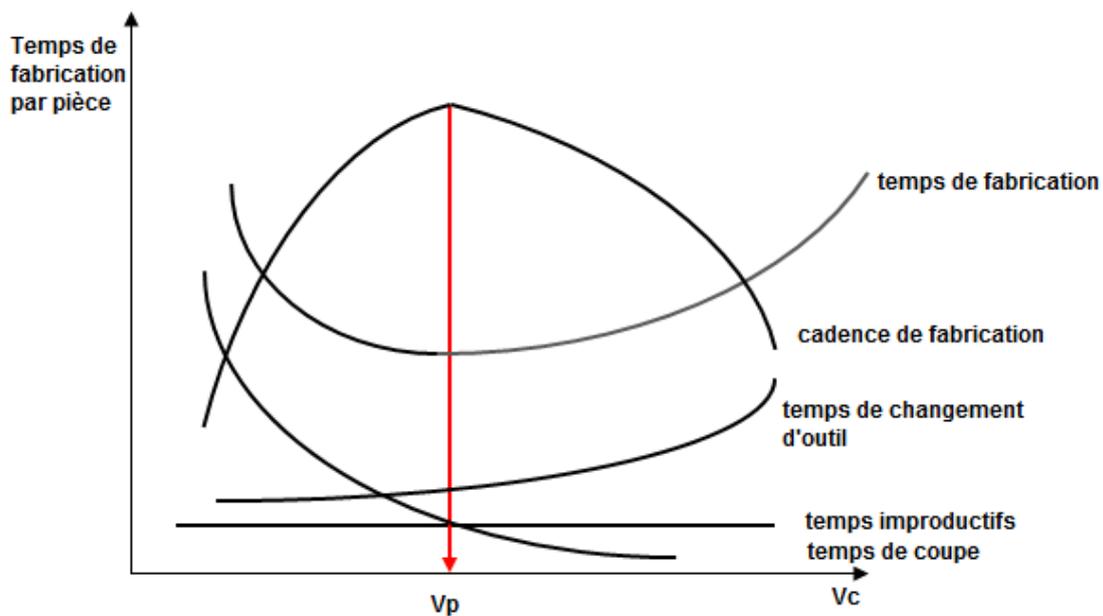
Le temps de fabrication d'une pièce est la somme des quatre temps suivants :

- Temps réel de coupe
- Temps improductifs d'usinage (amenée d'outil)
- Temps improductifs sur le poste hors usinage (préparation du poste, montage de la pièce)
- Temps de changement d'outil imputables à chaque pièce

La variable principale est la vitesse de coupe.

La cadence de fabrication est le nombre de pièces fabriquées dans l'unité de temps, en général les temps improductifs de préparation d'étude et du poste ne sont pas pris en compte.

Le diagramme suivant visualise l'influence des différents temps en fonction de la vitesse de coupe sur le temps total et sur la cadence de fabrication.



**Remarque :** Dans le cadre de l'optimisation, nous ramènerons l'étude au temps d'usinage d'une opération pour une passe.

Les temps improductifs liés à l'étude et à la préparation du poste seront considération dans l'évaluation du temps global mais pas dans le calcul de l'optimisation de la vitesse de coupe.

### VI.3.1. Temps de préparation par pièce $t_s$ :

Il comprend :

Le temps d'étude + le temps de préparation du poste

$$t_e = TE / N \times S$$

$$t_o = T_s / N$$

TE : temps d'étude de fabrication (gamme, conditions d'usinage, étude du porte pièce)

N : nombre de pièce dans la série

S : nombre de séries envisagées

$T_s$  : temps correspondant à des travaux exécutés une seule fois par série (installation de l'outillage)

### VI.3.2. Calcul de la vitesse de coupe pour une production maximale : $V_p$

#### VI.3.2.1. Analyse des différents paramètres :

##### VI.3.2.1.a. Temps réel de coupe d'une opération d'usinage :

Cinématiquement c'est le quotient de la longueur de copeau  $W$  par sa vitesse  $V_c$

Pratiquement, nous utiliserons les formules adaptées à chaque cas.

$$t_c = W / V_c$$

Ou en fonction de la durée de vie

$$t_c = W \times C_v^{1/n} \times T^{-1/n}$$

##### VI.3.2.1.b. Temps de changement d'arête $t_{cs} / P$

C'est le temps de changement d'une arête de coupe imputable à chaque pièce pour l'opération.

$$P = T / t_c \quad t_c = W / V_c$$

$$t_{cs} / P = t_{cs} \times W \times V_c^{-(n+1)} / C_v$$

Ou en fonction de la durée de vie

$$t_{cs} / P = t_{cs} \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)}$$

### VI.3.2.1.c. Temps improductifs d'usinage : $t_i$

Ce sont les temps d'amenée des outils pour l'opération plus les temps de montage de la pièce.

### VI.3.3. Calcul :

Temps d'usinage d'une opération :  $t_u = t_c + t_{cs} / p + t_i$

Expression de  $t_u$  en fonction de la vitesse de coupe :

$$t_u = W / V_c + t_{cs} \times W \times V_c^{-(n+1)} / C_v + t_i$$

Expression de  $t_u$  en fonction de la durée de vie :

$$t_u = W \times C_v^{1/n} \times T^{-1/n} + t_{cs} \times W \times C_v^{1/n} \times T^{-(1/n+1)} + t_i$$

**Optimisation :** pour  $d t_u / d V_c = 0$

**Vitesse de coupe optimale :**  $V_p = (-C_v / (n+1) \times 1 / t_{cs})^{-1/n}$

- $V_p$  en m/min
- $t_{cs}$  en min

**Temps de durée de vie de l'outil pour un temps d'usinage minimal :**

$$T_p = C_v \times V_p^n \quad \text{Ou connaissant un couple } (T_o, v_o) \quad T_p = T_o \left( V_o / V_p \right)^{-n}$$

**Remarque :** les temps improductifs et les dimensions de la pièce n'apparaissent pas dans le calcul de l'optimisation.

#### **VI.4. Volume de copeau donné par arête de coupe :**

##### **Avant-propos - domaine d'application**

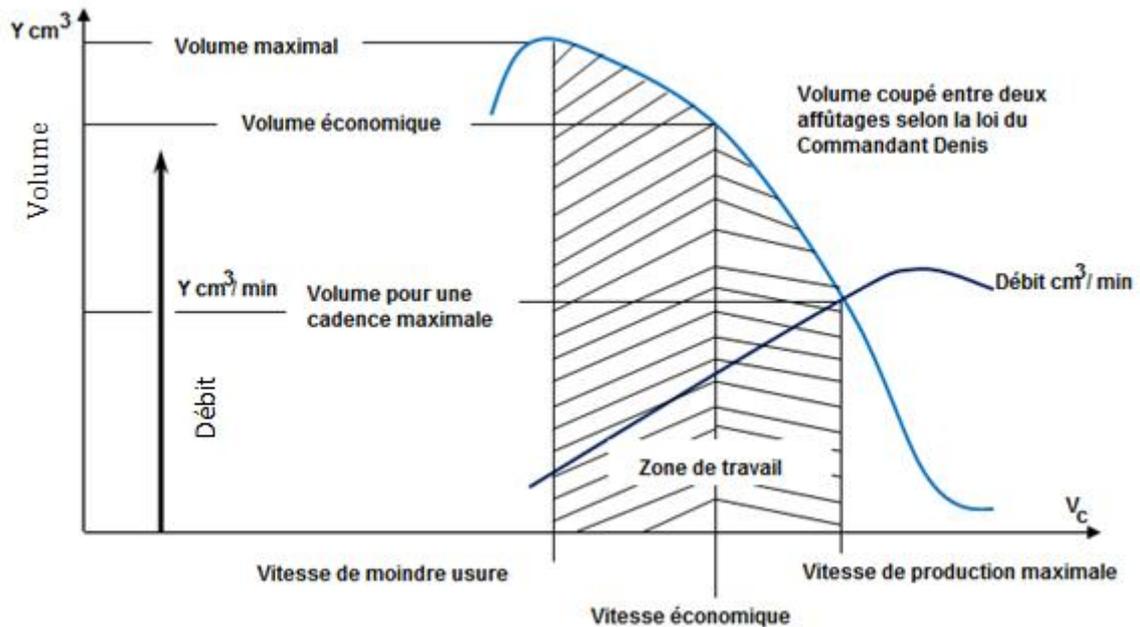
Si le nombre de pièce à usiner sans changement d'arête est fixé, c'est-à-dire si le volume de copeau  $Y$  est imposé, il faut choisir les conditions de coupe de telle façon que l'outil puisse au minimum usiner ce volume.

Cette recherche de productions stabilisées et automatisées ou une quantité déterminée de pièces doit être usinée sans surveillance particulière et sans changement manuel ni automatique d'outil.

Dans le cas ou finition d'un profil de dimension important il est nécessaire de maîtriser l'usure de l'outil pour garder la qualité, la géométrie et l'état de surface requis (cas des pièces de grandes dimensions, de gros engrenages précis).

**Remarque :**

Deux notions sont souvent confondues : volume de copeaux entre deux affûtages et débit de copeau. Ces deux notions différentes, à un débit important ne correspondent pas obligatoirement un volume important.

**VI.4.1. Définition du volume donné par arrête de coupe :**

$$y = f \times a_p \times v_c \times t_c \quad \text{Ou} \quad y = A_D \times W$$

Le volume  $y$  de copeaux taillé dans une opération est égal au produit de l'avance  $f$ , de la profondeur de passe  $a_p$ , de la vitesse de coupe  $v_c$  et du temps de coupe  $t_c$  ou au produit de l'aire de la section de coupe  $A_D$  par la longueur  $W$  du chemin parcouru par l'outil.

Nous désirons donc que le temps de coupe  $t_c$  soit au moins égal à la durée de vie de l'outil  $T$

La loi de Taylor donne  $T = C_v \times V^n$  il vient  $Y = f \times a_p \times V \times C_v \times V^n$

$$\text{Ou} \quad Y = f \times a_p \times T^{1+1/n} \times C_v^{-1/n}$$

**VI.4.2. Calcul :**

Volume total taillé par l'arrête de coupe entre deux affutages :  $y = f \times a_p \times v_c \times T$

Volume à tailler par l'arrête de coupe dans une opération d'usinage  $y$  :

$$y = f \times a_p \times v_c \times t_c$$

Volume de matière à usiner (à calculer suivant les dimensions de la pièce) :  $Y_d = p \times y_d$

P : nombre de pièces à usiner entre deux changements d'arrête.

Données de référence :  $V_o$  pour  $T_o$  liés par  $T_o = C_v \times V_o^n$  ou  $C_v = T_o \times V_o^{-n}$

On sait par la loi de Taylor que :  $C_v = T_o \times V_o^{-n} = T_d \times V_d^{-n}$

Il faut déterminer le volume de référence  $Y_o$  par les données de coupe

$$Y_o = f \times a \times V_o \times T_o$$

On peut déterminer la relation  $V_d \times T_d = V_o \times T_o \times Y_d / Y_o$

Vitesse de coupe pour un volume de coupeau de donné  $V_d = V_o \times (Y_o / Y_d)^{-(1/n+1)}$

- $V_d$  en **m/min**
- $Y_o$  et  $Y_d$  en **cm<sup>3</sup>**

Durée de vie de l'outil  $T_d$  pour un volume donné  $Y_d$   $T_d = C_v \times V_d^n$

**VI.5. Optimisation des conditions de coupe des opérations Dressage 2F, Chariotage 6E :****Dressage 2F :****Cout minimal d'usinage :**

Données nécessaires :

- ❖ Taux horaires de la M.O:  $C_m = 6790,8$  DA/heures soit  $C_m = 113,18$  DA/min
- ❖ Cout d'une arête de coupe :  $P_o = 300$  DA
- ❖ Temps de changement d'une arête :  $t_{cs} = 2$  min

Données matière :

- Durée de vie de référence :  $T_o = 45$  min
- Vitesse e coupe pour  $f = 0,35$  mm/tr  $V_o = 185$  m/min
- Exposant de Taylor :  $n = - 4$ .

1) Calcul de la durée de vie économique d'une arête de coupe :

$$T_e = -(n+1) \times [p_o / c_m + t_{cs}] = -(-4+1) \times [300 / 113,18 + 2] = 13,95 \text{ min}$$

2) Calcul de la vitesse économique :

$$V_e = V \times (T_e / T_o)^{1/n} = 185 \times (13,95 / 45)^{1/-4} = 247,93 \text{ m / min}$$

3) Calcul de la durée de vie d'une plaquette :

$$T_e = 13,95 \times 4 = 55,8 \text{ min}$$

**Temps minimal d'usinage :**

Données nécessaires :

- ❖ Temps de changement d'une arête :  $t_{cs} = 2$  min

Données matière :

- ❖ Durée de vie de référence :  $T_o = 45$  min.
- ❖ Vitesse de coupe pour  $f=0,35$   $V_o = 185$  m/min.
- ❖ Exposant de Taylor  $n = - 4$

1) Calcul de la vitesse de coupe optimal :

$$V_p = (-C_v / (n+1) \times 1 / t_{cs})^{-1/n} = (-45 \times 185^4 / (-4+1) \times 1 / 2)^{1/4} = 433 \text{ m/min}$$

$$C_v = T_o \times V^{-n} = 45 \times 185^4$$

2) Calcul de temps de durée de vie de l'outil pour un temps d'usinage minimal :

$$T_p = T_o \times (V_o / V_p) = 45 \times (185 / 433) = 19,23 \text{ min}$$

3) Calcul de la durée de vie d'une plaquette :

$$T_p = 19,23 \times 4 = 76,92 \text{ min}$$

### Chariotage 6F :

#### Volume donné de coupeau par arête de coupeau :

Données nécessaires :

- Diamètre à usiner :  $\emptyset = 46,3 \text{ mm}$  soit  $4,63 \text{ cm}$
- Diamètre brut :  $\emptyset = 55,25 \text{ mm}$  soit  $5,525 \text{ cm}$
- Longueur à usiner :  $L = 40 \text{ mm}$  soit  $4 \text{ cm}$
- Avance par tour :  $f = 0,15 \text{ mm/tr}$  soit  $0,015 \text{ cm/tr}$
- Vitesse de coupe pour  $f = 0,15 \text{ mm/tr}$   $V_o = 185 \text{ m/min}$  soit  $V_o = 18500 \text{ cm/min}$
- Exposant de Taylor :  $n = -4$
- Profondeur de passe :  $a_p = 4 \text{ mm}$  soit  $a_p = 0,4 \text{ cm}$

1) Calcul de volume de matière à usiner :

$$Y_d = L \times \pi \times (D^2 - d^2) / 4 = 4 \times \pi \times (5,525^2 - 4,63^2) / 4 = 28,55 \text{ cm}^3$$

2) Calcul de volume de référence :

$$Y_o = f \times a_p \times V_o \times T_o = 0,015 \times 0,4 \times 18500 \times 45 = 4995 \text{ cm}^3$$

3) Calcul de vitesse de coupe pour un volume de coupeau donné :

$$V_d = V_o \times (Y_o / Y_d)^{(-1/n+1)} = 185 \times (4995 / 28,55)^{(-1/-3)} = 1034 \text{ m / min}$$

4) Calcul de la durée de vie de l'outil pour un volume  $T_d$  :

$$T_d = T \times V_o^{-n} \times V_d^n = 45 \times 185^4 \times 1034^{-4} = 0,05 \text{ min}$$

5) Calcul de la durée de vie d'une plaquette :

$$T_d = 0,05 \times 4 = 0,2 \text{ min}$$

#### VI.6. Conclusion :

- Le coût total d'usinage atteint une valeur minimal pour une vitesse donnée, cette vitesse est appelée Vitesse économique  $V_e$ . L'optimisation consiste donc à exprimer  $C_u$  en fonction de  $V_c$  et de minimiser cette fonction.
- Pour fabriquer le plus grand nombres de pièces avec le minimum de temps pour raisons de délai, on utilise la cadence maximal qui recherche indépendamment du coût de fabrication. L'optimisation consiste donc à exprimer  $t_m$  en fonction de  $V_c$  et de minimiser cette fonction pour obtenir  $V_p$ .
- Le volume donné de coupeau est recherché quand on souhaite réduire au minimum le nombre de réaffûtage pour nécessite de conserver un profil exact de l'outil. L'optimisation consiste donc à exprimer  $y$  en fonction de  $V_c$  et de déterminer  $V_d$  de telle sorte à obtenir un volume de coupeau taillé égal à  $Y_d$ .

# Chapitre VII

## Chapitre VII

Programmation MATLAB et CNC de  
phase de tournage

## VII.1. Présentation du logiciel Matlab/Simulink :

Le logiciel **Matlab** est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multi-fenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.

Une alternative à Matlab est Scilab, logiciel libre, dont la version 5 présente de nombreux points communs avec Matlab. De nombreuses entreprises (EDF, ...) ont fait le choix de passer sous Scilab. Le passage d'un logiciel à l'autre n'est cependant pas direct, certaines fonctions ayant des comportements différents (ce ne sont pas des erreurs mais des choix scientifiques différents). Tous les logiciels de calcul réutilisent des savoir-faire scientifiques anciens et éprouvés, développés dans les années 1960.

### VIII.1.1. Programmation MATLAB, comment chercher les niveaux à partir de la matrice d'un graphe BE :

*% matrice de contrainte*

```
matcont=zéros(21);  
matcont (1,[7 8 12 14 16 21])=ones(1,6);  
matcont(2,[3 6 8 11])=ones(1,4);  
matcont(3,4)=1;  
matcont(4,5)=1;  
matcont(5,6)=1;  
matcont(8,9)=1;  
matcont(9,10)=1;  
matcont(10,11)=1;  
matcont(14,21)=1;  
matcont(16,17)=1;  
matcont(17,18)=1;  
matcont(18,[3 13 15])=ones(1,3);  
matcont(19,15)=1;  
matcont(20,[2 7 13 19])=ones(1,4)
```

```
% calcul du niveau 0

[n,m]=size(matcont);
v0=zeros(1,m);

for j=1:m
    for k=1:n
        v0(1,j)=v0(1,j)+matcont(k,j);
    end
end

v0;
niveau=find (v0 == 0);
disp(['niveau0 = ',num2str(niveau)])
Pause(1.5)

% calcul des autres niveaux

for i=1:100000
    mc1=matcont([niveau],:);
    [n,m]=size(mc1);
    v01=zeros(1,m);

    for j=1:m
        for k=1:n
            v01(1,j)=v01(1,j)+mc1(k,j);
        end
    end

    v0=v0-v01;
    v0(:,[niveau])=-10*i;
    [v,b]=size (v0);

    q=1;
    for u=1:b
        q=q*v0(1,u);
    end

    if q == 0
        niveau=find(v0 == 0);
        disp(['niveau',num2str(i),' = ',num2str(niveau)])
        pause(1.5)
    end

end
```

## **VII.2. La machine à commande numérique [10] :**

### **VII.2.1. Généralité :**

Les machines - outils à commande numérique sont des machines relativement nouvelles ont une capacité de production plus grande, temps d'exécution plus rapide et elles sont moines économiques par rapport aux machines conventionnelles. Elles ont une grande souplesse qui permet à piloter les outils dans des trajectoires très complexes.

### **VII.2.2. Commande numérique de MO :**

La commande numérique des machines - outils est une méthode de commande apparue dans les années 1950, elle fut développée aux USA dès 1942 pour satisfaire les besoins de l'industrie aéronautique comme par exemple :

La réalisation des surfaces évolutives telles que les pales d'hélicoptères allègement de grands panneaux d'aluminium par réalisation de poches de contours varies ".

La commande numérique est une méthode relativement récente qui consiste à commander le fonctionnement d'une machine à partir d'un programme sans intervention directe de l'opérateur (Système automatisé). On peut dire qu'une machine est commandée numériquement lorsque les déplacements des organes mobiles tels que chariots et outils sont effectués à partir d'instructions numériques codées.

### **VII.2.3. Eléments d'une machine à commande numérique :**

Une machine à commande numérique composée deux grandes parties :

- Partie opérative.
- Partie commande.

#### **a) Partie opérative:**

La partie opérative comprend une machine de base équipée d'actionneurs qui assurent :

- La rotation de la broche.
- Le déplacement des chariots.
- Le contrôle de la position des chariots.
- La lubrification de coupe.
- Des périphériques associés peuvent assurer le magasinage permettant le changement automatique d'outils.

La tâche de l'opérateur sur la MOCN consiste à introduire des données codées dans langage compréhensible par la machine et d'exécuter un contrôle dans le cas d'incidents non prévues ou non détectables par la technologie de la machine.

**b) Partie commande :**

La commande que fon appelle directeur de commande numérique assure trois grandes fonctions.

1) Introduction du programme suivant deux solutions:

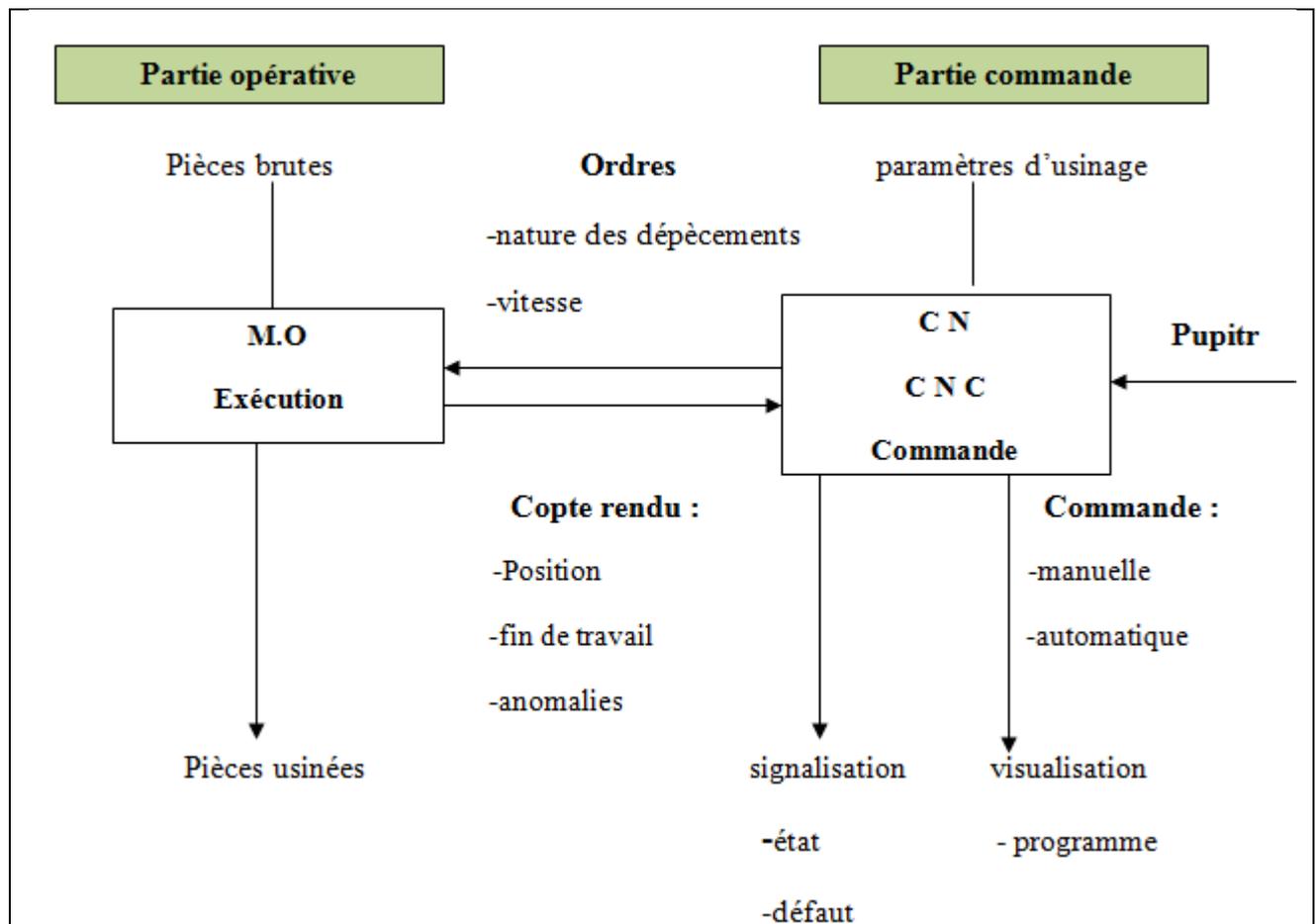
- manuelle avec un clavier à touches montée sur un pupitre permet d'afficher les données directement sur le site

Perforées (solution la plus courante), bande magnétique, disque souple.

2) Liaison avec les capteurs de position et les différents moteurs de la machine.

3) Mémoire centrale, traitement de l'information, calculs.

A partir d'un brut, la fonction globale de la machine-outil à commande numérique est d'usiner les pièces conformes au dessin de définition.



**Figure 6 :** Schéma simplifié de la machine à commande numérique.

#### VII.2.4. Les avantages de la MOCN [11] :

- Une grande précision dimensionnelle;
- Usinage des pièces avec des états de surface différentes;
- Possibilité de produire un grand nombre de pièces identiques en un temps réduit,
- Usinage de formes simples et complexes;

#### Codification des instructions

Les instructions d'un programme sont écrites dans un langage codé appelé langage machine. Ce langage utilisé pour décrire les opérations s'usinage sur une MOCN comporte un certain nombre de lignes d'écriture appelées blocs d'information.

**G00** : Avance rapide

**G01** : Avance de travail

**G54** : Origine machine

**G153 G0 X500** }  
                              : Origine tourelle  
**G153 G0 Z400** }

**G04** : Temporisation

**G96** : Vitesse de coupe constante

**N** : Numéro de l'opération

**T** : Fonction outil

**T1** : Correcteur d'outil

**S** : Vitesse de rotation de la broche

**F** : Avance en mm/min

**ANG** : Angle

**M** : Fonction auxiliaire

**M108** : Arrosage marche

**M109** : Arrosage arrêt

**M4** : Sens de rotation

**M30** : Fin de programme

### VII.2.5. Le programme CNC de phase de tournage :

#### Tournage phase 400:

**G00 G153 X500**

**G00 G153 Z400**

**N1 ; FINITION DERESSAGE 1<sup>er</sup> Coté**

**T : OUTIL DE DERESSAGE FINITION EXT**

**T (1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

**G96 S=185 M<sub>4</sub> = 4**

**G00 X118**

**G00 Z2**

**G01 X46 F 0.35 M108**

**G00 Z3**

**G00 X118**

**G00 Z1**

**G01 X46 F 0.35 M108**

**G00 Z2**

**G00 X118**

**G00 Z0**

**G01 X46 F0.35 M108**

**G00 Z10**

**G00 X118**

**M109**

**G00 G153 X500**

**G00 G153 Z400**

**N2 ; EBOUCHE ALESAGE**

**T : OUTIL ALESAGE**

**T (1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

**G96 S=180 M<sub>4</sub> = 4**

**G00 X56**

**G00 Z2**

**G01 Z0.1 F5**

```
G01 Z -59.8 F0.38 M108
G01 X54 F5
G00 Z0.1 F5
G00 X57.5
G00 Z -59.8 F0.38 M108
G01 X54 F5
G00 Z0.1 F5
G00 X60
G00 Z -24.8 F0.38 M108
G01 X56 F5
G00 Z0.1 F5
G00 X61.5
G00 Z -24.8 F0.38 M108
G01 X56 F5
G00 Z10
M 109
G00 G153 X500
G00 G53 Z400
N3; FINITION ALESAGE
T: OUTIL FINITION ALESAGE INT
T (1)
STMES (4)
Lims = 1000
G96 S=180  $M_4 = 4$ 
G00 X65
G00 Z2
G01 Z0.1 F5
G01 X62 ANG =225 F 0.15 M108
```

G01 Z -25 F 0.15

G01 X58 F 0.15

G01 Z -60 F 0.15

G01 X52

G00 Z10

M109

G00 G153 X500

G00 G153 Z400

**N4; EBOUCHE GOURGE**

**T : OUTIL DE PLONGER INT**

T (1)

STMES (4)

Lims = 1000

G96 S=125  $M_4 = 4$

G00 X60

G00 Z-6

G01 X61.8 F5

G01 X65 F 0.12 M108

G04 F2

G01 X60 F5

G00 Z10

M109

G00 G153 X500

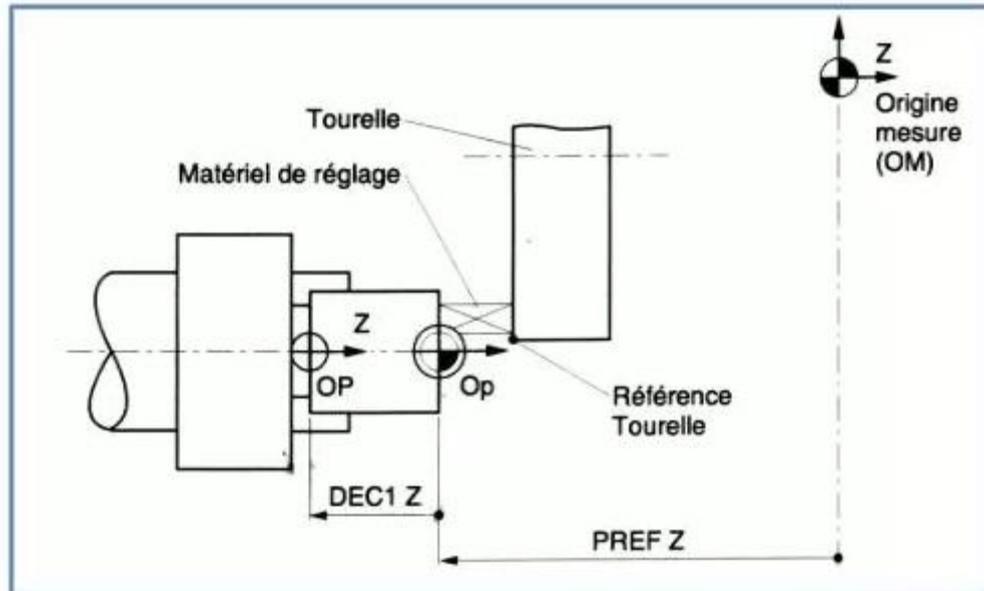
G00 G153 Z400

M30.

**Décalage d'origine 1<sup>er</sup> coté :**

G54 : X=0

Z= 400



**Figure 7:** Décalage d'origine.

**DEC1 Z :** C'est la distance entre la face de référence du mandrin et l'origine programme OP de la pièce pour l'axe Z.

**PREF Z :** valeur fixe relevée entre l'OM et l'axe de la broche.

### Jauge d'outil :

Rep	Nom d'outil	Correcteur	Long x	Long z	rayon
T1	outil finition ext dressage	1	7,599	45,377	0,8
T2	outil ébauche int alésage	1	-17,442	147,984	0,8
T3	outil finition int alésage	1	-17,680	140,968	0,4
T4	outil de plonger int	1	-27,969	124,892	/

**Tableau 33 :** Tableau de jauge d'outil phase 400

### Les caractéristiques des outils utilisés en tournage phase 400:

rep	Nom d'outil	Nuance	Plan (port plaquette)	rayon
T1	outil finition ext dressage	GC315	Losange CNMA Section 25x25	0,8
T2	outil ébauche int alésage	GC415	Losange CNMM Diamètre = 30	0,8
T3	outil finition int alésage	GC315	Losange CNMG Diamètre = 3	0.4
T4	Outil de plonger int	GC415	Plaquette de forme EPAISEUR = 2 Diamètre = 30	

**Tableau 34 :** Tableau des caractéristiques des outils utilisés en tournage phase 400.

### Tournage phase 500:

**G00 G153 X500**

**G00 G153 Z400**

**N1 ; FINITION DERESSAGE ET EBAUCHE CHARIOTAGE**

**T : OUTIL DE DERESSAGE FINITION EXT**

**T(1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

**G96 S=185  $M_4 = 4$**

**G00 X54**

**G00 Z2**

**G01 X27 F 0.35 M108**

**G00 Z3**

**G00 X54**

**G00 Z1**

**G01 X27 F 0.35 M108**

**G00 Z2**

**G00 X54**

**G00 Z0**

```
G01 X27 F 0.35 M108
G00 Z2
G00 X50
G01 Z0.1 F 5
G01 X-39.8 F 0.35 M108
G00 X52
G00 Z2
G00 X48
G01 Z0.1 F 5
G01 X-39.8 F 0.35 M108
G00 X50
G00 Z2
G00 X47
G01 Z0.1 F 5
G01 X-39.8 F 0.35 M108
G00 X52
G00 Z2
M 109
G00 G153 X500
G00 G153 Z400
```

**N2; FINITION CHARIOTAGE**

**T: OUTIL FINITION CHARIOTAGE INT**

**T (1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

**G96 S=185  $M_4 = 4$**

**G00 X43.3**

**G00 Z2**

```
G01 Z0.1 F5
G01 X46.3 ANG =135 F 0.15 M108
G01 Z -40
G01 X54
G00 Z10
M109
G00 G153 X500
G00 G153 Z400
```

**N3 ; EBOUCHE ALESAGE**

**T : OUTIL ALESAGE**

**T (1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

```
G96 S=160  $M_4 = 4$ 
G00 X31
G00 Z2
G01 Z0.1 F5
G01 Z -55 F0.11 M108
G01 X29 F5
G00 Z2
G00 X33
G00 Z0.1 F5
G01 X29 F5
G00 Z2
G00 X34.5
G00 Z0.1 F5
G01 Z -31.8 F0.11 M108
```

**G01 X29 F5**

**G00 Z10**

**M109**

**G00 G153 X500**

**G00 G153 Z400**

**N4; FINITION ALESAGE INT**

**T: OUTIL FINITION ALESAGE INT**

**T (1)**

**STMES (4)**

**Lims = 1000**

**G96 S=160  $M_4 = 4$**

**G00 X38**

**G00 Z2**

**G01 Z0.1 F5**

**G01 X35 ANG =225 F 0.11 M108**

**G01 Z -32 F 0.11**

**G01 X32 F 0.11**

**G01 Z -55 F 0.11**

**G01 X29**

**G00 Z10**

**M109**

**G00 G153 X500**

**G00 G153 Z400**

**M30.**

**Décalage d'origine :****G54 :** X=0, Z=20**Jauge d'outil :**

Rep	Nom d'outil	Correcteur	Long x	Long z	rayon
T1	outil finition ext dressage	1	7,599	45,377	0,8
T2	outil finition ext chariotage	1	118,073	53,900	0,8
T3	outil ébauche int alésage	1	-17,442	147,984	0,8
T4	Outil finition int alésage	1	-17,680	140,968	0,4

**Tableau 35 :** Tableau de Jauge d'outil phase 500.**Les caractéristiques des outils utilisés en tournage phase 500:**

Rep	Nom d'outil	nuance	Plan (port plaquette)	rayon
T1	outil finition ext dressage	GC315	Losange CNMA Section 25x25	0,8
T2	outil finition ext chariotage	GC315	Losange CNMA Section 25x25	0,8
T3	outil ébauche int alésage	GC415	Losange CNMM Diamètre = 30	0,8
T4	outil finition int alésage	GC315	Losange CNMG Diamètre = 30	0.4

**Tableau 36 :** Tableau des caractéristiques des outils utilisés en tournage phase 500.**VII.2.6. Conclusion :**

A partir d'un langage de programmation, qui s'appelle Code G ou langage machine, on a élaboré un programme à commande numérique pour la réalisation des opérations de tournage sur une MOCN.

Conclusion Générale

**Conclusion :**

Le stage pratique au niveau de la SNVI, nous a permis de sélectionner la pièce Palier de colonne de direction, qui se monte sur châssis des camions K66 et K120,

Nous pensons avoir réalisé notre objectif proposant une gamme d'usinage du palier de colonne de direction tout en espérant que les utilisateurs adopteront ce projet de gamme et mettront en application son processus d'usinage.

La réalisation de la pièce s'effectue en passant par quatre phases d'usinage dans un temps raisonnable en minimisant le coût. L'étude de phase nous a permis de révéler la durée de cycles pour chaque phase, et la durée totale donc pour réaliser les 100 pièces avec les quatre phases est plus de 8 jours.

L'optimisation des opérations de tournage « dressage 2F, et chariotage 6E » nous a permis de révéler pour le cas de coût total la vitesse économique  $V_e = 247,93$  m/min, et une durée de vie économique  $T_e = 55,8$  min. Pour le cas de temps minimal, la vitesse optimale  $V_p = 433$  m/min, la durée de vie optimal  $T_p = 76,92$  min. Pour le cas de volume donné par une arête de coupe la vitesse de coupe  $V_d = 1034$  m/min, la durée de vie  $T_d = 0,2$  min. ces valeurs correspondent à un nombre maximum de pièces usinées avec un temps d'usinage minimum.

Enfin nous souhaitons que nous avons réalisé l'objectif de notre étude et que nous avons pu satisfaire la demande de l'entreprise.

## Bibliographie

- [1] Mémoire : Etude complète de faisabilité du support boîtier de direction (ZF) N°1 166 927, Ait Yahiaoui said, Chertouk Fatma, Haddad Aljia, Promotion (2006).
- [2] A.Chavalier, J.Bohan-Guide du technicien en fabrication mécanique - Hachette technique.288p. (1979).
- [3] D.Policet, H.Carrere-technologie des fabrications mécaniques. 1992.
- [4] P.Padilla,A.Thélly –guide des fabrications mécaniques-Dunod. 239p. (1978).
- [5] R.Butin,Pinot-Fabrication mécaniques ,technologie tome1, FOUCHER. 225p. (1981).
- [6] R.Dietrich, D.Garsaud, S.Gentillon, M.NICOLAS, Précis méthodes d'usinage-Afnor NATHAN.180p. (1985).
- [7] Documents S.N.V.I (Notices techniques ROUCHAUD, Notices technique TS5, Catalogue des Perceuses).
- [8] MICHEL Aublin, MICHEL Rage, MDOMINIQUE taraud–Productique mécanique, sciences et technique industrielles –DUNOD.288p. (1999).
- [9] Denis Gelin, Michel Vincent – éléments de fabrication – AFNOR NATHAN. 223p.(1995).
- [10] Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme d'Ingénieur d'Etat en génie mécanique Saifi Said et Bayoun Toufik. (2008/2009).
- [11] Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master "Fabrication d'une pièce par MOCN (Usinage et programmation, BOUDRAA Mohamed Saddam, Université "Abbes Laghrou", Khenechla.
- [12] A.Saber. L'analyse de fabrication ; le préparateur ; le bureau des méthodes. 328p.
- [13] CLAUDE Barlie , Memotech productique matériaux et usinage. (1999).