

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Appliquées

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et Productique

Presenté par :

Aoun Abd Samie

Benzina Ahmed Mokhtar

Thème

**Étude de fabrication d'un outil de
super déformation plastique par
commande numérique cas du CGP**

Soutenu publiquement Le : /06/2019

Devant le jury :

Dr. A. Khair-Eddine

Président

UKM Ouargla

Dr. F. Bentaleb

Examineur

UKM Ouargla

Dr. M.S. Bennouna

Encadreur

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2018 / 2019

Remerciement

*Toute gratitude et Merci à Allah tout-puissant pour
l'achèvement et l'achèvement de ce travail.*

*Nous remercions notre Encadreur, Dr. Bernouna
Mohammed Salah, pour son assistant à l'Université
d'Ouargla.*

*Pour orienter, à sa patience, et à son expérience qui a une
contribution*

*Significative à ce travail, et pour nous guider vers la
bonne voie.*

Une salutation spéciale à son personnage.

*Nous remercions également Boughabach Abd Allah
pour son aide Une salutation animée pour l'aider.*

*À tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin,
j'exprime ici notre sincère gratitude et merci à eux ... Merci.*

Abd Samie Et Ahmed Mokhtar

Résumé

Les techniques et les es procédés de super déformation plastique ont été développés dans le but d'obtenir des nanomatériaux avec des structures très fines.

Des modèles mathématiques ont aussi été développés pour modéliser au mieux les processus de super déformation.

Le CGP (contrainte Groove Pressing) nommé aussi RCS (Repetitive Corrugated and Straightening) en Français le principe d'ondulation et redressage répétitifs, est l'un de ces procédés SPD.

Le présent travail consiste à l'étude de conception puis de fabrication d'un appareil de CGP par commande numérique. Après conception de l'appareil nous avons fait un acheminement systématique qui nous a amené à la rédaction des contrats de phase des différentes pièces de notre produit, puis nous avons rédigé les différents programmes en code G nécessaires pour la fabrication de tous les composants de notre produit. Enfin les programmes ont été testés par simulation sur des MOCN de type BOXFORD.

Pour faire un bon choix des outils de coupe et des conditions de coupe nous avons aussi procédé à une étude numérique par éléments finis qui a donné des résultats qu'on juge satisfaisant.

Mots clés : CNC, fabrication, gamme contrats de phase, CGP, FEM.

Abstract

The techniques and methods of super plastic deformation have been developed in order to obtain nanomaterials with very fine structures.

Mathematical models have also been developed to better model the super deformation processes.

The CGP (Constraint Groove Pressing) also named RCS (Repetitive Corrugated and Straightening) in French le principe d'ondulation et redressage répétitifs, is one of these SPD methods.

The present work consists of the study of design and manufacture of a CGP device by numerical command. After the design of the device we achieved a systematic routing that led us to the drafting of the phase contract of the different parts of our product, then we wrote the various programs in G code necessary for the manufacture of all the components of our product. Finally, the programs were tested by simulation on BOXFORD type machine tools..

To make a good choice of cutting tools and cutting conditions we also carried out a numerical finite element study which gave results that we consider satisfactory.

Key words: CNC, manufacturing, machine tool, G code, CGP, FEM.

CGP : constrained groove process
CN : commande numérique
CNC : commande numérique par ordinateur
Cpm : copeau minimum
DCN : direct commande numérique
FAST : Function System Analysis Technique
FEM. : method des elements finis
ISO : International Standard Organisation
MDI : matrice de déformation inférieure
MDS : matrice de déformation supérieure
MOCN : machine à commande numérique
MRI : matrice de redressement inférieure
MRS : matrice de redressement supérieure
N : vitesse de rotation
Ra : la rugosité arithmétique
Vc : vitesse de coupe

Chapitre I

Figure I-1 : schéma de machine à commande numérique

Figure I-2 : les éléments de la partie opérative

Figure I-3 : Fraisage par axiale

Figure I-4 : Opération de contournage

Figure I-5 : Nomenclature des axes

Figure I-6 : Origines en fraisage

Figure I-7 : Origines mesure

Figure I-8 : Origines en tournage

Figure I-9 : point de référence

Figure I-10 : référence tourelle

Figure I-11 : structure d'un programme CN

Figure I-12 : format de bloc

Figure I-13 : format d'un mot

Figure I-14 : structure d'un programme ISO

Figure I-15 : Les fonctions de programmation de G00 et G01

Figure I-16 : Les fonctions de programmation de G02 et G03

Figure I-17 : mode de programmation G90 et G91 d'un tournage

Figure I-18 : mode de programmation G90 et G91 d'un fraisage

Chapitre II

Figure II-1 : schématisation du processus CGP

Figure II-2 : Echantillons préparés pour CGP

Figure II-3 : Différentes phases du processus de déformation

Figure II-4 : Zones de cisaillement

Figure II-5 : Allure ondulée de l'échantillon après la phase de déformation

Figure II-6 : Différentes phases du processus de redressement

Figure II-7 : Diagramme pieuvre de l'Environnement de l'ensemble Appareil CGP

Figure II-8 : Diagramme Pieuvre Environnement du sous ensemble de déformation

Figure II-9 : Diagramme Pieuvre Environnement du sous ensemble de redressement

Figure II-10 : Diagramme Pieuvre en termes de fonctions

Figure II-11 : Diagramme Pieuvre en termes de fonctions détaillé

Figure II-12 : Boite A0 du produit

Figure II-13 : Développement de la Boite A0 du produit

Figure II-14 : Diagramme FAST de l'appareil du processus CGP

Chapitre IV

Figure IV-1 : schéma des différentes zones de cisaillement

Figure IV-2 : Maillage utilisé.

Figure IV-3 : Représentation des conditions aux limites

Figure IV-4 : Évolution de la force en fonction du temps

Figure IV-5 : évolution de la force en fonction du temps

Figure IV-6 : évolution de la force en fonction du temps

Figure IV-7 : Angle de l'outil à changer

Figure IV-8 : évolution de la force en fonction du temps

Figure IV-9 : évolution de la force en fonction du temps

Figure IV-10 : évolution de la force en fonction du temps

Chapitre I

Tableau I-1 : Tableau des fonctions préparatoires G

Tableau I-2 : Tableau des Fonctions auxiliaires logiques M

Tableau I-3 : Autres fonctions

Chapitre II

Tableau II-1 : Recensement des fonctions

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Caractéristiques du matériau

Tableau IV-2 : valeurs des facteurs de la loi de Johnson Cooke

Tableau IV-3 : valeurs des facteurs du critère d'endommagement de Johnson-Cooke

Tableau IV-4 : Evolution de la force en fonction de la profondeur de passe

Tableau IV-5 : Evolution de la force en fonction de l'angle β de l'outil

Remerciement.....	I
Résumé.....	II
Abréviations	III
Liste des figures	IV/V
Liste des tableaux.....	VI
Sommaire.....	VII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Etat de l'art de CNC

1/ Introduction.....	4
2/ Définition CN.....	4
3/ La machine outil à commande numérique (MOCN).....	4
3-1/ définition.....	4
3-2/ Les parties des machines à commande numérique.....	5
3-2-1/ la partie commande.....	5
3-2-2/ la partie pratique (opérative).....	5
4/ Classification des MOCN.....	6
4-1/ Classification par nature de commande.....	6
4-1-1/ Commande numérique par ordinateur (CNC).....	6
4-1-2/ Commande numérique direct (DNC).....	6
4-2/ Classification par mode de fonctionnement.....	6
4-2-1/ Commande numérique point à point.....	6
4-2-2/ Commande numérique par axiale.....	7
4-2-3/ Commande numérique de contournage.....	7
5/ Domaine d'utilisation de MOCN.....	7
6/ Préparation de travail.....	8
7/ Programmation.....	8
7-1/ Généralité	8

7-2/ Référentiel de programmation et système d'axes.....	8
7-2-1/ Nomenclature des axes.....	8
7-2-2/ Origines et références.....	9
7-2-2-1/ Fraisage.....	9
7-2-2-2/ Tournage.....	10
7-3/ Création d'un programme CN.....	11
7-3-1/ Préparer le dessin de la pièce.....	11
7-3-2/ Définir le déroulement des opérations d'usinage.....	11
7-3-3/ Définir la gamme de fabrication.....	11
7-4/ Structure d'un programme CN.....	12
7-4-1/ Format de bloc.....	12
7-4-2/ Format d'un mot.....	13
7-5/ Structure d'un programme ISO.....	13
7-5-1/ Mode de programmation.....	13
7-5-2/ l'interpolation linéaire et circulaire.....	14
7-5-3/ Commande de la broche.....	16
7-5-3-1/ Rotation.....	16
7-5-3-2/ Vitesse.....	16
7-5-4/ Mode d'avance.....	16
7-6/ Les principales fonctions.....	17
7-6-1/ Les fonctions préparatoires G.....	17
7-6-2/ Les fonctions auxiliaires logiques M.....	18
7-6-3/ Autres fonctions.....	19
8/ Quelques exemples sur les fonctions.....	19
8-1/ Interpolation linéaire.....	19
8-2/ Interpolation circulaire.....	20
8-3/ Programmation absolue et relative.....	20

9/ Avantages et inconvénients lies aux MOCN.....	21
10/ conclusion	22
11/ références.....	22
Chapitre II : Etude fonctionnelle de l'appareil du processus de CGP (cahier des charges fonctionnel)	
1/ Introduction.....	24
2/ Etude de processus de CGP.....	24
2-1/ L'outil de déformation.....	26
2-2/ L'outil de Redressement.....	26
2-3/ Phase de déformation.....	26
2-4/ Phase de redressement.....	27
3/ Etude fonctionnelle de produit (appareil CGP).....	28
3-1/ Identification des fonctions du produit.....	28
3-1-1/ Milieu environnant.....	28
3-1-2/ Formulation des fonctions.....	30
3-1-3/ Boite A0 du système.....	31
3-1-4/ Diagramme FAST.....	32
4/ Conception du produit (dessin technique).....	33
Assemblage perspective appareil de déformation.....	34
Assemblage perspective appareil de redressement.....	35
Appareil de déformation.....	36
Appareil de redressement.....	37
Dessin de définition matrice de déformation inférieure.....	38
Dessin de définition matrice de déformation supérieure.....	39
Dessin de définition matrice de redressement supérieure	40
Dessin de définition matrice de redressement inférieure.....	41
5/ Conclusion.....	42

6/ références.....42

Chapitre III : Etude de la fabrication de l’outil CGP

1/ Introduction.....44

2 /Etude de la fabrication.....44

2-1/ calculs de brute nécessaire pour la fabrication de l’appareil.....44

2-2/ calculs de brute.....44

3/ analyses chronologiques de fabrication46

 A) Matrice de déformation inférieure (MDI).....46

 B) Matrice de déformation supérieure (MDS).....58

 C) Matrice de redressement inférieure (MRI).....69

 D) Matrice de redressement supérieure (MRS).....69

4/ conclusion.....88

5/ références.....88

Chapitre IV : Etude numérique par l’élément finis du phénomène de coupe

1/ Introduction.....90

2/ Matériau usiné.....91

3/ Maillage.....91

4/ Définition du modèle et conditions aux limites91

5/ Résultats et discussions.....93

5-1/ Influence de la profondeur de passe P.....93

5-2/ Influence de l’angle de l’outil.....95

6/ Conclusion.....98

7/ Références.....98

Conclusion général.....100

Introduction Générale

1. Contexte scientifique

Malgré tous les travaux de recherche que mènent les chercheurs dans le domaine des matériaux, le développement industriel cause toujours une nécessité de nouveaux matériaux surtout dans certains domaines très sensibles où le choix du matériau est directement lié à la vie humaine et à sa sécurité tels que le domaine mécanique qui utilise des biomatériaux pour la fabrication des implants et pièces qui remplacent des organes humains ainsi que le domaine aéronautique qui nécessite des caractéristiques spécifiques pour les matériaux.

Les polymères ont un rôle très important dans l'industrie de nos jours vu leur prix et leur disponibilité ainsi que la diversité de technologies de façonnage, d'éjection, d'extrusion et de moulage de ces matériaux.

Des techniques et des procédés de super déformation plastique ont été développés dans le but d'obtenir des nanomatériaux avec des structures très fines.

Des modèles mathématiques ont aussi été développés pour modéliser au mieux les processus de super déformation.

Le CGP (contrainte Groove Pressing) nommé aussi RCS (Repetitive Corrugated and Straightening) en français le principe d'ondulation et redressage répétitifs, est l'un des procédés SPD qui consiste à déformer l'échantillon sous forme de plaque entre les enclumes d'un outil à rainures en V puis lui restorer sa forme plate avec les enclumes d'un deuxième outil tout ce ci sous une pression hydrostatique à l'aide d'une presse.

2. Objectifs scientifiques du travail

Vue l'importance des procédés de super déformation plastique, la conception de leurs outils leur étude et leur application sur de nouveaux matériaux sont donc aussi d'une importance majeure dans ce domaine et ce mémoire s'inscrit donc dans cette thématique de recherche dont l'objectif principal est l'étude, la conception et la fabrication par commande numérique d'outillage de super déformation plastique qui nous conduit à réaliser un outil de CGP et dans les perspectives son expérimentation sur un polymère qui est le PA66. Pour achever ce travail nous avons adopté le plan de travail suivant:

- ❖ Etat de l'art de la commande numérique.
- ❖ Etude fonctionnelle et de conception de dispositif des CGP

- ❖ Etude de fabrication et simulation de la fabrication par commande numérique sur des machines de type BOXFORD d'un outil de CGP.
- ❖ Simulation du phénomène de coupe par éléments finis..

3. Structure du mémoire

dans le but d'atteindre des objectifs bien précises ce mémoire comporte quatre chapitres structuré comme suite:

Chapter I:

Ce chapitre est une synthèse bibliographique sur la commande numérique, il présente un état de l'art de la CNC en décrivant ses spécificités et ses caractéristiques et les composants d'un programme CNC.

Chapter II:

Ce chapitre est consacré à la conception, d'un outil de CGP, il présente une étude fonctionnelle qui aboutit à l'instauration des dessins industriels de l'outil de CGP. Ces dessins feront par la suite la base de l'étude de fabrication de l'outil.

Chapter III:

Dans ce chapitre une étude systématique de bureau de méthode en vue de la fabrication de l'outil de CGP. Dans cette étude on part des dessins faits au chapitre précédent pour aboutir au contrats de phase de toutes les pièces constituant le produit. Enfin des programmes CNC seront rédigés et testés par simulations sur des MOCN (machine outil à commande numérique).

Chapter IV:

Dans ce chapitre une étude numérique à base d'éléments finis par Abaqus du processus du phénomène de coupe qui permettra de faire le bon choix des outils et de conditions de coupe pour la fabrication de l'outil

Finalement ce mémoire est clôturé par des conclusions et des perspectives qui visent l'amélioration de ce travail dans le futur.

Chapitre 1

Etat de l'art de la CNC

1/ Introduction

Dans le domaine de l'industrie mécanique. De la conception du produit selon le cahier des conditions et d'autre part l'utilisation du logiciel de contrôle numérique utilisé dans la fabrication nécessite un rendement élevé pour cela est nécessaire pour utiliser des systèmes de support informatique spécialisés dans la conception et la fabrication à l'aide de médias automatisés.

Grâce à ce chapitre, nous avons donné quelques notions de base aux machines CNC.

2/ Définition CN

La commande numérique est un procédé d'automatisation qui permet les déplacements des organes de la machine outil, à partir d'informations codées de caractères alphanumériques. [1]

3/ La machine outil à commande numérique (MOCN)

3-1/ Définition

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

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

Les quatre familles des machines à commande numérique :

- Fraisage à commande numérique (FCN) ;
- tournage à commande numérique (TCN) ;
- usinage à commande numérique (CUCN) ;
- rectification à commande numérique ;

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. À cela peuvent se rajouter des interfaces dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine. La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse. [2]

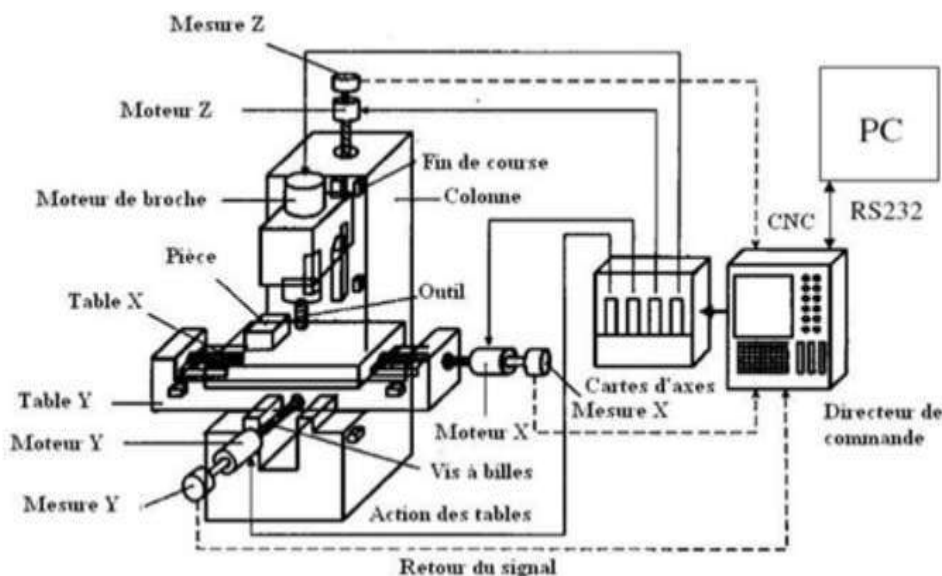


Figure I-1 : schéma de machine à commande numérique [3]

3-2/ Les parties des machines à commande numérique

- La partie commande
- La partie pratique (opérative)

3-2-1/ La partie commande

Cette partie convertit les symboles de programme en commandes pour divers éléments de la partie pratique.

Les fonctions principales :

-Présentation et clarification du programme

-Connectivité

-La mémoire

-Fonctions homme sur la partie commande :

- ✓ Création du programme
- ✓ Sélection des références de la machine
- ✓ Intervention en cas de problème

3-2-2/ La partie pratique (opérative)

Les mouvements sont commandés par des moteurs, et elle comprend :

- Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...)

- Des moteurs chargés de l'entraînement de la table

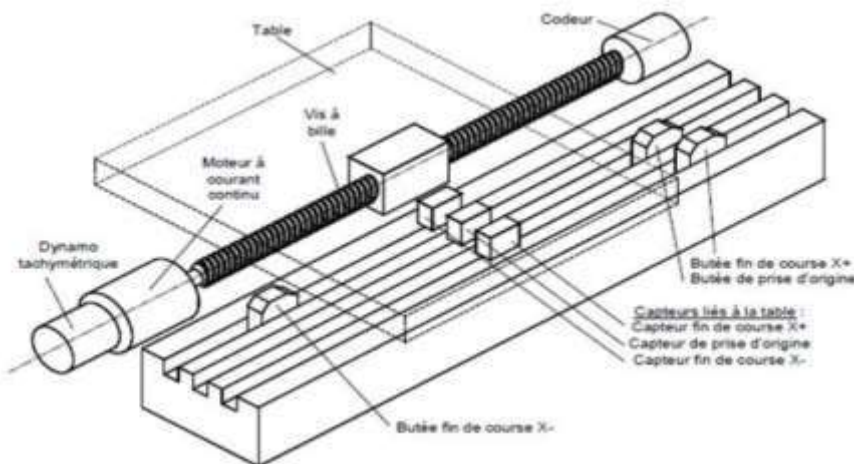


Figure I-2 : les éléments de la partie opérative [3]

4/ Classification des MOCN

Les machines à commande numérique sont classées en plusieurs classifications, parmi lesquelles:

4-1/ Classification par nature de commande

- Commande numérique par ordinateur
- Commande numérique direct

4-1-1/ Commande numérique par ordinateur (CNC)

Ce contrôle contient un ou plusieurs organisateurs automatiques avec suffisamment de mémoire pour stocker plusieurs programmes. Ce système a la souplesse nécessaire pour terminer et modifier les programmes sur la machine et est largement utilisé.

4-1-2/ Commande numérique direct (DNC)

Plusieurs machines sont contrôlées par un régulateur central puissant. Chaque machine contient un système de contrôle numérique simple pour se connecter avec le régulateur central et permettre la correction des erreurs.

4-2/ Classification par mode de fonctionnement

- Commande numérique point à point
- Commande numérique par axiale
- Commande numérique de contournage

4-2-1/ Commande numérique point à point

Le passage d'un point à un autre s'effectue en programmant la position finale et le trajet parcouru pour atteindre cette position n'est pas contrôlé par le directeur de commande numérique. Par exemple, les trajectoires planes d'un point A vers un point B peuvent s'exécuter de manières différentes schématisées. [4]

4-2-2/ Commande numérique par axiale

Les trajectoires sont parallèles aux axes de déplacement et la vitesse de déplacement (programmable) est contrôlée. Ce type de déplacement permet par exemple des fraisages précis à vitesses imposées. [4]

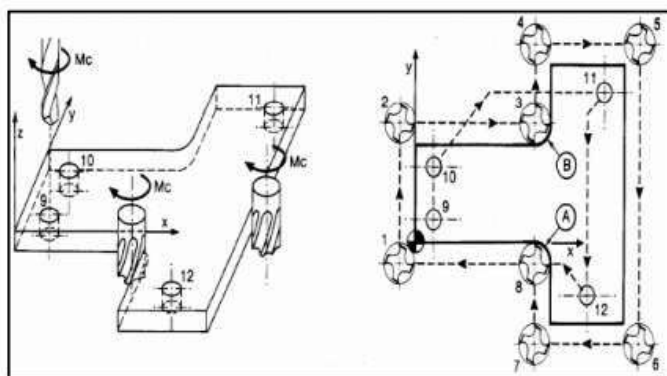


Figure I-3 : Fraisage par axiale [4]

4-2-3/ Commande numérique de contournage

Des interpolateurs linéaires et circulaires permettent de réaliser des trajectoires linéaires et circulaires dans le plan ou dans l'espace (Certains D.C.N. n'autorisent pas l'interpolation circulaire dans l'espace). Les différents axes exécutant la trajectoire sont contrôlés en vitesse et en position pour assurer une synchronisation permanente des mouvements. [4]

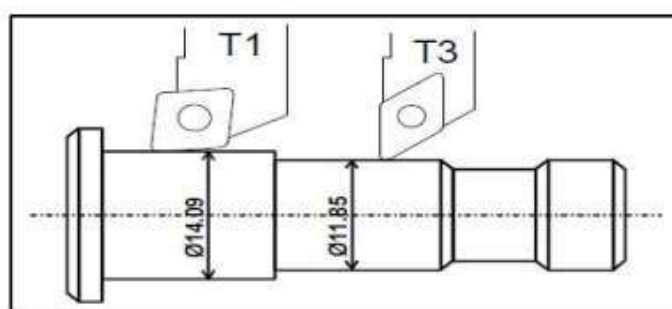
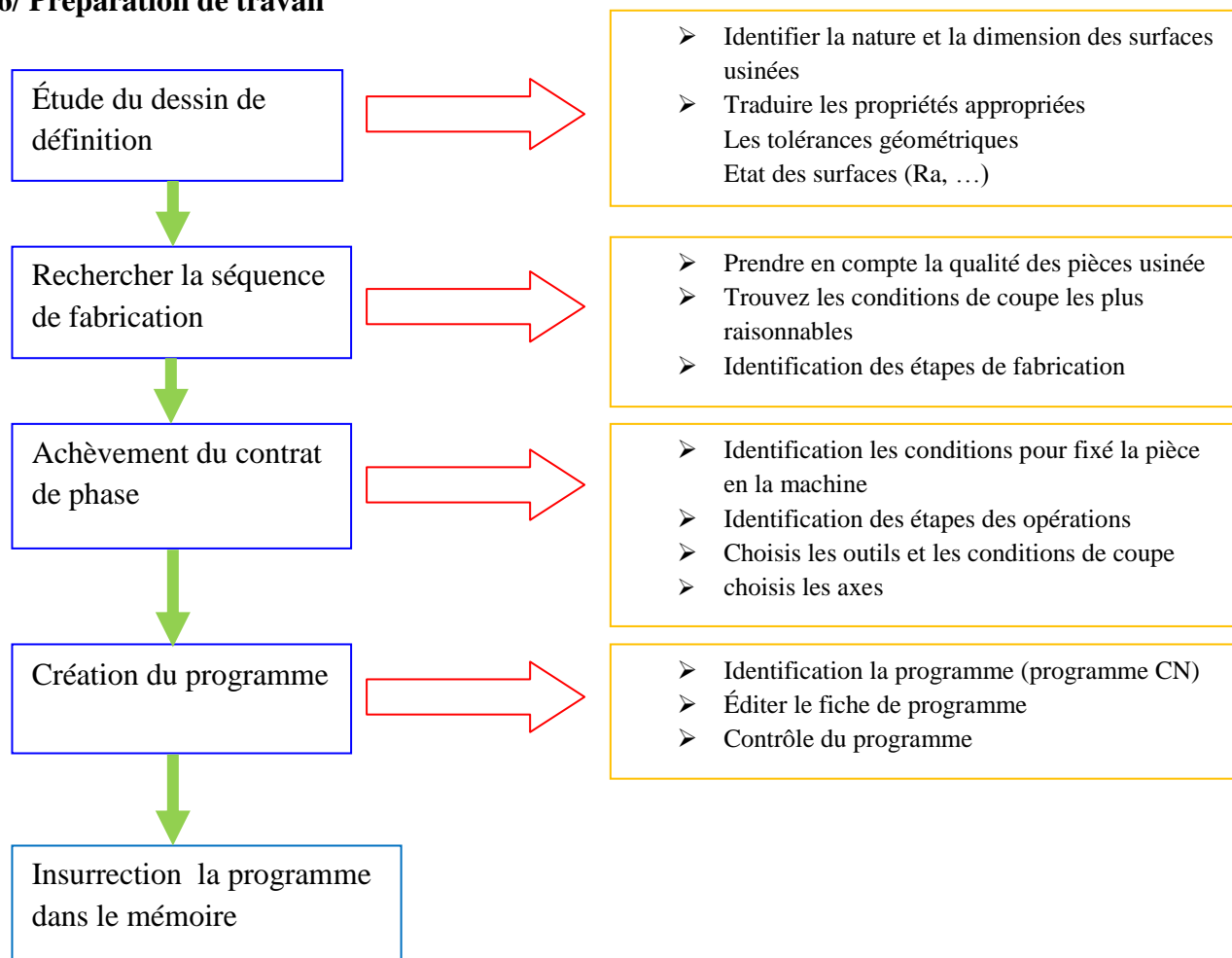


Figure I-4 : Opération de contournage [4]

5/ Domaine d'utilisation de MOCN [3]

- Perçage, taraudage
- Tournage, alésage
- Fraisage
- Rectification
- Poinçonnage, cisailage.

6/ Préparation de travail



7/ Programmation

7-1/ Généralité

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instruction comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. [5]

7-2/ Référentiel de programmation et système d'axes

7-2-1/ Nomenclature des axes

Axes primaires :

Le système normal de coordonnées est un trièdre orthonormé direct (X, Y, Z). Le sens positif est celui qui provoque un accroissement de dimension. Dans la plupart des cas.

- L'axe Z est celui de la broche
- L'axe X est le déplacement ayant la plus grande amplitude
- L'axe Y forme avec les deux autres axes le trièdre de sens direct

Axes auxiliaires :

Les axes U, V et W sont respectivement parallèles aux axes X, Y et Z.

Axes rotatifs :

A, B et C sont les axes rotatifs autour de chacun des axes X, Y et Z. [1]

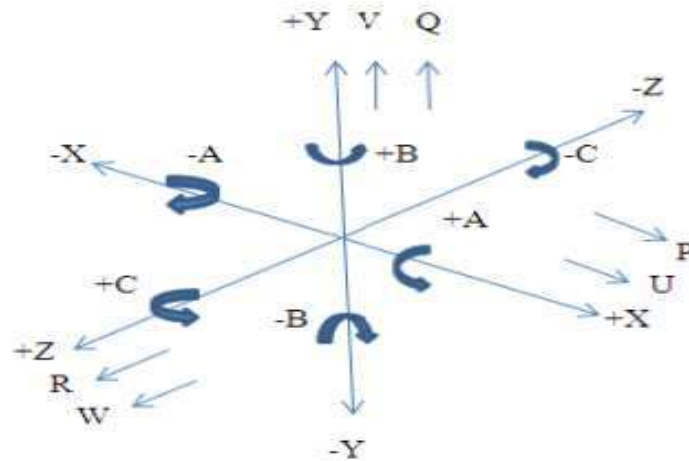


Figure I-5 : Nomenclature des axes [3]

7-2-2/ Origines et références

Pour une machine à commande numérique les points d'origine et de référence suivants doivent être définis :

7-2-2-1/ Fraisage

- Zéro machine ou point de référence OM machine : il est défini par le constructeur comme origine du système de coordonnées de la machine.
- Zéro pièce ou point d'origine pièce Op : il est défini pour la programmation des cotes de la pièce et son choix est laissé à l'appréciation du programmeur. [1]

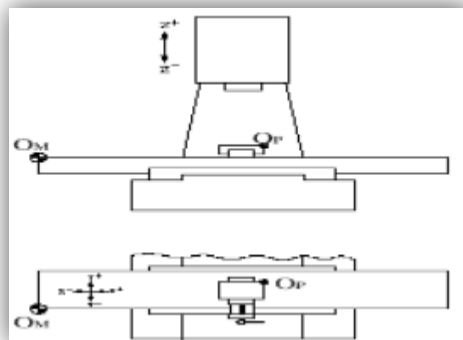


Figure I-6 : Origines en fraisage [1]

- Point de référence : c'est un point défini par le constructeur et servant à la synchronisation du système. En effectuant la recherche des zéro machines les axes se déplacent vers ce point et prennent des valeurs par rapport aux zéro machines.
- Origine mesure : C'est le point par rapport auquel se fait la mesure de longueur d'outil, il se situe généralement à la base de la broche. [1]

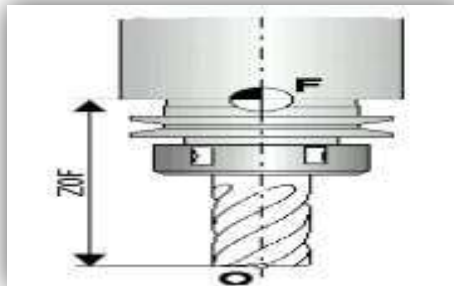


Figure I-7 : Origines mesure [1]

7-2-2-2/ Tournage

- Zéro machine ou point de référence machine OM : il est défini par le constructeur comme origine du système de coordonnées de la machine.
- Zéro pièce ou point d'origine pièce Op : il est défini pour la programmation des cotes de la pièce et son choix est laissé à l'appréciation du programmeur. [1]

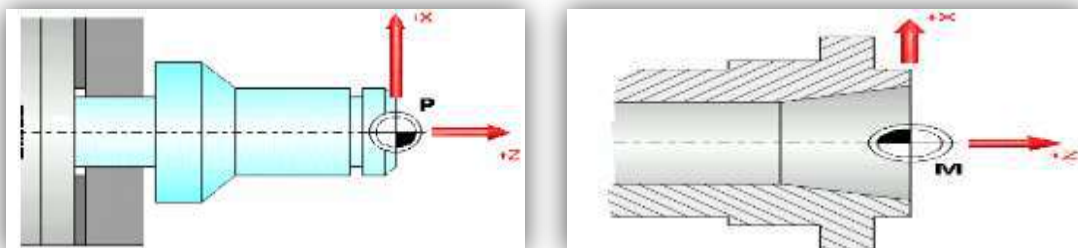


Figure I-8 : Origines en tournage [1]

- Point de référence : c'est un point défini par le constructeur et servant à la synchronisation du système. En effectuant la recherche des zéro machines la tourelle se déplace vers ce point et prend ses valeurs par rapport aux zéro machines.

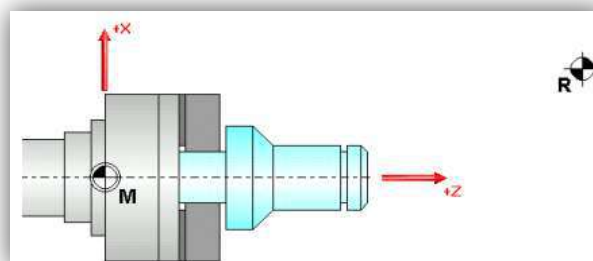


Figure I-9 : point de référence [1]

- Référence tourelle : c'est un point défini par le constructeur sur la tourelle, toutes les mesures des cotes ainsi que des outils sont repérés par rapport a ce point. [1]

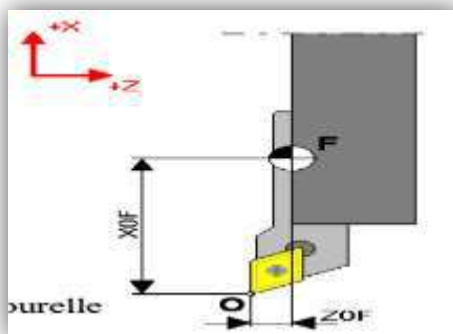


Figure I-10 : référence tourelle [1]

7-3/ Création d'un programme CN [5]

Avant toute programmation proprement dite, il est important de planifier et de préparer méticuleusement les opérations d'usinage. Plus votre préparation n'aura été précise quant à la structure de votre programme CN, plus la programmation proprement dite sera simple et rapide et moins vous aurez d'erreurs dans le programme terminé.

7-3-1/ Préparer le dessin de la pièce

- définir l'origine de la pièce
- indiquer le système de coordonnées
- éventuellement calculer les coordonnées manquantes

7-3-2/ Définir le déroulement des opérations d'usinage

- Quels sont les outils à mettre en œuvre, à quel moment et pour le traitement de quel contour ?
- Dans quel ordre les différents éléments de la pièce devront-ils être usinés ?
- Quels sont les éléments qui se répètent et qui devraient figurer dans un sous-programme ?
- Est-ce que d'autres programmes pièce ou sous-programmes contiennent des contours susceptibles d'être utilisés pour la pièce actuelle ?

7-3-3/ Définir la gamme de fabrication

Définir pas a pas toutes les phases d'opération de la machine, par exemple :

- Déplacements a vitesse rapide pour le positionnement
- Changement d'outil
- Définition du plan d'usinage

- Dégagement pour les mesures
- Mise en marche/arrêt de la broche, de l'arrosage
- Appel des données d'outil
- Correction de trajectoire
- Accostage du contour
- Retrait de l'outil

7-4/ Structure d'un programme CN [5]

Le programme CN se compose d'une suite de blocs. Chaque bloc contient les données pour l'exécution d'une opération d'usinage. Il est divisé en trois domaines constituent la gamme d'usinage.

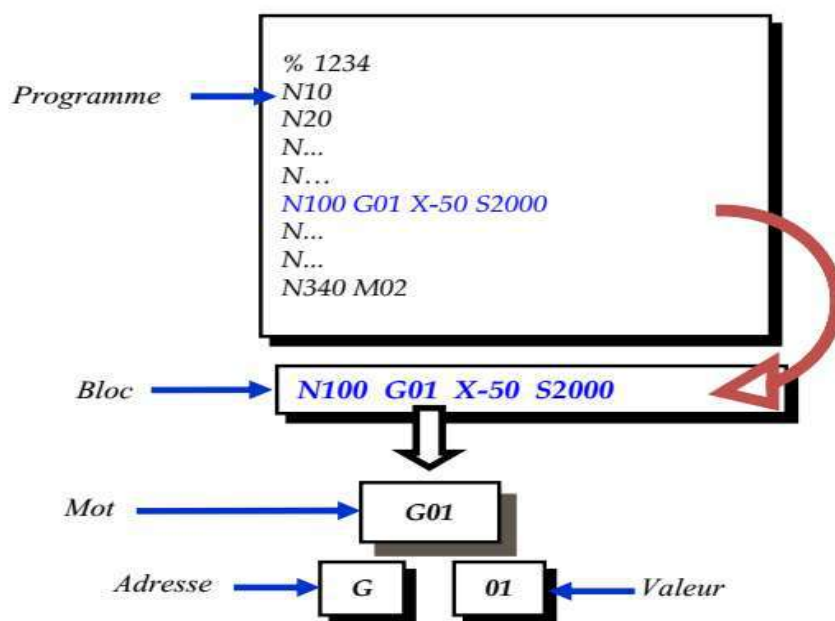


Figure I-11 : explication simplifiée d'une structure d'un programme CN [5]

7-4-1/ Format de bloc

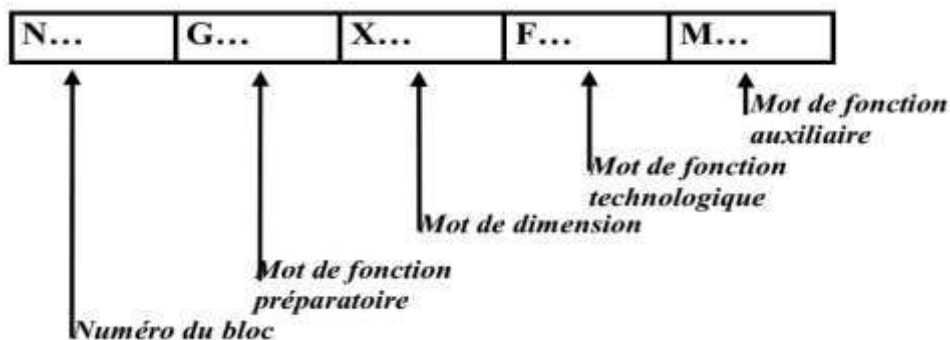


Figure I-12 : format de bloc [5]

7-4-2/ Format d'un mot

Le mot définit une instruction ou donnée à transmettre au système de commande.

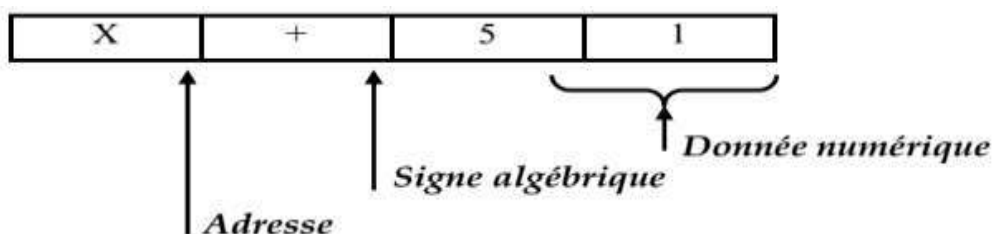


Figure I-13 : format d'un mot [5]

7-5/ Structure d'un programme ISO [5]

La programmation structurée permet d'analyser et de concevoir plus rapidement un programme de commande numérique. En effet toutes les opérations d'usinage font appel à un certain nombre de fonctions identique (appel d'outil, rotation de broche, mise en route et arrêt de la lubrification, conditions de coupe... etc.).

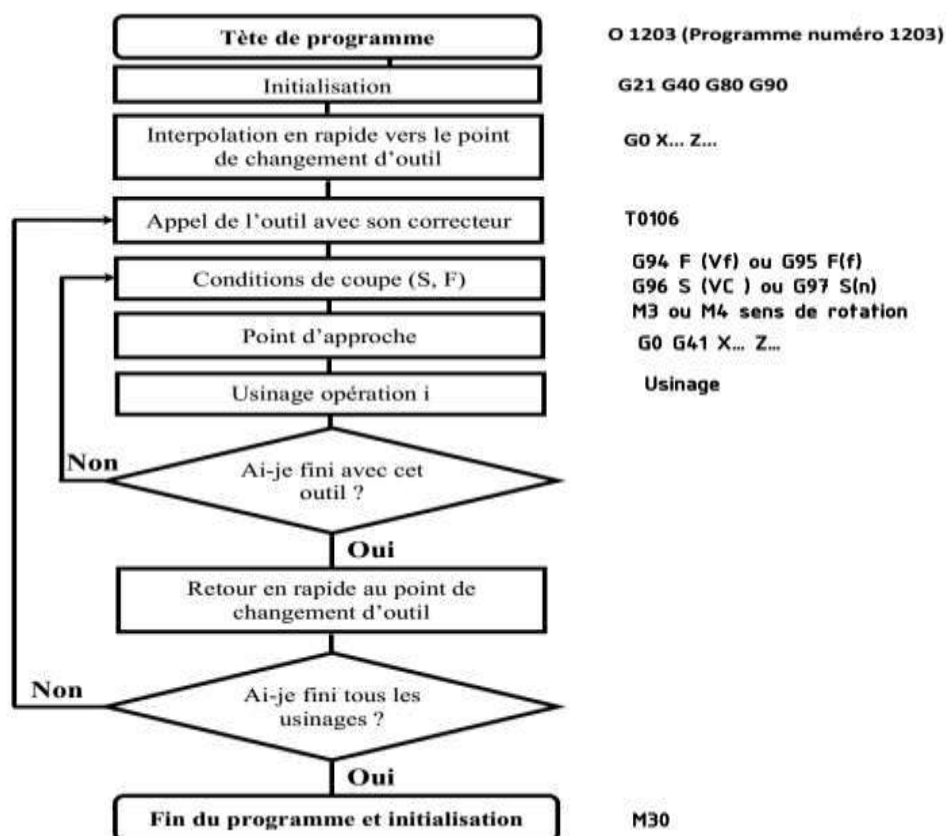


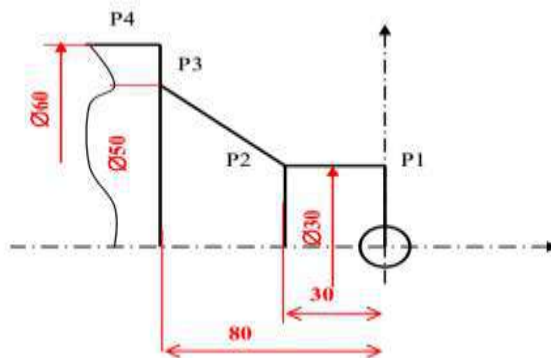
Figure I-14 : structure d'un programme ISO [5]

7-5-1/ Mode de programmation

En programmation absolue, la cotation se réfère à l'origine du système de coordonnées après décalage total. En programmation relative, la valeur numérique programmée de l'information de déplacement correspond à la distance à parcourir. Le signe indique le sens de déplacement.

- G90 : programmation absolue
- G91 : programmation relative

Exemple :

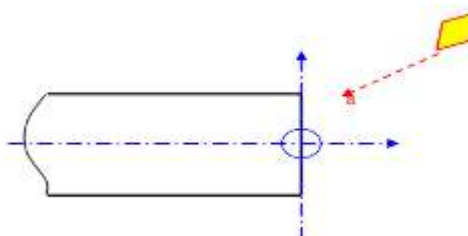


Cotes absolues	Cotes relative
X30 Z0 Point P1	X30 Z0..... Point P1
X30 Z-30..... Point P2	X00 Z-30.....Point P2
X50 Z-80.....Point P3	X20 Z-50..... Point P3
X60 Z-80.....Point P4	X10 Z0..... Point P4

7-5-2/ l'interpolation linéaire et circulaire

G00 : Interpolation linéaire en avance rapide Indiquée dans le paramètre machine d'axe « G00 Feed » le point programmé est atteint suivant un trajet linéaire.

Exemple :

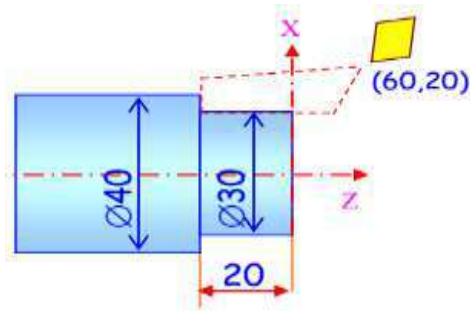


Déplacement rapide avant exécution d'un usinage

```
N.....
N130 G00 X15 Z20
```

G01 : Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée.

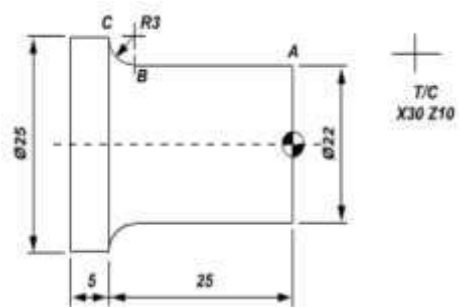
Exemple :



```
N50 G00 X30 Z5
N60 G01 X30 Z-20
N70 X45
N80 G00 X60 Z20
```

G02: Interpolation circulaire à droite (sens horaire ou anti trigonométrique) à vitesse d'avance programmée.

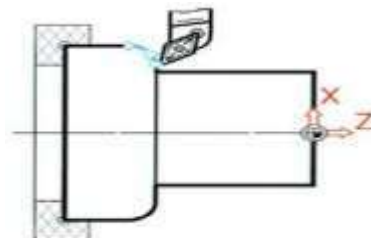
Exemple :



```
N10 G21
N20 T01
N30 G00 X30 Z10
N40 M04 X22 Z2 S200
N50 G01 Z-23.5 F0.05
N60 G02 X25 Z-25 I1.5 K0 F0.05
N70 G00 M05 X30 Z10
N80 M30
```

G03: Interpolation circulaire à gauche (sens antihoraire ou trigonométrique) à vitesse d'avance programmée.

Exemple :



```
N10 G21
N20 T01
N30 G00 X30 Z10
N40 M04 X22 Z2 S200
N50 G01 Z-23.5 F0.05
N60 G03 X25 Z-25 I1.5 K0 F0.05
N70 G00 M05 X30 Z10
N80 M30
```

7-5-3/ Commande de la broche

7-5-3-1/ Rotation

M03 : cette fonction Spécifiez le sens anti trigo

M04 : cette fonction spécifiez le sens trigo

Exemple :

N..

N50 S500 M03 M41 (Rotation sens anti-trigonométrique, gamme M41)

N...

N150 M05 (Arrêt de la broche)

7-5-3-2/ Vitesse

G96 : Cette fonction permet d'appliquer une vitesse de coupe constante $m.mn^{-1}$ en variant la fréquence de rotation.

G97 : Elle annonce une vitesse de rotation constante $tr.mn^{-1}$

Exemple :

N...

N60 G97 S2000 M04 (vitesse $N = 2000tr.mn^{-1}$ rotation à gauche)

N70 G00 X60 Z4 (Positionnement de l'outil au diamètre 60)

N80 G96 S200 ($V_c = 150 m.mn^{-1}$)

.....

7-5-4/ Mode d'avance

G94 : cette fonction spécifiez la vitesse d'avance en mm/mn

G95 : cette fonction spécifiez la vitesse d'avance en mm/tr

Exemple :

N..

N50 G00 X10 Z20

N60 G95 F0.3 (vitesse d'avance en mm/tr)

N70 G01 X..Z..

N..

7-6/ Les principales fonctions [6] [1]

7-6-1/ Les fonctions préparatoires G

Tableau I-1 : Les fonctions préparatoires G

G00	Interpolation linéaire à vitesse rapide	G09	Arrêt précis en n de bloc.
G01	Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée.	G10	Bloc interruptible
G02	Interpolation circulaire sens négatif	G16	Orientation de l'axe de l'outil
G03	Interpolation circulaire sens positif	G17	Choix du plan xy
G04	Temporisation	G18	Choix du plan zx
G06	Ordre d'exécution d'une courbe spline	G19	Choix du plan yz
G29	Correction de rayon spatiale	G31	(cu) cycle de filetage au grain
G33	(tour) cycle de filetage	G40	Annulation de correction de rayon
G41	Correction de rayon à gauche du profil	G42	Correction de rayon à droite du profil
G45	Cycle de poches simple	G48	Définition d'une courbe spline
G49	Suppression d'une courbe spline	G51	Fonction miroir
G52	Programmation par rapport au repère machine	G53	Invalidation des décalages pref et dec1
G54	Validation des décalages pref et dec1	G59	Décalage d'origine programmé
G64	(tour) cycle d'ébauche par axial	G65	(tour) cycle de gorge
G70	Programmation en pouce	G71	Programmation dans le système métrique
G73	Invalidation du facteur d'échelle	G74	Validation du facteur d'échelle

G75	Déclaration d'un sous-programme de dégagement d'urgence	G76	Transfert de valeurs
G77	Appel d'un sous programme	G78	Synchronisation des groupes d'axes
G79	Saut conditionnel ou inconditionnel	G80	Annulation de cycle d'usinage
G90	Programmation absolue	G91	Programmation relative
G92	Présélection de l'origine programme	G92 r	(cu) programmation de l'avance tangentielle
G92 s	(tour) limitation de la vitesse de broche	G93	Vitesse d'avance exprimée en inverse du temps
G94	Vitesse d'avance en mm par minute	G95	Vitesse d'avance exprimée en mm par tour
G96	Vitesse de coupe constante	G97	Vitesse de broche exprimée en tour par mn.
G21	Programmation en millimètre	G81	Perçage centrage
G82	Perçage cambrage	G83	Perçage débouillage
G84	Taroudage	G85	Alésage
G86	Alésage arrêt broche indexé	G87	Perçage brise-copeaux
G88	Alésage et dressage de face	G89	Alésage arrêt en fin de trou

7-6-2/ Les Fonctions auxiliaires logiques M

Tableau I-2 : Les Fonctions auxiliaires logiques M

M00	Arrêt programmé	M01	Arrêt programmé optionnel
M02	N de programme	M03	Rotation de broche sens anti-trigonométrique

M04	Rotation de broche sens trigonométrique	M05	Arrêt broche
M06	Changement d'outil	M07	Arrosage numéro 2
M08	Arrosage numéro 1	M09	Arrêt arrosage
M10	Blocage d'axe	M11	Débloccage d'axe
M12	Arrêt d'usinage programmé	M19	Indexation de broche
M40 à m45	Gamme de broche	M48	Validation des potentiomètres de broche et d'avance
M49	Inhibition des potentiomètres de broche et d'avance	M30	Arrêt du programme (répéter)
M39	Fermeture automatique mandrin	M81	Mise en route / arrêt production
M97	Fabrication continue	M98	Appel du sous programme
M99	Fin du sous programme		

7-6-3/ Autres fonctions [6]

Tableau I-3 : Autres fonctions

E+ et E-	Discriminant	ES	Elément sécant
EA	Droite dénie par un angle	ET	Elément tangent
EG	Modulation de l'accélération	T	Numéro d'outil
ED	Décalage angulaire programmé	D	Correcteur d'outil
EM	Dimension extrême en visualisation graphique	EB	Chanfreins et congés

8/ Quelques exemples sur les fonctions

8-1/ Interpolation linéaire

G00 : Interpolation linéaire à vitesse rapides.

G01 : interpolation linéaire à vitesse programmée.

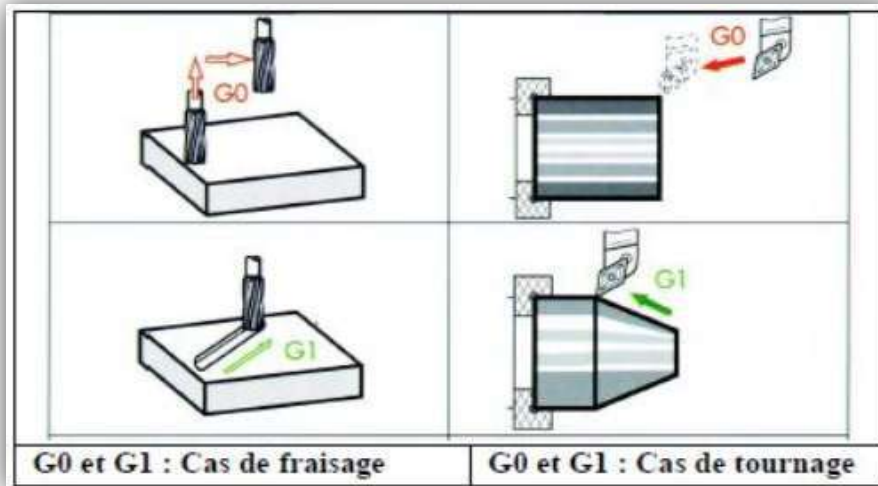


Figure I-15 : Les fonctions de programmation de G00 et G01 [5]

8-2/ Interpolation circulaire

G02 : Interpolation circulaire sens horaire.

G03 : Interpolation circulaire sens antihoraire.

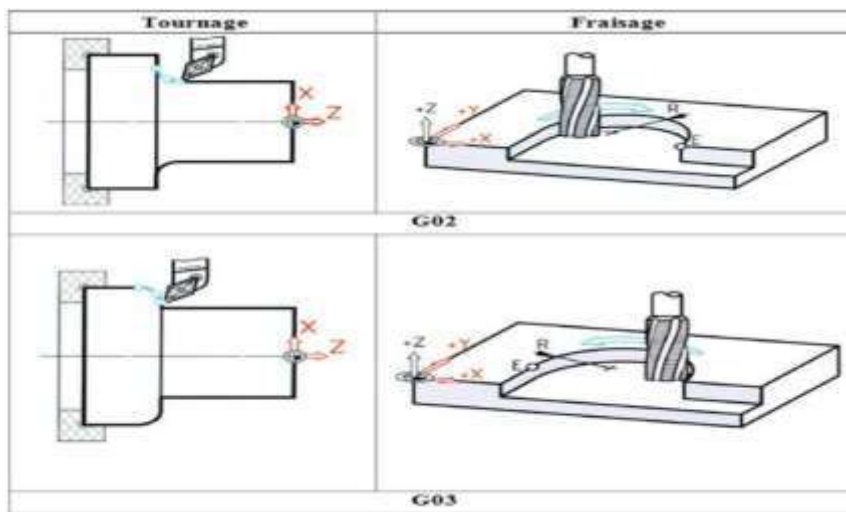


Figure I-16 : Les fonctions de programmation de G02 et G03. [5]

8-3/ Programmation absolue et relative

- G90 : Tous les mouvements sont programmés Par rapport à l'origine programme.
- G91 : Tous les mouvements sont programmés Par rapport à la dernière position de la trajectoire précédente.

En G90	Position actuelle : X40 Z0	Position X50 Z-40	Position Z1
En G91		X5 mm sens (+) Z40 mm sens (-) X5 Z-40	Z41 mm sens (+) Z41

Figure I-17 : mode de programmation G90 et G91 d'un tournage [5]

En G90	Position actuelle : X10 Y30	Position X30 Y10	Position X60 Y30
En G91		X20 mm sens (+) Y30 mm sens (-) X20 Y-30	X30 mm sens (+) Y20 mm sens (+) X30 Y20

Figure I-18 : mode de programmation G90 et G91 d'un fraisage [5]

9/ Avantages et inconvénients liés aux MOCN

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permet la réalisation d'usinage impossible sur les machines conventionnelles. ✓ Favorise les très petites séries et les pièces unitaires. ✓ Précision ✓ Fidélité de reproduction 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN. ✓ Amortissement impose souvent un travail en deux ou trois équipes. ✓ Programmation et électronique demandant de la qualification. ✓ Fausse fragilité de l'électronique. ✓ Réticence du personnel au changement.

10/ conclusion

L'utilisation des MOCN présente un grand intérêt pour la fabrication en petite et moyenne série ainsi que pour les formes complexes des pièces à usiner.

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur les machine outils a commande numérique, les commande les plus utilisées et les classifications des MOCN

11/ Références

[1] https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/pmocn_had.pdf de H Azzeddine - 2018

[2] Machine-outil à commande numérique Source :

<http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74956228> Contributeurs: AEIOU, Adelagnes, Alan ffm, AntonyB, Badmood, Barbetorte, Bdc43, Butterfly austral, Cantons-de-l'Est, Cardus, Cdang, Chaoborus, Chelavier, Elg, Erasoft24, Ercii, Ernest01, Escaladix, F&TI "Monin Stéphane", Flodelaplage, Gfsas, Ipokop, JLM, Jerome66, Jpn445, Kasos, La Cigale, Leag, Louperivois, Michel c12, NicoV, Nono64, Ordifana75, Pautard, Phe, Pld, Pulsar, R, Romanc19s, Saison, Sebletoulousain, Silex6, Sprud, T, Thielleux, WikiBilou, Willow51, Zedh, 76 modifications anonymes

[3] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master Option :

Modélisation et simulation en mécanique. Université m'hamed bougara boumerdes faculté des sciences de l'ingénieur département : génie mécanique Thème Etude et réalisation d'une machine outil à commande numérique (fraiseuse 3 axes) Mr. MAHDJoubi

ABDELFETTAH

[4] Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master université badji-mokhtar-annaba Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D Shop Mill BOUANIK FOUAD

[5] <https://fr.scribd.com/document/316039960/chapitre-3-programmation-iso-pdf>. HECHMI CHERMITI ISET Kairouan.

[6] Machines Outils à Commande Numérique SIDOBRE Daniel Université Paul Sabatier LAAS-CNRS 7 Av. du Col. Roche 31077 Toulouse Cedex

Chpitre2

Synthèse Bibliographique sur Les Procédés de Super Déformation Plastique

1/ Introduction

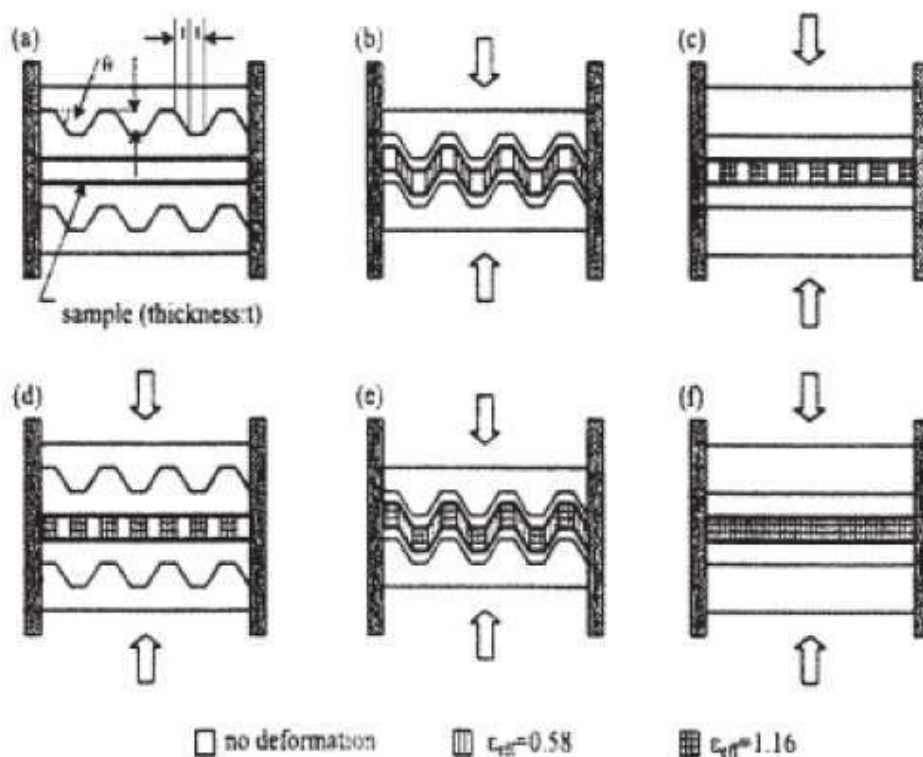
Avant d'entamer l'étude de fabrication de notre produit qui est l'appareil du processus de CGP au chapitre prochain nous allons dans ce chapitre faire une étude fonctionnelle qui vise à sa conception. Nous allons donc essayer de dresser un cahier des charges fonctionnel du produit.

Pour cette raison nous allons essayer donc de recenser les différentes fonctions du produit pour déterminer ses différentes formes. Mais avant tout ça nous allons tout d'abord essayé de détailler le processus de CGP pour pouvoir positionner notre produit Dans ce chapitre.

2/ Etude de processus de CGP

Le processus CGP (Repetitive Corrugated and Straightening) développé par Huang et al. (2001) consiste à plier une billette droite (figure II-1) avec des outils ondulés (rainurés), puis la restauration de la forme rectiligne de la billette avec des outils plats. [1]

La répétition du processus est nécessaire pour une large déformation effective ϵ_{eff} dans le but d'obtenir une structure fine du grain. Les détails du processus CGP complet sont schématisés dans la figure II.1. [2]



La déformation équivalente induite par une opération de CGP est donnée par la formule suivante : [3]

$$\varepsilon = 4 \text{Ln} \frac{[(r+t)/(r+0.5t)]}{\sqrt{3}}$$

Où t est l'épaisseur de l'échantillon, et r est la courbure de la zone fléchie. En répétant ces processus d'une manière cyclique, des déformations élevées peuvent être introduites dans l'échantillon. Contrairement à plusieurs autres processus de sévère déformation plastique CGP possède l'avantage d'une large déformation plastique aux métaux sous forme de plaques ou de feuilles, tandis qu'il possède l'inconvénient de non homogénéité de la microstructure le long de l'échantillon selon la déformation imposée. [3]

Les résultats de l'analyse de la microstructure de l'aluminium pur effectuée par TEM après l'avoir soumis à différentes déformations effectives ε_{eff} (ε_{eff} compris entre 1.16 et 9.6) par application du CGP ont confirmés que le raffinement de la microstructure dans la chambre de température est un processus paresseux. [2]

Le processus CGP s'exécute en deux phases une phase de déformation et une phase de redressement, donc deux outils seront conçu (figure II-2).

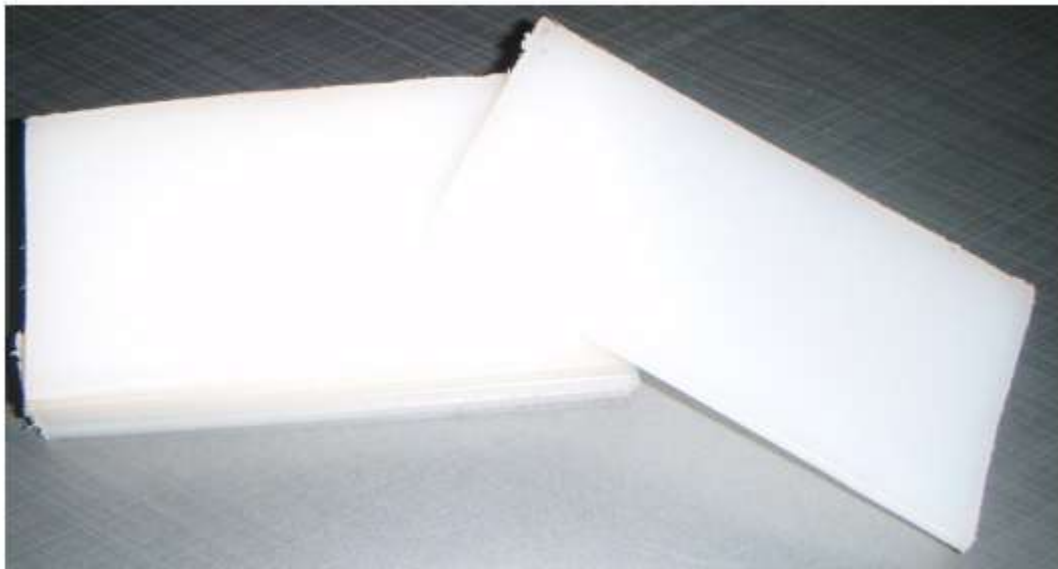


Figure II-2 : Echantillons préparés pour CGP

2-1/ L'outil de déformation

Cet outil est formé de deux parties la partie supérieure (en Anglais upper die) et la partie inférieure (en Anglais lower die) portant des rainures en V pour infliger aux échantillons des déformations qui causent des cisaillements dans le matériau.

2-2/ L'outil de Redressement

Cet outil est lui aussi formé de deux parties la partie supérieure (en Anglais upper die) et la partie inférieure (en Anglais lower die) qui portent des surfaces planes pour restaurer la forme droite des échantillons.

2-3/ Phase de déformation

Dans le but d'obtenir le cisaillement dans toute la surface de l'échantillon ce dernier est une fois placé au côté gauche de l'outil de déformation puis pendant la phase suivante de déformation il placé au côté droit et est aussi tourné de 180° (figure II-3)

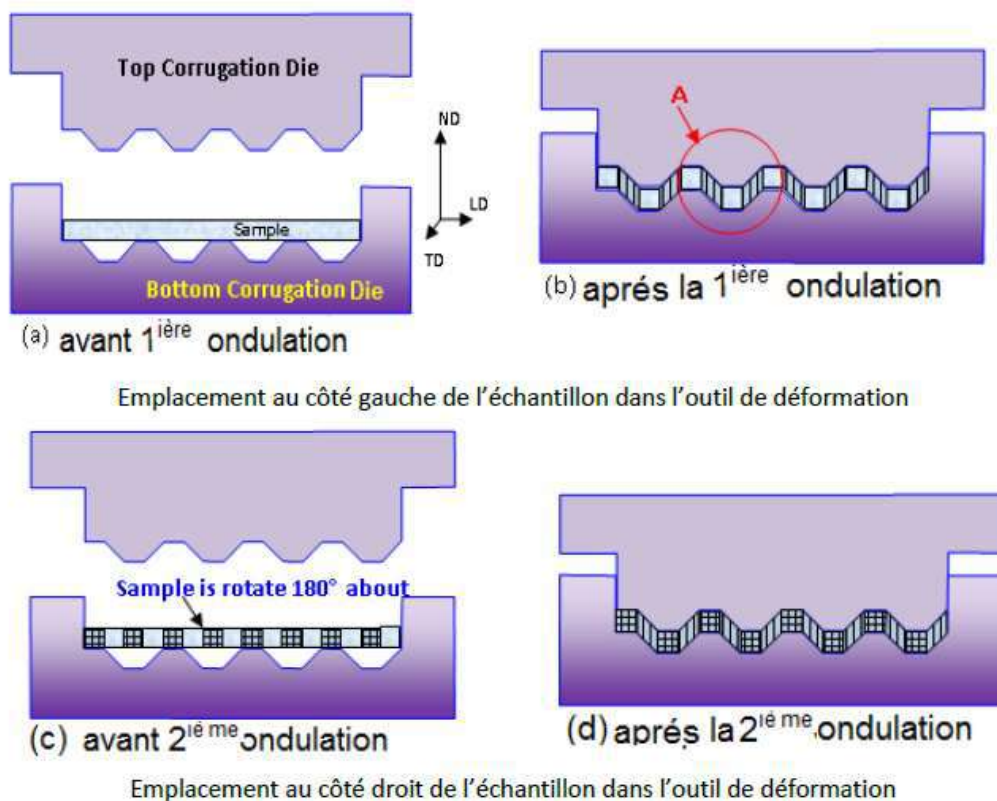


Figure II-3 : Différentes phases du processus de déformation

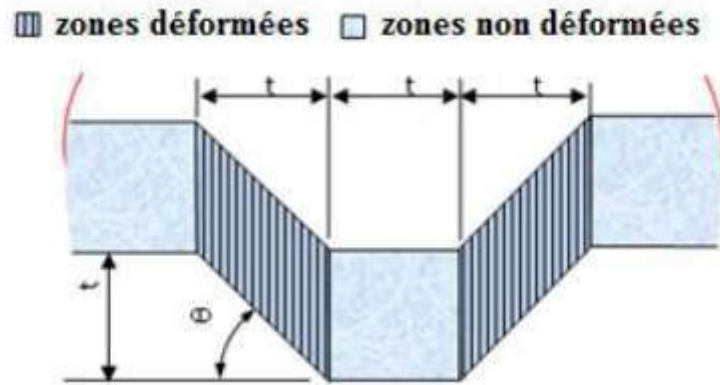


Figure II-4 : Zones de cisaillement

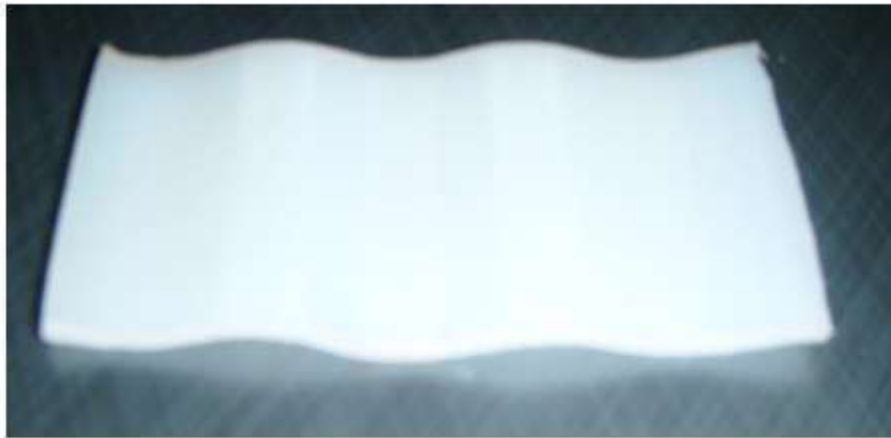


Figure II-5 : Allure ondulée de l'échantillon après la phase de déformation

2-4/ Phase de redressement

Pour compléter un cycle de CGP l'échantillon est assujettit à une phase de redressement pour lui faire restaurer sa forme droite car après la phase de déformation l'échantillon aura une allure ondulée (figure II-5).

L'échantillon déformé est introduit entre les mores à surfaces plates de l'outil de redressement qui lui transmet la pression d'une presse. L'échantillon reprend sa forme plane (figure II-6), par ce fait l'échantillon aura subit un cycle de CGP.

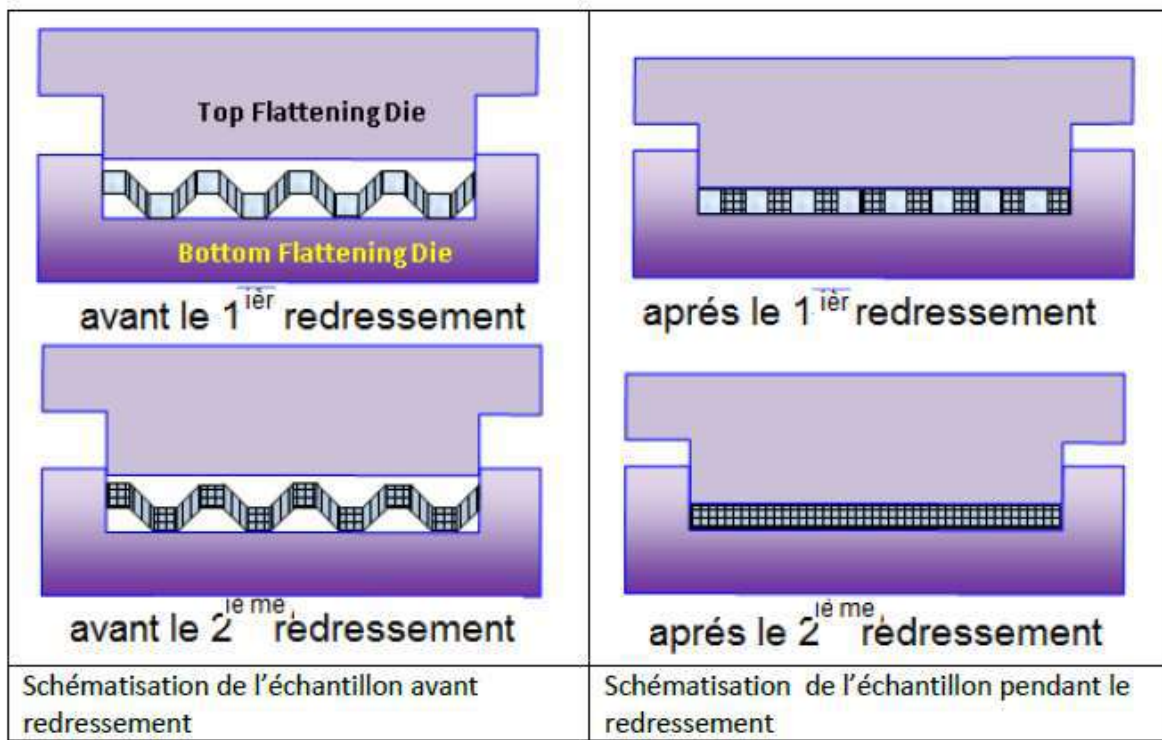


Figure II-6 : Différentes phases du processus de redressement

3/ Etude fonctionnelle de produit (appareil CGP)

Dans cette section nous allons essayer de définir notre produit fonctionnellement selon la norme selon la norme NFX50-150-153

3-1/ Identification des fonctions du produit

3-1-1/ Milieu environnant

Le graphe des figures Figure II-7 recense tous les composants de l'environnement de notre produit « l'appareil du processus de CGP » qui se résume à l'appareil lui-même, l'utilisateur, l'échantillon en polymère et une presse hydraulique.

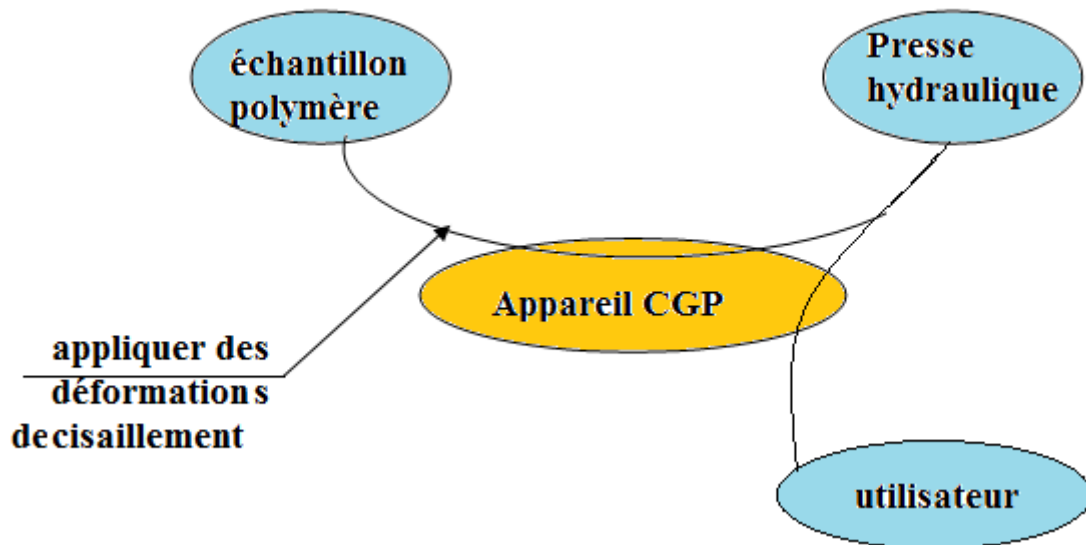


Figure II-7 : Diagramme pieuvre de l'Environnement de l'ensemble Appareil CGP

Mais du fait que le produit se compose de deux sous-ensembles (deux appareils), un pour réaliser la déformation de l'échantillon et un autre pour restaurer sa forme droite, le diagramme de la figure 7 se divisera en deux diagramme un pour chaque sous ensemble.

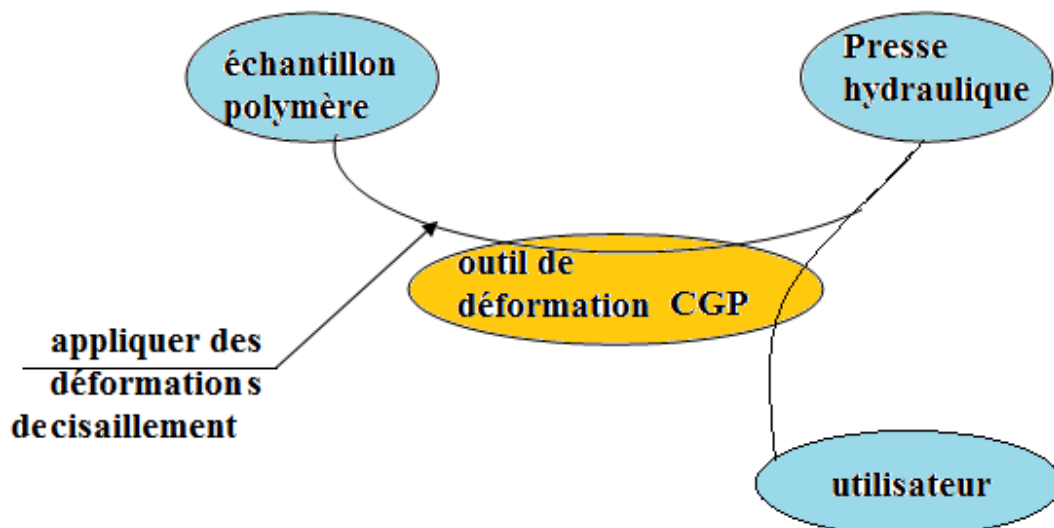


Figure II-8 : Diagramme Pieuvre Environnement du sous ensemble de déformation

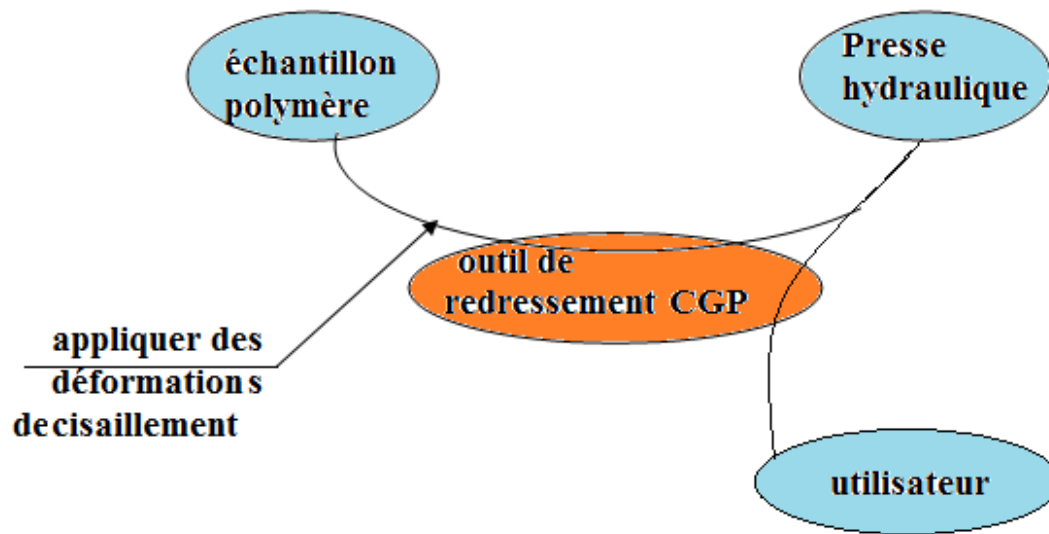


Figure II-9 : Diagramme Pieuvre Environnement du sous ensemble de redressement

3-1-2/ Formulation des fonctions

Les fonctions sont classées en deux catégories :

a) fonctions d'usages (principale)

Les fonctions d'usage ou les fonctions principales sont liées directement à la fonction du produit pour notre produit elles se résument à deux fonctions principales.

- Déformation de l'échantillon
- Redressement de l'échantillon

b) Fonctions complémentaires

Se sont des fonctions qui sont nécessaires à un fonctionnement correcte et sûre du produit mais fonctionnellement elles sont secondaires et pour notre produit elles se résument aussi à deux fonctions.

- Positionnement de l'appareil
- Sécurité de l'utilisateur

Le tableau 1 recense toutes les fonctions de notre produit.

Tableau II-1 : Recensement des fonctions

Fonctions	FP1	FP2	FC1	FC2
désignation	Déformer l'échantillon	Redresser l'échantillon	Positionner l'appareil sur la pièce	Sécurité de manœuvre

Les figures 10 et 11 schématisent les différentes fonctions et leurs liaisons entre les différents composés du produit et ceci est pour les deux sous-ensembles du produit.

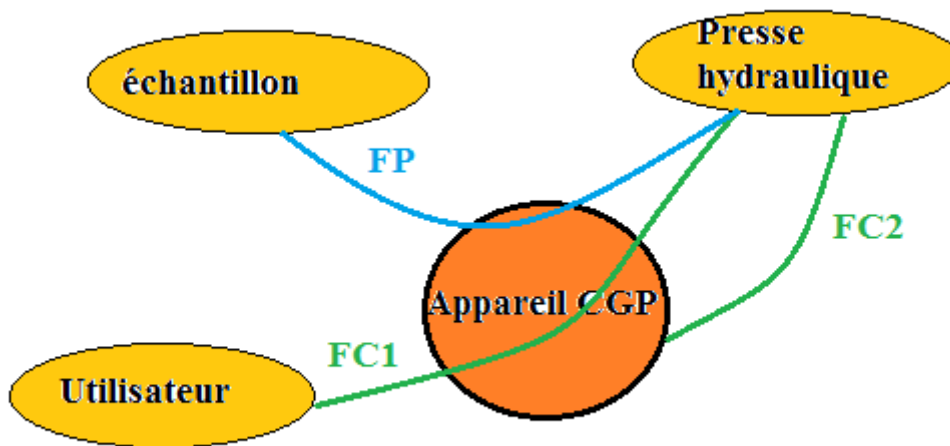


Figure II-10 : Diagramme Pieuvre en termes de fonctions

On remarque que la fonction principale est composée de deux fonctions d'usage, la fonction déformation et le redressement donc le graphe précédent devient

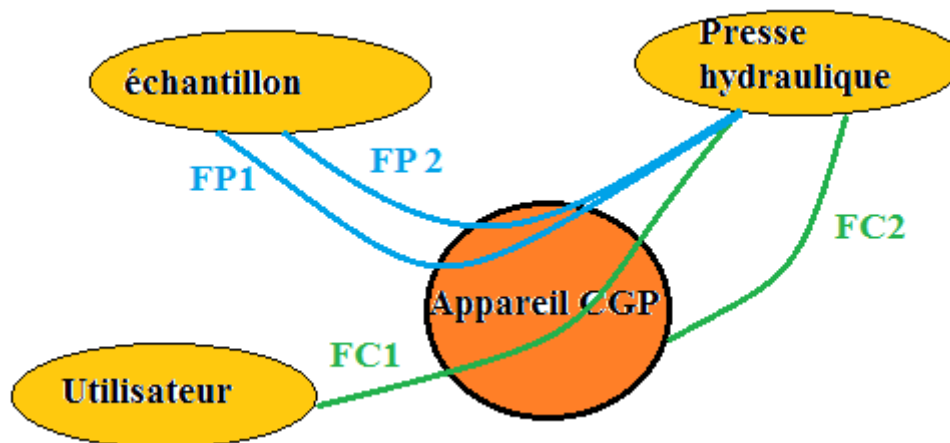


Figure II-11 : Diagramme Pieuvre en termes de fonctions détaillé

3-1-3/ Boite A0 du système

Une étude ascendante permet de détailler tous les composants intervenant lors de l'activité fonctionnelle du produit. Cette étude permet de visualiser les états initiale et finale du produit, les composants intervenants et les énergies utilisées. La boite A0 est une schématisation de cette étude.

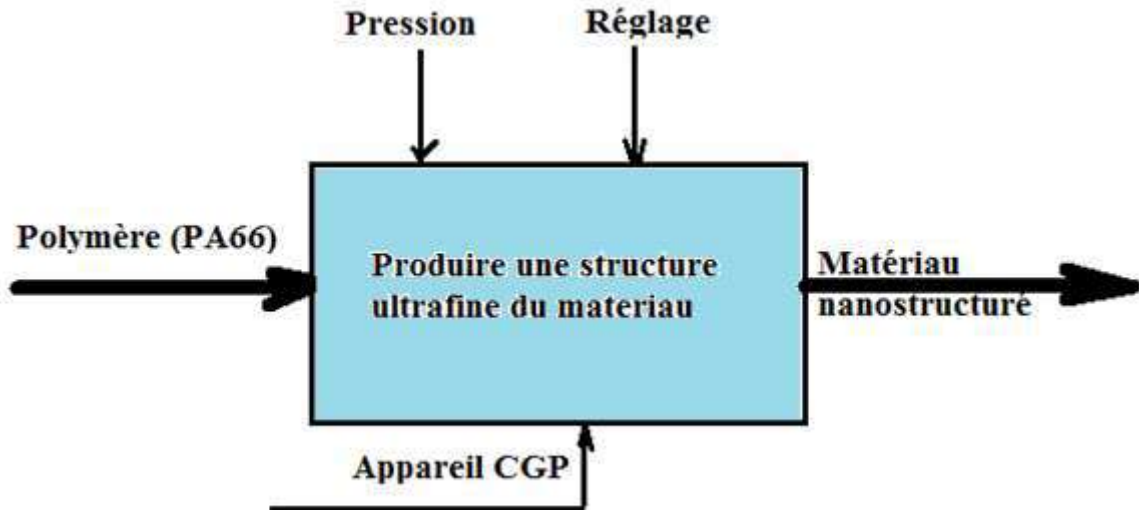


Figure II-12 : Boîte A0 du produit

Si le produit est géré par plusieurs fonctions et si chaque fonction est un ensemble d'autres fonction la boîte A0 sera faite de plusieurs niveaux fonctionnels chacun représente une fonction du système on obtiendra ainsi plusieurs boîtes A1, A2, A3.....An qui constituent la boîte A0.

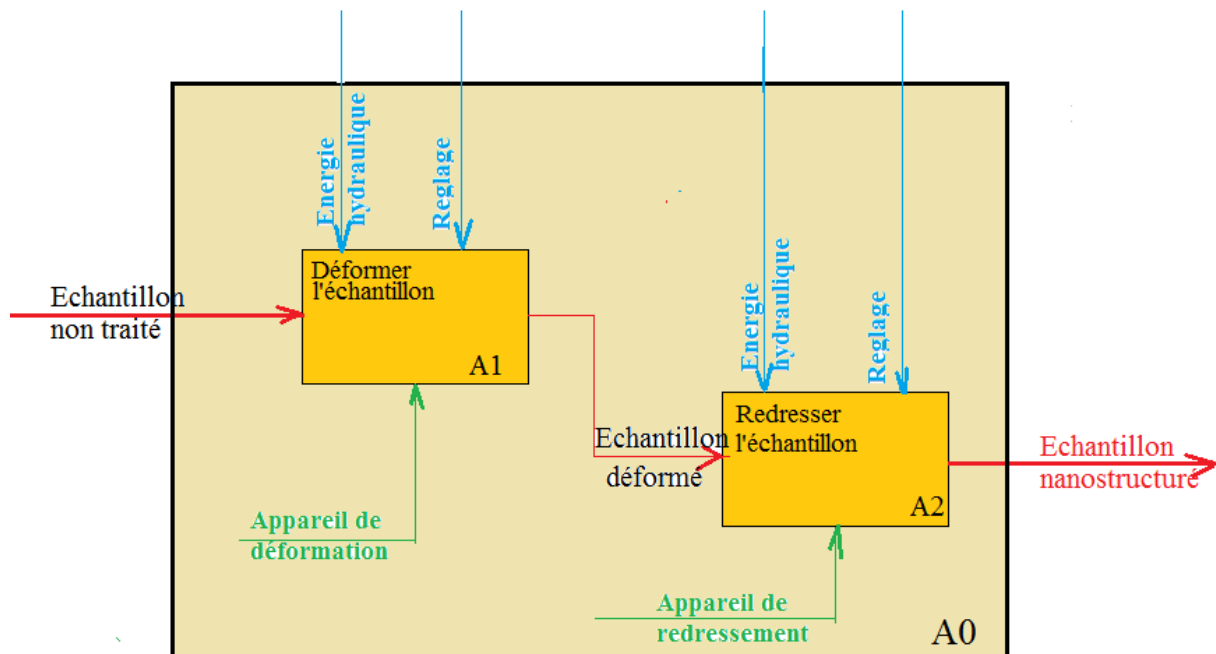


Figure II-13 : Développement de la Boîte A0 du produit

3-1-4/ Diagramme FAST

Ce diagramme est une schématisation qui associe aux fonctions du produit les solutions adoptées à leur réalisation, ces solution dans notre cas sont des formes géométriques qui assurent les fonctions étudiées du produit (voir figure II-14).

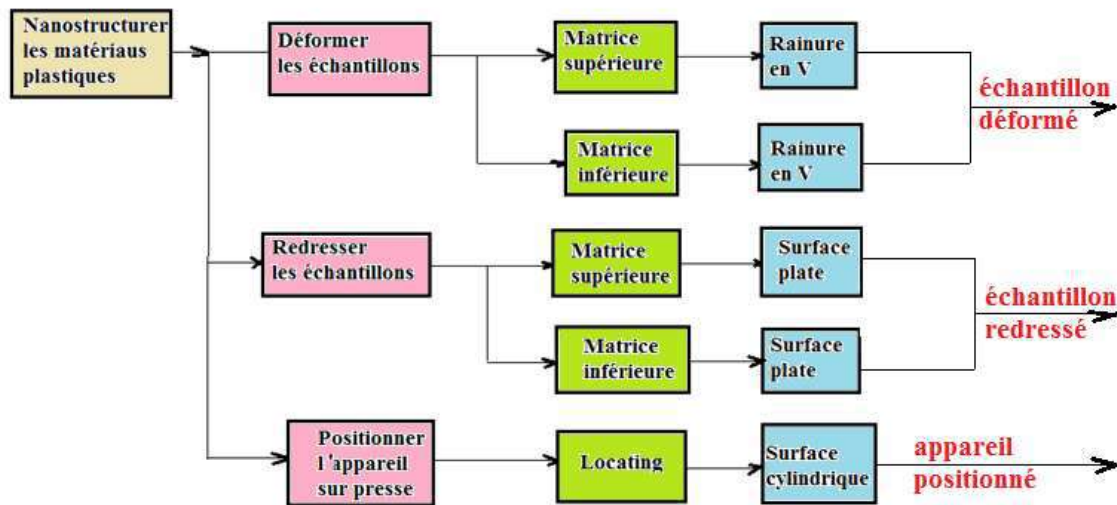
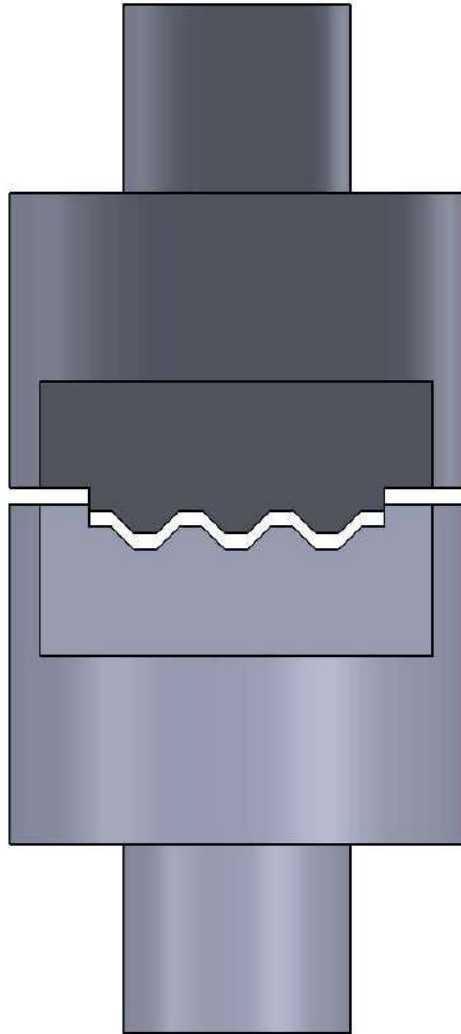


Figure II-14 : Diagramme FAST de l'appareil du processus CGP.

4/ Conception du produit (dessin technique)

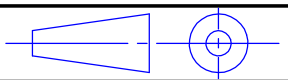
Après avoir déterminé les différentes formes fonctionnelles qui découlent des différentes fonctions de l'appareil on peut à présent concevoir notre produit et donc faire les différents dessins industriels.

Les figures suivantes sont le dessin en perspective et les projections orthogonales de l'ensemble du produit et de ces composants.



UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUEE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



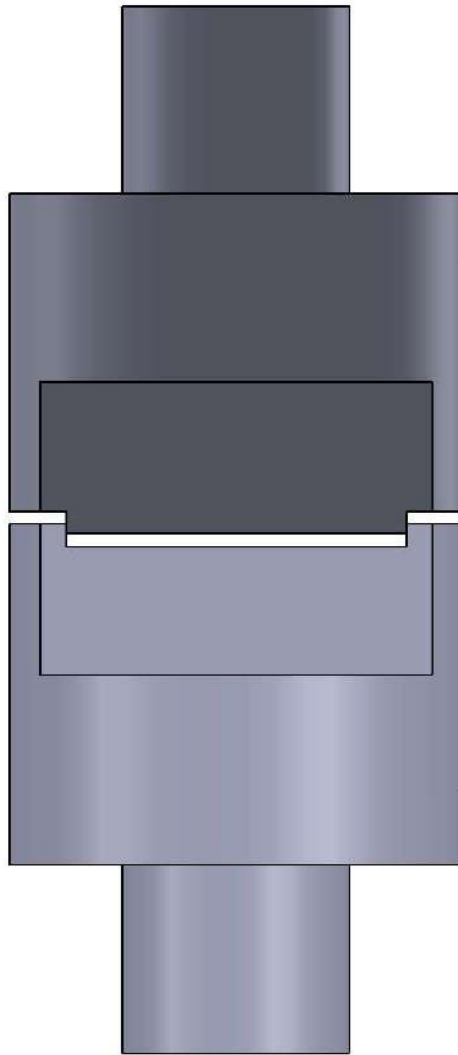
A4

Assemblage en perspective de l'appareil de déformation

AOUN ET BENZINA

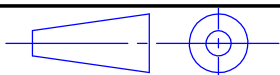
ABD SAMIE ET
AHMED MOKHTAR

JUIN 2019



UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUEE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



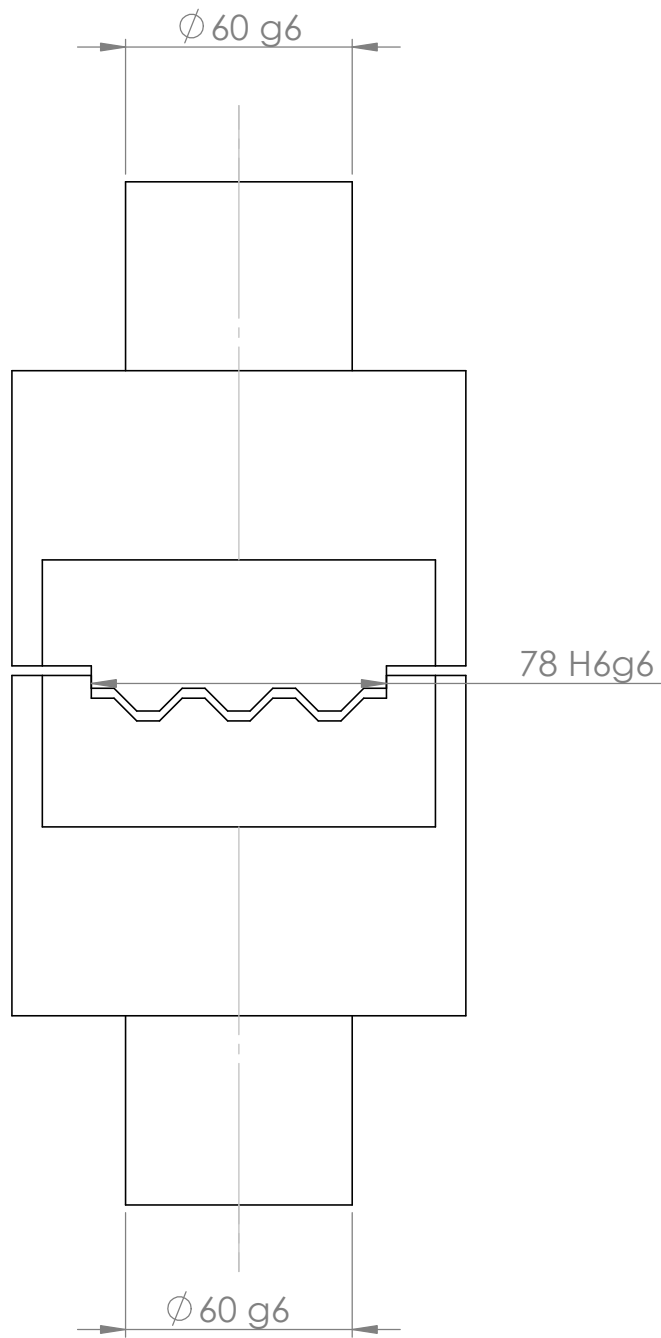
A4

perspective de l'appareil de redressement

AOUN ET BENZINA

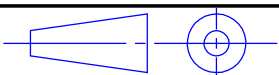
ABD SAMIE ET
AHMED MOKHTAR

JUIN 2019



UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUEE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



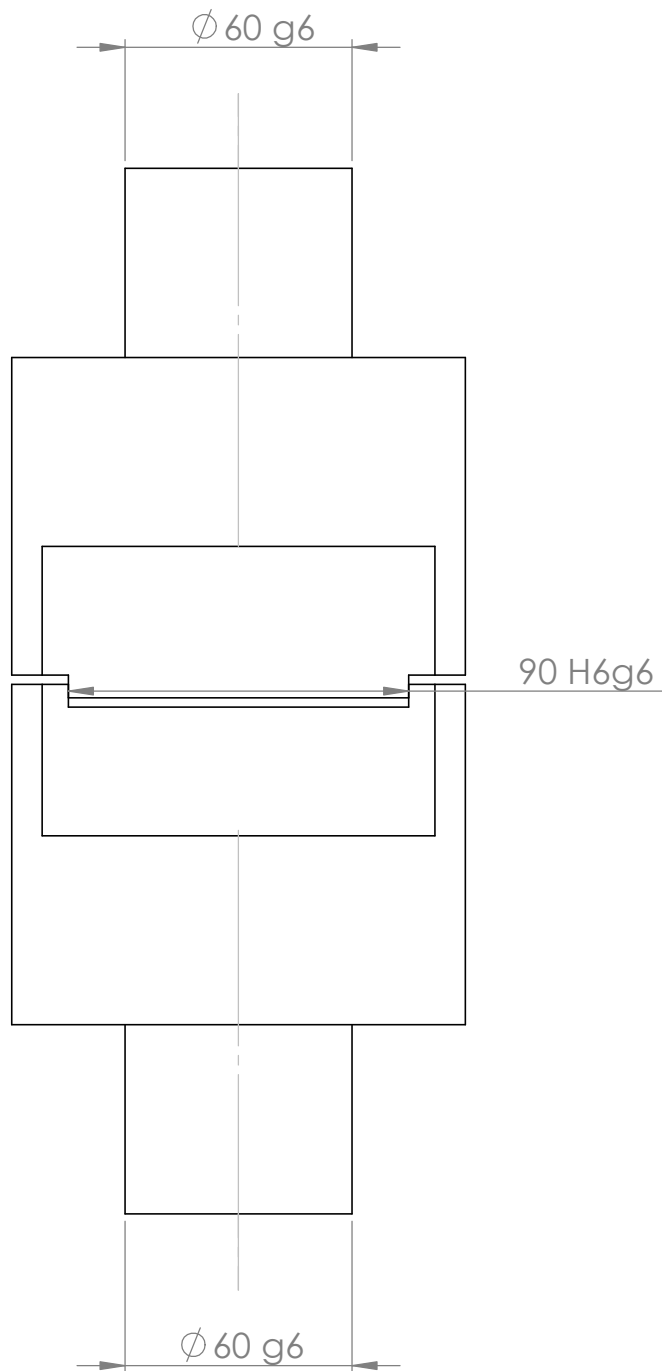
A4

Appareil de déformation

AOUN ET BENZINA

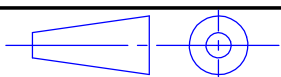
ABD SAMIE ET
AHMED MOKHTAR

JUIN 2019



UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUEE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



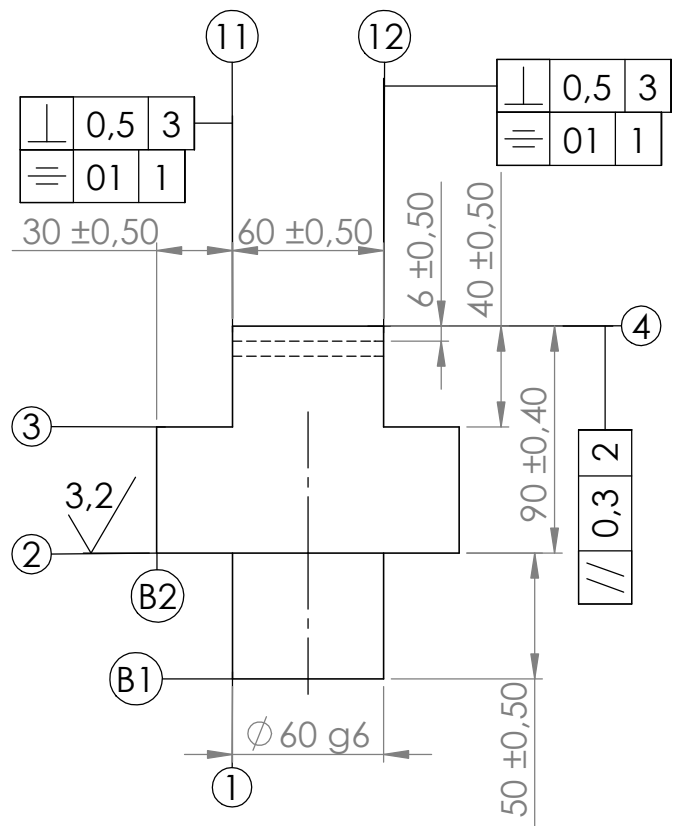
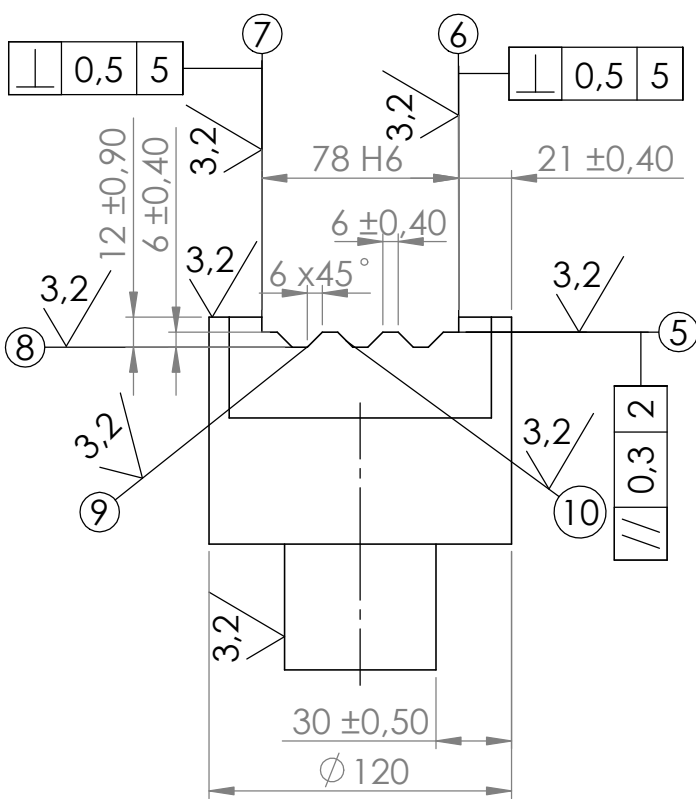
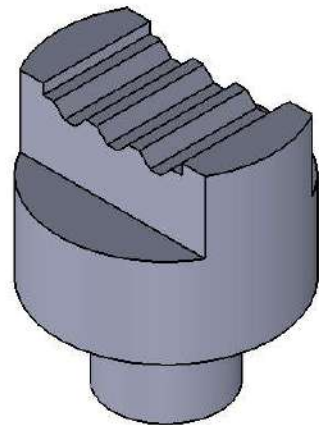
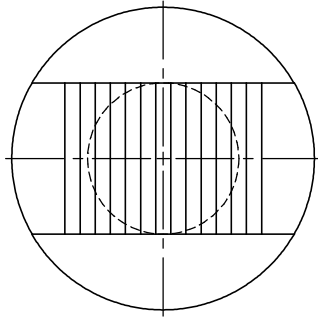
A4

Appareil de redressement

AOUN ET BENZINA

ABD SAMIE ET
AHMED MOKHTAR

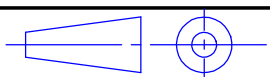
JUIN 2019



rugosité générale: 6,3

UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUE DEPARTEMENT GEINI MECANIQUE

1/3



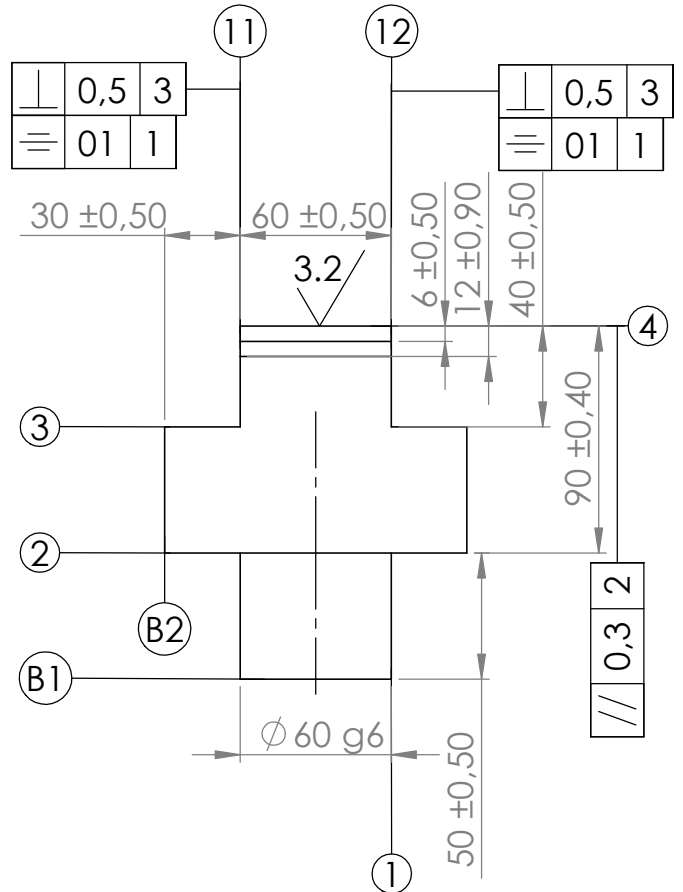
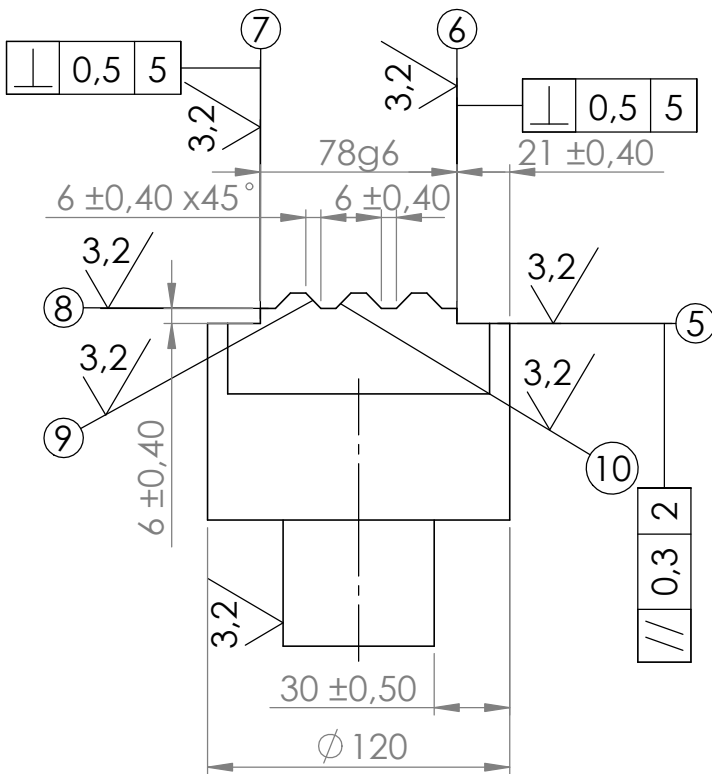
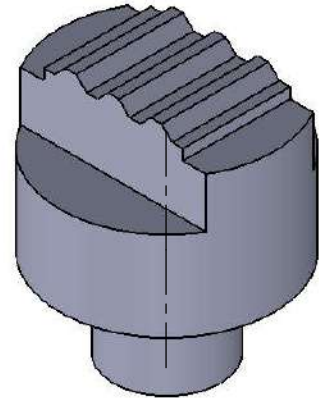
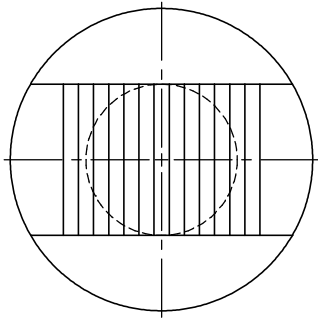
A4

Matrice inférieure de déformation

AOUN
BENZINA

ABD SAMIE
AHMED MOKHTAR

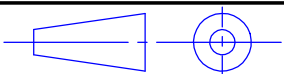
JUIN 2019



rugosité générale : $Ra=6,3$

UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



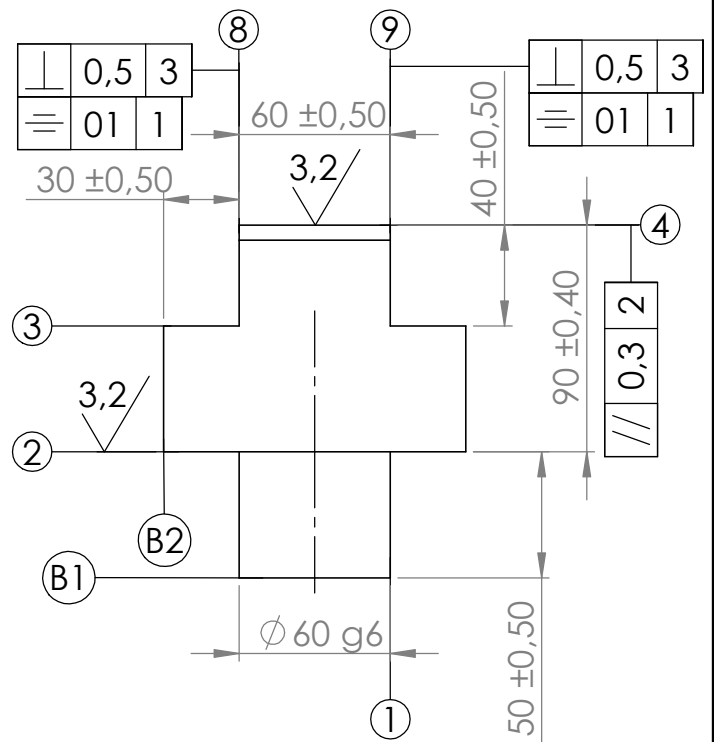
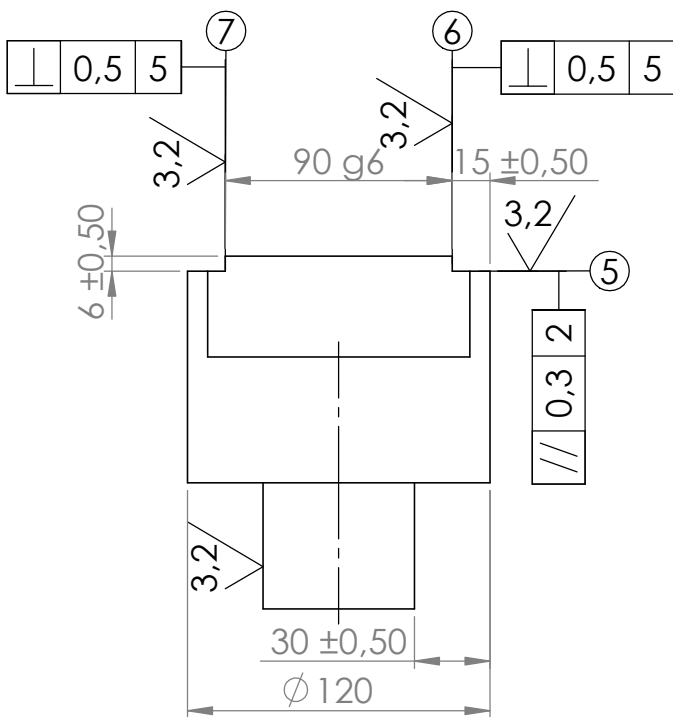
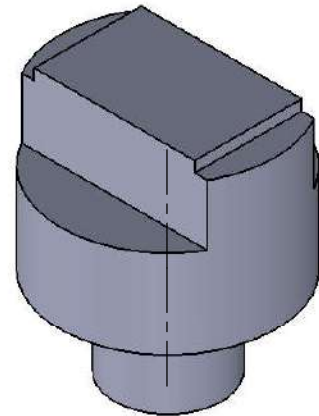
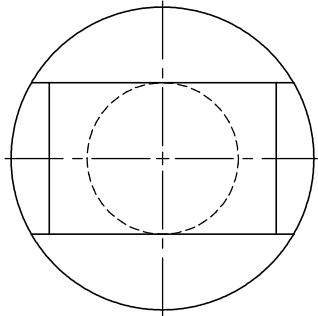
A4

Matrice de déformation supérieure

AOUN
BENZINA

ABD SAMIE
AHMED MOKHTAR

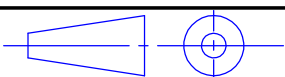
JUIN 2019



rugosité générale : Ra= 6,3

UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



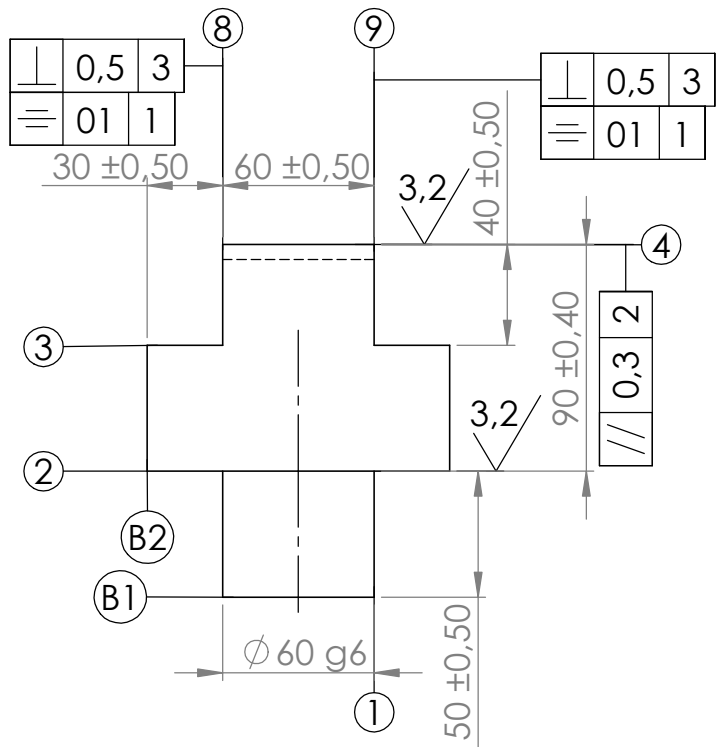
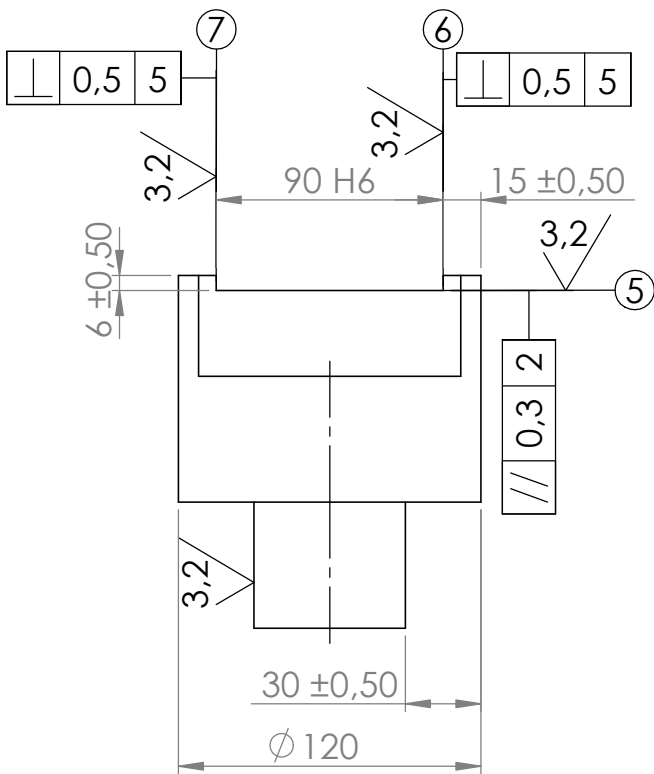
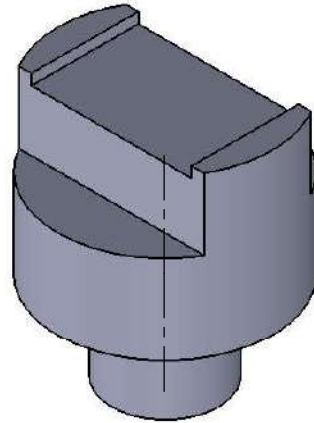
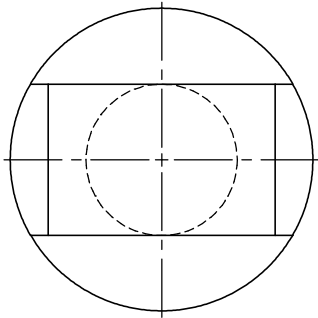
A4

Matrice de redressement supérieure

AOUN
BENZINA

ABD SAMIE
AHMED MOKHTAR

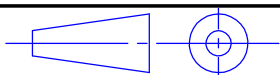
JUIN 2019



rugosité générale : Ra= 6,3

UNIVERSITE KASDI MERBAH OURGLA FACULTE SIENCE APPLIQUEE DEPARTEMENT DE GEINI MECANIQUE

1/3



A4

Matrice de redressement inférieure

AOUN ET BENZINA

ABD SAMIE ET
AHMED MOKHTAR

JUIN 2019

5/ Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu faire la conception de notre produit l'appareil du processus CGP grâce à l'étude fonctionnelle détaillée après un état de l'art du processus CGP qui nous a éclaircie la position de notre produit.

Dans le prochain chapitre nous allons essayer d'entamer une étude détaillée en vue de la fabrication de notre produit sur une machine de commande numérique du type BOXFORD.

6/ Références

- [1] Huang J.Y., Zhu Y.T., Jiang H., Lowe T.C., (2001). Microstructures and Dislocation configurations in Nanostructured Cu Processed by Repetitive Corrugation and Straightening. *Acta Materialia* 49(9), 1497–1505.
- [2] J. zrnik, s. v. dobatkin, i. mamuzi, (2008). processing of metals by severe plastic deformation (spd) – structure and mechanical properties respond *metabk* 47(3) 211-216.
- [3] A. Azushima et al, (2008). Severe plastic deformation (SPD) processes for metals, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 716–735.

Chapitre 3

Etude de la conception et
fabrication de l'outil CGP

1/ Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier la fabrication de l'outil de CGP sur des machines à commande numérique type CNC. Pour cette raison on adopte un raisonnement qui commence par l'analyse des liaisons ou brute pour déterminer le référentiel de départ et aboutira à la réduction des gammes d'usinage et des contrats de phase qui serviront eux aussi à la réduction des programmes de la commande numérique nécessaires à la fabrication des différentes pièce de notre appareil.

2 /Etude de la fabrication

2-1/ calculs de brute nécessaire pour la fabrication de l'appareil

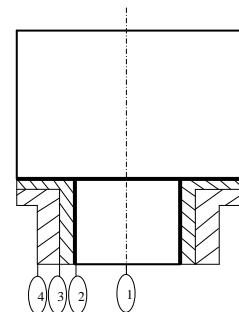
L'appareil de CGP contient deux sous ensembles (deux appareils) l'un pour la de formation et l'autre pour la restauration de la forme droite de l'échantillon, chacun des sous ensemble est formé de deux pièces (matrices) une inférieure et une supérieure dans quatre pièces en tout. Mais vue les spécifications instaurées par le bureau d'étude, le brute nécessaire pour la fabrication des quatre pièces de l'appareil est le même. Pour cela nous calculons en ce qui suit un seul brut.

2-2/ calculs de brute

Fabrication de surfaces en deux opérations (tournage) :

Opération 1 : Ebauche Cpm = 2 [1]

Opération 2 : Finition Cpm = 0,2 [1]



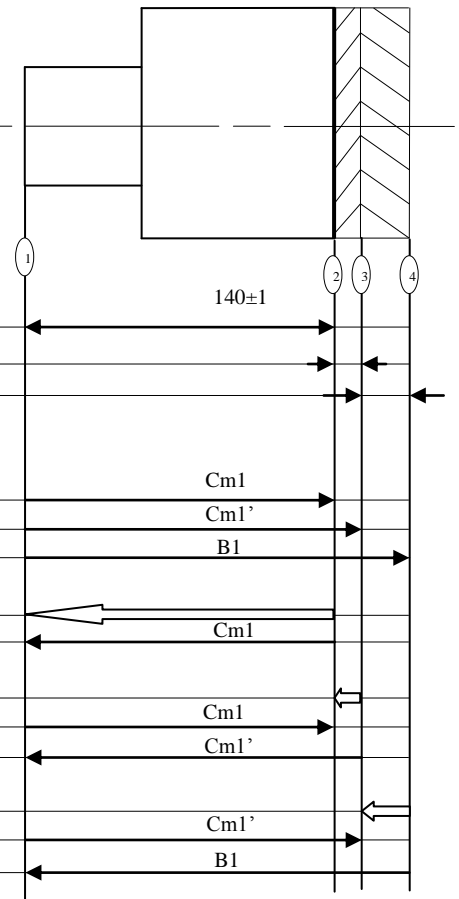
indicateur	Condition		IT	C.F		
	Min	Max				
1	29,5	30,5	1	a		
2	0,2			a et b		
3	2			b et B1		
indicateur	$\rightarrow m$	$\leftarrow M$	\rightleftharpoons	IT	Δ	opération
a	29,5	30,5		1		Cm1
b	30,7	30,9		0,2		Cm1'
B1	32,9	34,9		2		B1 min
1			29,5	1		
a	29,5			1		Cm1
2			0,2			
a		30,5		1		Cm1
b	30,7			0,2		Cm1'
3			2			La dimension
b		30,9		0,2		minimale de B1
B1	32,9			2		B1

Fabrication de surfaces en deux opérations (fraisage) :

Opération 1 : Ebauche Cpm = 1

Opération 2 : finition Cpm = 0,2 [1]

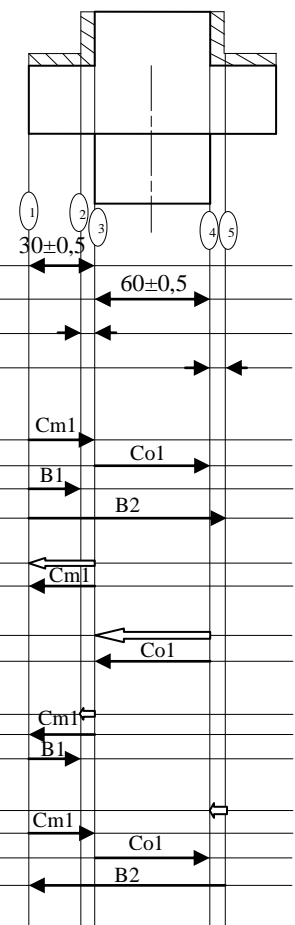
indicateur	Condition		IT		C.F	
	Min	Max				
1	139	141	1		a	
2	0,2				a et b	
3	1				b et B1	
Indicateur	m	M		IT	Δ	opération
a	139	141		1		Cm1
b	141,2	141,4		0,2		Cm1'
B1	142,4	143,4		1		B1 min
1			139	1		
a	139			1		
2			0,2			
a		141		1		
b	141,2			0,2		
3			1			La
b		141,4	0,2			dimension
B1	142,4		1			minimale
						de B1



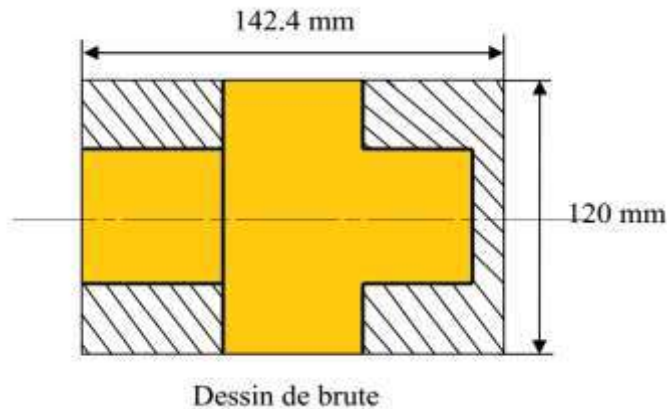
Fabrication des surfaces en une opération :

Finition direct : Cpm = 3 [1]

Indicateur	Condition		IT		C.F	
	Min	Max				
1	29,5	30,5	1		a	
2	59,5	60,5	1		b	
3	3				a et B1	
4	3				a, b et B2	
Indicateur	m	M		IT	Δ	opération
a	29,5	30,5		1		Cm1
b	59,5	60,5		1		Co1
B1	23,5	26,5				B1 max
B2	94	97				B2 min
1	29,5		29,5	1		
a				1		
2						
b	59,5		59,5	1		
3				1		
a						
B1	29,5	26,5	3			
4						
a						
b		30,5				
B2	94	60,5	3			



Résultats: les valeurs calculées de brute nécessaire pour la fabrication de l'appareil CGP sont : B1= 142,4 mm, B2= 120 mm

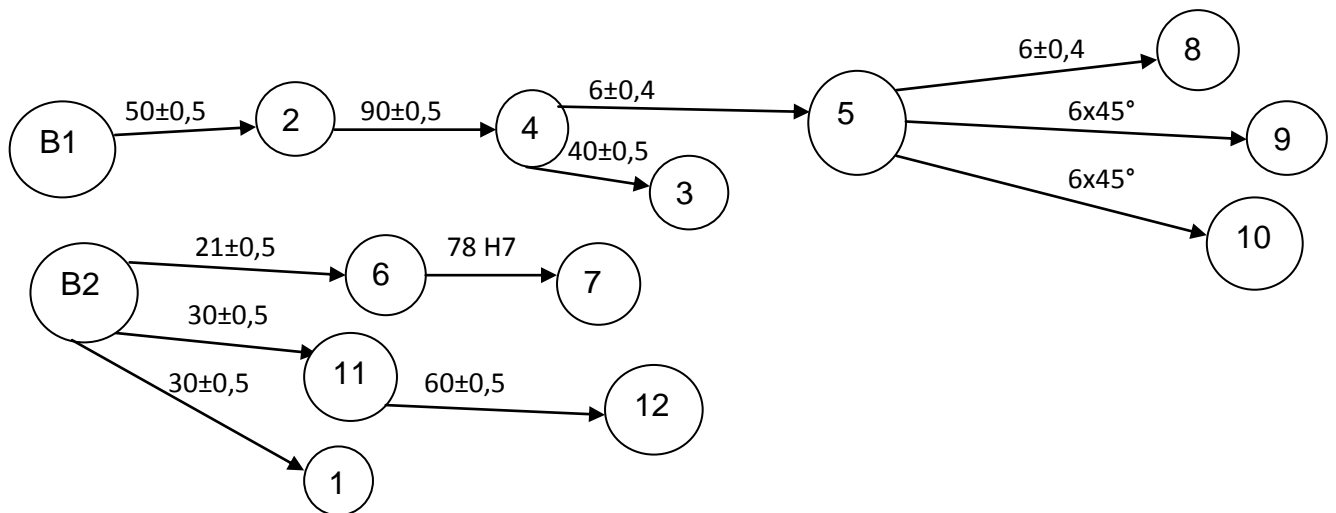


3/ analyses chronologiques de fabrication

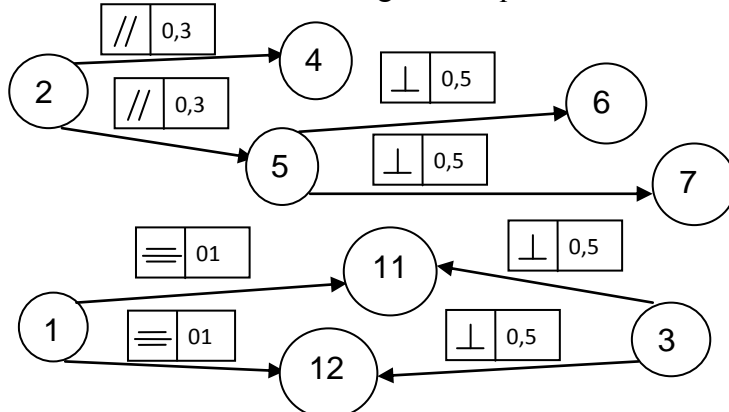
A) Matrice de déformation inférieure (MDI)

1/ analyse des contraintes d'antériorité et de simultanéité

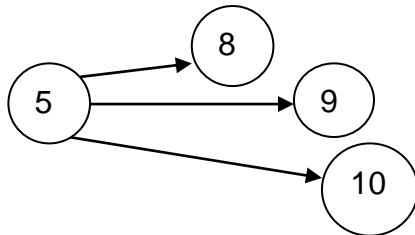
a) contraintes de l'antériorité dimensionnelles (cotation)



b) contrainte d'antériorité d'ordre géométriques



c) contrainte d'antériorité d'ordre technologique



MDI : Tableau Des Opérations Élémentaires

Surfaces	Cotes Des Liaison ou Surfaces		Spécifications			Opérations élémentaires	Symbolisation
	usinée	brut	IT	Particulaire	Ra		
1		B2 30±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	1E , 1F
2		B2 50±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	2E , 2F
3	4 40±0,5		1		6,3	Finition direct	3F
4	2 90±0,4		0,8	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	4E , 4F
5	4 6±0,5		1	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	5E , 5F
6		B2 21±0,4	0,8	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	6E , 6F
7	6 78H6		H6	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	7E , 7F
8	5 6±0,4		0,8		3,2	Ebauche et finition	8E , 8F
9	5 6±0,4x45°		0,8		3,2	Ebauche et finition	9E , 9F
10	5 6±0,4x45°		0,8		3,2	Ebauche et finition	10E , 10F
11		B2 30±0,5	1	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	6,3	Finition direct	11F
12	11 60±0,5		1	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	6,3	Finition direct	12F

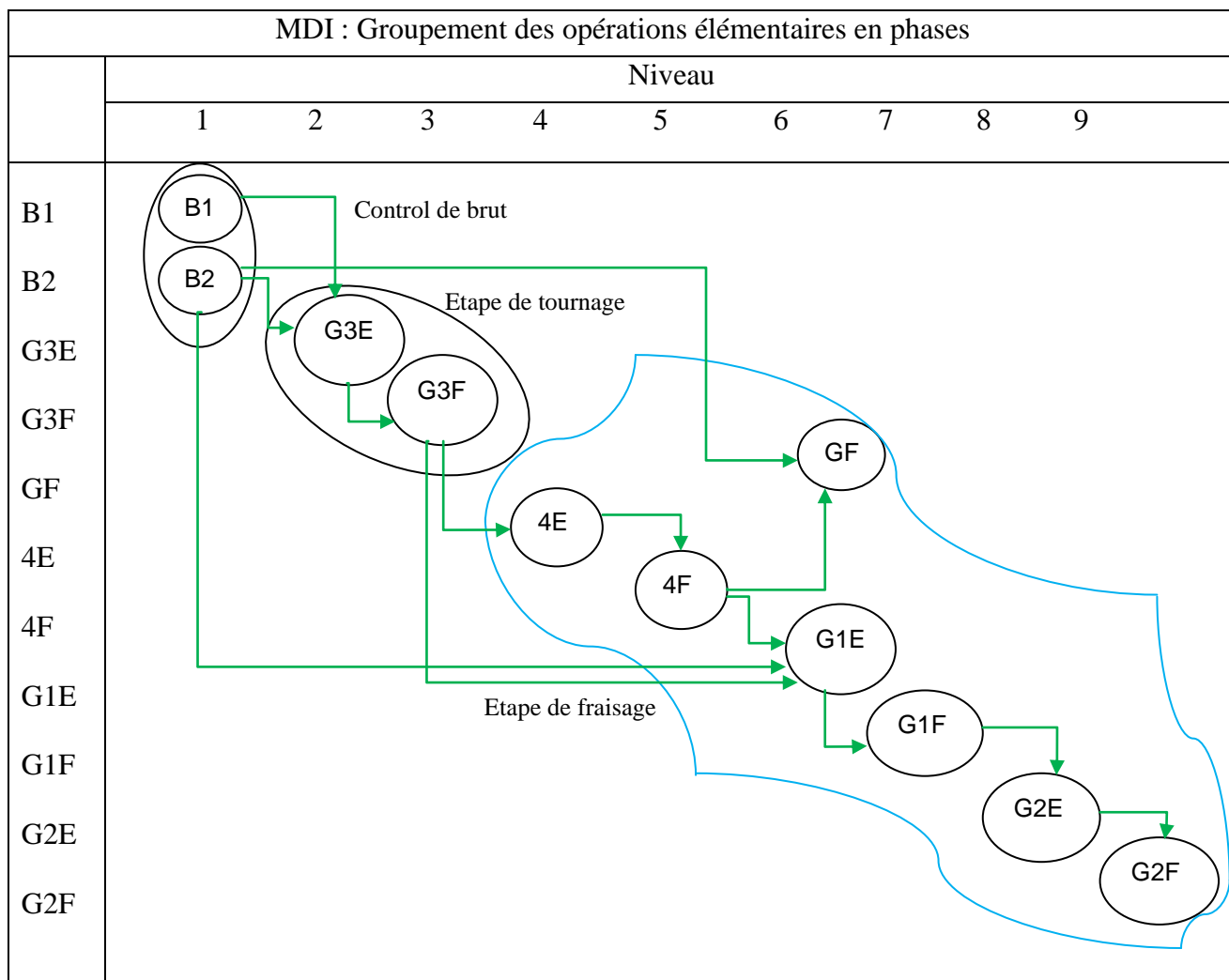
MDI : Groupement des surfaces

Symbole	les surfaces	outils utilisés et raison de l'assemblage
G	11 12 3	finition direct une fraise 2T GF
G1	6 7 5	ebauche et finition avec une fraise 2T G1E - G1F
G2	9 10 8	ebauche et finition avec une fraise v G2E - G2F
G3	1 2	ebauche et finition un outil de dressage et chariotage G3E - G3F

MDI : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité												
Opération	Contraints											
	Dimensionnelles	Géométriques						Technologiques		Economiques		
		//	⊥	⊙	⊕	∠	≡	reprise	opération			
B1												
B2												
G3E	B1 B2											
G3F	B1 B2								G3E			
GF	B2 4F		GF				G3F		4F			
4E	G3F	G3F										
4F	G3F	G3F							4E			
G1E	B2 4F	G3F										
G1F	4F	G3F	G1F						G1E			
G2E	G1F											
G2F	G1F								G1F G2E			

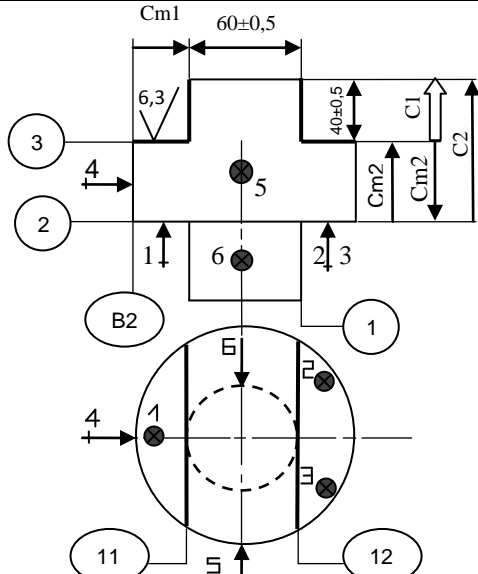
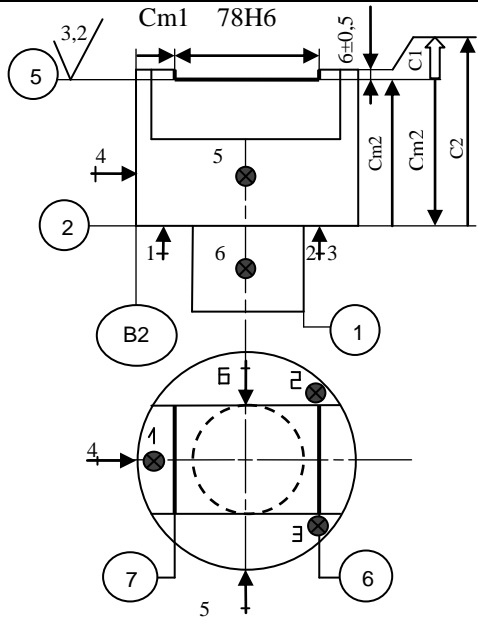
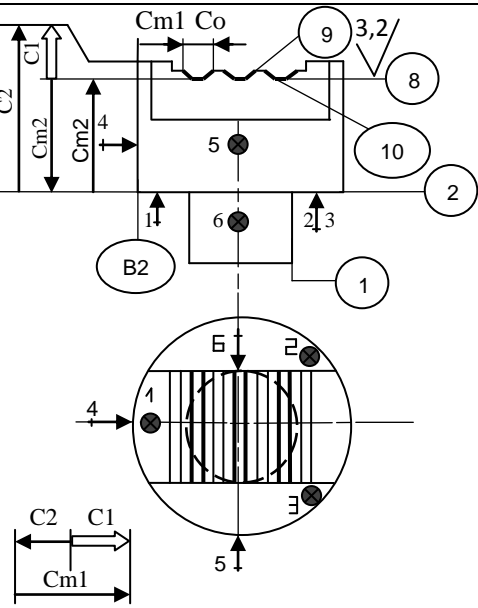
MDI : Tableau des niveaux									
Ensemble :			Elément : matrice de déformation inférieure				Matière : acier doux		
Organe :			Nombre : 1				Brut :		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1									
B2									
G3E	B1-B2								
G3F	B1-B2 G3E	G3E							
GF	B2-4F	4F	4F	4F	4F				
4 ^E	G3F	G3F	G3F						
4F	G3F-4E	G3F-4 ^E	4E	4E					
G1E	B2-G3F-4F	G3F-4F	4F	4F	4F				
G1F	B2-G3F-4F-G1E	G3F-4F-G1E	G1E-4F	G1E-4F	G1E-4F	G1E			
G2E	G1F	G1F	G1F	G1F	G1F	G1F	G1F		
G2F	G1F-G2E	G1F-G2E	G1F-G2E	G1F-G2E	G1F-G2E	G1F-G2E	G2E-G1F	G2E	

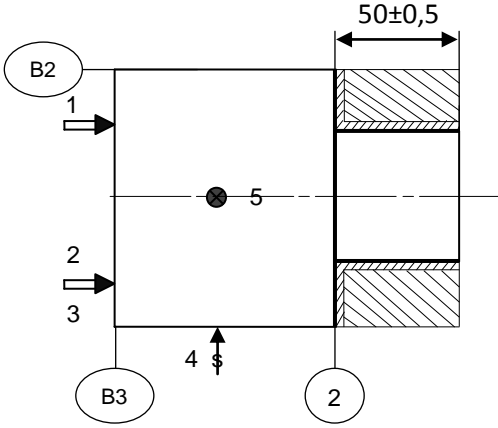
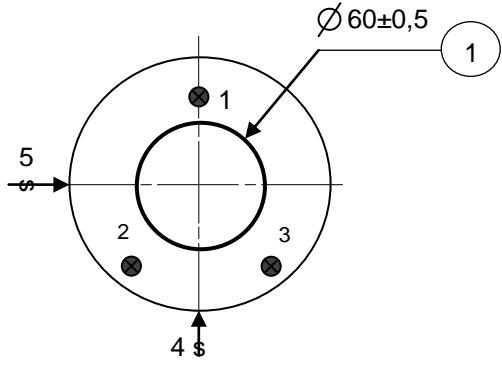
MDI : Niveau d'implémentation								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1	G3E	G3F	4E	4F	GF	G1F	G2E	G2F
B2					G1E			



Etape	Opération
100	contrôle de brut
200	tournage G3E – G3F
300	fraisage 4E – 4F
310	fraisage GF
320	fraisage G1E – G1F
330	fraisage G2E – G2F
400	contrôle finale

<p>Groupe : Elément : matrice de déformation inférieure</p>		<h3>Gamme d'usinage</h3>						
<p>Nombre : 1 Matière : acier doux Brut :</p>								
Nombre De phase	Identifier les étapes et les processus	Les machines	Appareils Outil de coupe	Dessin				
100	<p>Contrôle de brut Vérifiez les normes et les spécifications</p>	Atelier de métrologie	Pied à coulisse	S'assurer-vous que le brut est capable de donner la pièce requise par le bureau d'études				
200	<p><u>Tournage</u> Pièce dans l'installation Appui plan en B3 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) 201 : ebauche 1E , 2E 202 : finition 1F , 2F Cm1=30±0,5 Cm2=90±0,4</p>	160 TCL CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage T 200</p> <p>Outil dressage et chariotage</p> <p>Pied à coulisse Contrôle la rugosité</p>					
300	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 1 1N (6) 301 : ebauche 4E 302 : finition 4F Cm1= 90±0,4</p>	190 VMCXI CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage F 300</p> <p>Fraise à 2T Ø20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle //</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">4</td> <td style="padding: 2px;">//</td> <td style="padding: 2px;">0,3</td> <td style="padding: 2px;">2</td> </tr> </table> </div>	4	//	0,3	2	
4	//	0,3	2					

<p>310</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 1 1N (6) 311 : finition direct 3F, 11F, 12F Cm1= 30±0,5 Cm2=C2-C1 Cm2max=C2min-C1min Cm2max=89,6-39,5=50,1 Cm2min=C2max-C1max Cm2min=90,4-40,5=49,9 Cm2=50±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 310</p> <p>Une fraise 2T Ø20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle de la \perp</p> <table border="1" data-bbox="821 616 1021 672"> <tr> <td>11-12</td> <td>\perp</td> <td>0,5</td> <td>3</td> </tr> </table>	11-12	\perp	0,5	3	 <p>Side view: Dimensions include Cm1, 60±0,5, 6,3, 40±0,5, C1, Cm2, C2. Callouts 3, 4, 5, 6, 2, 3, 1, 11, 12.</p> <p>End view: Shows circular profile with callouts 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12 and a vertical line with a downward arrow.</p>				
11-12	\perp	0,5	3									
<p>320</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 1 1N (6) 321 : ebauche 5E 6E 7E 322 : finition 5F 6F 7F Cm1=21±0,4 Cm2= C2-C1 Cm2max=C2min-C1min Cm2max=89,6-5,5=84,1 Cm2min=C2max-C1max Cm2min=90,4-6,5=83,9 Cm2=84±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F320</p> <p>une fraise 2T Ø20</p> <p>pied à coulisse TLD H6</p> <p>montage de contrôle \perp //</p> <table border="1" data-bbox="821 1232 1021 1288"> <tr> <td>6-7</td> <td>\perp</td> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="821 1310 1021 1366"> <tr> <td>5</td> <td>//</td> <td>0,3</td> <td>2</td> </tr> </table>	6-7	\perp	0,5	5	5	//	0,3	2	 <p>Side view: Dimensions include Cm1, 78H6, 6±0,5, C1, Cm2, C2. Callouts 5, 4, 5, 6, 2, 3, 1, B2, 7, 6.</p> <p>End view: Shows circular profile with callouts 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and a vertical line with a downward arrow.</p>
6-7	\perp	0,5	5									
5	//	0,3	2									
<p>330</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 1 1N (6) 331 : ebauche 8E, 9E, 10E 332 : finition 8F, 9F, 10F Cm1=C1+C2 Cm1max=C1max+C2min Cm1max=6,5+20,6=27,1 Cm1min=C1min+C2max Cm1min=5,5+21,4=26,9 Cm1=27±0,1 Cm2=C2-C1 Cm2max=C2min-C1min Cm2max=89,6-11,1=78,5 Cm2min=C2max-C1max Cm2min=90,4-12,9=77,5 Cm2=78±0,5 , Co=18</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F330</p> <p>Une fraise v Ø18</p> <p>Contrôle de Co Contrôle la rugosité</p>	 <p>Side view: Dimensions include Cm1, Co, C1, C2, Cm2, 4, 3,2, C1, Cm2, C2. Callouts 9, 8, 10, 2, 1, 1, 6, 2, 3, 1, B2, 1, 5, 1.</p> <p>End view: Shows circular profile with callouts 1, 2, 3, 4, 5, 1 and a vertical line with a downward arrow.</p>								

Contrat de phase										
Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation inférieure		Nombre : 1		Matière : acier doux						
Phase : tournage 200		Machine : 160 TCL CNC BOXFORD		Brut :						
<p><u>mouvement de l'outil</u> $L = 50+2+0,2+2 = 54,2 \text{ mm}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p>Appui plan en B3 3N (1-2-3)</p> <p>Centrage court en B2 2N (4-5)</p>										
Les mouvements initiaux		Les outils	Eléments		Le temps en mn					
			Coupe							
			V	a	n	p	N	A	L	
1	prendre la pièce	Montage d'usinage T 200								
2	placez la pièce									
3	ebauche des surfaces 1E et 2E Cm1=30±0,5, Cm2=90±0,4	Outil	175	0,05	490	1	1		54,2	
4	finition 1F et 2F	dressage et chariotage	200	0,04	550	0,2	1		52,2	
5	retour au point de départ du cycle									
6	démonter la pièce									
7	mettre la pièce									
8	nettoyage									
9	contrôle la pièce	Les cotes Ra								

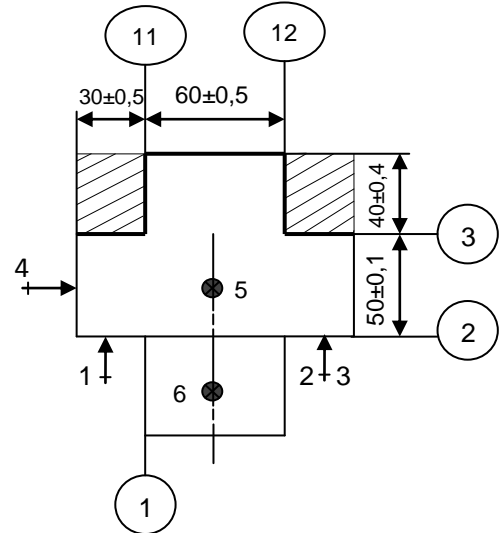
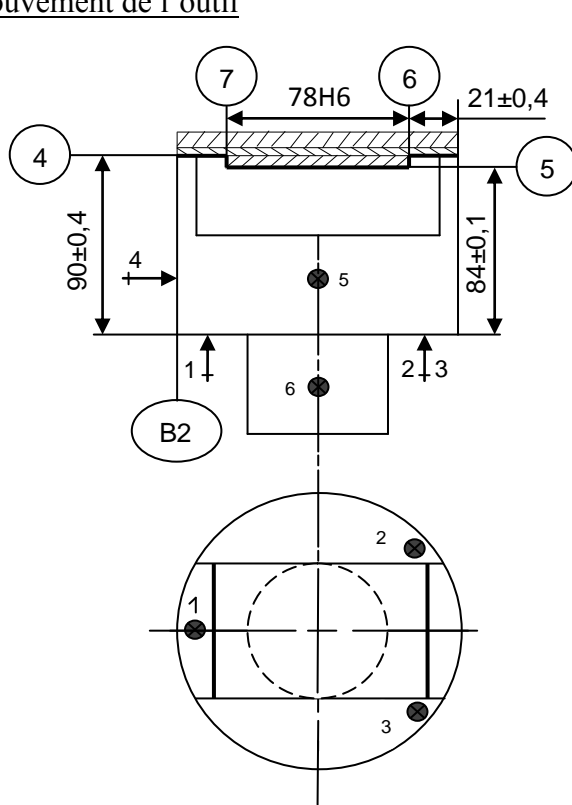
2/ Programme de la commande numérique sur BOXFORD :

Remarque : la phase de tournage "200" est répété dans tout les pièces, donc le programme de la commande numérique de cette phase ci le même.

N° de plan		FICHE DE PROGRAMMATION									MATÉRIAU : acier doux				
Description	N	TITRE : MDI			RÉDIGÉE PAR						FICHE N° ? SUR				
		Code prépa ratioir	Code auxiliaire	Code	Coordonnées axiales						Vitesse broche				Outil n°
	G	M	X	Y	Z	I	J	K	F	S	P	Q	R	T	
	10														
	20	21													
	30														
	40														01
	50			121		10									
	60	96	04								175				
	70	99													
	80	00				0									
	90	01		-1						0.050					
	100	00				1									
	110														
	120			122											
	130			120											
	140	90		118		-50									
	150			116		-50									
	160			114		-50									
	170			112		-50									
	180			110		-50									
	190			108		-50									
	200			106		-50									
	210			104		-50									
	220			102		-50									
	230			100		-50									
	240			98		-50									
	250			96		-50									
	260			94		-50									
	270			92		-50									
	280			90		-50									
	290			88		-50									
	300			86		-50									
	310			84		-50									
	320			82		-50									
	330			80		-50									
	340			78		-50									
	350			76		-50									
	360			74		-50									
	370			72		-50									
	380			70		-50									
	390			68		-50									
	400			66		-50									
	410			64		-50									
	420			62		-50									
	430			61		-50									
	440	00		123											
	450														
	460														
	470			122											
	480	96	04								200				
	490	00		60											
	500	01				0				0.040					
	510					-50									
	520			120											
	530			121											
	540														
	550	00	05			10									
	560		30												

Contrat de phase		
Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation inférieure	Nombre : 1	Matière : acier doux
Phase : fraiseage 300-310-320	Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD	Brut :

mouvement de l'outil



Référentiel de mise en position défini comme suite :

Appui plan en 2 3N (1-2-3)

Centrage court en B2 2N (4-5)

Appui ponctuelle en 1 1N (6)

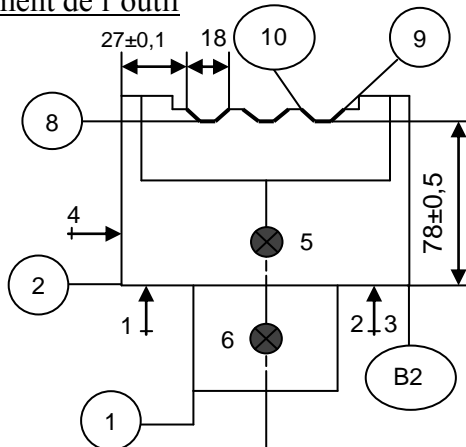
	Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments			Le temps en mn		
			Coupe					
			V	a	n	p	N	L
1	prendre la pièce	Montage d'usinage F 300						
2	placez la pièce							
3	ebauche la surface 4E Cm1=90±0,4	Fraise à 2T Ø20	3500	30	190	2	1	120
4	finition la surface 4F		3500	30	250	0,2	1	120
5	retour rapide							
6	ebauche des surface 3E, 11E et 12E Cm1=30±0,5, Cm2=50±0,1		3500	30	890	40	1	120
7	retour rapide							
8	ebauche des surface 5E, 6E et 7E Cm1=21±0,4 Cm2=84±0,1		3500	30	940	3	1	89
9	finition les surfaces 5F ,6F		3500	30	1080	6	1	89

	et 7F		
10	retour rapide		

Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation inférieure	Nombre : 1	Matière : acier doux
Phase : fraissage 330	Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD	Brut :

mouvement de l'outil

$$L = 27 + 18 + 6 + 18 + 6 + 9 = 84$$



Référentiel de mise en position défini comme suite :

Appui plan en 2 3N (1-2-3)

Centrage court en B2 2N (4-5)

Appui ponctuelle en 1 1N (6)

	Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments				Le temps en mn	
			Coupe					
			V	a	n	p	N	L
11	changement d'outil							
12	ebauche les surfaces 8E, 9E et 10E Cm1= 27±0,1 Cm2= 78±0,5 Co= 18	Une fraise v 18,00mm	1500	30	1180	3	2	84
13	finition des surfaces 8F, 9F et 10F		1500	30	1280	6	2	84
14	retour au point de départ du cycle							
15	démonter la pièce							
16	nettoyage							
17	contrôle la pièce	Les cotes Ra Les tolérances géométriques						

3/ Programme de la commande numérique sur BOXFORD :

N° de plan		FICHE DE PROGRAMMATION									MATÉRIAU : acier doux				
		TITRE : MDI			RÉDIGÉE PAR			FICHE							
Description		Code préparatoire	Code auxiliaire	Coordonnées axiales						Vitesse de diamantage	Vitesse de broche				Outil n°
	N	G	M	X	Y	Z	I	J	K	F	S	P	Q	R	T
1	10	21													
2	20		06												01
3	30	00		0	0	10									
4	40		03								3500				
5	50	00				2									
6	60	01				-1				17					
7	70	01		120						30					
8	80	01			20										
9	90	01		0											
10	100	01			40										
11	110	01		120											
12	120	01			60										
13	130	01		0											
14	140	01			80										
15	150	01		120											
16	160	01			100										
17	170	01		0											
18	180	01			120										
19	190	01		120											
20	200	00				10									
21	210	00		0	0										
22	220	00			20										
23	230	01				-5				17					
24	240	01		120						30					
25	250	01			0										
26	260	01		0											
27	270	01			20	-10									
28	280	01		120											
29	290	01			0										
30	300	01		0											
31	310	01			20	-15									
32	320	01		120											
33	330	01			0										
34	340	01		0											
35	350	01			20	-20									
36	360	01		120											
37	370	01			0										
38	380	01		0											
39	390	01			20	-25									
40	400	01		120											
41	410	01			0										
42	420	01		0											
43	430	01			20	-30									
44	440	01		120											
45	450	01			0										
46	460	01		0											
47	470	01			20	-35									
48	480	01		120											
49	490	01			0										

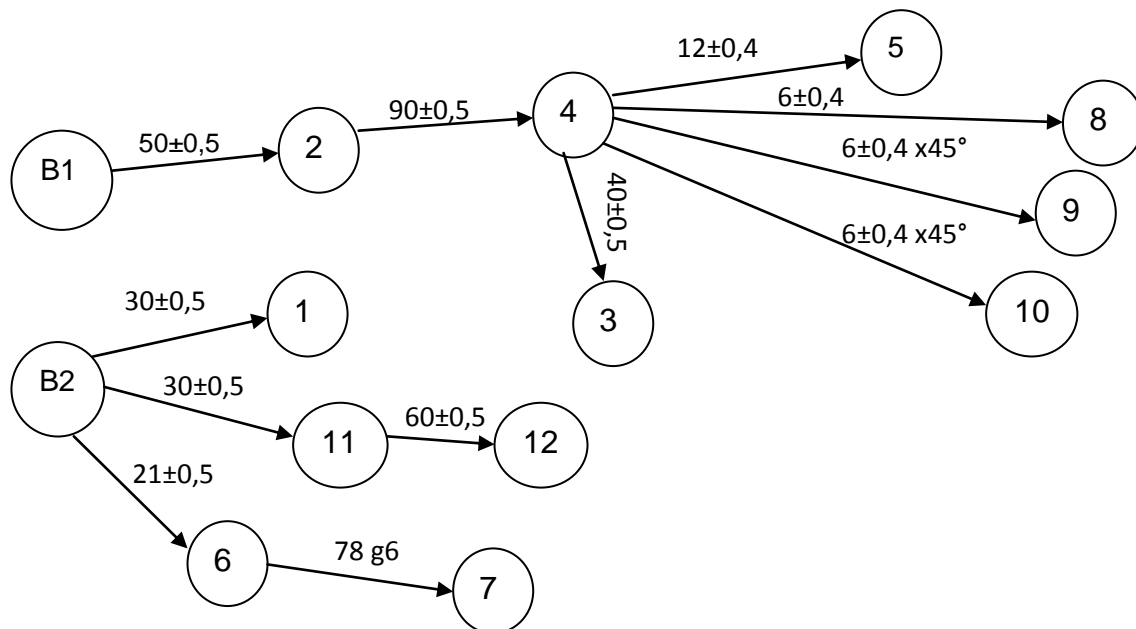
50	500	01		0															
51	510	01			20	-41													
52	520	01		120															
53	530	01			0														
54	540	01		0															
55	550	00				10													
56	560	00			100														
57	570	00				2													
58	580	01				-5				17									
59	590	01		120						30									
60	600	01			120														
61	610	01		0															
62	620	01			100	-10													
63	630	01		120															
64	640	01			120														
65	650	01		0															
66	660	01			100	-15													
67	670	01		120															
68	680	01			120														
69	690	01		0															
70	700	01			100	-20													
71	710	01		120															
72	720	01			120														
73	730	01		0															
74	740	01			100	-25													
75	750	01		120															
76	760	01			120														
77	770	01		0															
78	780	01			100	-30													
79	790	01		120															
80	800	01			120														
81	810	01		0															
82	820	01			100	-35													
83	830	01		120															
84	840	01			120														
85	850	01		0															
86	860	01			100	-41													
87	870	01		120															
88	880	01			120														
89	890	01		0															
90	900	00				10													
91	910	00			0														
92	920	00		31		2													
93	930	01				-3				17									
94	940	01			120					30									
95	950	01		51															
96	960	01			0														
97	970	01		71															
98	980	01			120														
99	990	01		89															
100	1000	01			0														
101	1010	01				-7													
102	1020	01			120														
103	1030	01		71															
104	1040	01			0														
105	1050	01		51															
106	1060	01			120														
107	1070	01		31															

108	1080	01			0														
109	1090	00				10													
110	1100	00		0						17									
111	1110		05																
112	1120		06															02	
113	1130		03											1500					
114	1140	00		36	0	2													
115	1150	01				-9				17									
116	1160	01			120					30									
117	1170	01				-13													
118	1180	01			0														
119	1190	01		60		-9													
120	1200	01			120														
121	1210	01				-13													
122	1220	01			0														
123	1230	01		84		-9													
124	1240	01			120														
125	1250	01				-13													
126	1260	01			0														
127	1270	00				10													
128	1280	00		0															
129	1290		05																
130	1300		30																

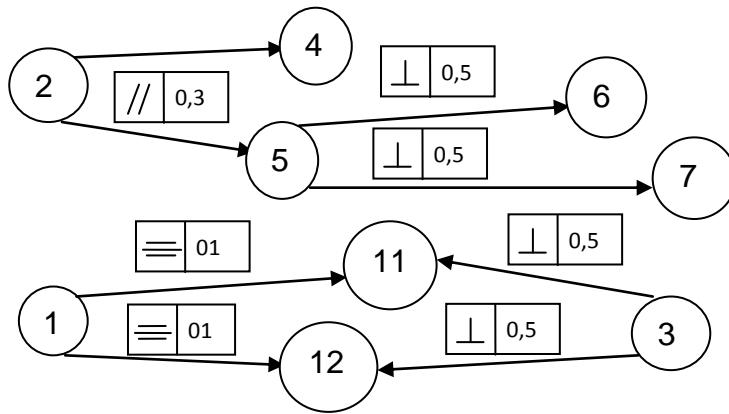
B) Matrice de déformation supérieure (MDS)

1/ analyse des contraintes d'antériorité et de simultanéité

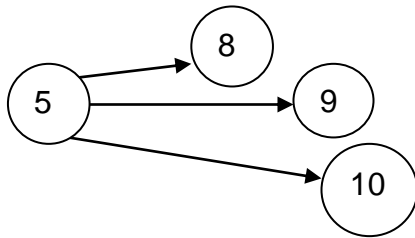
a) contraintes d'antériorité dimensionnelles (cotation) :



b) contraintes d'antériorité d'ordre géométrique :



c) contraintes d'antériorité d'ordre technologiques :



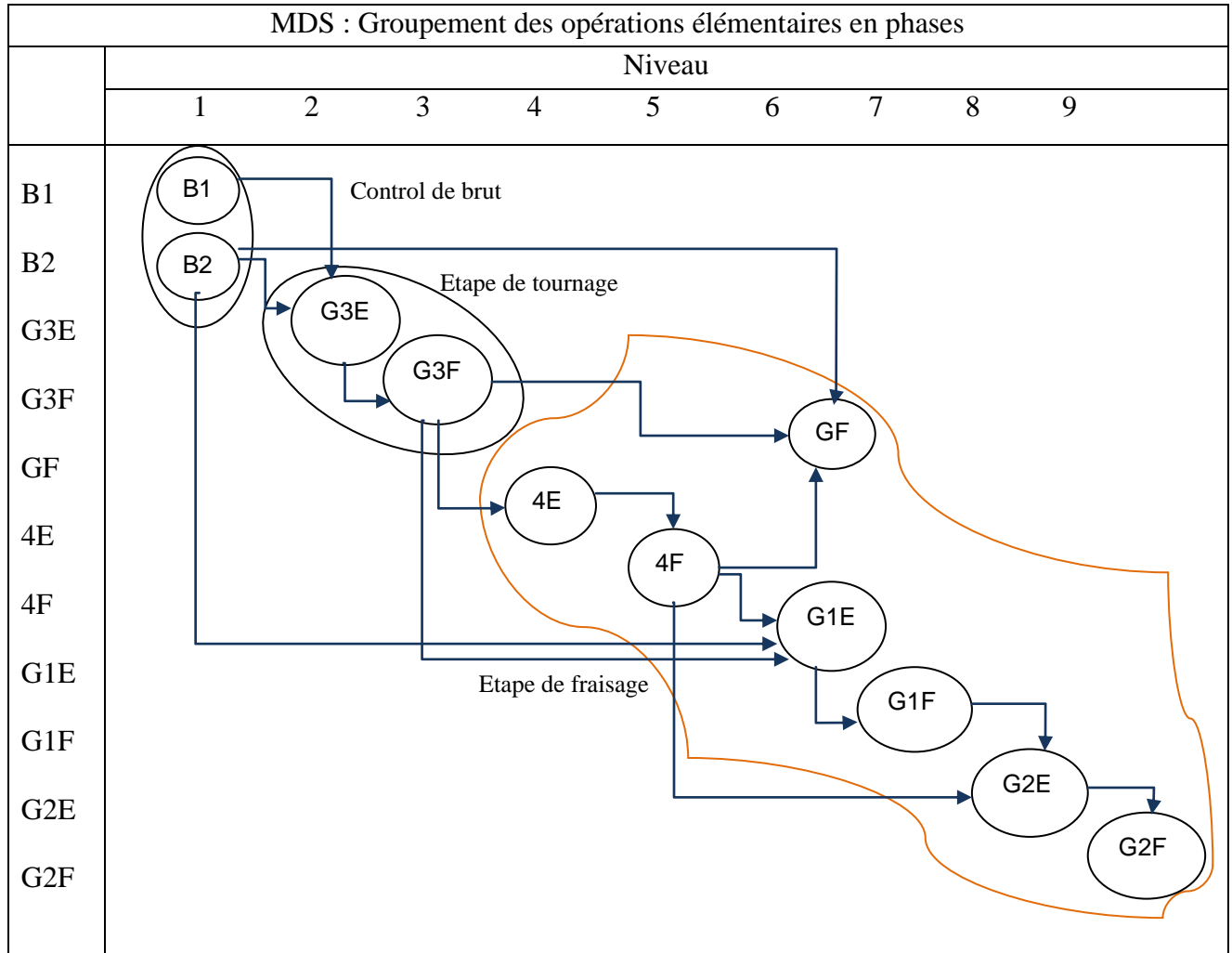
MDS : Tableau Des Opérations Elémentaires								
Surfaces	Cotes Des Liaison ou Surfaces		Spécifications			Opérations élémentaires	Symbolisation	
	usinée	brut	IT	Particulaire	Ra			
1		B2 30±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	1E , 1F	
2		B2 50±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	2E , 2F	
3	4 40±0,5		1		6,3	Finition direct	3F	
4	2 90±0,4		0,8	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	4E , 4F	
5	4 12±0,9		1,8	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	5E , 5F	
6		B2 21±0,5	1	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	6E , 6F	
7	6 78g6		g6	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	7E , 7F	
8	5 6±0,4		0,8		3,2	Ebauche et finition	8E , 8F	
9	5 6±0,4x45°		0,8		3,2	Ebauche et finition	9E , 9F	
10	5 6±0,4x45°		0,8		3,2	Ebauche et finition	10E , 10F	
11		B2 30±0,5	1	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	6,3	Finition direct	11F	
12	11 60±0,5		1	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	6,3	Finition direct	12F	

MDS : Groupement des surfaces		
Symbole	les surfaces	outils utilisés et raison de l'assemblage
		finition direct une fraise 2T GF
		ebauche et finition avec une fraise 2T G1E - G1F
		ebauche et finition avec une fraise v G2E - G2F
		ebauche et finition un outil de dressage et chariotage G3E - G3F

MDS : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité												
Opération	Dimensionnelles	Géométriques						Technologiques			Economiques	
		//	⊥	⊙	⊕	∠	≡	reprise	opération			
		B1										
B2												
G3E	B1 B2											
G3F	B1 B2								G3E			
GF	B2 4F		GF				G3F		4F			
4 ^e	G3F	G3F										
4F	G3F	G3F							4E			
G1E	B2 4F	G3F										
G1F	4F	G3F	G1F							G1E		
G2E	4F									G1F		
G2F	4F									G1F G2E		

MDS : Tableau des niveaux									
Ensemble	Elément : matrice de déformation supérieure						Matière : acier doux		
Organe	Nombre : 1						Brut		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1									
B2									
G3E	B1-B2								
G3F	B1-B2 G3E	G3E							
GF	B2- 4F	4F	4F	4F	4F				
4 ^e	G3F	G3F	G3F						
4F	G3F-4E	G3F-4E	4E	4E					
G1E	B2-G3F-4F	G3F-4F	4F	4F	4F				
G1F	B2-G3F-4F-G1E	G3F-4F-G1E	G1E-4F	G1E-4F	G1E-4F	G1E			
G2E	G1F-4F	G1F-4F	G1F-4F	G1F-4F	G1F-4F	G1F	G1F		
G2F	G1F-4F-G2E	G1F-G2E-4F	G1F-G2E-4F	G1F-G2E-4F	G1F-G2E-4F	G1F-G2E	G2E	G2E	

MDS : Niveau d'implémentation								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1	G3E	G3F	4 ^E	4F	GF	G1F	G2E	G2F
B2					G1E			



Etape	Opération
100	contrôle de brut
200	tournage G3E – G3F
300	fraisage 4E – 4F
310	fraisage GF
320	fraisage G1E – G1F
330	fraisage G2E – G2F
400	contrôle finale

<p>Groupe : Elément : appareil C.G.P matrice de déformation supérieure</p>		<h3>Gamme d'usinage</h3>						
<p>Nombre : 1 Matière : acier doux Brut :</p>								
Nombre De phase	Identifier les étapes et les processus	Les machines	Appareils Outil de coupe	Dessin				
100	<p>Contrôle de brut Vérifiez les normes et les spécifications</p>	Atelier de métrologie	Pied à coulisse	S'assurer-vous que le brut est capable de donner la pièce requise par le bureau d'études				
200	<p><u>Tournage</u> Pièce dans l'installation Appui plan en B3 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) 201 : ebauche 1E , 2E 202 : finition 1F , 2F Cm1=30±0,5 Cm2= 90±0,5-40±0,5 Cm2min=89,5-40,5=49 Cm2max=90,5-39,5=51 Cm2=90±0,4</p>	160 TCL CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage T 200</p> <p>Outil dressage et chariotage 9,00 mm</p> <p>Pied à coulisse</p>					
300	<p><u>Fraisage</u> Pièce dans l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 1 1N (6) 301 : ebauche 4E 302 : finition 4F Cm1= 90±0,4</p>	190 VMCXI CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage F 300</p> <p>Fraise 2T $\varnothing 20$</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>Montage de contrôle //</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">4</td> <td style="padding: 2px;">//</td> <td style="padding: 2px;">0,3</td> <td style="padding: 2px;">2</td> </tr> </table> </div>	4	//	0,3	2	
4	//	0,3	2					

<p>310</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 311 : finition direct 3F, 11F, 12F Cm1= 30±0,5 Cm2=50±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 310</p> <p>Fraise à 2T ∅20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle ⊥</p> <table border="1" data-bbox="821 649 1021 705"> <tr> <td>11-12</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>3</td> </tr> </table>	11-12	⊥	0,5	3					
11-12	⊥	0,5	3									
<p>320</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 321 : ebauche 5E 6E 7E 51 : finition 5F 6F 7F Cm1=21±0,4 Cm2=78±0,5</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 320</p> <p>fraise 2T ∅20</p> <p>Pied à coulisse TLDg6</p> <p>montage de contrôle ⊥ //</p> <table border="1" data-bbox="821 1209 1021 1265"> <tr> <td>6-7</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="821 1288 1021 1344"> <tr> <td>5</td> <td>//</td> <td>0,3</td> <td>2</td> </tr> </table>	6-7	⊥	0,5	5	5	//	0,3	2	
6-7	⊥	0,5	5									
5	//	0,3	2									
<p>330</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 331 : ebauche 8E 9E 10E 332 : finition 8F 9F 10F Cm1= 21±0,4 Cm2=84±0,1 Co= 18</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 330</p> <p>Une fraise v 18,00mm</p> <p>Pied à coulisse Contrôle Co</p>									

Contrat de phase

Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation supérieure	Nombre : 1	Matière : acier doux
Phase : tournage 200	Machine : 160 TCL CNC BOXFORD	Brut :

mouvement de l'outil
 $L = 50+2+0,2+2 = 54,2 \text{ mm}$

Side view of the tool showing a cylindrical body with a diameter of $50 \pm 0,5$ mm. Reference points B2, B3, 1, 2, 3, 4, and 5 are marked. Arrows indicate movement directions: 1 (right), 2 (right), 3 (right), 4 (up), and 5 (left).

Top view of the tool showing a diameter of $\varnothing 60 \pm 0,5$ mm. Reference points 1, 2, 3, 4, and 5 are marked. Arrows indicate movement directions: 1 (down), 2 (left), 3 (right), 4 (up), and 5 (left).

Référentiel de mise en position défini comme suite :

Appui plan en B3 3N (1-2-3)

Centrage court en B2 2N (4-5)

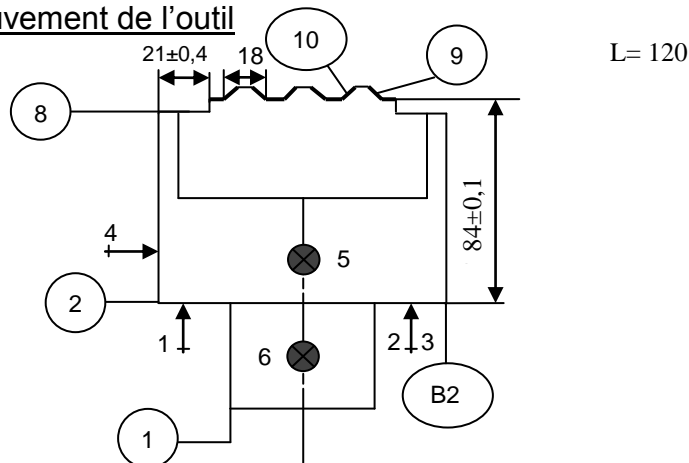
	Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments			Le temps en mn
			V	a	n	
			Coupe	p	N	L
			V	a	n	p N L
1	prendre la pièce	Montage d'usinage T 200				
2	placez la pièce					
3	ebauche des surfaces 1E et 2E $Cm1=30 \pm 0,5$, $Cm2=90 \pm 0,5$	Outil	175	0,05	490	1 1 54,2
4	finition 1F et 2F	dressage et chariotage	200	0,04	550	0,2 1 54,2
5	retour au point de départ du cycle					
6	démonter la pièce					
7	mettre la pièce					
8	nettoyage					
9	contrôle la pièce	Les cotes Ra les tolérances géométriques				

Contrat de phase									
Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation supérieure		Nombre : 1		Matière : acier doux					
Phase : fraisage 300-310-320		Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD		Brut :					
<p><u>mouvement de l'outil</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p>Appui plan en 2 3N (1-2-3)</p> <p>Centrage court en B2 2N (4-5)</p> <p>Appui ponctuelle en 1 1N (6)</p>									
Les mouvements initiaux		Les outils		Eléments					
				Coupe					
				V	a n	p	N	L	
1	prendre la pièce	Montage d'usinage							
2	placez la pièce	F 300							
3	ebauche la surface 4E Cm1=90±0,4	Fraise 2T ∅20		3500	30	190	1	1	120
4	finition la surface 4F			3500	30	250	0,2	1	120
5	retour rapide								
6	ebauche des surface 3E, 11E et 12E Cm1=30±0,5, Cm2=50±0,1			3500	30	890	40	1	120
7	retour rapide								
8	ebauche des surface 5E, 6E et 7E Cm1=21±0,4 Cm2=78±0,5			3500	30	920	12	1	120

9	finition des surfaces 5F ,6F et 7F		3500 30 1190	12	1	120	
10	retour rapide						

Pièce : appareil C.G.P matrice de déformation supérieure	Nombre : 1	Matière : acier doux
Phase : fraisage 330	Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD	Brut :

mouvement de l'outil



Référentiel de mise en position défini comme suite :

Appui plan en 2 3N (1-2-3)

Centrage court en B2 2N (4-5)

Appui ponctuelle en 1 1N (6)

	Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments				Le temps en mn		
			Coupe						
			V	a	n	p	N	L	
11	changement d'outil								
12	ebauche des surfaces 8E , 9E et 10E Cm1=21±0,4 Cm2= 84±0,1 Co= 18	Une fraise v 18,00mm	1500	30	1250	3	2	120	
13	finition des surfaces 8F 9F et 10F		1500	30	1410	6	2	120	
14	retour au point de départ du cycle								
15	démonter la pièce								
16	nettoyage								
17	contrôle la pièce	Les cotes Ra les tolérances géométriques							

2/ Programme de la commande numérique sur BOXFORD :

N° de plan		FICHE DE PROGRAMMATION									MATÉRIAU : ACIER DOUX				
Description	N	Cod e prép	Cod e auxil	TITRE : MDS			RÉDIGÉE PAR			FICHE N° ? SUR					
				Coordonnées axiales			I	J	K	Vite sse d'am étag	Vite sse broc	P	Q	R	Outil n°
		G	M	X	Y	Z				F	S				T
1	10	21													
2	20		06												01
3	30	00		0	0	10									
4	40		03								3500				
5	50	00				2									
6	60	01				-1				17					
7	70	01		120						30					
8	80	01			20										
9	90	01		0											
10	100	01			40										
11	110	01		120											
12	120	01			60										
13	130	01		0											
14	140	01			80										
15	150	01		120											
16	160	01			100										
17	170	01		0											
18	180	01			120										
19	190	01		120											
20	200	00				10									
21	210	00		0	0										
22	220	00			20										
23	230	01				-5				17					
24	240	01		120						30					
25	250	01			0										
26	260	01		0											
27	270	01			20	-10									
28	280	01		120											
29	290	01			0										
30	300	01		0											
31	310	01			20	-15									
32	320	01		120											
33	330	01			0										
34	340	01		0											
35	350	01			20	-20									
36	360	01		120											
37	370	01			0										
38	380	01		0											
39	390	01			20	-25									
40	400	01		120											
41	410	01			0										
42	420	01		0											
43	430	01			20	-30									
44	440	01		120											
45	450	01			0										
46	460	01		0											
47	470	01			20	-35									
48	480	01		120											
49	490	01			0										
50	500	01		0											
51	510	01			20	-41									
52	520	01		120											
53	530	01			0										
54	540	01		0											
55	550	00				10									
56	560	00				100									
57	570	00				2									
58	580	01				-5				17					
59	590	01		120											
60	600	01			120										
61	610	01		0											
62	620	01			100	-10									
63	630	01		120											
64	640	01			120										
65	650	01		0											
66	660	01			100	-15									

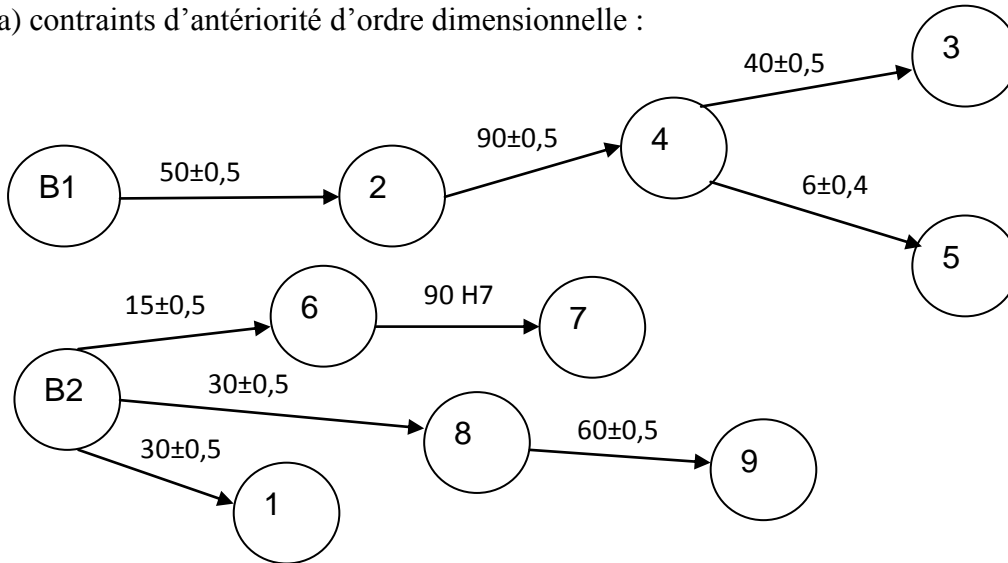
67	670	01		120																
68	680	01			120															
69	690	01		0																
70	700	01			100	-20														
71	710	01		120																
72	720	01			120															
73	730	01		0																
74	740	01			100	-25														
75	750	01		120																
76	760	01			120															
77	770	01		0																
78	780	01			100	-30														
79	790	01		120																
80	800	01			120															
81	810	01		0																
82	820	01			100	-35														
83	830	01		120																
84	840	01			120															
85	850	01		0																
86	860	01			100	-41														
87	870	01		120																
88	880	01			120															
89	890	01		0																
90	900	00				10														
91	910	00			0															
92	920	00		11		2														
93	930	01				-4			17											
94	940	01			120															
95	950	01		0																
96	960	01			0															
97	970	01		11		-8														
98	980	01			120															
99	990	01		0																
100	1000	01			0															
101	1010	01		11		-13														
102	1020	01			120															
103	1030	01		0																
104	1040	01			0															
105	1050	00				10														
106	1060	00		109																
107	1070	00				2														
108	1080	01				-4			17											
109	1090	01			120				30											
110	1100	01		120																
111	1110	01			0															
112	1120	01		109		-8														
113	1130	01			120															
114	1140	01		120																
115	1150	01			0															
116	1160	01		109		-13														
117	1170	01			120															
118	1180	01		120																
119	1190	01			0															
120	1200	00				10														
121	1210	00		0																
122	1220		05																	
123	1230		06																	02
124	1240		03										1500							
125	1250	00		24		2														
126	1260	01				-3			17											
127	1270	01			120				30											
128	1280	01				-7														
129	1290	01			0															
130	1300	01		48		-3														
131	1310	01			120															
132	1320	01				-7														
133	1330	01			0															
134	1340	01		72		-3														
135	1350	01			120															
136	1360	01				-7														
137	1370	01			0															
138	1380	01		96		-3														

139	1390	01			120										
140	1400	01				-7									
141	1410	01			0										
142	1420	00				10									
143	1430	00		0											
144	1440		05												
145	1450		30												

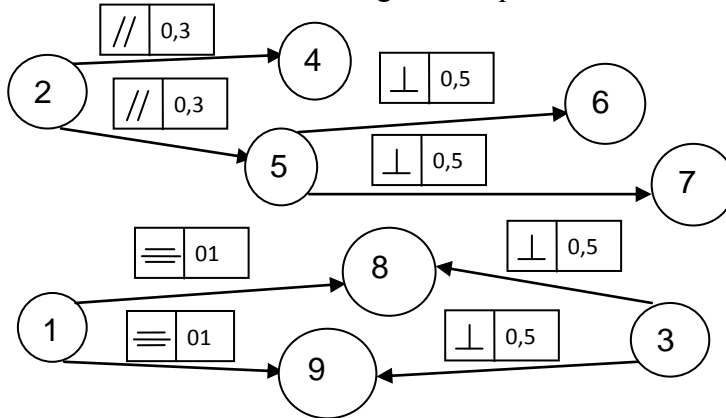
C) Matrice de redressement inferieure (MRI)

1/ analyse des contraintes d'antériorité et de simultanété

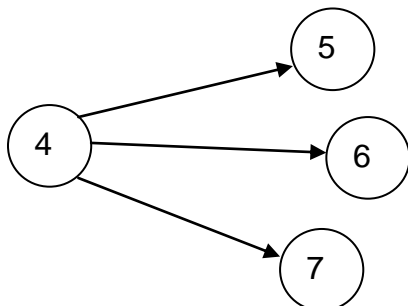
a) constraints d'antériorité d'ordre dimensionnelle :



b) contrainte d'antériorité d'ordre géométriques :



c) constraints d'antériorité d'ordre technologique



MRI : Tableau Des Opérations Élémentaires

Surfaces	Cotes Des Liaison ou Surfaces		Spécifications			Opérations élémentaires	Symbolisation
	usinée	Brutes	IT	Particulaire	Ra		
1		B2 30±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	1E , 1F
2		B2 50±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	2E , 2F
3	4	40±0,5	1		6,3	Finition direct	3F
4	2	90±0,4	0,8		3,2	Ebauche et finition	4E , 4F
5	4	6±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	5E , 5F
6		B2 15±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	6E , 6F
7	6	90H6	H6		3,2	Ebauche et finition	7E , 7F
8		B2 30±0,5	0,8		3,2	Ebauche et finition	8E , 8F
9	8	60±0,5	0,8		3,2	Ebauche et finition	9E , 9F

MRI : Groupement des surfaces

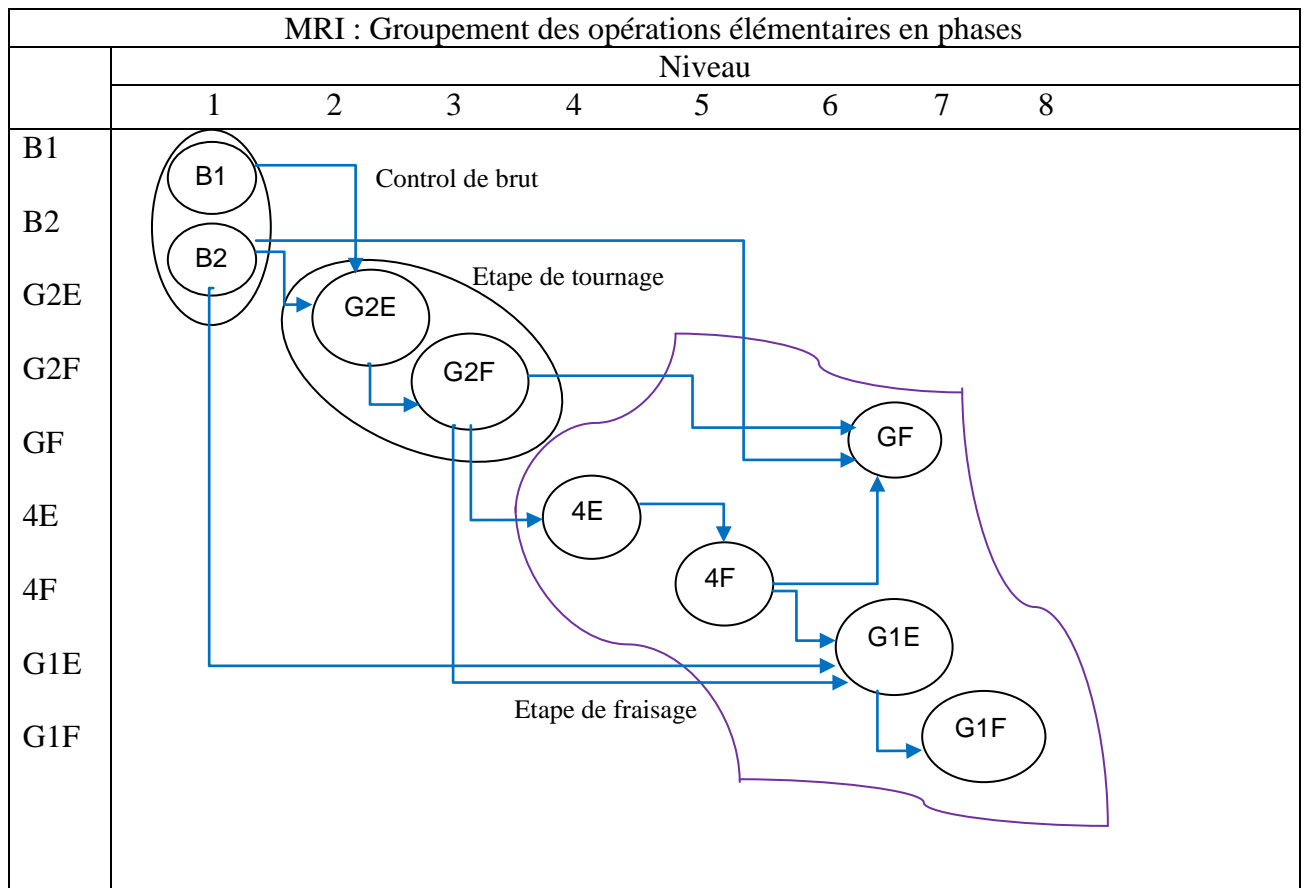
Symbole	les surfaces	outils utilisés et raison de l'assemblage
G	11 12 3	finition direct une fraise 2T GF
G1	6 7 5	ebauche et finition avec une fraise 2T G1E - G1F
G2	1 2	ebauche et finition un outil de dressage et chariotage G3E – G3F

MRI : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité

Opération	Contraints									
	Dimensionnelles	Géométriques					Technologiques		Economiques	
								reprise	opération	
B1										
B2										
G2E	B1 B2									
G2F	B1 B2							G2E		
GF	B2 4F		GF				G2F	4F		
4E	G2F	G2F								
4F	G2F	G2F						4E		
G1E	B2 4F	G2F								
G1F	4F	G2F	G1F					G1E		

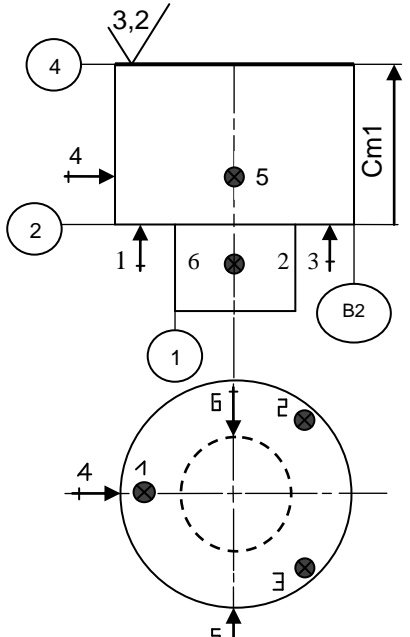
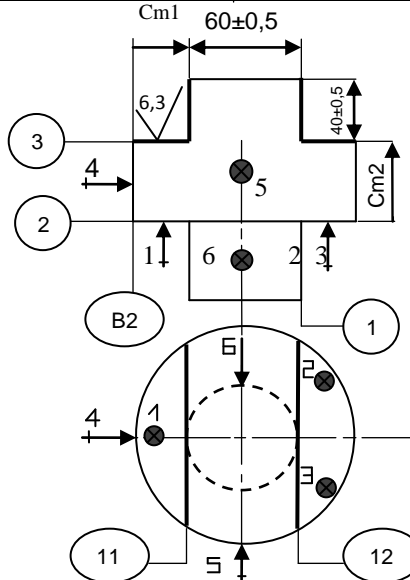
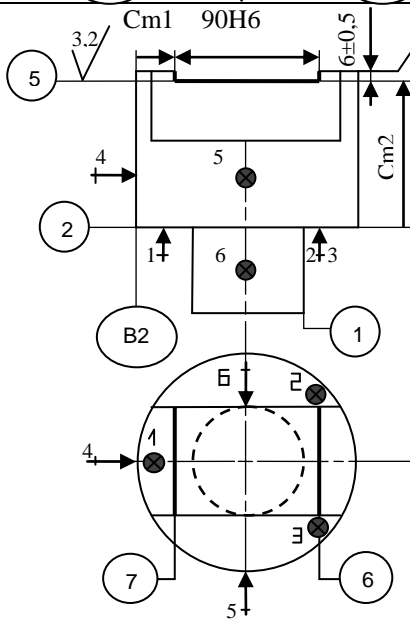
MRI : Tableau des niveaux									
Ensemble :			Elément : matrice de redressement inférieure				Matière : acier doux		
Organe :			Nombre : 1				Brut		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1									
B2									
G2E	B1-B2								
G2F	B1-B2 G2E	G2E							
GF	B2- 4F	4F	4F	4F	4F				
4E	G2F	G2F	G2F						
4F	G2F-4E	G2F-4E	4 ^E	4E					
G1E	B2-G2F-4F	G2F-4F	4F	4F	4F				
G1F	B2-G2F-4F-G1E	G2F-4F-G1E	G1E-4F	G1E-4F	G1E-4F	G1E			

MRI : Niveau d'implémentation						
1	2	3	4	5	6	7
B1 B2	G2E	G2F	4E	4F	GF G1E	G1F

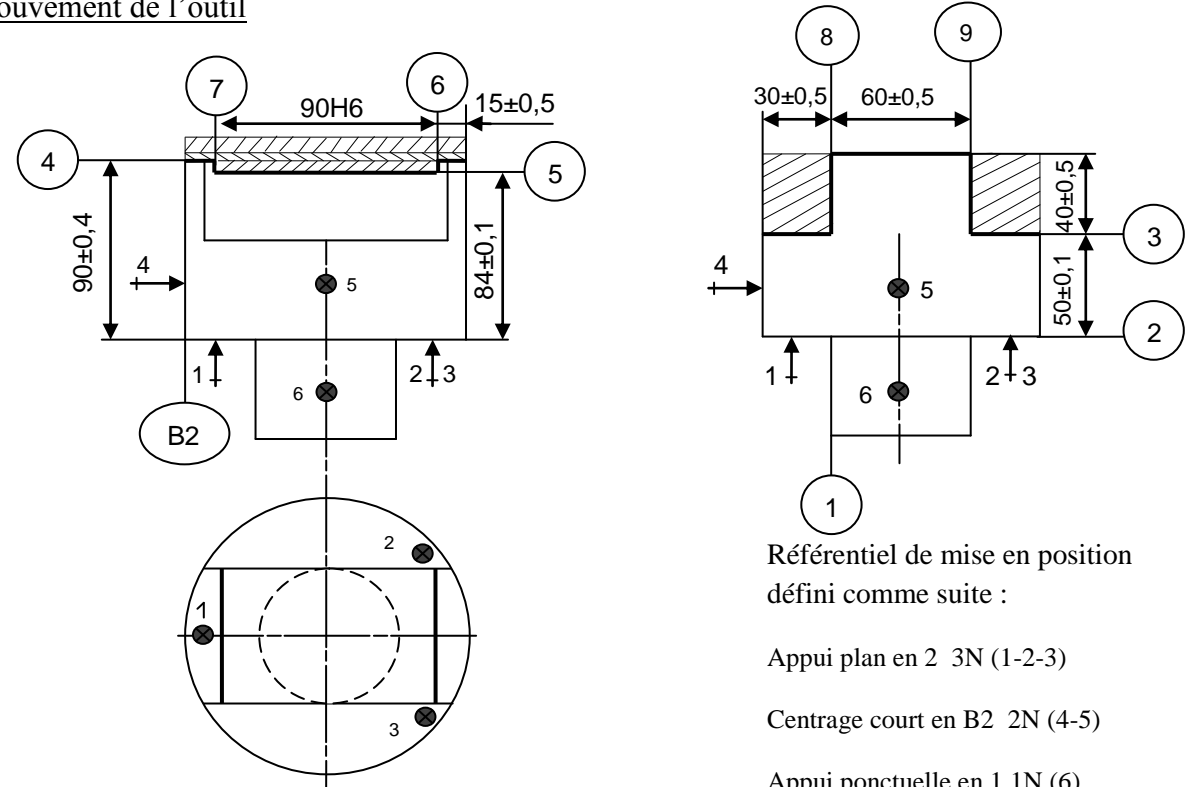


Etape	Opération
100	contrôle de brut
200	tournage G3E – G3F
300	fraisage 4E – 4F
310	fraisage GF
320	fraisage G1E – G1F
400	contrôle finale

Groupe : Elément : appareil C.G.P matrice de redressement inférieure		Gamme d'usinage		
Nombre : 1 Matière : acier doux Brut :				
Nombre De phase	Identifier les étapes et les processus	Les machines	Appareils Outil de coupe	Dessin
100	Contrôle de brut Vérifiez les normes et les spécifications	Atelier de métrologie	Pied à coulisse	S'assurer-vous que le brut est capable de donner la pièce requise par le bureau d'études
200	<u>Tournage</u> Pièce dans l'installation Appui plan en B3 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) 201 : ebauche 1E , 2E 202 : finition 1F , 2F Cm1=30±0,5 Cm2=90±0,4	160TCL CNC BOXFORD	Montage d'usinage T 200 Outil dressage et chariotage 9,00 mm Pied à coulisse Contrôle la rugosité	

<p>300</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Appui linéaire en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 301 : ebauche 4E 302 : finition 4F Cm1= 90±0,4</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 300</p> <p>Fraise à 2T ∅20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle de la//</p> <table border="1" data-bbox="831 645 1010 703"> <tr> <td>4</td> <td>//</td> <td>0,3</td> <td>2</td> </tr> </table>	4	//	0,3	2	 <p>Technical drawing of tool F 300. Side view shows a rectangular block with a chamfered top edge (3,2), a central hole (5), and a sliding foot (B2) with a height of Cm1. Top view shows a circular profile with a central hole (5) and four points (1, 2, 3, 4) marked on the circumference. Dimension lines indicate the width and height of the tool.</p>				
4	//	0,3	2									
<p>310</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 311 : finition direct 3F, 11F, 12F Cm1= 30±0,5 Cm2=50±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 310</p> <p>Une fraise 2T ∅20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle de la⊥</p> <table border="1" data-bbox="823 1272 1021 1321"> <tr> <td>11-12</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>3</td> </tr> </table>	11-12	⊥	0,5	3	 <p>Technical drawing of tool F 310. Side view shows a rectangular block with a chamfered top edge (6,3), a central hole (5), and a sliding foot (B2) with a height of Cm2. The distance between the center of the hole and the edge is 60±0,5. The height of the block is 40±0,5. Top view shows a circular profile with a central hole (5) and four points (1, 2, 3, 4) marked on the circumference. Dimension lines indicate the width and height of the tool.</p>				
11-12	⊥	0,5	3									
<p>320</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 321 : ebauche 5E 6E 7E 322 : finition 5F 6F 7F Cm1=15±0,5 Cm2=C2-C1 Cm2min=C2max-C1max Cm2min=90,4-6,5=83,9 Cm2max=C2min-C1min Cm2max=89,6-5,5=84,1 Cm2=84±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 320</p> <p>une fraise 2T ∅20</p> <p>ped à coulisse TLD H6</p> <p>montage de contrôle de la⊥ et //</p> <table border="1" data-bbox="823 1832 1021 1881"> <tr> <td>6-7</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="823 1904 1010 1962"> <tr> <td>5</td> <td>//</td> <td>0,3</td> <td>2</td> </tr> </table>	6-7	⊥	0,5	5	5	//	0,3	2	 <p>Technical drawing of tool F 320. Side view shows a rectangular block with a chamfered top edge (3,2), a central hole (5), and a sliding foot (B2) with a height of Cm2. The distance between the center of the hole and the edge is 90H6. The height of the block is 6±0,5. Top view shows a circular profile with a central hole (5) and four points (1, 2, 3, 4) marked on the circumference. Dimension lines indicate the width and height of the tool.</p>
6-7	⊥	0,5	5									
5	//	0,3	2									

Contrat de phase				
Pièce : appareil C.G.P matrice de redressement inférieure	Nombre : 1	Matière : acier doux		
Phase : tournage 200	Machine : 160 TCL CNC BOXFORD	Brut :		
<p><u>mouvement de l'outil</u> $L = 50+2+0,2+2 = 54,2 \text{ mm}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div> <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p style="margin-left: 40px;">Appui plan en B3 3N (1-2-3)</p> <p style="margin-left: 40px;">Centrage court en B2 2N (4-5)</p>				
Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments		Le temps en mn
		Coupe		
		V a n	p N A L	
1 prendre la pièce	Montage d'usinage T 200			
2 placez la pièce				
3 ebauche des surfaces 1E et 2E Cm1=30±0,5, Cm2=90±0,4	Outil	175 0,05 490	1 1 54,2	
4 finition 1F et 2F	dressage et chariotage	200 0,04 550	0,2 1 54,2	
5 retour au point de départ du cycle				
6 démonter la pièce				
7 mettre la pièce				
8 nettoyage				
9 contrôle la pièce	Les cotes Ra les tolérances géométriques			

Contrat de phase							
Pièce : appareil C.G.P matrice de redressement inférieure		Nombre : 1		Matière : acier doux			
Phase : fraisage 300-310-320		Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD		Brut :			
<p><u>mouvement de l'outil</u></p>  <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p>Appui plan en 2 3N (1-2-3)</p> <p>Centrage court en B2 2N (4-5)</p> <p>Appui ponctuelle en 1 1N (6)</p>							
Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments			Le temps en mn		
		Coupe					
		V	a	n	p	N	L
1	prendre la pièce						
2	placez la pièce						
3	ebauche la surface 4E Cm1=90±0,4	3500	30	190	1	1	120
4	finition la surface 4F	3500	30	250	0,2	1	120
5	retour rapide						
6	finition direct des surface 3F , 11F et 12F Cm1=30±0,5, Cm2=50±0,1	3500	30	890	40	1	120
7	retour rapide						
8	ebauche des surface 5E, 6E et 7E Cm1=15±0,5 Cm2=84±0,1	3500	30	940	3	1	105

9	finition des surfaces 5F , 6F et 7F		3500 30 1080	6	1	105	
10	retour au point de départ						
	du cycle						
11	démonter la pièce						
12	nettoyages						
13	contrôles la pièce	Les cotes Ra les tolérances géométriques					

2/ Programme de la commande numérique sur BOXFORD :

N° de plan		FICHE DE PROGRAMMATION									MATÉRIAU : acier doux					
		TITRE : MRI			RÉDIGÉE PAR						FICHE N° ? SUR					
Description		Code prépa ratioir	Code auxili aire	Coordonnées axiales						Vites d'ame nage	Vites broch					Outil n°
	N	G	M	X	Y	Z	I	J	K	F	S	P	Q	R	T	
1	10	21														
2	20		06													01
3	30	00		0	0	10										
4	40		03									3500				
5	50	00				2										
6	60	01				-1				17						
7	70	01		120						30						
8	80	01			20											
9	90	01		0												
10	100	01			40											
11	110	01		120												
12	120	01			60											
13	130	01		0												
14	140	01			80											
15	150	01		120												
16	160	01			100											
17	170	01		0												
18	180	01			120											
19	190	01		120												
20	200	00				10										
21	210	00		0	0											
22	220	00			20	2										
23	230	01				-5				17						
24	240	01		120												
25	250	01			0											
26	260	01		0												
27	270	01			20	-10										
28	280	01		120												
29	290	01			0											
30	300	01		0												
31	310	01			20	-15										
32	320	01		120												
33	330	01			0											
34	340	01		0												
35	350	01			20	-20										
36	360	01		120												
37	370	01			0											
38	380	01		0												
39	390	01			20	-25										

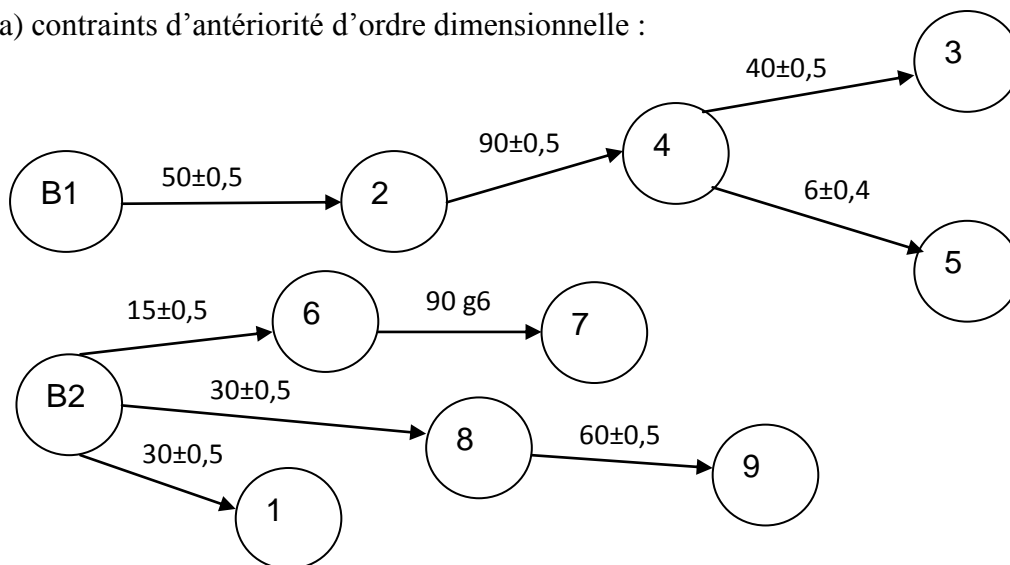
40	400	01		120															
41	410	01			0														
42	420	01		0															
43	430	01			20	-30													
44	440	01		120															
45	450	01			0														
46	460	01		0															
47	470	01			20	-35													
48	480	01		120															
49	490	01			0														
50	500	01		0															
51	510	01			20	-41													
52	520	01		120															
53	530	01			0														
54	540	01		0															
55	550	00				10													
56	560	00			100														
57	570	00				2													
58	580	01				-5				17									
59	590	01		120															
60	600	01			120														
61	610	01		0															
62	620	01			100	-10													
63	630	01		120															
64	640	01			120														
65	650	01		0															
66	660	01			100	-15													
67	670	01		120															
68	680	01			120														
69	690	01		0															
70	700	01			100	-20													
71	710	01		120															
72	720	01			120														
73	730	01		0															
74	740	01			100	-25													
75	750	01		120															
76	760	01			120														
77	770	01		0															
78	780	01			100	-30													
79	790	01		120															
80	800	01			120														
81	810	01		0															
82	820	01			100	-35													
83	830	01		120															
84	840	01			120														
85	850	01		0															
86	860	01			100	-41													
87	870	01		120															
88	880	01			120														
89	890	01		0															
90	900	00				10													
91	910	00			0														
92	920	00		25		2													
93	930	01				-3				17									
94	940	01			120					30									
95	950	01		45															
96	960	01			0														
97	970	01		65															
98	980	01			120														
99	990	01		85															

100	1000	01			0														
101	1010	01		95															
102	1020	01			120														
103	1030	01				-7													
104	1040	01			0														
105	1050	01		85															
106	1060	01			120														
107	1070	01		65															
108	1080	01			0														
109	1090	01		45															
110	1100	01			120														
111	1110	01		25															
112	1120	01			0														
113	1130	00				10													
114	1140	00		0															
115	1150		05																
116	1160		30																

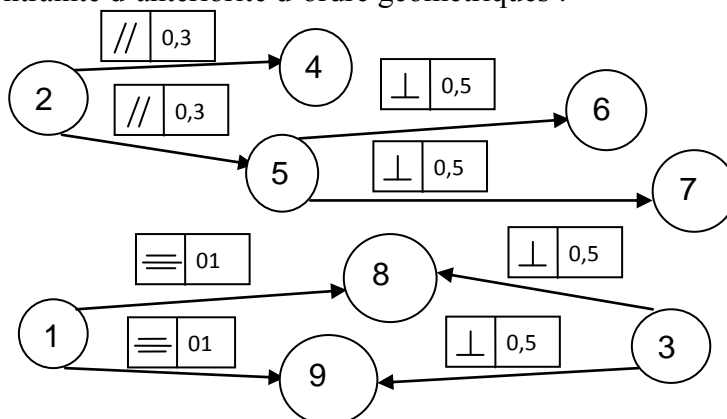
D) Matrice de redressement supérieur (MRS)

1/ analyse des contraintes d'antériorité et de simultanéité

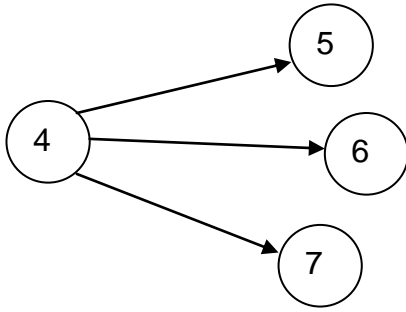
a) contraintes d'antériorité d'ordre dimensionnelle :



b) contrainte d'antériorité d'ordre géométriques :



c) contraintes d'antériorité d'ordre technologique



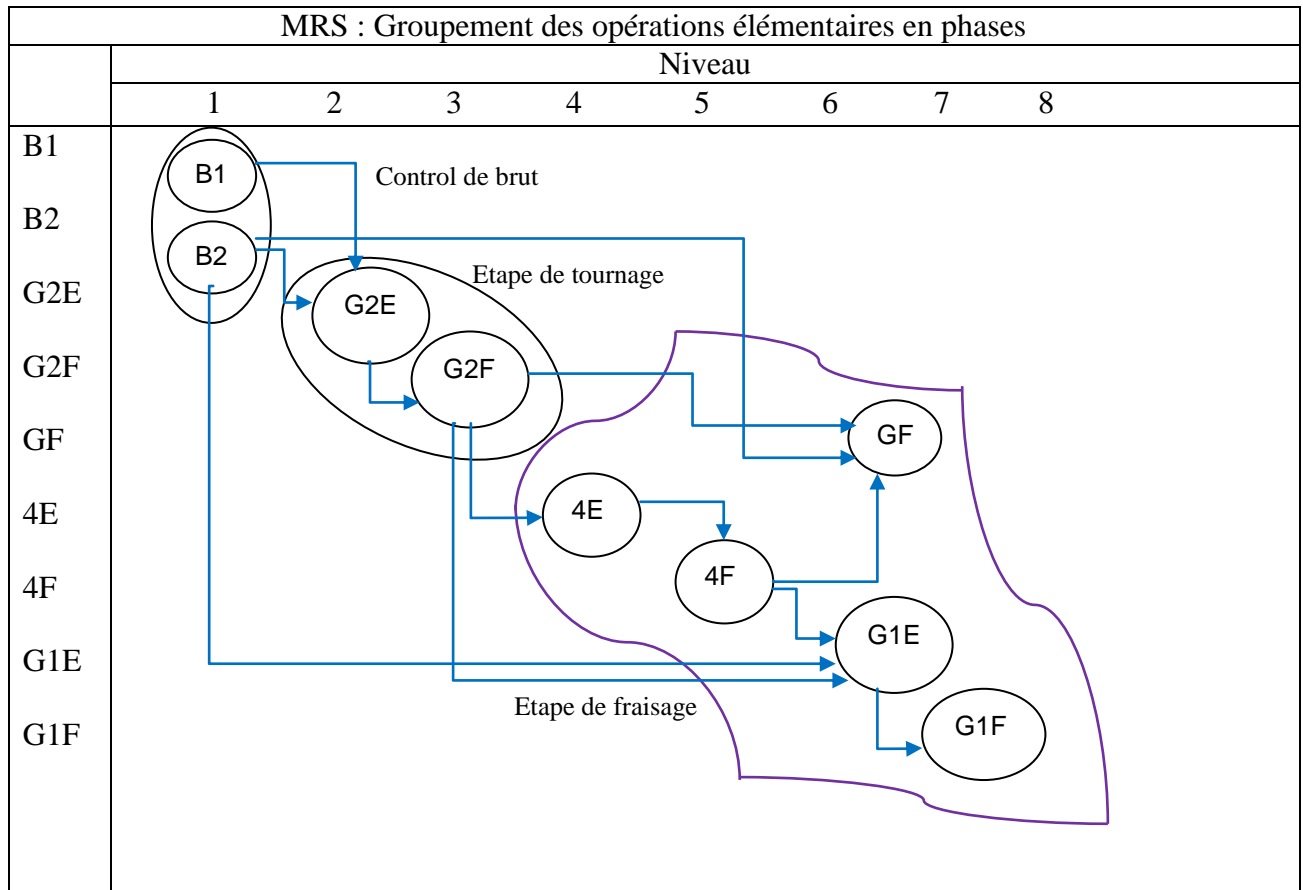
MRS : Tableau Des Opérations Elémentaires							
Surfaces	Cotes Des Liaison ou Surfaces		Spécifications			Opérations élémentaires	Symbolisation
	usinée	brutes	IT	Particulaire	Ra		
1		B2 30±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	1E , 1F
2		B2 50±0,5	1		3,2	Ebauche et finition	2E , 2F
3	4	40±0,5	1		6,3	Finition direct	3F
4	2	90±0,4	0,8	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	4E , 4F
5	4	6±0,5	0,8	\parallel 0,3 2	3,2	Ebauche et finition	5E , 5F
6		B2 15±0,5	1	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	6E , 6F
7	6	90g6	g6	\perp 0,5 5	3,2	Ebauche et finition	7E , 7F
8		B2 30±0,5	0,8	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	3,2	Ebauche et finition	8E , 8F
9	8	60±0,5	0,8	\perp 0,5 3 \equiv 01 1	3,2	Ebauche et finition	9E , 9F

MRS : Groupement des surfaces		
Symbole	les surfaces	outils utilisés et raison de l'assemblage
G	11 12 3	finition direct une fraise 2T GF
G1	6 7 5	ebauche et finition avec une fraise 2T G1E - G1F
G2	1 2	ebauche et finition un outil de dressage et chariotage G3E – G3F

MRS : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité											
Opération	Contraints										
	Dimensionnelles	Géométriques					Technologiques			Economiques	
		//	⊥	⊙	⊕	∠	≡	reprise	opération		
B1											
B2											
G2E	B1 B2										
G2F	B1 B2							G2E			
GF	B2 4F		GF				G2F		4F		
4E	G2F	G2F									
4F	G2F	G2F							4E		
G1E	B2 4F	G2F									
G1F	4F	G2F	G1F						G1E		

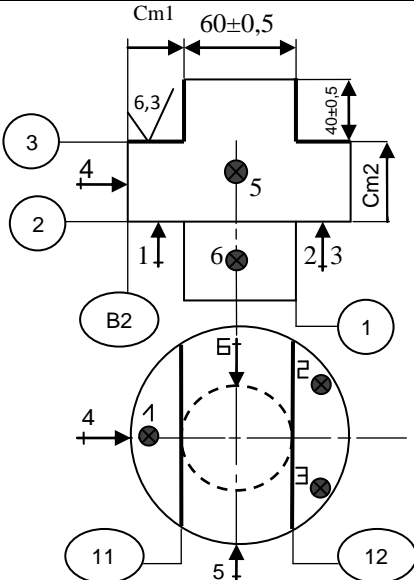
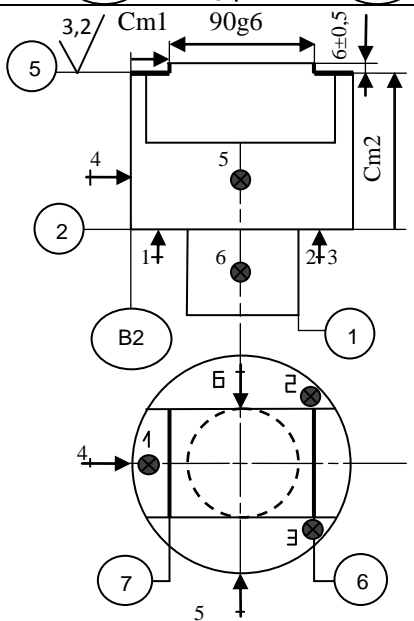
MRS : Tableau des niveaux									
Ensemble :			Elément : matrice de redressement inférieure				Matière : acier doux		
Organe :			Nombre : 1				Brut		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1									
B2									
G2E	B1-B2								
G2F	B1-B2 G2E	G2E							
GF	B2- 4F	4F	4F	4F	4F				
4E	G2F	G2F	G2F						
4F	G2F-4E	G2F-4E	4E	4E					
G1E	B2-G2F-4F	G2F-4F	4F	4F	4F				
G1F	B2-G2F-4F-G1E	G2F-4F-G1E	G1E-4F	G1E-4F	G1E-4F	G1E			

MRS : Niveau d'implémentation						
1	2	3	4	5	6	7
B1 B2	G2E	G2F	4E	4F	GF G1E	G1F



Etape	Opération
100	contrôle de brut
200	tournage G3E – G3F
300	fraisage 4E – 4F
310	fraisage GF
320	fraisage G1E – G1F
400	contrôle finale

<p>Groupe : Elément : appareil C.G.P Matrice de redressement supérieure</p>		<h3>Gamme d'usinage</h3>						
<p>Nombre : 1 Matière : acier doux Brut :</p>								
Nombre De phase	Identifier les étapes et les processus	Les machines	Appareils Outil de coupe	Dessin				
100	<p>Contrôle de brut Vérifiez les normes et les spécifications</p>	Atelier de métrologie	Pied à coulisse	S'assurer-vous que le brut est capable de donner la pièce requise par le bureau d'études				
200	<p><u>Tournage</u> Pièce dans l'installation Appui plan en B3 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) 201 : ebauche 1E, 2E 202 : finition 1F, 2F Cm1=30±0,5 Cm2=50±0,1</p>	160TCL CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage T 200</p> <p>Outil dressage et chariotage</p> <p>Pied à coulisse Contrôle la rugosité</p>					
300	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 301 : ebauche 4E 302 : finition 4F Cm= 90±0,4</p>	190 VMCXI CNC BOXFORD	<p>Montage d'usinage F 300</p> <p>Fraise à 2T Ø 20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>montage de contrôle de la//</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">4</td> <td style="padding: 2px;">//</td> <td style="padding: 2px;">0,3</td> <td style="padding: 2px;">2</td> </tr> </table> </div>	4	//	0,3	2	
4	//	0,3	2					

<p>310</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 311 : finition direct 3F, 11F, 12F Cm1= 30±0,5 Cm2=50±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 310</p> <p>Fraise à 2T Ø 20</p> <p>Pied à coulisse</p> <p>Montage de contrôle de la ⊥</p> <table border="1" data-bbox="826 622 1021 672"> <tr> <td>11-12</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>3</td> </tr> </table>	11-12	⊥	0,5	3	 <p>Technical drawing of part 310. Side view shows a stepped shaft with a chamfered end (3,2/6,3), a diameter of 60±0,5, and a height of 40±0,5. Callouts 1-6 and 11-12 are present. Top view shows a circular part with a central hole (Ø 20) and features 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, and 12. A perpendicularity symbol is shown with a tolerance of 0,5 and a feature control number of 3.</p>				
11-12	⊥	0,5	3									
<p>320</p>	<p><u>Fraisage</u> Pièce en l'installation Appui plan en 2 3N (1-2-3) Centrage court en B2 2N (4-5) Appui ponctuelle en 11 1N (6) 321 : ebauche 5E 6E 7E 322 : finition 5F 6F 7F Cm1=15±0,5 Cm2=84±0,1</p>	<p>190 VMCXI CNC BOXFORD</p>	<p>Montage d'usinage F 320</p> <p>Fraise à 2T Ø 20</p> <p>Pied à coulisse TLD g6</p> <p>montage de contrôle de la ⊥ //</p> <table border="1" data-bbox="826 1249 1021 1299"> <tr> <td>6-7</td> <td>⊥</td> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="826 1321 1021 1370"> <tr> <td>5</td> <td>//</td> <td>0,3</td> <td>2</td> </tr> </table>	6-7	⊥	0,5	5	5	//	0,3	2	 <p>Technical drawing of part 320. Side view shows a stepped shaft with a chamfered end (3,2/5), a diameter of 90g6, and a height of 6±0,5. Callouts 1-6 and 7 are present. Top view shows a circular part with a central hole (Ø 20) and features 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Perpendicularity and parallelism symbols are shown with tolerances of 0,5 and 0,3 respectively, and feature control numbers of 5 and 2.</p>
6-7	⊥	0,5	5									
5	//	0,3	2									

Contrat de phase					
Pièce : appareil C.G.P matrice de redressement supérieure		Nombre : 1		Matière : acier doux	
Phase : tournage 200		Machine : 160 TCL CNC BOXFORD		Brut :	
<p><u>mouvement de l'outil</u> $L = 50+2+0,2+2 = 54,2 \text{ mm}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div> <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p>Appui plan en B3 3N (1-2-3)</p> <p>Centrage court en B2 2N (4-5)</p>					
Les mouvements initiaux	Les outils	Eléments			Le temps en mn
		V	a	n	
		Coupe	p	N	L
1	prendre la pièce				
2	placez la pièce	Montage d'usinage CNC 200			
3	ebauche des surfaces 1E et 2E Cm1=30±0,5, Cm2=90±0,4	Outil de	175	0,05	490
4	finition 1F et 2F	dressage et chariotage	200	0,04	550
5	retour au point de départ du cycle				
6	démonter la pièce				
7	mettre la pièce				
8	nettoyage				
9	contrôle la pièce	Les cotes Ra			

Contrat de phase								
Pièce : appareil C.G.P matrice de redressement supérieure		Nombre : 1		Matière : acier doux				
Phase : fraisage 300-310-320		Machine : 190 VMCXI CNC BOXFORD		Brut :				
<p><u>mouvement de l'outil</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini comme suite :</p> <p>Appui plan en 2 3N (1-2-3)</p> <p>Centrage court en B2 2N (4-5)</p> <p>Appui ponctuelle en 1 1N (6)</p>								
Les mouvements initiaux		Les outils	Eléments			Le temps en mn		
			Coupe					
			V	a	n	p	N	L
1	prendre la pièce	Montage d'usinage CNC 300						
2	placez la pièce	CNC 300						
3	ebauche la surface 4E Cm1=90±0,4	Fraise 2T Ø20	3500	30	190	1	1	120
4	finition la surface 4F		3500	30	250	0,2	1	120
5	retour rapide							
6	finition direct des surface 3F ,11F et 12F Cm1=30±0,5, Cm2=50±1		3500	30	890	40	1	120
7	retour rapide							
8	ebauche des surface 5E, 6E et 7E Cm1=21±0,5 Cm2=84±0,1		3500	30	940	3	1	5 115

9	finition des surfaces 5F ,6F et 7F		3500 30 1080	6	1	115	
10	retour au point de départ du cycle	Les cotes Ra Les tolérances géométriques					
11	démonter la pièce						
12	nettoyages						
13	contrôles la pièce						

2/ Programme de la commande numérique sur BOXFORD :

N° de plan		FICHE DE PROGRAMMATION									MATÉRIAU : acier doux						
		TITRE : MRS			RÉDIGÉE PAR						FICHE N° ? SUR						
Description	N	Cod prép	Cod auxil iaire	Coordonnées axiales			I	J	K	F	S	P	Q	R	Outil n° T		
				X	Y	Z											
1	10	21	M														
2	20		06												01		
3	30	00		0	0	10											
4	40		03								3500						
5	50	00				2											
6	60	01				-1				17							
7	70	01		120						30							
8	80	01			20												
9	90	01		0													
10	100	01			40												
11	110	01		120													
12	120	01			60												
13	130	01		0													
14	140	01			80												
15	150	01		120													
16	160	01			100												
17	170	01		0													
18	180	01			120												
19	190	01		120													
20	200	00				10											
21	210	00		0	0												
22	220	00			20	2											
23	230	01				-5				17							
24	240	01		120						30							
25	250	01			0												
26	260	01		0													
27	270	01			20	-10											
28	280	01		120													
29	290	01			0												
30	300	01		0													
31	310	01			20	-15											
32	320	01		120													

33	330	01			0														
34	340	01		0															
35	350	01			20	-20													
36	360	01		120															
37	370	01			0														
38	380	01		0	20														
39	390	01				-25													
40	400	01		120															
41	410	01			0														
42	420	01		0															
43	430	01			20	-30													
44	440	01		120															
45	450	01			0														
46	460	01		0															
47	470	01			20	-35													
48	480	01		120															
49	490	01			0														
50	500	01		0															
51	510	01			20	-41													
52	520	01		120															
53	530	01			0														
54	540	01		0															
55	550	00				10													
56	560	00			100														
57	570	00				2													
58	580	01				-5							17						
59	590	01		120									30						
60	600	01			120														
61	610	01		0															
62	620	01			100	-10													
63	630	01		120															
64	640	01			120														
65	650	01		0															
66	660	01			100	-15													
67	670	01		120															
68	680	01			120														
69	690	01		0															
70	700	01			100	-20													
71	710	01		120															
72	720	01			120														
73	730	01		0															
74	740	01			100	-25													
75	750	01		120															
76	760	01			120														
77	770	01		0															
78	780	01			100	-30													
79	790	01		120															
80	800	01			120														
81	810	01		0															
82	820	01			100	-35													
83	830	01		120															
84	840	01			120														
85	850	01		0															
86	860	01			100	-41													
87	870	01		120															

88	880	01			120										
89	890	01		0											
90	900	00				10									
91	910	00			0										
92	920	00		5		2									
93	930	01				-3				17					
94	940	01			120					30					
95	950	01				-7									
96	960	01			0										
97	970	00		0		10									
98	980	00		115		2									
99	990	01				-3				17					
100	1000	01			120	-7				30					
101	1010	01													
102	1020	01			0										
103	1030	00				10									
104	1040	00		0											
105	1050		05												
106	1060		30												

4/ conclusion

Dans ce chapitre nous avons achevé une analyse chronologique de fabrication des quatre pièces de l'appareil CGP en vue de les réaliser sur un tour et une fraiseuse de type CNC (BOXFORD).

En fin nous avons rédigé les programmes nécessaires pour la fabrication. Les programmes ont été évalués par simulation et ont donné des résultats satisfaisants.

Chapitre 4

Etude numérique par l'élément
finis du phénomène de coupe

1/ Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier numériquement par la méthode des éléments finis la coupe de métal en utilisant l'outil ABAQUS.

La modélisation de l'usinage met en jeu à la fois des phénomènes thermiques, mécanique et tribologique. Différentes études ont proposé des modèles en 2D avec des modélisations couplées thermomécaniques comprenant des géométries relativement simple et permettant de récupérer comme résultats les efforts de coupe ainsi que la visualisation de la formation du copeau. Les lois de comportement utilisées suivent le modèle de Johnson-Cook car ces modèles prennent en compte l'écrouissage, la vitesse de déformation ainsi que l'adoucissement thermique.

Théoriquement le phénomène de coupe présente trois zones de cisaillement lié directement à la géométrie de l'outil et à la vitesse de coupe.

La première zone de cisaillement (shear zone) est la première zone de déformation plastique mise en évidence dans le processus de coupe. Elle succède à la zone morte où s'effectue le changement de direction de l'écoulement de la matière usinée, la séparation du métal en deux parties dont l'une constituera le copeau. La seconde zone est caractérisée par une plastification due au frottement de glissement entre la face de coupe et le copeau. Les grandes déformations se font par glissement de plans unidimensionnels en se rapprochant des zones d'interface le cisaillement s'intensifie, à cette interface le matériau subit une forte élévation de température. La troisième zone s'appelle zone de cisaillement tertiaire entre la face de dépouille et la surface usinée. Elle donne naissance à une usure, suite au retour élastique de la matière après le passage de la pointe de l'outil.(Figure IV.)[1].

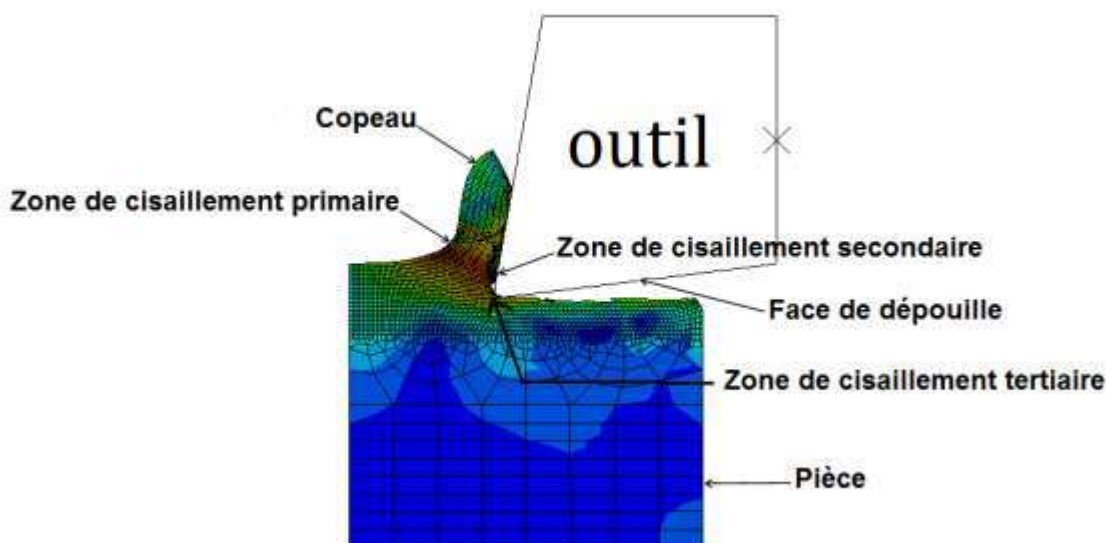


Figure IV- 1 : schéma des différentes zones de cisaillement [2]

2/ Matériau usiné

Le matériau usiné est un acier au carbone dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1. Caractéristiques du matériau

caractéristiques	Densité d	Résistance de traction	Module de Young E	Coefficient de Poisson μ
Valeurs	7.85	400 MPA	200gpa	0.3

3/ Maillage

Nous avons utilisé un maillage quadrilatéral à 2318 éléments de type CPE4R: à 4-noeud bilinéaire et déformation plane, intégration réduite, control sens des aiguilles d'une montre (fig. IV.2).

Trois différentes zones de maillage sont créées car la partie supérieure de la pièce doit comporter un maillage affiné pour obtenir des résultats proches du réel.

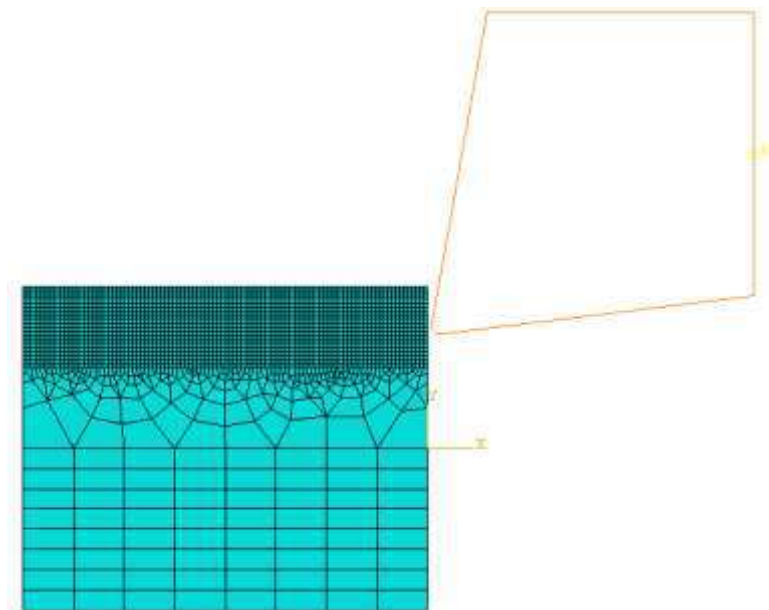


Figure IV-2 : Maillage utilisé.

4/ Définition du modèle et conditions aux limites

Pour exécuter la simulation nous avons appliqué les conditions aux limites suivantes :

- Pièce encastree dans les sens de X et Y.

- Nous avons appliqué Le modèle de Johnson-Cook par l'intégration de sa loi empirique utilisée pour décrire le comportement du matériau soumis à des sollicitations dynamiques. La formule d'endommagement de Johnson Cooke est la suivante : [3]

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \times \left[1 + c \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] \times \left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_t}{\theta_{fusion} - \theta_t} \right)^m \right]$$

Cette formule est composée de trois termes, dans l'ordre d'apparition, d'un terme d'érouissage, d'un terme dynamique et d'un terme d'adoucissement thermique.

- Version appliqué d'Abaqus : pour résoudre notre problème nous avons utilisé la version Explicite car il s'agit d'un problème dynamique ou quasi-statique non-linéaires.

Le tableau IV.2 renferme les valeurs des facteurs variables correspondants à notre matériau

Le tableau IV-2 valeurs des facteurs de la loi de Johnson Cooke

facteurs	A	B	N	m
valeurs	145 .10 ⁶	341.10 ⁶	183.10 ⁻³	859.10 ⁻³

Les valeurs découlant de la loi de Johnson Cooke seront injectés dans le logiciel Abaqus.

- Critère d'endommagement de Johnson-Cook

Allant de pair avec la loi de comportement de Johnson-Cook, ce critère d'endommagement fait apparaître les trois mêmes termes : [3]

1. La contrainte équivalente
2. La vitesse de déformation
3. Et les températures (Ambiante, transition et fusion du matériau)

$$\varepsilon_f = [D_1 + D_2 \exp(-D_3 \eta)] \times \left[1 + D_4 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] \times \left[1 + D_5 \left(\frac{\theta - \theta_t}{\theta_{fusion} - \theta_t} \right) \right]$$

Ce critère permet de calculer l'endommagement du matériau, constituant la pièce, ayant lieu au voisinage de l'arête de coupe. Cette zone étant très infime, nous atteignons ici la limite de la mécanique des milieux continus. [3]

Le tableau IV.3 renferme les valeurs des facteurs du critère d'endommagement de Johnson-Cooke variables correspondants à notre matériau

Le tableau IV-3 valeurs des facteurs du critère d'endommagement de Johnson-Cooke

facteurs	D1	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	Moltingtemperature	Transition temperature	Reference strain rate
valeurs	0.071	1.248	-1.142	0.147	0.1	0	0	1

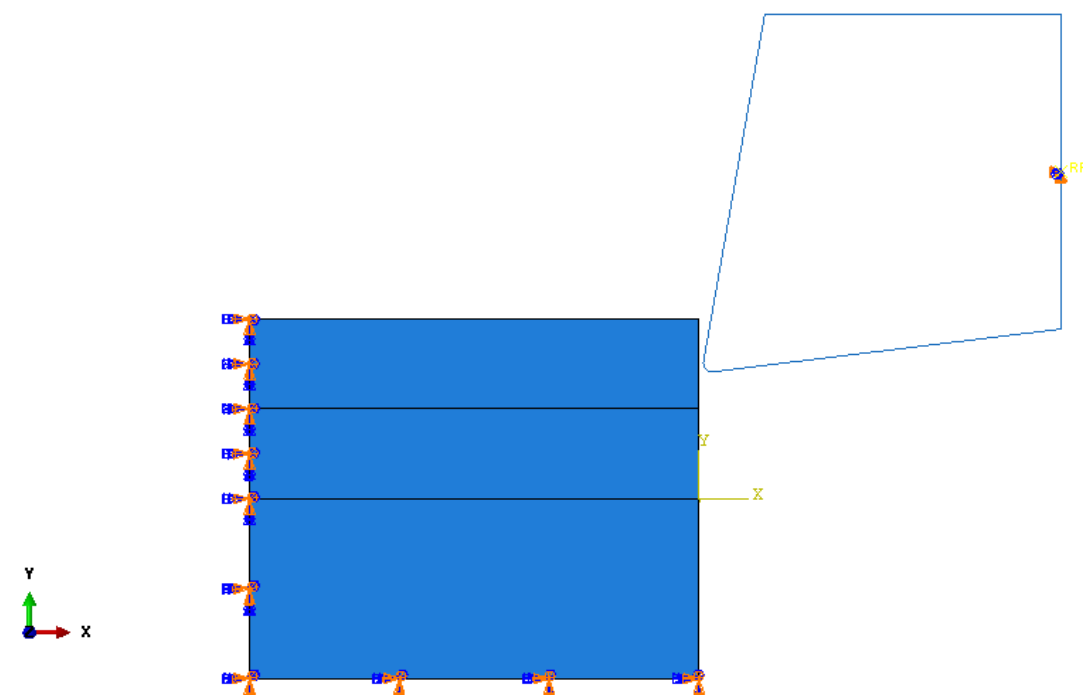


Figure IV-3 : Représentation des conditions aux limites

5/ Résultats et discussions

5-1/ Influence de la profondeur de passe P.

P = 0.25 mm

Dans notre modèle numérique d'usinage en coupe orthogonale, on arrive à obtenir la formation d'un copeau. On observe bien le déchirement de la matière formant un copeau et l'endommagement subit par celle-ci. A la fin du calcul, le copeau se détache bien du bloc de matière. Les contraintes engendrées lors de cette coupe semblent cohérente avec une

contrainte maximale d'environ 4000 daN pour une profondeur de 0.25 mm tel que illustrée par la figure IV-4.

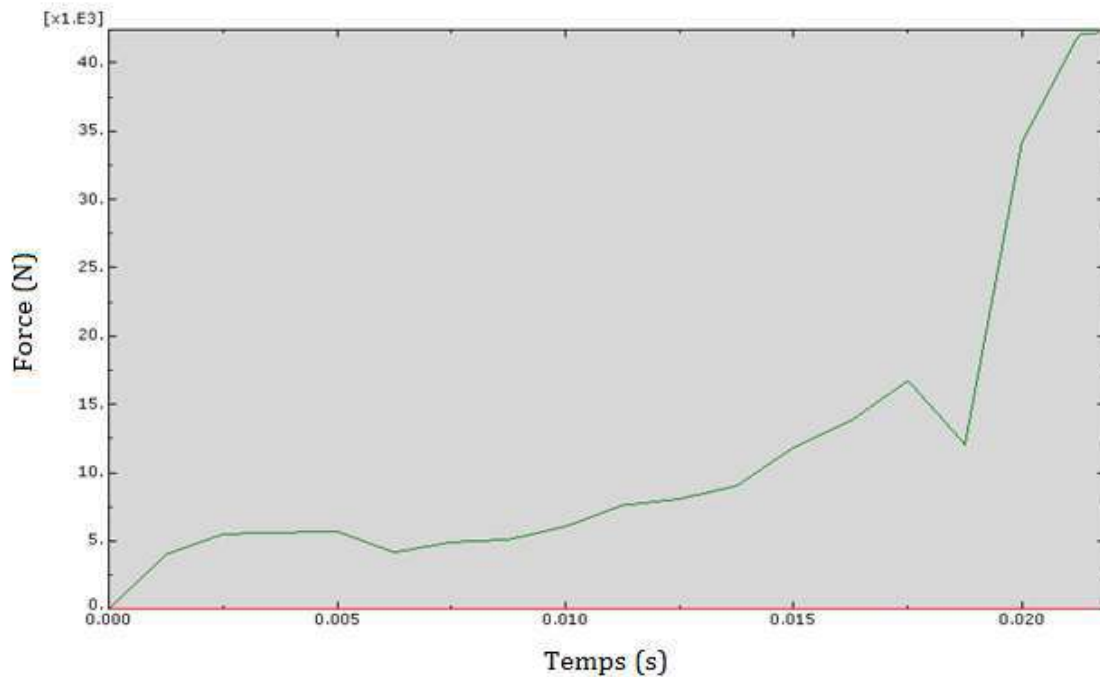


Figure IV-4 : Évolution de la force en fonction du temps

P=0.5

En augmentant la profondeur de passe on remarque que la force maximale augmente aussi pour arriver à 6000 daN pour une profondeur de 0.5mm Figure IV-5.

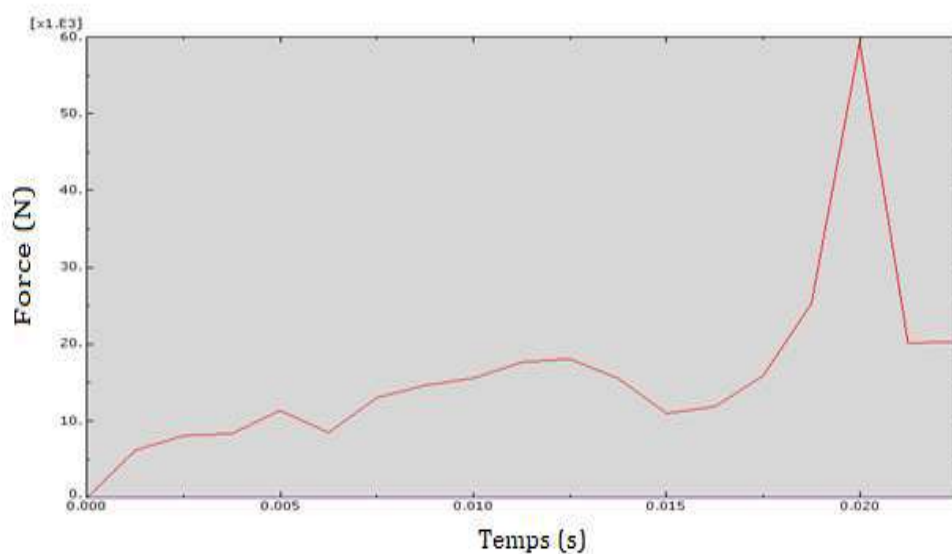


Figure IV-5 : évolution de la force en fonction du temps

P= 1 mm

En continuant à augmenter la profondeur de passe on remarque que la force maximale augmente aussi pour arriver à 6500 daN pour une profondeur de 1 mm Figure IV-6

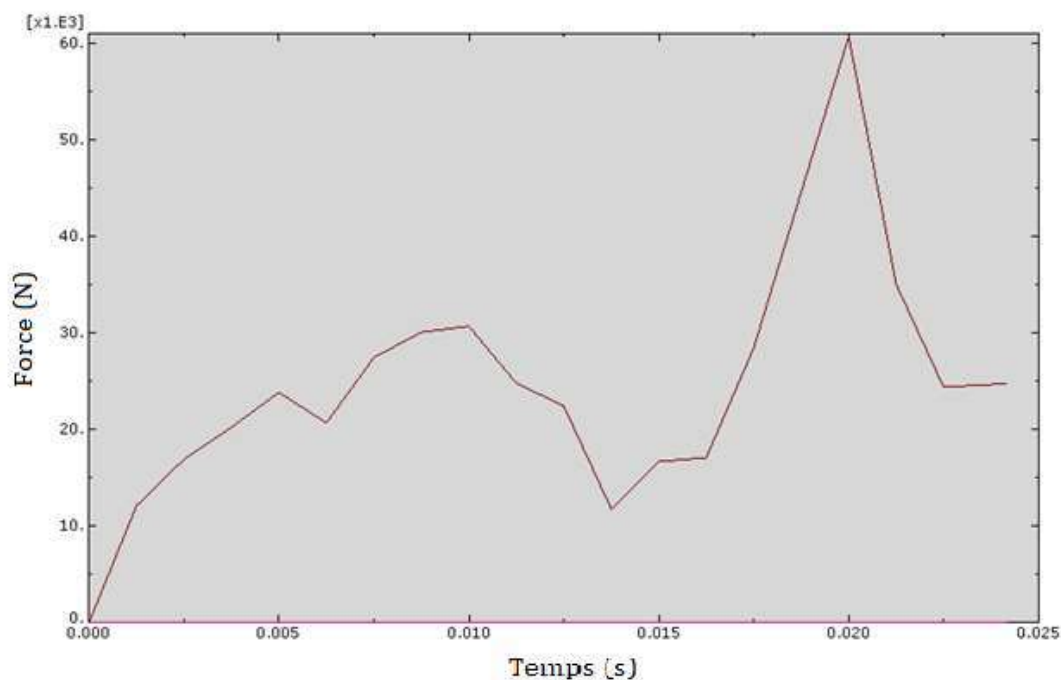


Figure IV-6 : évolution de la force en fonction du temps

Tableau IV-4: Evolution de la force en fonction de la profondeur de passe.

Profondeur de passe (mm)	0.25	0.5	1
Force (daN)	4000	6000	6500

D'après les figures IV 4à IV.6et le tableau IV.4on remarque que la valeur de la force augmente en parallèle avec la profondeur de passe.

Influence de l'angle de l'outil

Dans ce qui suit nous allons maintenir la profondeur constante égale à 0.25mm et nous allons changer l'angle de l'outil pour étudier son influence sur le phénomène de la coupe, nous prendrons en considération en particulier l'évolution de l'effort de coupe.

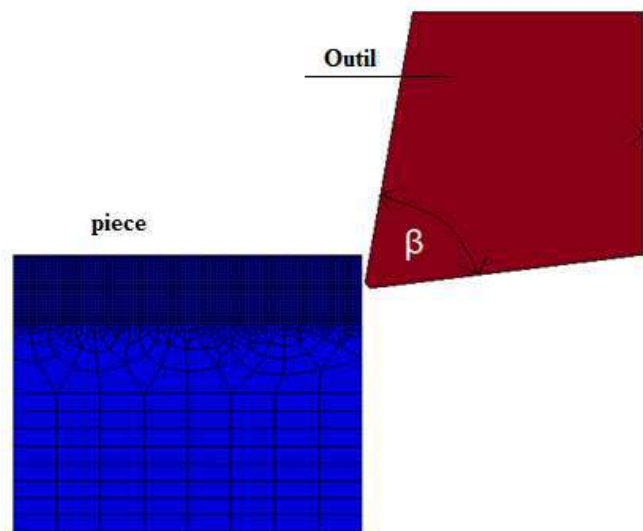


Figure IV-7 : Angle de l'outil à changer

1. L'angle $\beta=70^\circ$: la force maximale est de 4500daN (Figure IV-8)

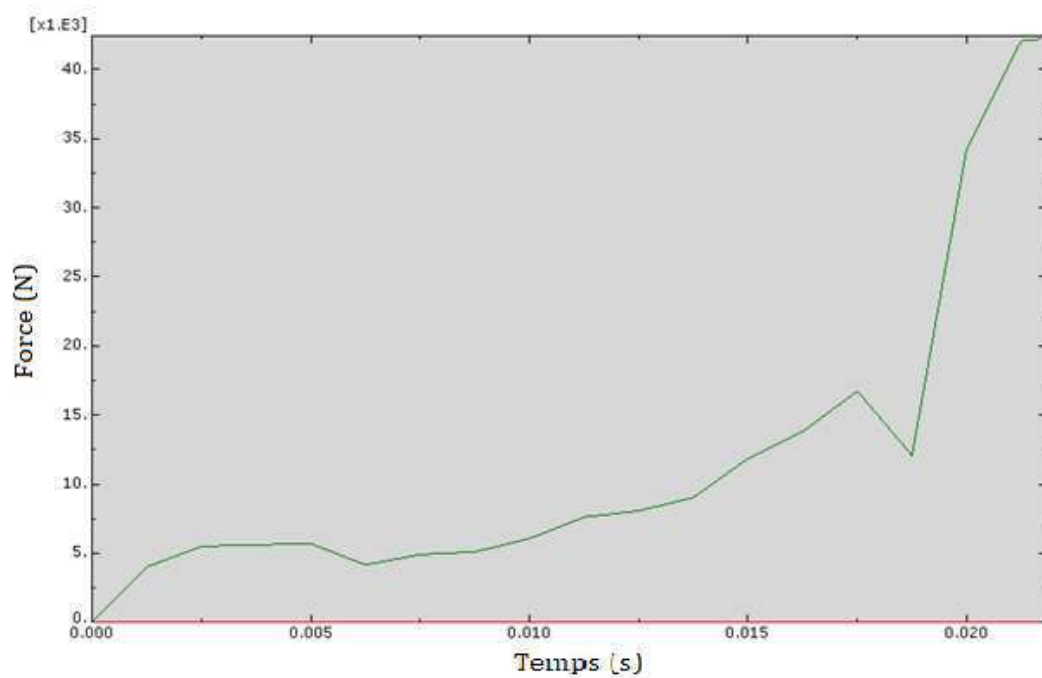


Figure IV-8 : évolution de la force en fonction du temps

2. L'angle $\beta=50^\circ$: la force maximale est de 1200 daN (Figure IV-9)

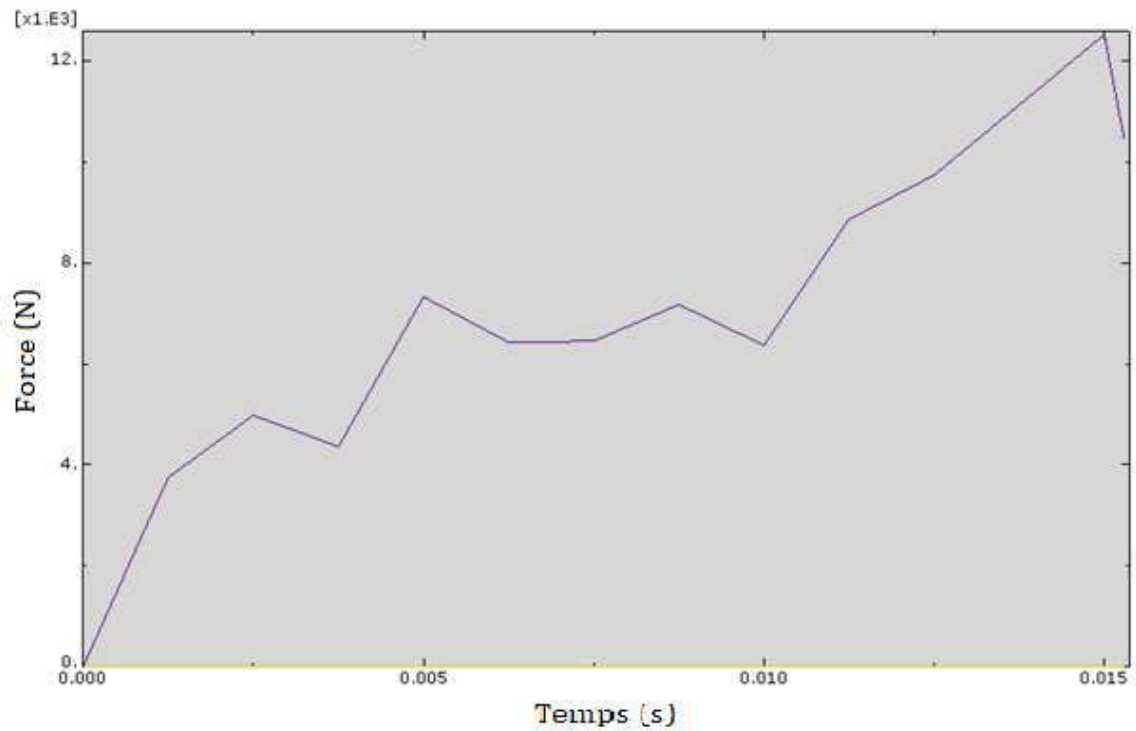


Figure IV-9 : évolution de la force en fonction du temps

3. L'angle $\beta = 30^\circ$: la force maximale est de 410 daN (Fig.III.10)

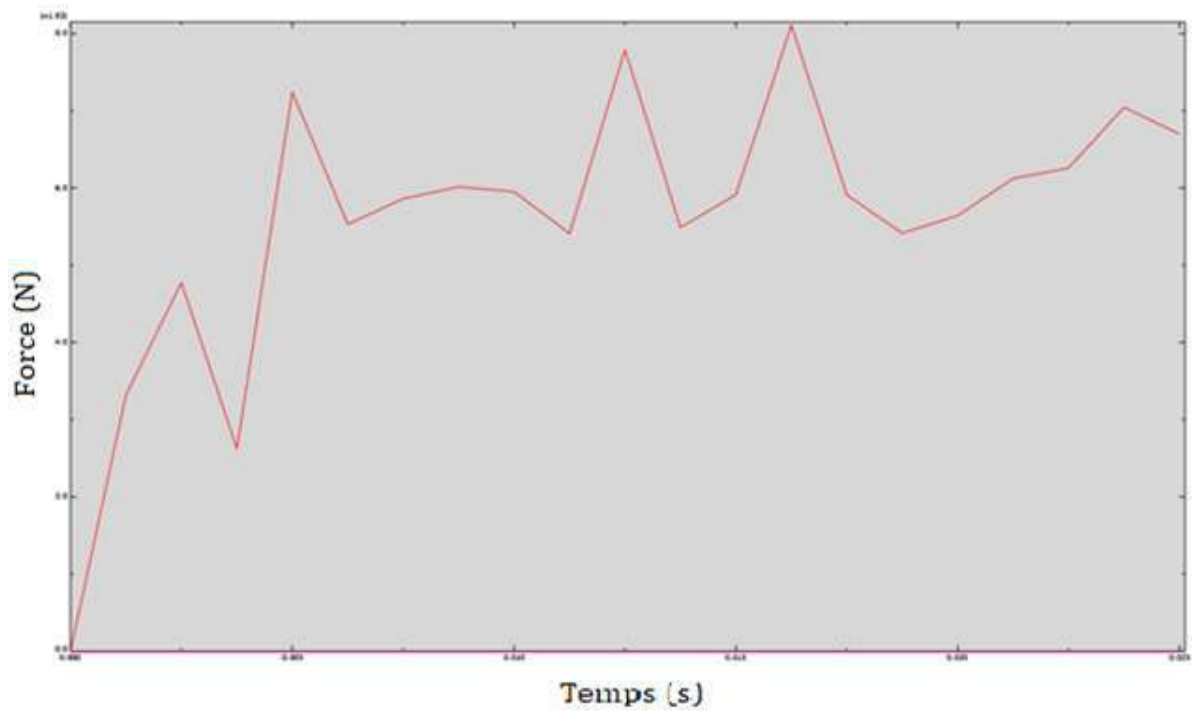


Figure IV-10 : évolution de la force en fonction du temps

Tableau IV-5 : Evolution de la force en fonction de l'angle β de l'outil

Angle β (°)	70	50	30
Force daN	4500	1200	410

D'après les figures IV 8 à IV.10 et le tableau IV.5 on remarque que la valeur de la force diminue en parallèle de l'angle β de l'outil.

6/ Conclusion.

L'objectif final de ce chapitre était de modéliser en 2D l'usinage d'un bloc de matière utilisant les lois de comportement et d'endommagement de Johnson-Cook. Ces simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation par éléments finis ABAQUS/Explicit.

Nous sommes arrivés à obtenir la formation d'un copeau. On observe bien le déchirement de la matière formant un copeau et l'endommagement subit par celle-ci. A la fin du calcul, le copeau se détache bien du bloc de matière.

Les résultats obtenus nous ont aussi permis de remarquer que :

- 1) La valeur de la force diminue en parallèle de l'angle β de l'outil.
- 2) la valeur de la force augmente en parallèle avec la profondeur de passe.

7/ Références

- [1] Puerta_Velasquez.Juan_David, Étude des copeaux et de l'intégrité de surface en usinage à grande vitesse de l'alliage de titane TA6V, thèse de doctorat 2007, Université de Metz, France.
- [2] LAROCHE Yann & NARCISSE Julien, Simulation numérique de l'usinage avec ABAQUS, Projet de Fin d'Etude, 2012, 5A DMS polytech'tours, France.
- [3] Fikret KALAY, Simulation numérique de l'usinage Application à l'aluminium AU4G : A2024-T351.

Conclusion Générale
et
et
perspectives

1/ Conclusion Générale et perspectives

Les industries de mise en forme des matériaux plastiques ont souvent recourt à un nombre élevé d'essais avant d'entamer leurs productions de masse qui occasionne des opérations coûteuses à fin d'éviter des pertes considérables.

pour de telles raisons les scientifiques et les industriels ont toujours recours à des procédés de transformations simple et non coûteux dans le but d'obtenir des matériaux à caractéristiques supérieures tels que les nanomatériaux qui possèdent des propriétés physicochimiques et mécaniques intéressantes.

Une des méthodes les plus simples qui produit des structures ultrafines et qui a beaucoup intéressé les chercheurs ces dernières années est la méthode SPD (severe plastic deformation) qui n'est rien d'autre qu'un ensemble de processus qui visent à infliger de sévères déformations plastiques aux matériaux dans le but de développer des microstructures très fines.

Au cours de ce travail nous avons fait une étude complète de conception qui a abouti à la réalisation des dessins d'un outil de CGP dans le but de sa fabrication. Puis dans une autre phase nous avons fait une étude de fabrication qui a abouti à l'installation de tous les programmes en code G pour la fabrication du produit sur des machines à commande numérique, puis les programmes ont été testés par simulation sur BOXFORD ce qui nous a permis de les corriger et améliorer.

Puis enfin nous avons essayé de faire une simulation par éléments finis du phénomène de coupe ce qui nous a permis de conclure que :

- Les efforts de coupe augmentent parallèlement avec l'augmentation de la profondeur de coupe.
- Les efforts de coupe augmentent parallèlement avec l'augmentation de l'angle de l'outil.

2/ Perspectives

Dans les perspectives nous projetons :

- l'exécution des programmes sur des machines pour réaliser l'outil.
- De tester l'outil sur des matériaux polymères.

D'approfondir l'étude par éléments finis pour couvrir toutes les conditions de coupe et l'état de surface.