

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de la Construction
Département de génie mécanique



EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADIMIQUE

En GENIE MECANIQUE

OPTION : FABRICATION MECANIQUE ET PRODECTIQUE

Mémoire de fin d'études

Thème

**Mise en forme des métaux en feuille
Application à l'emboutissage du bandeau
bombé d'une cuisinière ENIEM**

Proposé par :

Mr.: M. CHALAL

Etudié par :

Mr.: N. NEZZIOUI

M^{lle} : D. LARBI

Dirigé par :

Mr. : F. ASMA

Promotion 2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur MR ASMA FARID, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur propositions.

Nous adressons nos vifs remerciements à l'ensemble du personnel de l'entreprise de UNITEM pour leurs aides dans notre activité.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A nous familles et nos mères qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère que j'aime beaucoup :

Mon très cher père qui est toujours à mes côtés :

Mes très chers frères Mourad, Belaid, Samir, Massinissa:

Mes très chères sœurs Karima, Rosa, Kahina, Tita

Zui m'ont toujours soutenue :

*A la mémoire de mon oncle et mes grands parents que dieu les accueille dans
son vaste paradis*

A mon chérie Nouredine

A Toute ma famille

*A Tout mes ami(e)s, Driffa, Ali, Dalila, Karim, Mokhtar, Djidji,
Anissa, 3G, fodhil, Lila, Brahim, Belgacem, chaban, Zina, Momoh.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère que j'aime beaucoup ;

Mon très cher père qui est ma source de courage et de volenté

(Ramdane Ben Mohammed Areski Ben H' med Oukaci) ;

Mon grand frères Mohammed, Nadia et le petit SAMU

Mes frères Karim, Nacer, Boualem

Mes sœurs Saliha, Tassadit, Ouardia, Aljia, Samira,

Kahina

Mes beau-frère (Ahcene. B ; Kocila M, Mustapha. B)

Zui m'ont toujours soutenu ;

A la mémoire de mes grands-parents que dieu les accueille

dans son vaste paradis

A Toute ma famille

Ainsi à Fetta et sa famille

A Tout mes ami(e)s, Dalila, Djidji, Anissa, Driffa, Ali,

Abdeslam Mokhtar, Lila, Brahim, Belgacem, Chaban, Sans

oublier mon ami qui je tiens à cœur Karim Md Kaci.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
I. HISTORIQUE ET STRUCTURE DE L'ENTREPRISE	4
I.1 INTRODUCTION.....	5
I.2 DEVELOPPEMENT ET ORGANISATION DE L'ENTREPRISE ENIEM.....	5
I.2.1 Développement	5
I.2.2 Organisation.....	6
I.3 ORGANISATION GENERALE DE L'ENTREPRISE	7
I.4 POLITIQUE DE L'ENTREPRISE	8
I.5 BUT.....	8
I.6 CAHIER DE CHARGE.....	8
II. LE DECOUPAGE	9
II.1 INTRODUCTION	10
II.2 DEFINITION.....	10
II.3 PRINCIPE DE DECOUPAGE.....	10
II.4 OPERATION DE DECOUPAGE.....	11
II.5 EFFORT DE DECOUPAGE	11
II.5.1 Méthode analytique.....	11
II.5.2 Méthode utilisant l'abaque.....	12
II.6 VITESSE DE DECOUPAGE	13
II.7 EFFORT A CREER SUR LE DEVETISSEUR ET EFFORT DE L'ATTRACTION	13
II.8 JEU DE DECOUPAGE	14
II.9 L'ANGLE TRANCHANT	15
II.10 EFFETS DE LA COUPE	15
II.11 CONCLUSION	15
III. LE POINÇONNAGE	16
III.1 INTRODUCTION	17
III.2 DEFINITION.....	17
III.3 LE PROCEDE DE POINÇONNAGE	17
III.4 ORGANES DE L'OUTILS	19
III.4.1 Poinçon.....	19
III.5 MATRICE ET POINÇON.....	21
III.5.1 Jeu poinçon –matrice.....	22
III.6 EFFORT D'EXTRACTION	22
III.7 ÉJECTEURS	22
III.8 PREDECOUPE	23
III.9 FORME DE L'OUTIL	23
III.10 FORME DE LA MATRICE.....	23
III.11 DEPOUILLE	24
III.12 USURE DES OUTILS DE DECOUPAGE	24

III.13	EFFORT DE POINÇONNAGE	25
III.14	CONCLUSION	26
IV.	LE PLIAGE	27
IV.1	INTRODUCTION	28
IV.2	DEFINITION.....	28
IV.3	PRINCIPE DU PLIAGE	28
IV.4	DIFFERENTS MODES DE PLIAGE.....	28
IV.4.1	Pliage en V é	29
IV.4.2	Le pliage en U	30
IV.4.3	Le pliage en L.....	30
IV.5	RAYON DU POINÇON	30
IV.6	EFFORT DE PLIAGE.....	31
IV.7	CALCUL DE L'EFFORT DE PLIAGE	31
IV.7.1	Le pliage en V	31
IV.7.2	Pliage en U	32
IV.8	LE RETOUR ELASTIQUE	33
IV.9	CONCLUSION	34
V.	LE CINTRAGE.....	35
V.1	INTRODUCTION	36
V.2	DEFINITION.....	36
V.3	PROCEDE DE TRAVAIL.....	36
V.4	CINTRAGE DES TOLES	36
V.4.1	Principe	36
V.4.2	Longueur développée.....	37
V.4.3	Machines à cintrer les tôles.....	37
V.4.4	Le croquage.....	38
V.4.5	Cintrage a la presse	39
V.4.6	Cintrage d'un tronc de cône.....	39
V.5	CINTRAGE DES TUBES	40
V.5.1	Principe	40
V.5.2	Choix du rayon de cintrage pour tube.....	40
V.5.3	Les différentes méthodes de cintrage.....	40
V.5.4	Cintrage sur machine	41
V.6	CONCLUSION	44
VI.	L'EMBOUTISSAGE	45
VI.1	INTRODUCTION	46
VI.2	DEFINITION.....	47
VI.3	PRINCIPE DE L'OPERATION.....	47
VI.4	MODE D'EMBOUTISSAGE	48
VI.5	PROCEDES D'EMBOUTISSAGE.....	50
VI.6	EMBOUTISSAGE SANS SERRE FLAN SIMPLE EFFET.....	51
VI.7	EMBOUTISSAGE AVEC SERRE FLAN OU DOUBLE EFFET	51
VI.8	DETERMINATION DU FLAN PRIMITIF.....	51
VI.9	ARRONDI SUR LA MATRICE	51

VI.10	ARRONDI SUR LE POINÇON.....	53
VI.11	RAYON DU FLAN.....	53
VI.12	JEU ENTRE MATRICE ET POINÇON.....	53
VI.13	DETERMINATION DU DIAMETRE INITIAL DU FLAN.....	54
VI.14	DETERMINATION DES FORCES D'EMBOUTISSAGE.....	55
VI.14.1	Emboutissage cylindrique.....	55
VI.14.2	Emboutissage rectangulaire.....	56
VI.15	DETERMINATION DES FORCES DE SERRAGE DU SERRE-FLAN.....	57
VI.15.1	En cylindrique.....	57
VI.15.2	En rectangulaire.....	57
VI.16	VITESSE D'EMBOUTISSAGE.....	57
VI.17	L'EMBOUTISSAGE CYLINDRIQUE PROFOND.....	58
VII.	ETUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL.....	59
VII.1	INTRODUCTION.....	60
VII.2	TRAVAIL DEMANDE.....	60
VII.3	CAHIER DES CHARGES.....	60
VII.4	EMPLACEMENT DE LA PIECE.....	60
VII.5	FICHE TECHNIQUE DE LA TOLE.....	61
VII.5.1	Désignation de la tôle.....	61
VII.5.2	Dimension nominale.....	61
VII.5.3	Caractéristiques.....	61
VII.5.4	Aspect de surface.....	61
VII.6	FICHE TECHNIQUE DE L'OUTIL (POINÇON ET PORTES POINÇONS).....	61
VII.6.1	Désignation du matériau.....	61
VII.6.2	Propriétés.....	61
VII.6.3	Caractéristiques.....	61
VII.6.4	Aspect de surface.....	62
VII.7	DESCRIPTION DE L'OUTIL D'EMBOUTISSAGE.....	62
VII.7.1	Partie supérieure.....	62
VII.7.2	Partie inférieure.....	62
VII.8	SPECIFICATION DES ELEMENTS STANDARDS.....	63
VII.9	PROCESSUS DE FABRICATION.....	63
VII.10	CALCUL DE LA DEVELOPPEE DE LA PIECE.....	63
VII.10.1	Détermination de la cote $L1$	63
VII.10.2	Détermination de la cote $L2$	64
VII.11	CALCUL DES EFFORTS.....	64
VII.12	CALCUL DE L'EFFORT DE DECOUPAGE.....	64
VII.12.1	Le jeu de découpage.....	64
VII.12.2	Effort de découpage.....	65
VII.13	CALCUL DE L'EFFORT DE D'EMBOUTISSAGE.....	65
VII.13.1	Le jeu entre le poinçon et la matrice.....	65
VII.13.2	Le rayon sur la matrice.....	66
VII.14	ARRONDI SUR LE POINÇON.....	66
VII.15	LA VITESSE D'EMBOUTISSAGE.....	66
VII.16	L'EFFORT D'EMBOUTISSAGE.....	66
VII.17	CALCUL DE L'EFFORT DE CONTRE PRESSION DU DEVETISSEUR.....	67

VII.17.1 La pression sur le serre-flan	67
VII.18 CALCULS ET CHOIX DES RESSORTS	68
VII.18.1 Ressorts pour éjecteurs	68
VII.18.2 Choix des ressorts.....	69
VII.19 CALCUL DE L'EFFORT TOTAL	72
VII.20 EXIGENCE POUR LE CHOIX D'UNE PRESSE.....	74
VII.21 CHOIX DE LA PRESSE A UTILISER	74
VII.22 COMPORTEMENT DE LA TOLE DANS L'OUTIL D'EMBOUTISSAGE.....	74
VII.23 CONCLUSION.....	75
VIII. CONCLUSION GENERALE.....	76

FIGURE V-12: CINTRAGE SUR PRESSE A TROIS GALETS.....	43
FIGURE V-13 CINTRAGE PAR ENROULEMENT ET ETIRAGE	43
FIGURE V-14 CINTRAGE PAR ENROULEMENT ET COMPRESSION.....	44
FIGURE V-15 CINTRAGE A GALETS FORMEURS ET SABOTS D'APPUI.....	44
FIGURE VI-1 SCHEMATISATION DE L'OPERATION D'EMBOUTISSAGE.....	47
FIGURE VI-2 PROCEDE D'EMBOUTISSAGE.	47
FIGURE VI-3 PROCEDE D'EMBOUTISSAGE AVEC FREINAGE DE LA TOLE SOUS SERRE FLAN.	47
FIGURE VI-4 PRINCIPAUX TYPES DE DEFORMATION PAR EMBOUTISSAGE.....	48
FIGURE VI-5: EMBOUTISSAGE MIXTE.	48
FIGURE VI-6 : SOLLICITATIONS MECANQUES AU COURS DE L'EMBOUTISSAGE.....	49
FIGURE VI-7: VARIATION DE L'ARRONDI SUR LA MATRICE.....	52
FIGURE VI-8 : LE RAYON SUR LE POINÇON	53
FIGURE VI-9 : PARAMETRES	53
FIGURE VII-1: EMBOUTISSAGE DE LA PIECE.....	60
FIGURE VII-2: MESURE DE LA LONGUEUR DE LA DEVELOPPEE.....	64
FIGURE VII-3 MESURE DE LA LARGEUR DE LA DEVELOPPEE	64
FIGURE VII-4 : MESURE DE PERIMETRE DE POINÇON	65
FIGURE VII-5 : MESURE DE PERIMETRE DE CONTRE POINÇON	67
FIGURE VII-6 : MESURE DE LA SURFACE D'APPUI DE LA MATRICE.....	68
FIGURE VII-7: LE CORPS VOLUMIQUE.....	72
FIGURE VII-8 : IMAGE DU CONTACT	73
FIGURE VII-9 : IMAGE SUR LE MAILLAGE	73

Liste des tableaux

TABLEAU II-1 : RESISTANCE AU CISAILLEMENT DES MATERIAUX COURANTS	12
TABLEAU V-1 LES MACHINES DE CINTRAGE.....	37
TABLEAU V-2-LE CROQUAGE POUR DIFFERENTES EPAISSEURS DE PIECE.....	38
TABLEAU VI-1: LE COEFFICIENT K EN FONCTION DE D/D	55
TABLEAU VI-2- EFFORT DE POINÇON	56
TABLEAU VI-3 MATERIAUX DU FLAN ET LEURS PRESSIONS SPECIFIQUES	57
TABLEAU VI-4: LES VITESSES OPTIMALES DES MATERIAUX	58
TABLEAU VII-1: REPRESENTE LES RESSORTS DES CHARGES FORTE	70

Liste des notations

A	Le coefficient directeur de la droite
B	L'ordonner a l'origine
D	Diamètre de flan
d	Diamètre de poinçon
D-d=2*j	Jeu poinçon-matrice
E	Module d'élasticité de la tôle
e	L'épaisseur de la matière
e	Epaisseur de la tôle
F	Effort de pliage
F	Force de découpe nécessaire.
F_d	Effort de découpage
F(R_m)	L'effort de poinçonnage
F_e	Effort d'emboutissage
F_{pr}	Effort de la presse
F_{tot}	Effort total
j	Jeu de découpe
K	Coefficient dépendant de v
K_s	Resistance au cisaillement de la matière
L	Longueur de pli
L_D	Longueur développée
P	Périmètre de coupe
P	Pression spécifique
R	Rayon de la pièce final
R_e	Limite élasticité
R_c	Resistance de la tôle au cisaillement
R_m	Rayon de la matrice
R_m	Resistance mécanique maximale
R_c	Resistance a la rupture au cisaillement de la tôle a découper
R_p	Rayon de poinçon
R_p	Rayon d'outil de pliage
S	Epaisseur de tôle
S	Section du poinçon
U	Périmètre a découpé
U	Périmètre du poinçon
V	Ouverture de Ve
e₀	Epaisseur initial de la tôle
σ	Contrainte de comprissions

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Dans les industries mécaniques, la mise en forme des tôles par déformation est largement utilisée pour réaliser divers composants (emboutissage de carter, de portières, de capots et autres éléments de carrosserie) ...etc. Ce procédé a une importance considérable dans de nombreuses industries telles que la construction mécanique, l'automobile ou l'aéronautique. L'industrie sidérurgique développe actuellement de nouvelles tôles à partir de matériaux combinant à la fois résistance et large aptitude à la mise en forme (formabilité). Cette branche d'activité occupe une place importante dans cette industrie.

Des développements considérables ont été également réalisés ces dernières années pour l'amélioration des procédés de mise en forme de ces tôles.

Les procédés de mise en forme des tôles sont des opérations réalisées dans le but d'obtenir des formes finales désirées dans les applications industrielles et la mise en forme par découpage dans une tôle. Cette opération est particulière, parce qu'elle nécessite une analyse fine où le comportement du matériau voit une dégradation continue de ces propriétés élastiques et plastiques, pour déboucher à la fin du processus sur la rupture totale de la partie découpée.

Le déchirement prématuré de la tôle lors de la mise en forme (emboutissage, pliage et le découpage) est l'un des grands problèmes posés actuellement au niveau de l'industrie mécanique. Les scientifiques et les industriels cherchent donc toujours les meilleures conditions pour lesquelles l'aptitude à la déformation peut aller à son tour au maximum afin de minimiser les rebuts. C'est ainsi que l'opération d'emboutissage entre dans cette catégorie.

L'opération de découpage des métaux peut être considérée comme une opération de mise en forme particulière dans la mesure où le but final est l'obtention d'une pièce où la forme finale de la pièce est donnée par celles du poinçon et de la matrice.

L'emboutissage, et plus généralement, tous les procédés d'obtention de pièces manufacturées par déformation des matériaux métalliques sont des procédés largement utilisés en fabrication mécanique et qui progressent technologiquement sans cesse pour s'accaparer des nouveaux marchés.

Généralités sur la mise en forme des métaux :

Il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique (le moulage, le façonnage et le frittage).

La Figure I-1 récapitule les principaux procédés de mise en forme des métaux utilisés actuellement. Parmi les techniques de formage sans enlèvement de matière des métaux en feuilles on trouve le procédé d'emboutissage.

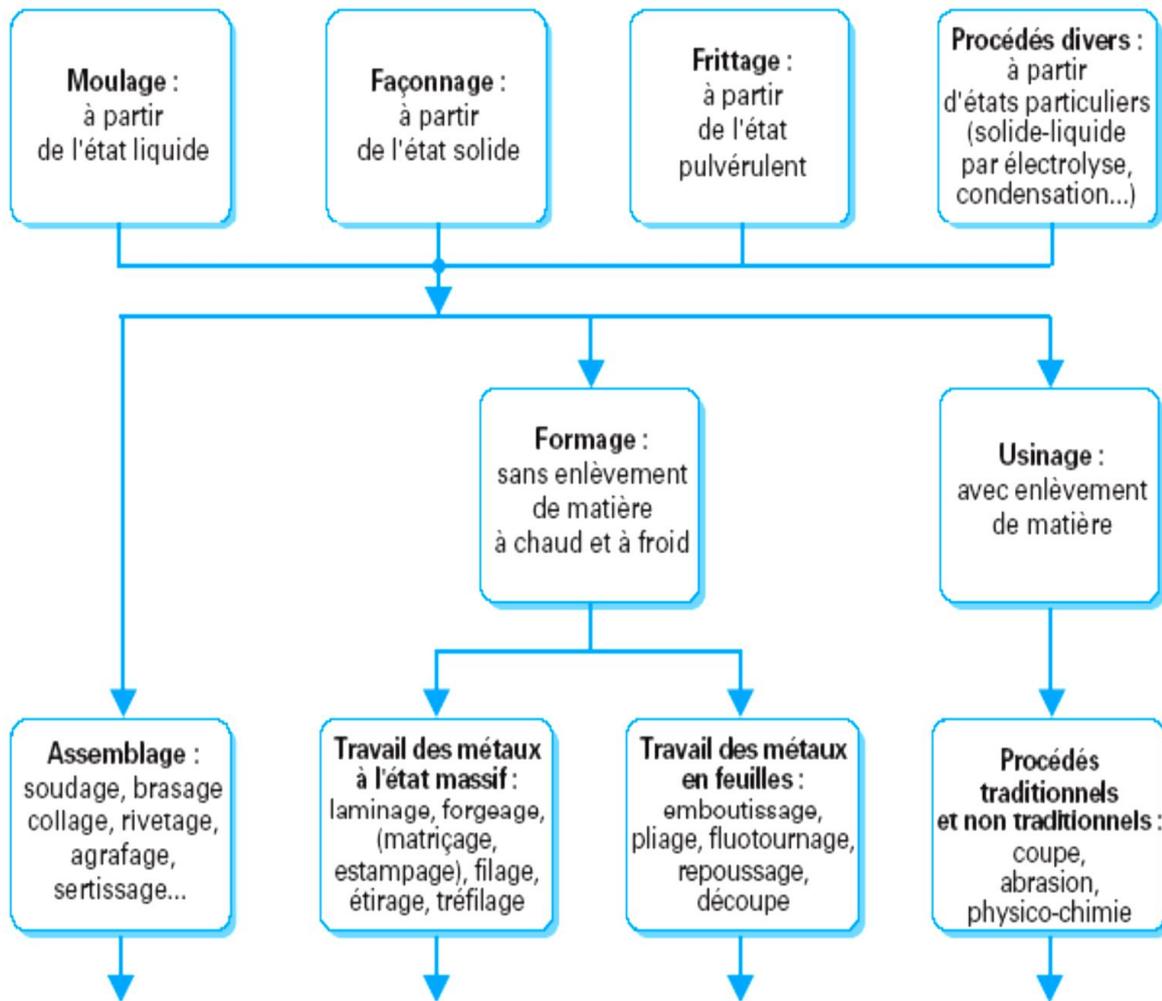


Figure 0-1 Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.

I. HISTORIQUE ET STRUCTURE DE L'ENTREPRISE

I.1 INTRODUCTION

L'Entreprise Nationale des Industries Electroménagères (ENIEM) est née après la restructuration de l'entreprise mère la SONELEC le 02 janvier 1983, dont cette dernière a été datée le 21 août 1971.

Elle est entrée en production réelle le 16 juin 1977 avec un effectif de 572 travailleurs

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation en société par action (personne distincte de l'état) dans le but de l'amélioration, la recherche et le développement de ses produits à l'échelle nationale. Connue aujourd'hui comme le leader de l'électroménager en Algérie et cela dans divers domaines tels que :

- Climatisation, cuisson, réfrigération et conservation à (Oued aissi).
- Sanitaire à (Meliana).
- Filiale lampe à (Mohammedia).

Elle est implantée à la zone industrielle AISSAT IDIR de Oued aissi à 7Km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou à la proximité de la route nationale qui facilite son accès.

Sa direction générale se situe à la sortie sud-ouest de la ville de Tizi-Ouzou

Objectif social et champ d'activité

ENIEM est leader de l'électroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience de plus de 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager, notamment :

- Les appareils ménagers domestiques,
- Les appareils des collectivités,
- Les lampes d'éclairage,
- Les produits sanitaires.

Elle assure également la commercialisation et le service après-vente de ses appareils.

I.2 Développement et Organisation de l'entreprise ENIEM

I.2.1 Développement

Pour atteindre ses espérances en matière de développement ;

L'ENIEM fait appel à sa structuration qui est schématisée de manière à donner la solution la plus fiable. Cette entreprise se compose de plusieurs unités d'organisation qui sont :

- Trois unités de production ;
- Une unité commerciale ;
- Une unité de prestation ;
- Une filiale dont le capital est 100 % ENIEM.

I.2.2 Organisation

La structure organisationnelle est fondée de telle façon à avoir une meilleure activité au sein de l'entreprise tout en suivant la chaîne de réalisation d'un produit. Afin d'obtenir un produit fini il est nécessaire de passer par toutes les unités :

- Unité froid ;
- Unité cuisson ;
- Unité climatiseur ;
- Unité sanitaire ;
- Unité commerciale ;
- Unité de prestation technique.

I.2.2.1 Unité froid (U.F)

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits froids domestiques. Ses activités sont :

- Transformation des tôles ;
- Traitement et revêtement des surfaces (peinture, plastification) ;
- Injection plastique et polystyrène ;
- Isolation ;
- Thermoformage ;
- Assemblage.

I.2.2.2 Unité cuisson

Le travail de cette unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique ou mixte et tout produit de technologie similaire. Ses activités sont :

- Transformation de la tôle ;
- Traitement et revêtement des surfaces (Zingage, Chromage) ;
- Assemblage ;

I.2.2.3 Unité climatiseur

L'objectif global de l'unité est de développer les produits de climatisation. Ses activités sont :

- La Transformation ;
- Le Traitement et revêtement de surface (peinture) ;
- Assemblage.

I.2.2.4 Unité sanitaire

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise **ENIEM** en l'an 2000.

Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

Son rôle est de produire et développer les produits sanitaires (Baignoires, lavabos...).

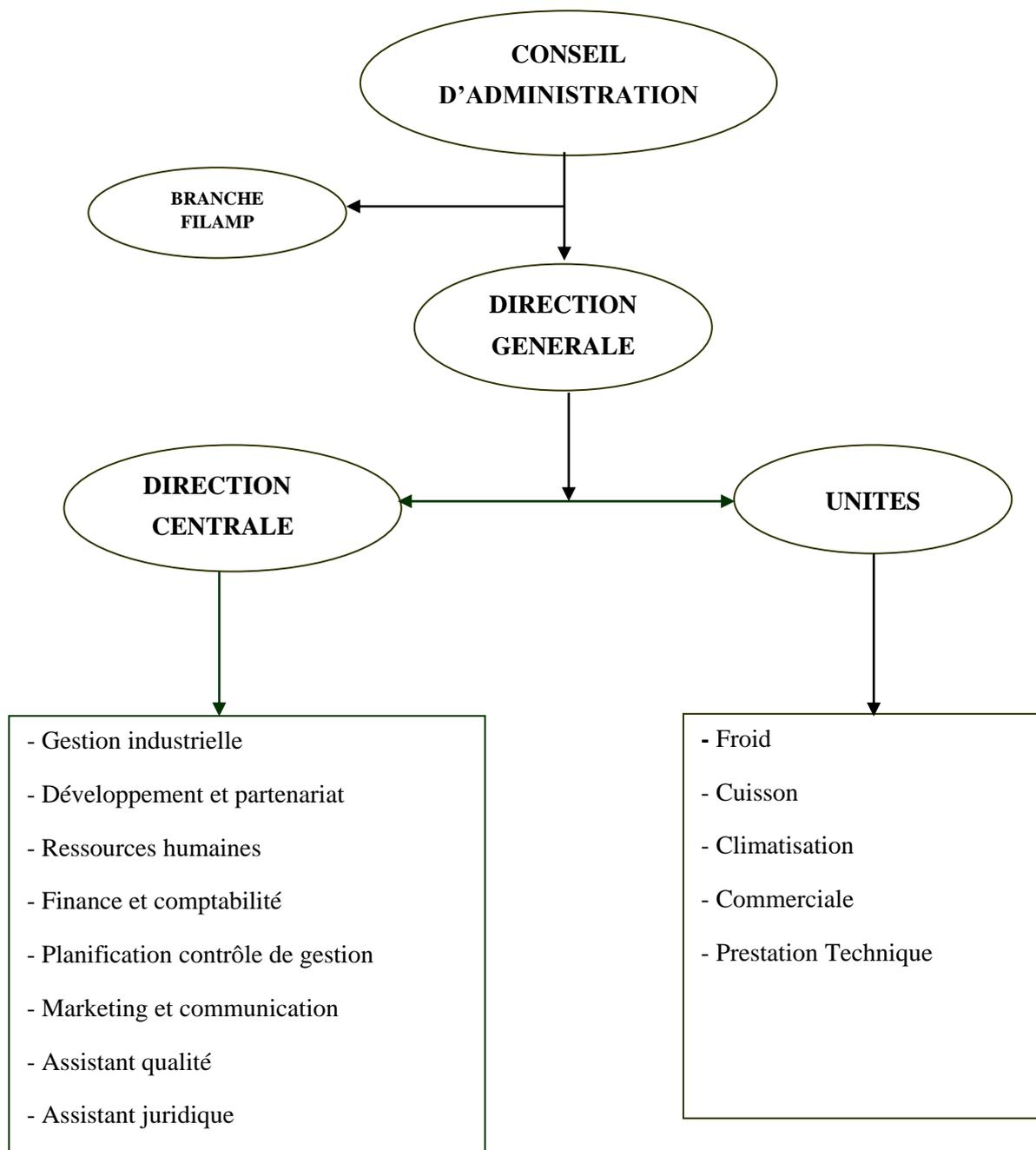
I.2.2.5 Unité commerciale (U.C)

Le rôle de cette unité est de faire écouler le produit sur le marché, et d'étudier la fluctuation du marché qui est basée sur le sondage sur l'offre et la demande. Ainsi l'idée est lancée par cette étude qui par la suite sera remise à l'unité prestation technique.

I.2.2.6 Unité de prestation technique (UPT)

Elle consiste à faire une étude technique du produit et l'examiner de façon à voir la possibilité de sa production par rapport aux moyens existants au sein de l'entreprise (machine ; personnels, technologie, etc.).

I.3 Organisation générale de l'entreprise :



I.4 Politique de l'entreprise

L'ENIEM est certifiée **ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT** et **ISO 9001/2008 QUALITE**.

- Politique qualité

L'entière satisfaction durable du client constitue pour l'entreprise, l'objectif principal.

Face aux enjeux économiques, l'ENIEM a mis en œuvre et développé un système de management, de qualité conforme au référentiel international **ISO 9001/2008**.

Cette politique qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la Direction Générale à :

- Connaître et satisfaire les besoins présents et futurs de ses clients et y répondre efficacement en mettant à leur disposition des produits et des services de qualité.
- Développer la culture de l'entreprise et le professionnalisme de son personnel.
- Améliorer en continu, l'efficacité du système de management de la qualité.

I.5 BUT

Le but de notre travail consiste en l'étude et la conception d'un outil d'emboutissage qui réalisera le bandeau d'une cuisinière de produit de l'ENIEM.

I.6 Cahier de charge

La pièce à produire est un bandeau frontal bombé de la nouvelle cuisinière ENIEM. Elle est obtenue en cinq phases (découpage, emboutissage, détournage et poinçonnage, pliage et sérigraphique).

II. LE DECOUPAGE

II.1 INTRODUCTION

Au fil des années le découpage est devenu une technique très employée, particulièrement dans la production de pièces. Cette activité, conduisant à des cahiers des charges toujours plus contraignants, est confrontée à une miniaturisation toujours plus importante des chutes. Compte tenu de ces éléments, la maîtrise de la qualité des produits, l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts sont indispensables au développement mais aussi à la survie des entreprises concernées. Dans la mise en forme par découpage mécanique, contrairement à l'emboutissage et au pliage par exemple qui ont pour but de déformer plastiquement la tôle, le découpage sollicite celle-ci jusqu'à la rupture finale. Durant l'opération, le matériau soumis à des phénomènes d'endommagement et de propagation de fissures et il subit des sollicitations complexes dont la modélisation est souvent non linéaire et, avant rupture finale.

II.2 Définition

Le découpage comme dans d'autres procédés de mise en forme consiste à enlever de la matière par un cisaillement normal (éventuellement non perpendiculaire) au plan de la tôle.

Ce type de procédé est de loin le plus pratiqué dans le domaine industriel, ce dernier est une opération de transformation à froid des métaux qui permet d'obtenir les produits aux contours fermés et ouverts. Son but est de séparer partiellement ou complètement des zones de la tôle de façon à obtenir la forme voulue et/ou de les préparer pour d'autres opérations comme le pliage ou l'emboutissage.

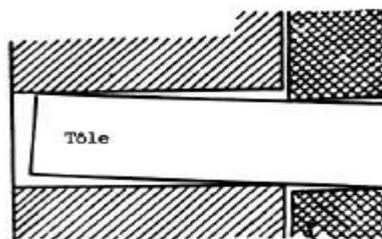


Figure II-1: Principe du découpage des tôles à la presse.

II.3 Principe de découpage [1]

Deux lames en acier dur avec des angles et un jeu bien défini, coulissent dans un même plan, permettent de cisailier la tôle sur sa profondeur en deux parties (Figure II.2).

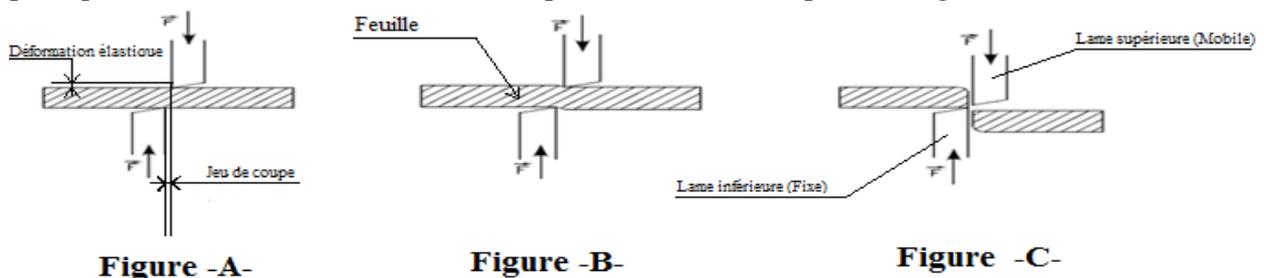


Figure II-2 Principe du découpage

A : Effort constant et continu.

B : Cisailage et décohérence.

C : La séparation fait apparaître différents aspects de la coupe

II.4 Opération de découpage

On peut distinguer trois types d'opération de découpage :

- Découpage simple : on utilise deux outils de découpage sur deux presses et la pièce est obtenue en deux opérations (exemple obtention d'une rondelle).
- Découpages consécutifs : on utilise une presse et on fixe sur son coulisseau deux ou plusieurs poinçons. La pièce est obtenue après deux pas d'avance de la bande.
- Découpages simultanés : la pièce est obtenue après une opération de découpage et poinçonnage simultanément.

Au cours de la découpe, la matière s'écoule plastiquement, apparaissent ensuite des phénomènes d'endommagement conduisant à la rupture complète. En identifie cinq phases présentées sur la **figure II-3 a)**.

Ces phases peuvent aussi être identifiées sur la courbe effort-déplacement du poinçon, comme le montre la **figure II-3 b)**.

Les première et deuxième phase correspondent au comportement élastique du matériau avec une montée linéaire de l'effort.

Au cours de la troisième phase, le matériau est l'objet de transformations inélastiques (écrouissage et endommagement). La phase quatre correspond à la propagation d'une fissure entre l'arête de la matrice et l'arête du poinçon. Au cours de la phase cinq, la tôle est séparée en deux et les outils frottent contre les bords coupés.

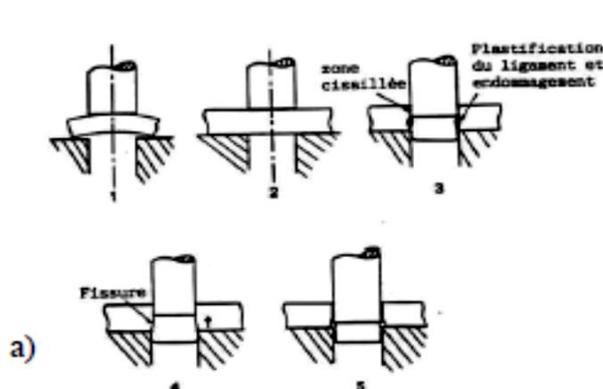


Figure II-3 a) Phases de l'opération de découpe

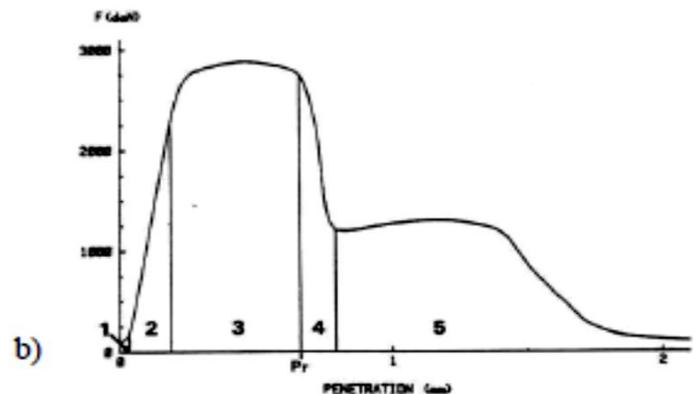


Figure II-3 : b) Courbe effort-déplacement

II.5 Effort de découpage

L'étude des efforts développés au cours de l'opération de découpage a fait l'objet de nombreux travaux [1]. Les différents travaux mettent en évidence l'influence des paramètres du procédé sur les efforts de découpe et la qualité du produit final.

II.5.1 Méthode analytique

$$F_{\text{découpage}} = P \times e \times R_c$$

Avec :

- P = périmètre découpé (mm)
- e = épaisseur de la tôle (mm)
- R_c = résistance à la rupture au cisaillement de la tôle à découper (daN/mm²)

- Remarque

La résistance au cisaillement R_c dépend du matériau travaillé, on l'estime à environ 0,8 fois la résistance à la traction R_m ; on a : $R_c = 0,8 \times R_m$; R_c est donné par le tableau 5 pour les matériaux courants.

Matériaux		R_c (daN /mm ²)	
Aciers	0.1 % C - recuit.....	24	
	- laminé à froid.....	31	
	0.2 % C - recuit.....	31	
	- laminé à froid.....	39	
	0.3 % C - recuit.....	37	
	- laminé à froid.....	47	
	Tôles laminée à froid :		
	- Qualité TC.....	31	
	- Qualité E.....	29	
	- Qualité ES.....	27	
	Acier inoxydable.....	50 à 60	
	Acier au silicium.....	45	

Tableau II-1 : résistance au cisaillement des matériaux courants

II.5.2 Méthode utilisant l'abaque

L'abaque de la figure ci-dessous permet de déterminer rapidement l'effort de découpage moyennant le diamètre du poinçon ou le périmètre à découper [1].

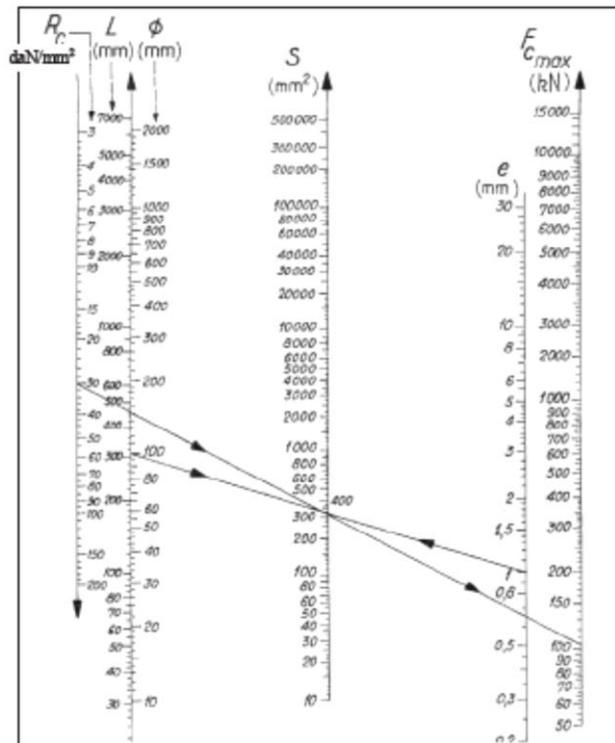


Figure II-4 : abaque permettant de déterminer l'effort de découpage

II.6 Vitesse de découpage

La vitesse de découpage ne doit pas dépasser : 0.06 m/s pour les aciers, et 0.10 m/s pour les aciers doux [2].

La vitesse de descente du poinçon influence les efforts de découpe et la qualité du produit final. L'augmentation de la vitesse du poinçon se traduit par une amélioration de la qualité du bord découpé.

Pour des vitesses plus importantes, elle se situe aux alentours de 0.55 à 0.65 mm (85 - 100% de l'épaisseur).

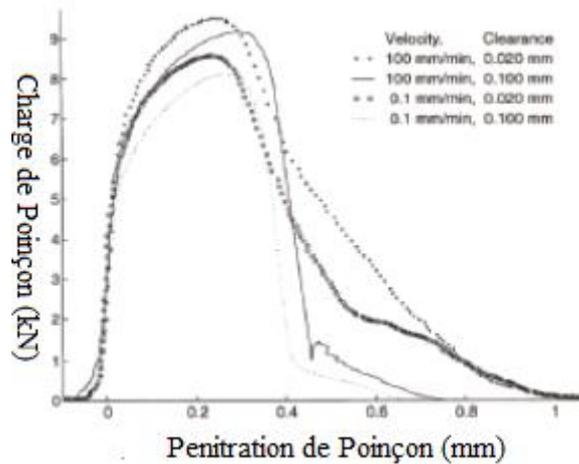


Figure II-5 Influence de la vitesse du poinçon sur l'effort de découpe

II.7 Effort à créer sur le devêtisseur et Effort de l'attraction

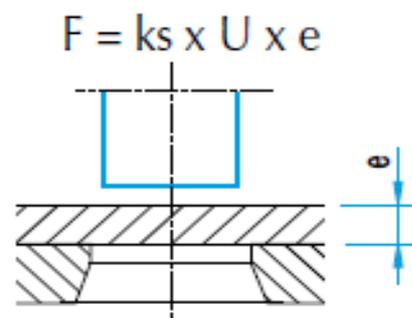
L'effort d'extraction est l'effort du poinçon nécessaire pour pousser le flan coincé dans la section constante de la matrice. Une dépouille réduit le nombre de flans coincés et empilés, et limite l'effort du poinçon [1].

- L'effort à créer sur le devêtisseur est estimé à $F_1 = 7\%$ de F si la découpe est en pleine tôle. (Cas du poinçonnage)
- L'effort à créer sur le devêtisseur est estimé à $F_2 = 2\%$ de F si la distance de la découpe au bord de la tôle $\leq 3.e$. (cas du découpage)
- Si le flan doit être extrait au-dessus du plan de coupe, l'effort d'extraction est estimé à $F_3 = 1,5\%$ de F .

La formule de la force de découpe est la suivante :

$$F = K_s \times U \times e$$

- F (daN) : force de découpe nécessaire
- K_s (daN/mm²) : résistance au cisaillement de la matière.
- U (mm) : périmètre à découper (pour un rond : $\varnothing \times 3,14$).
- e (mm) : l'épaisseur de la matière.



- **Remarque**

Le diamètre maximal d_1 du poinçon ne peut pas être inférieur à l'épaisseur de la matière.

II.8 Jeu de découpage

Les fissures sont obliques, pour qu'elles se rejoignent, et que la tranche de la pièce découpée soit propre, Il est nécessaire de mettre un jeu soit sur la matrice soit sur les poinçons afin d'obtenir les cotes voulues [2].

$$j = \frac{R_m - R_p}{e_0} \times 100$$

Où

- R_m et R_p représentent respectivement les rayons de la matrice et du poinçon,
- e_0 l'épaisseur initiale de la tôle.

Ce jeu dépend de la bavure que l'on veut admettre sur la pièce, de l'épaisseur de la pièce, et de la matière choisies.

D'une manière générale, Le jeu est représenté par l'écart entre les faces de découpe du poinçon et de la matrice.

On définit aussi le jeu radial en pourcentage de l'épaisseur de la tôle $j\%$.

$$j\% = 100 \times \left(\frac{d_m - d_p}{2.e} \right)$$

En découpage, $j\%$ est compris entre 5% et 10%.

Pour le découpage le jeu est à prendre sur le poinçon varie selon la nature et l'épaisseur (e) du matériau à découper (Figure II-6).

- $1/20 \times e$ pour laiton, l'acier doux et les aciers inoxydables
- $1/15 \times e$ pour l'acier dur,
- $1/10 \times e$ pour l'aluminium.

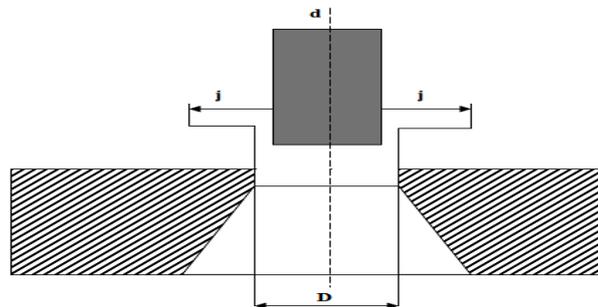


Figure II-6 Jeu de découpage.

II.9 L'angle tranchant

C'est l'angle qui permet d'avoir une arête tranchante, il varie de 80° à 90° selon le type de la cisaille.

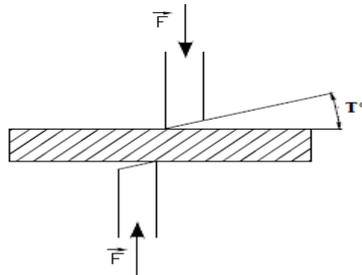


Figure II-7 : L'angle tranchant des lames

II.10 Effets de la coupe

La force F_1 est obtenue par une butée qui tend à éliminer le couple qui soulève la pièce dans le sens opposé à cette dernière [2].

Quand la force F_2 , et le jeu sont inexistants, le cisailage tend à rejeter la pièce sur les côtés, c'est pourquoi une butée est aussi nécessaire pour palier à cet effort.

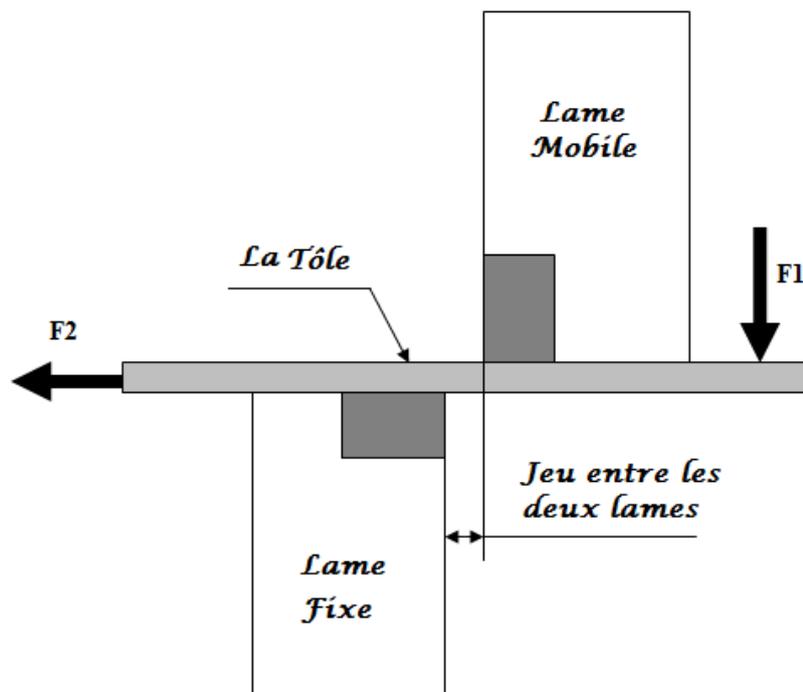


Figure II-8 : jeu entre les lames fixe et mobile

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les paramètres de découpage des feuilles entrant dans la fabrication des pièces, étant donné la difficulté liée à la réalisation de la coupe. Ensuite nous avons décrit le principe et les efforts de découpage.

III. LE POINÇONNAGE

III.1 Introduction

L'étude du découpage conduit naturellement à découvrir le principe du poinçonnage ; on peut facilement admettre que cette technique est un cisaillement de forme fermé (forme quelconque, souvent circulaire). Dans ce chapitre on s'intéressera essentiellement à une étude théorique de ce principe, et nous allons décrire en définissant son procédé et les éléments qui consistent à la réalisation qui se fait avec un outil à contour fermé.

III.2 Définition

Le poinçonnage est une opération de découpage à chaud ou à froid qui consiste à exécuter un trou dans le métal qu'on appelle flan, entraînée par un poinçon dans une matrice qui enlève la matière en totalité d'un seul coup.

Le poinçonnage s'exécute soit à la main, pour des travaux unitaires et peu précis, à l'aide de petit poinçon manuel, soit à la machine (qui est le but de notre travail) pour les travaux de grandes séries et de bonne précision dimensionnelle. Un serre-flan est utilisé évitant la formation des plis dus au déplacement radial de la tôle.



Figure III-1 : poinçonnage d'une tôle

III.3 Le procédé de poinçonnage

Dans l'industrie, l'opération de poinçonnage est réalisée à l'aide de presses hydrauliques ou mécaniques. La tôle est mise et maintenue en position entre la matrice et le serre-flan [2].

Animé d'un mouvement de translation, le poinçon vient en contact avec la tôle sur laquelle il exerce un effort en appui sur la matrice. Conventionnellement, la matrice constitue la partie fixe de l'outillage (figure III-2).

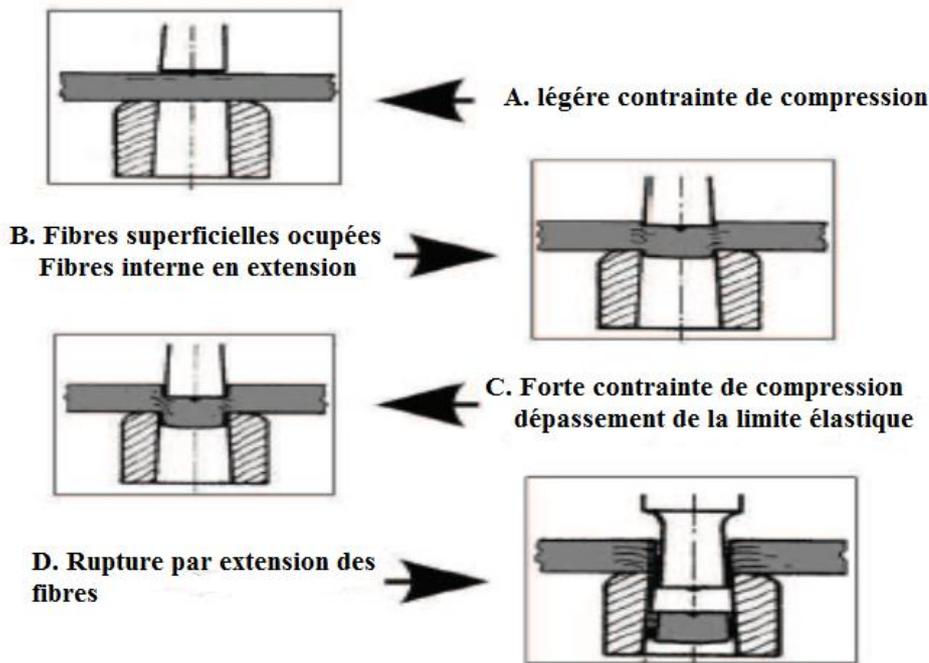


Figure III-2 : Les différentes étapes du poinçonnage

La figure III-2 décrit les étapes successives de la réponse du matériau de la tôle à la pénétration du poinçon.

L'opération de poinçonnage passe par plusieurs étapes :

- Figure III-2-A : Légère contrainte de compression.
- Figure III-2-B : Fibres superficielles coupées, fibres internes en extension.
- Figure III-2-C : Forces et contraintes de compression, dépassement de la limite élastique.
- Figure III-2-D : Rupture par extension des fibres
 - Une première phase de légère compression,
 - Les fibres superficielles sont découpées alors que les fibres intérieures sont en tension.
 - Ensuite, on observe une zone des forces et contraintes de compression où la limite d'élasticité du matériau de la tôle est atteinte.
 - Il s'en suit une importante extension des fibres qui conduit à la fissuration. La localisation et la propagation de fissures s'amorcent sur les rayons d'extrémités du poinçon et de la matrice.

Les poinçons sont fixes si les matrices sont mobiles. Ils doivent résister à la compression et au flambage.

Pour les poinçons cylindriques, on prend :

$$d = 1,6 \times e \quad (e = \text{épaisseur de la tôle}) \text{ pour les aciers doux}$$

En acier fortement allié, de dureté HRC = 60, ils doivent pouvoir être affûtés après usure.

La tôle est coincée entre un poinçon et une matrice et la descente du poinçon dans la matrice découpe le matériau comme le ferait une paire de ciseaux.

Il s'agit d'un glissement de métal dans un plan transversal entre deux barres, sans que celles-ci ne se déforment ou cessent d'être parallèles. L'ouverture du trou est effectuée à l'aide du poinçon et de la matrice qui sont des outils comparables aux lames de cisaille.

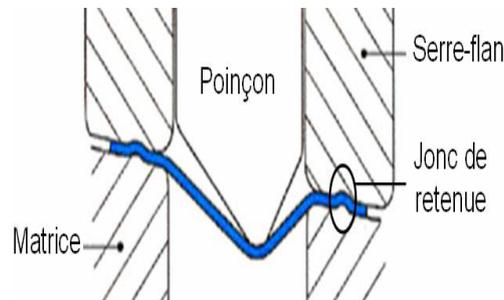


Figure III-3 : Procédé d'emboutissage.

Le principe reste le même que pour le cisailage. La rupture s'effectue donc après un effort de traction.

Généralement, le poinçonnage est utilisé en tôlerie pour réaliser des trous et découper des flans de formes complexes parfois non rectangulaires, donc difficiles ou impossibles à réaliser par cisailage.

Utilisé aussi en construction métallique pour percer les profilés.

Il existe trois modes possibles de poinçonnage :

- Le poinçonnage classique : enlèvement de matière par simple réalisation de trous.
- Le grignotage : qui consiste à découper un pourtour intérieur ou extérieur par de multiples coups de poinçon.
- Le découpage à la presse : découpe de flan à l'aide d'un outillage spécifique.

Selon la puissance appliquée, il est possible de poinçonner et découper diverses épaisseurs de matériaux. En principe, il n'y a pas de limite au poinçonnage ; seule la capacité de la machine fixe une limite d'épaisseur des matériaux à découper en tenant compte des propriétés du matériau.

III.4 Organes de l'outils

III.4.1 Poinçon

Sa forme reproduit, en principe, la forme intérieure de la pièce voulue, sauf si des corrections de courbure ont été apportées pour compenser le retour élastique.

Sauf dans le cas d'un nez de poinçon parfaitement plat entouré par un rayon de poinçon très faible, pour raison de la soumission de métal à l'expansion et amené à glisser sur l'outil, un poinçon doit être soigneusement poli. Mais l'expansion se fait au détriment de l'épaisseur et dans des cas assez rares.

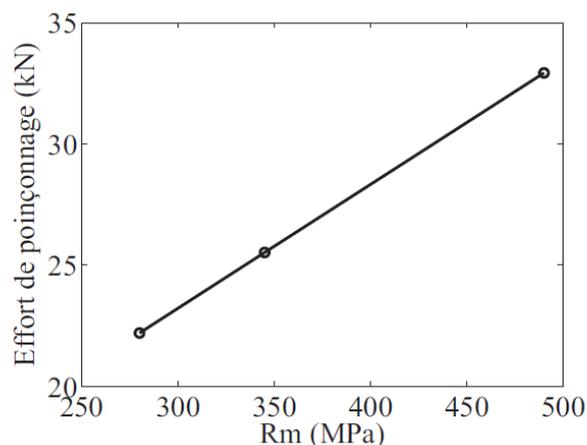
- Remarque

On limite ainsi l'amincissement mais aussi la profondeur d'emboutissage possible. Il faut voir également que cette modification de rugosité a tendance à disparaître sous l'effet de l'usure et qu'il faut donc l'entretenir. Cette solution n'est employée qu'exceptionnellement.



Figure III-4 Vue éclatée de l'outillage

Lorsque nous ramenons dans un premier temps les tôles découpées à une même épaisseur et supprimons l'effet du jeu relatif, la figure suivante présente l'évolution des efforts de découpe en fonction de la résistance mécanique maximale à la traction R_m .



L'effort de découpe évolue linéairement avec la résistance mécanique à la traction du matériau. L'effort de poinçonnage peut donc être estimé à l'aide d'une équation de droite de type :

$$F(R_m) = A \times R_m + B \quad (\text{III-1})$$

Avec

- $F(R_m)$: l'effort de poinçonnage,
- R_m : la résistance mécanique maximale à la traction du matériau,
- A : le coefficient directeur de la droite,
- B : l'ordonnée à l'origine.

III.4.1.1 Rayon du poinçon

Le rayon du poinçon R_p ne doit pas être trop faible pour éviter le décalage du fond de la pièce (amincissement local de la tôle traduisant une déformation locale en expansion) ni trop

important pour éviter les risques de plis ; en principe il ne doit pas être inférieur au rayon de la matrice. Rp est compris entre $5e < R_p < 10e$

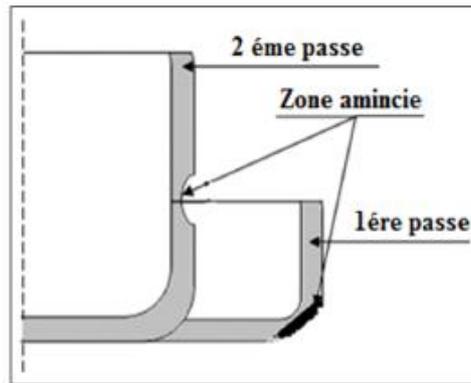


Figure III-5 : le rayon sur le poinçon

III.5 Matrice et poinçon

Les poinçons sont fixes si les matrices sont mobiles. Ils doivent résister à la compression et au flambage. Pour les poinçons cylindriques, on prend à la limite : $d \geq 1.6 e$ pour les aciers doux [3].

Une matrice en acier peut produire environ 50 000 pièces sans être affûtée l'affûtage diminue h de 0.2 à 0.5mm (voir figure III-6). Approximativement, on peut ainsi définir le minimum des pièces réalisées par l'outil.

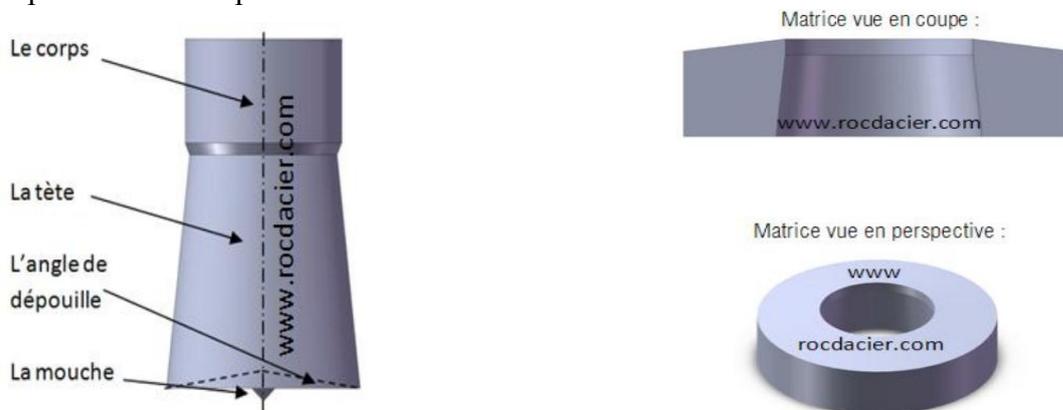


Figure III-6 : Poinçon (à gauche) et matrice (à droite)

- **Remarque** : Le poinçon de forme quelconque doit résister à la compression et au flambage, sa longueur libre est vérifiée par

$$L \leq \sqrt{\frac{E \times I}{F}}$$

Avec :

- E : module d'élasticité en (N/mm²)
- I : moment quadratique de la section en (mm⁴)
- F : effort de découpage en (N)

III.5.1 Jeu poinçon –matrice

Pour avoir une bonne surface emboutie il est nécessaire de calculer un jeu de coupe basé sur la formule suivante [4] :

$$D - d = 2 \times j$$

$$j = e + \text{tolérance max de la tôle.}$$

- Concept : Réduire le jeu afin de limiter le fluage de la matière entre le poinçon et la matrice
- Favorise le cisaillement
- Jeu actuel = 0.02mm
- Contact avec Chrome BN et S2E : Limite technique (précision des guidages, dilatation thermique)

III.6 Effort d'extraction

C'est l'effort nécessaire pour dégager le poinçon de la zone de découpage et pour pousser le flan coincé dans la section constante de la matrice [5]. Une dépouille réduit le nombre de flans coincés et empilés, et limite l'effort du poinçon, il varie de 2 à 7 % de celui du découpage selon la bande entourant le poinçon soit :

- 7% de l'effort de découpage en pleine tôle ;
- 2% si la chute de découpage est faible.

$$F_{\text{dév}} = C \times F \quad \text{(III-2)}$$

C : valeur forfaitaire choisie qui, selon l'usure de l'outil que l'on admet, pourra varier de 2 à 7% de l'effort de découpage



Figure III-7 Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage

III.7 Éjecteurs

Fabriquer une pièce n'a de sens que si on peut ensuite la récupérer intacte. Il faut donc la sortir de l'outil, ce qui n'est pas toujours facile à cause des contraintes élastiques résiduelles qui tendent parfois à « l'ouvrir », parfois à la « fermer », donc à la retenir dans la matrice ou sur le poinçon. Ceci est réalisé grâce aux éjecteurs, qui peuvent se présenter sous plusieurs formes.

L'effort nécessaire pour éjecter la pièce découpée est d'environ 1,3% de l'effort de découpage.

Si la pièce n'a pas à respecter des contraintes d'aspect, ou si elle est faite avec un acier dur et épais, on peut se contenter de quelques tiges montées sur ressort qui la repousseront quand le poinçon sera extrait.

III.8 Prédécoupe

- Concept : Réaliser une prédécoupe afin de modifier l'état de contrainte du matériau
- Vue en coupe d'une chute :



Figure III-8 Vue en coupe d'une chute

- Déformations importantes
- Effet néfaste : consommation d'énergie dans la déformation

III.9 Forme de l'outil

- Concept : Amincir le poinçon pour réduire l'effort sur la chute due aux frottements :

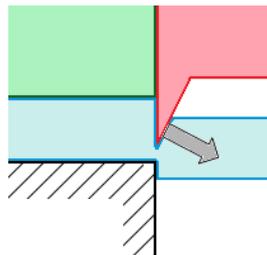


Figure III-9 forme de l'outil de poinçonnage

III.10 Forme de la matrice

- Concept : Optimiser l'amorce de rupture du côté de la matrice
- Création d'une arête vive sur la matrice

Réduit le fluage de la matière, sa mise en position délicate, on peut envisager l'ajout d'un poinçon :

- Le premier poinçon (2) réalise un poinçonnage partiel : création d'une concentration de contraintes du côté matrice, le devêtisseur (1) joue le rôle de tas
- Le second poinçon (3) réalise le poinçonnage

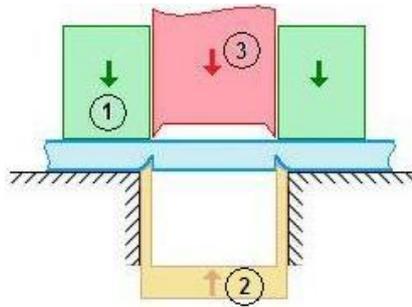


Figure III-10 les étapes de poinçonnage

III.11 Dépouille

C'est le dégagement réalisé au-dessous de la partie active de la matrice, qui est de dimension légèrement plus grande que celle de la partie active, il permet d'éviter l'entassement des chutes dans la matrice [6].

Pour les matrices trempées on laisse (4 à 5 mm) de la partie cylindrique pour permettre l'affûtage. La dépouille fait un angle de (2 à 3°) avec la verticale.

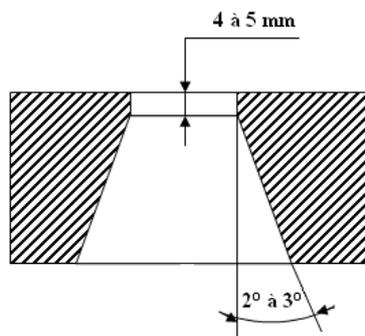


Figure III-11 Matrice avec un angle de dépouille de 2° à 3°.

Pour les matrices non trempées qui servent pour le découpage des métaux tendres comme le laiton ou l'aluminium. La dépouille commence directement de la face supérieure et fait un angle de 1° environ avec la verticale.

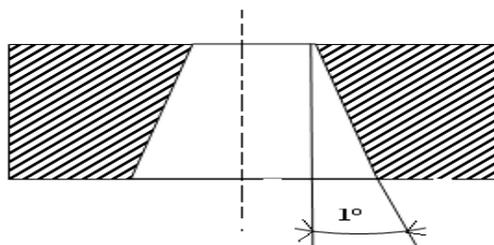


Figure III-12 Matrice avec un angle de dépouille de 1°.

III.12 Usure des outils de découpage

L'usure est le processus d'endommagement des surfaces en contact, sous l'effet du frottement. Il s'agit d'un phénomène incontournable dans tous les contacts mécaniques tel le processus de mise en forme par découpage. Dans ce secteur, les éléments affectés par les phénomènes d'usure sont les poinçons et les matrices. Au cours du procédé ils subissent une

usure progressive de leurs parties actives, modifiant ainsi par exemple le rayon de courbure sur les arêtes de découpe de ces éléments (figure III-10).

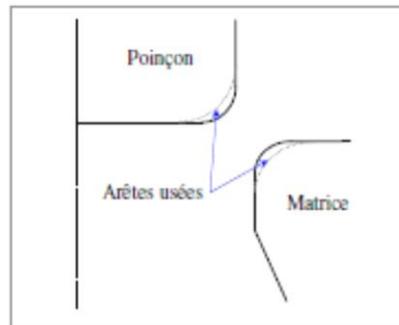


Figure III-13 Evolution des arêtes de découpe d'un poinçon et d'une matrice

La variation de ces dimensions a pour première conséquence l'augmentation de la valeur du jeu poinçon / matrice, mais également celui de l'effort nécessaire au découpage. Dans la littérature, l'élément le plus étudié est le poinçon. Son usure est constituée de trois étapes reliées les unes aux autres et qui se déroulent successivement. Il subit donc tout au long de sa vie les étapes d'usure suivantes :

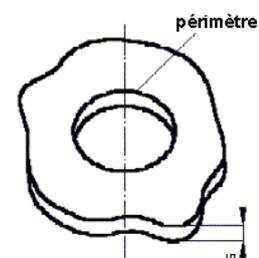
- Rodage : usure rapide avec une vitesse d'usure régulièrement décroissante,
- Marche normale : conditionne la durée de vie du poinçon (usure faible et constante),
- Vieillesse et mort : vitesse d'usure croissante, voire casse du poinçon dans certains cas.

Par conséquent, la capacité à prévoir l'usure des poinçons et l'aptitude à évaluer leur durée de vie sont d'une importance primordiale pour les découpeurs. En prévision de leur usure les poinçons sont conçus de façon à être affûtés après usure. Ils doivent également résister à la compression et au flambage.

Comme la dimension des poinçons conditionne la qualité des pièces produites, il est donc capital de comprendre le mécanisme et la cinétique de l'usure des poinçons afin d'en accroître la durée de vie.

III.13 Effort de poinçonnage

L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur, du périmètre de la section du trou, de la résistance du métal et des frottements qui sont généralement négligés.



Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les outils. Par conséquent, la section minimale de poinçonnage dépend de l'effort de poinçonnage, de la forme et de la surface de la section poinçonnée et aussi de la longueur de flambage de l'outil.

Formule générale de calcul des efforts de poinçonnage :

$$F \text{ (en KN)} = \frac{U \times S \times R_m \times 0.9 \times f}{1000} \quad (\text{III-3})$$

F = effort de poinçonnage en kilonewton (10 kN = 1 tonne).

U = périmètre du poinçon (en mm).

s = épaisseur de tôle (en mm).

R_m = résistance à la traction (en N/mm²)

- inox (1.4301) 720 N/mm²

- acier (St 37) 420 N/mm²

- alu (AlMg3) 220 N/mm²

f = facteur d'atténuation entre 0.5 et 0.95 lors de l'utilisation de poinçon avec vague de coupe.

III.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude sur le poinçonnage qui a pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant certaines conditions de coupe, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement certains paramètres expérimentaux tels que : la composition du matériau et ses différentes caractéristiques mécaniques.

Ce qui nous a permis de définir le procédé de l'opération en appliquant les efforts résultants des équations théoriques et de décrire certains outillages.

IV. LE PLIAGE

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré au procédé de pliage, qui est une transformation de forme à froid d'un matériau plat, avec ou sans lubrification, obtenue par dépassement de sa limite élastique. Cette opération se distingue de l'emboutissage par le fait que les contraintes latérales sont nulles. La dualité « expansion-rétreint », les deux modes de sollicitations qui entrent en jeu en emboutissage, n'est généralement pas rencontrée.

IV.2 Définition

Le pliage est une opération conformation à froid qui consiste à donner une forme en L ou en V à une tôle plane en changeant la direction de ses fibres de façon brusque, une partie est comprimée, et l'autre subit une tension suivant un angle [7].

Il existe plusieurs techniques pour plier une pièce :

- Pliage en l'air dans une presse-plier ;
- Pliage en frappe, pliage sur plieuse à sommier ou universelle...

IV.3 Principe du pliage

Le pliage est une déformation obtenue grâce à une force appliquée sur la longueur de la pièce. Celle-ci sera en appui sur 2 lignes d'appuis et s'apparente à la flexion. Il faudra dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu.

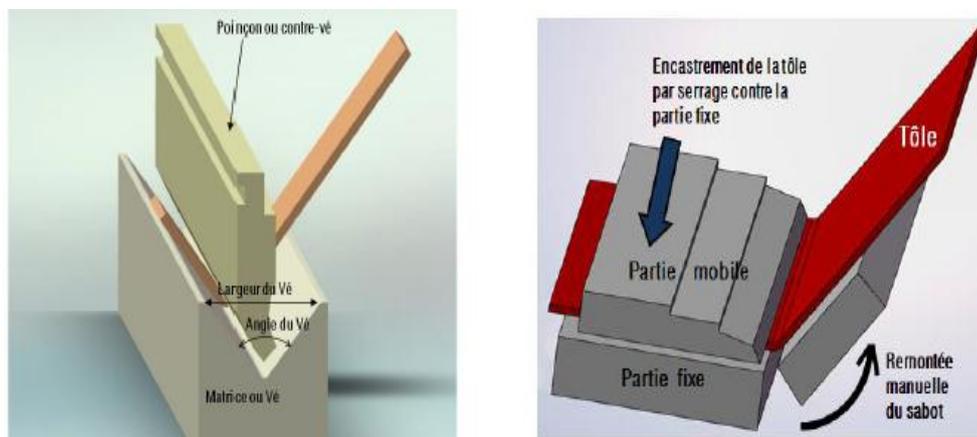


Figure IV-1: principe de pliage

IV.4 Différents modes de pliage

Suivant la géométrie des poinçons et les matrices, trois types de pliage sont distingués : en V, en U et en L [7].

IV.4.1 Pliage en V

Dans le cas du pliage en V, le serre-flan est inutile. La variation de l'angle du V du poinçon et de la matrice entraîne la variation de l'angle de formage de la tôle. Selon la course imposée au poinçon, le pliage est en l'air ou en frappe.

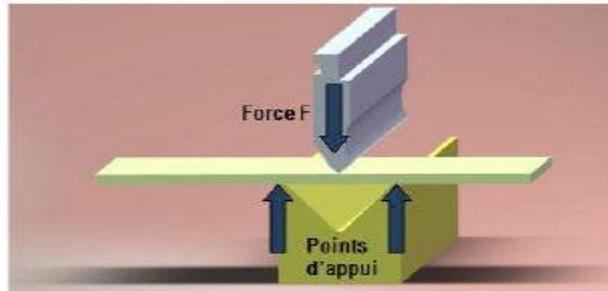


Figure IV-2 pliage en V

IV.4.1.1 Pliage en l'air

L'effort de pliage cesse quand la tôle arrive en fin de V. L'angle terminal est celui de la forme du V plus le retour élastique de la tôle ($\approx 3^\circ$).

Avec le pliage « en l'air », suivant la position du poinçon en fin de course, différents angles peuvent être obtenus avec le même outillage.

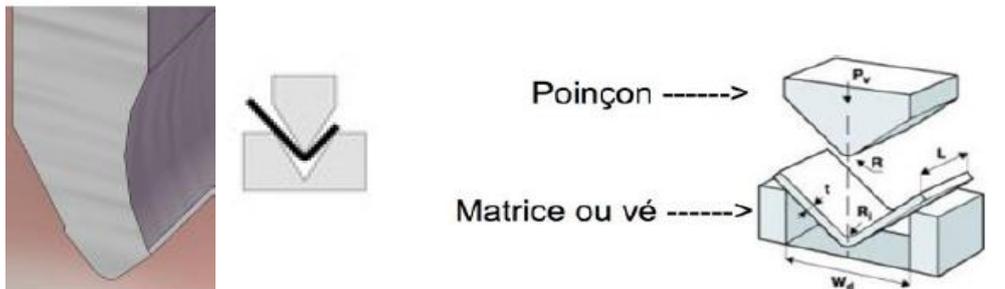


Figure IV-3-pliage en l'air

IV.4.1.2 Pliage en frappe

Cette opération de pliage s'effectue en deux temps. Tout d'abord, un pliage « en l'air » est effectué jusqu'à l'angle désiré. Ensuite, le poinçon descendu rapidement, va frapper et marquer la tôle jusqu'à réduire voire éliminer totalement le retour élastique. L'angle du poinçon et de la matrice sont égaux à l'angle à obtenir.

Cette méthode est réservée à des tôles d'épaisseurs inférieures à 2 mm

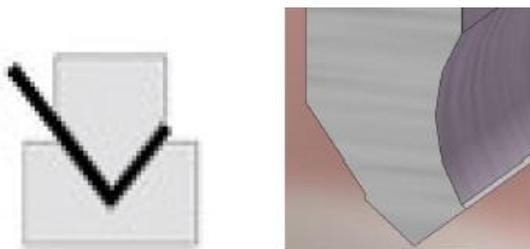


Figure IV-4-pliage en frappe

IV.4.2 Le pliage en U

Le pliage en U comprend un serre-flan mobile qui bloque la matière sous le poinçon et évite donc les glissements de la tôle lors de la mise en forme entre les deux blocs matrices.

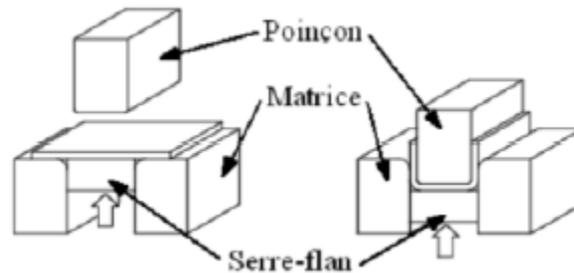


Figure IV-5 pliage en U

IV.4.3 Le pliage en L

Le pliage en L ou en tombé de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan.

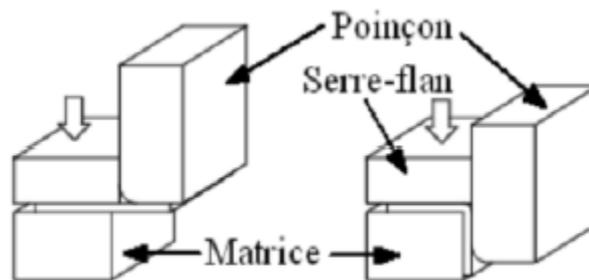


Figure IV-6: pliage en L

IV.5 Rayon du poinçon

Pour obtenir des pièces à des cotes précises, il faut tenir compte du retour élastique au moment de la conception de l'outillage. D'où le rayon du poinçon à utiliser en pliage [1] :

$$\frac{P}{e} = \frac{\frac{R}{e}}{1 + 3 \frac{R \cdot R_e}{E \cdot e}} \quad (\text{IV-1})$$

Avec

- E : module d'élasticité de la tôle (N/mm²)
- e : épaisseur de la tôle (mm)
- R_e : limite élasticité (N/mm²)
- R_p : Rayon de l'outil de pliage (mm)
- R : Rayon de la pièce final (mm)

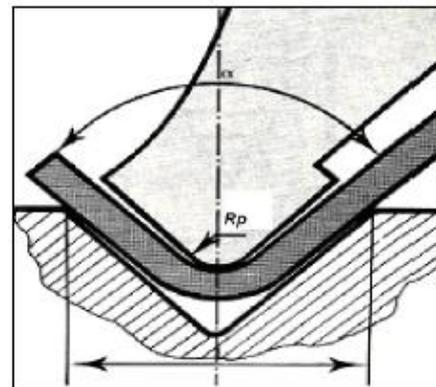


Figure IV-7 pliage en V sur presse plieuse

IV.6 Effort de pliage

En pratique, on admet que l'effort nécessaire pour former un pli est égal au dixième de L'effort nécessaire pour cisailer la section de la tôle à cet endroit [7] :

$$F = (L \times e \times Rc)/10$$

Tels que :

- F : effort de pliage (daN) ;
- L : longueur de pli (mm);
- e : épaisseur de la tôle (mm) ;
- Rc : résistance de la tôle au cisaillement (daN/mm²)

IV.7 Calcul de l'effort de pliage

La connaissance de l'effort à fournir dans le pliage est utile pour le choix de la presse, pour cela on utilise les formules expérimentales ou les abaques [1].

L'effort de pliage dépend de plusieurs facteurs englobants :

- Le matériau (la résistance, l'épaisseur)
- La forme de la pièce (en V, Z, U, ...)

IV.7.1 Le pliage en V

a- Pliage sans frappe

L'effort de pliage exercé par le poinçon est donné par la formule suivante :

$$F_1 = K \frac{L e^2 R_m}{v} \quad (\text{IV-2})$$

Où

Rm la résistance mécanique du métal à plier(N/mm²)

L : longueur pliée

e : épaisseur de la tôle (mm)

v : ouverture du V (mm)

K : un coefficient dépendant de V :

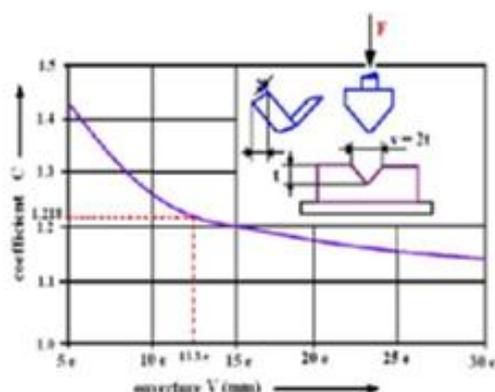


Figure IV-8-Coefficient en fonction de V

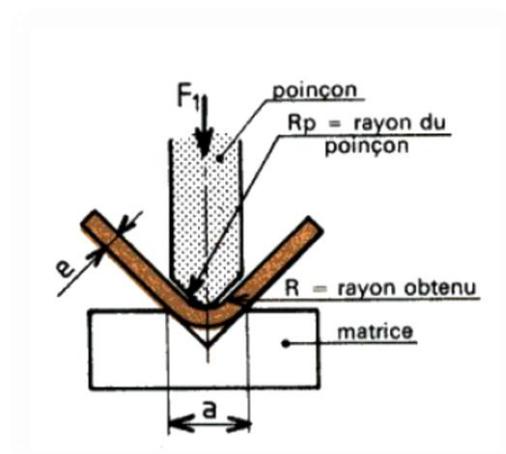


Figure IV-9-Effort de pliage F1

b- Pliage avec frappe

L'effort : $F_2 = 2F_1$

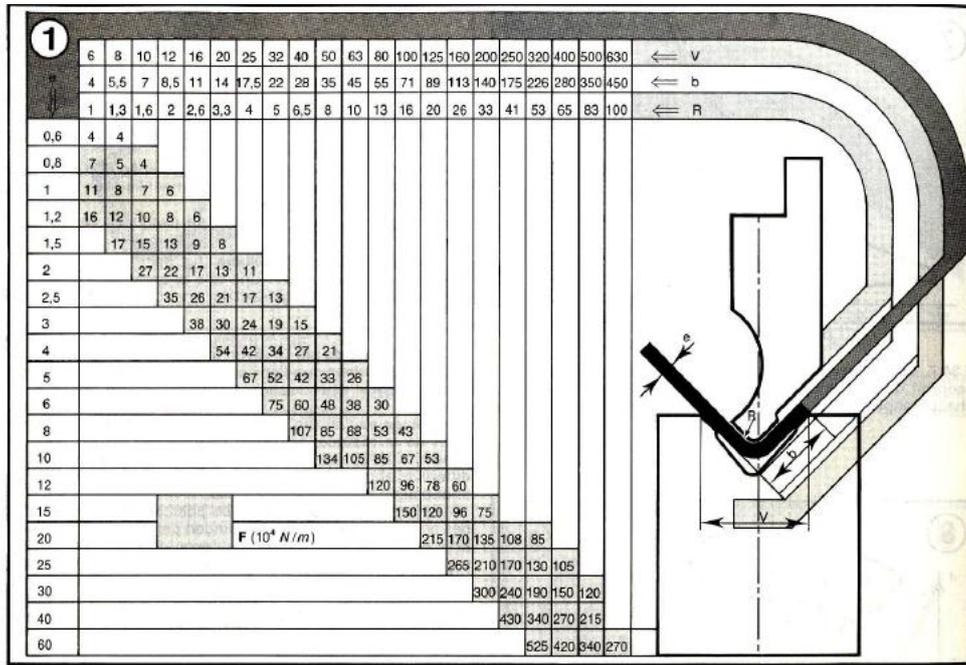


Figure IV-10-Effort de pliage pour un acier de résistance 400 <Rm<450 N/mm2

1. Exemple : pour $\left\{ \begin{array}{l} e = 2\text{mm} \\ V = 10\text{mm}, \text{ l'effort est donné par } F=27 \cdot 10^4 \times 2 = 54 \cdot 10^4 \text{ N} \\ L = 2\text{mm} \end{array} \right.$

Cet abaque est établi pour un acier ($400 < R < 450 \text{ N/mm}^2$). Etant donné l'épaisseur e de la tôle à plier et le rayon de pliage R , on détermine la force F qui sera multipliée par (10^4 N/m) par mètre de longueur pliée. Par ailleurs l'abaque indique la largeur minimale du bord b ainsi la largeur du V ($6 < V < 8 \cdot e$).

IV.7.2 Pliage en U

a- Sans frappe

Dans ce cas, l'effort est fortement tributaire du jeu entre poinçon et matrice. Si le jeu est égal à l'épaisseur nominale de la tôle plus la tolérance maximale, l'effort peut être défini par la relation :

$$F3 = \frac{2}{3} \times L \times Rm \times e \times \left(1 + \frac{e}{a} \right) \quad \text{IV-2)}$$

b-Avec frappe

La relation $F4 = 2,5 \times F3$ permet d'obtenir de bons résultats.

IV.8 Le retour élastique

Le pliage est obtenu par déformation plastique de la tôle donc il y a forcément une déformation élastique qui l'accompagne parce que dans les processus de pliage, la valeur d'élasticité du matériel peut être dépassée mais les limites de force élastique ne peuvent pas et de là que le retour élastique on parle aussi de recouvrement élastique se produit après retrait du poinçon est inhérent à de nombreux procédés de mise en forme [5]. Il conduit à un écart géométrique entre la forme désirée et la pièce réelle obtenue après fabrication. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la limite d'élasticité du matériau est plus élevée et son module d'élasticité plus faible.

Il se traduit généralement par une augmentation des rayons de courbure d'autant plus grande que ce rayon est grand, une ouverture des angles et un raccourcissement des fibres sous tension dans l'outil.

Après extraction des outils, la pièce ne garde pas la géométrie désirée : c'est le phénomène de retour élastique. Des hétérogénéités de contraintes apparaissent dans la pièce (encore dans l'outil fermé) :

- dans l'épaisseur de la tôle après passage sur les rayons des outils ;
- entre des zones ayant subi des trajets de déformation différents sur la pièce.

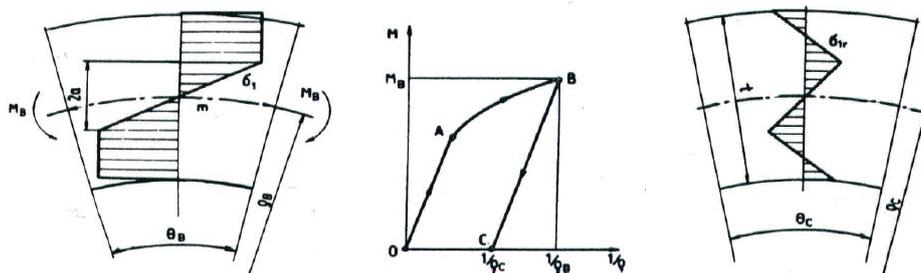


Figure IV-11 Visualisation des contraintes dans l'épaisseur du matériau après flexion (à gauche) et retour élastique (à droite)

Lors de l'arrêt de la charge, la tôle essaye de retourner à sa forme originale est coudeé partiellement. Ces contraintes se redistribuent pour obtenir un nouvel équilibre dans la pièce. La pièce « s'ouvre ». Ainsi, pour paramétrer le retour élastique, les grandeurs représentatives sont soit des variations angulaires, soit des rayons de courbure.

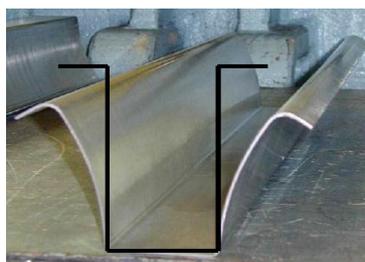


Figure IV-12. Exemple d'ouverture d'une pièce en U après retour élastique

Afin d'obtenir une pièce de dimensions conformes aux attentes, il est donc important de prendre en considération ce phénomène. Dans le but de l'atténuer, il est courant de recourir à certains artifices tels que la frappe du rayon, l'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon.

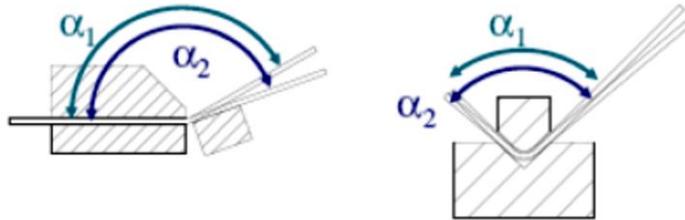


Figure IV-13 Retour élastique lors du pliage.

IV.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude théorique sur le pliage en commençant dans un premier temps par une introduction et sa définition ce qui nous a mener à présenter les différents modes de cette technique de mise en forme des tôles et puis calculer les efforts nécessaires pour la réalisation de chaque type de pli avec le rayon de poinçon.

Ensuite nous avons cité aussi un phénomène qui pose un vrai inconvénient pas seulement sur ce procédé mais que nous trouvons aussi dans notre thème de l'emboutissage.

V. LE CINTRAGE

V.1 Introduction

Les cintruses constituent un outil indispensable pour les entreprises spécialisées dans la fabrication des mobiliers ainsi que dans notre vie quotidienne.

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur les cintruses et le cintrage

V.2 Définition

Le cintrage est un façonnage des profilés sans enlèvement de copeaux, à l'aide ou sans l'aide de chaleur, sur des machines spéciales appelées cintruses dans lequel une partie de la matière d'œuvre est définitivement portée, tout en conservant autant que possible sa section, de sa position originelle dans un autre sens [1].

V.3 Procédé de travail

Dans le cintrage, une partie plus ou moins large de la matière est portée dans une autre direction par l'intervention d'une force manuelle ou mécanique (force de flexion) appliquée sur un point déterminé (pliage) ou appliquée continuellement sur plusieurs points tout près, l'un de l'autre, (cintrer et torsader).

V.4 Cintrage des tôles

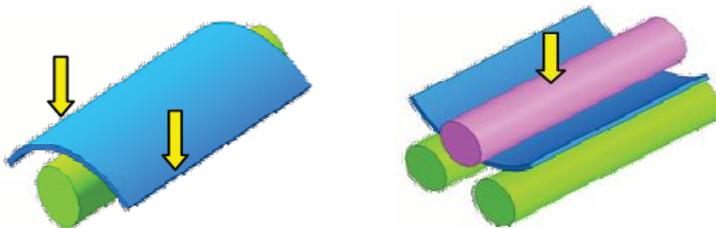
Cintrer une tôle c'est lui donner, partiellement ou totalement une forme cylindrique ou conique [1].

V.4.1 Principe

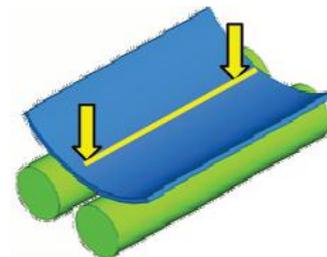
Le cintrage des tôles s'obtient par un effort de flexion provoqué :

- **Par pression** (à la main ou à la machine)
- **Par chocs** (au marteau ou au maillet)

Par pression

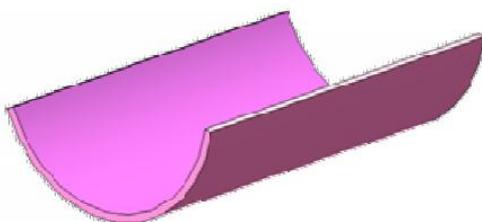


Par Chocs

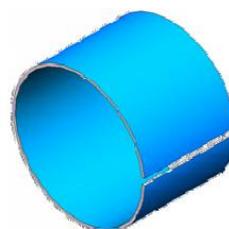


Le cintrage peut être ouvert ou fermé comme le montre la figure suivante

Ouvert (cintrage)



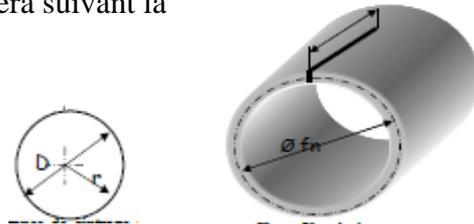
Fermé (roulage)



V.4.2 Longueur développée

Lors du cintrage les fibres qui sont à l'extérieur s'allongent, alors que celles qui sont à l'intérieur sont comprimées et se raccourcissent ; il existe une ligne qui reste constante lors du cintrage et qui délimite ces deux zones, LA FIBRE NEUTRE, elle ne subit ni allongement ni compression. Le calcul de la longueur développée se fera suivant la fibre neutre (FN).

$$L_D = \text{Périmètre} = \pi \times D = (\pi \times 2 \times r) \quad (\text{V-1})$$



V.4.3 Machines à cintrer les tôles

Elles sont fréquemment désignées sous le nom de "rouleuses" ; les organes de cintrage sont constitués par des rouleaux traités en acier dur, d'une grande résistance à la flexion [1].

- **Différents types de machines**

Les cintruses des tôles sont destinées au cintrage des tôles d'acier ou d'autres tôles, et en version manuelle et électrique, dont voici quelques exemples.

- Cintruse type « Planeur »

La disposition des rouleaux entraîneurs permet le dégauchissage des tôles minces et moyennes d'où leur désignation : Type PLANEUR

	Machine à trois rouleaux	Machine à quatre rouleaux
Principe	Les 2 rouleaux entraîneurs sont situés dans un plan vertical, le rouleau cintréur se déplace obliquement.	Cette machine comporte deux rouleaux cintréurs C1 et C2, qui permettent l'amorçage sans retourner la tôle.
Exemple et Observations		
		<p>Ce type de machine est conçu pour le cintrage des tôles moyennes et épaisses.</p> <p>Ce dispositif est très avantageux pour le cintrage de pièces lourdes et encombrantes.</p> <p>Amélioration de la machine à 3 rouleaux ; un rouleau cintréur supplémentaire évite le retournement de la tôle lors du craquage.</p>

Tableau V-1 Les machines de cintrage

V.4.4 Le croquage

Le principal avantage de ces machines est d'effectuer elles-mêmes le croquage des extrémités mais dans un sens seulement pour la machine à 3 rouleaux ; il faut donc retourner la tôle pour amorcer les deux. La machine à 4 rouleaux supprime cet inconvénient [1].

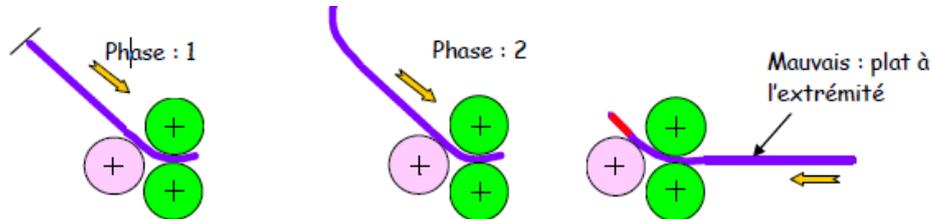


Figure V-1 Principe de croquage

Pour obtenir un cintrage total avec ce type de machine, il est donc nécessaire de « croquer » les extrémités.

D'une façon générale, le cintrage s'exécute en plusieurs passes en serrant de plus en plus le rouleau cintreur. Les génératrices du cylindre sont parallèles aux rouleaux.

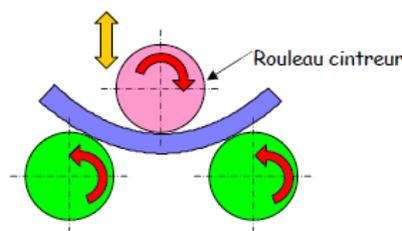


FIGURE V-2 : Cintrage total

Cintreuse type « Pyramidal » : L'action du rouleau cintreur ne se fait pas sentir dès l'extrémité de la tôle, laissant subsister ainsi un plat à chaque extrémité.

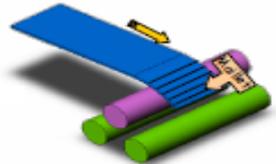
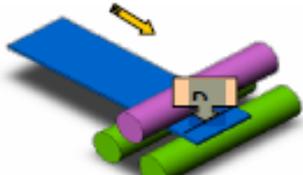
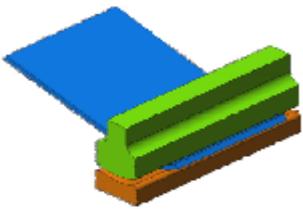
Sur tôles minces	Se fait avec un maillet sur un des rouleaux en frappant régulièrement suivant les génératrices ; (commencer par le bord)	
Sur tôles moyennes	Il se fait avec la panne du marteau à garnir, en avançant progressivement suivant les génératrices.	
Sur tôles épaisses	Il s'exécute à la presse entre une matrice et une panne de rayon approprié au cintrage à obtenir. Le croquage peut également être effectué sur presse plieuse avec outillage standard par plis successifs	

Tableau V-2-Le croquage pour différentes épaisseurs de pièce.

Dans les travaux de série, toutes les tôles sont d'abord croquées et reprises ensuite pour le cintrage.

V.4.5 Cintrage a la presse

Il est obtenu par réglage de la course du coulisseau d'une profondeur convenable dans la matrice (Point mort bas PMB).

On peut aussi garnir l'empreinte de la matrice d'un certain nombre de cales de façon à repérer la profondeur de descente du poinçon

Les tôles épaisses peuvent se cintrer à la presse hydraulique soit horizontale, soit verticale. Elles peuvent se cintrer également à la presse-plier.

A l'inverse des rouleaux qui agissent par pression continue, les presses travaillent par pressions successives.

On utilise généralement une empreinte en V ou en U reposant sur la table de la presse, et une panne arrondie montée sur le porte-poinçon. Pour obtenir un meilleur résultat, on soude sur la panne une tôle épaisse cintrée à un rayon légèrement inférieur au rayon de la pièce à obtenir.

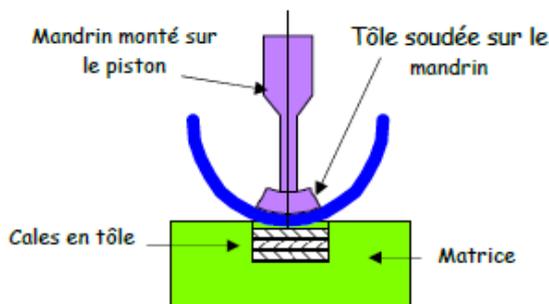
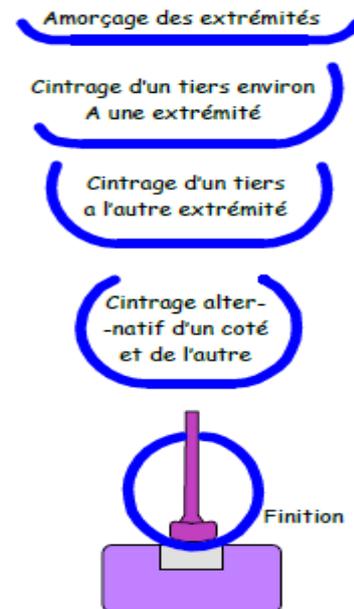


Figure V-3 : Principe de cintrage à la presse

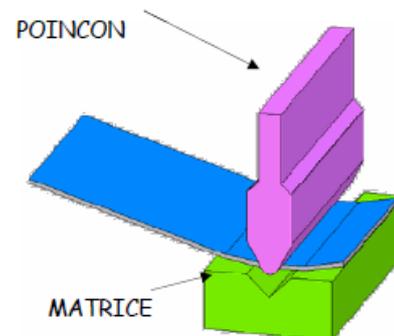


Figure V-4-Principe de cintrage à la presse

V.4.6 Cintrage d'un tronc de cône [1]

- **Le Croquage**

Il faut exécuter le croquage des extrémités puis la mise au gabarit ; deux gabarits de vérification sont utilisés : un pour la grande base, l'autre pour la petite. Il faut également s'assurer de la rectitude des deux génératrices extrêmes.

- **Le Cintrage**

- Tôles minces : Le cône se façonne facilement à la main sur une bigorne conique ; le terminer en rectifiant les deux extrémités au maillet.
- Tôles moyennes et épaisses : Les troncs de cônes sont formés soit avec une cintrouse, soit à la presse par plis successifs.

V.4.6.1 Machines utilisées

Cintreuse type pyramidal à trois rouleaux, donnant le meilleur résultat ; on emploie également la cintreuse type planeur en plaçant une butée côté petit diamètre pour permettre une rotation de la tôle ; les génératrices du cône doivent rester parallèle à l'axe des rouleaux.

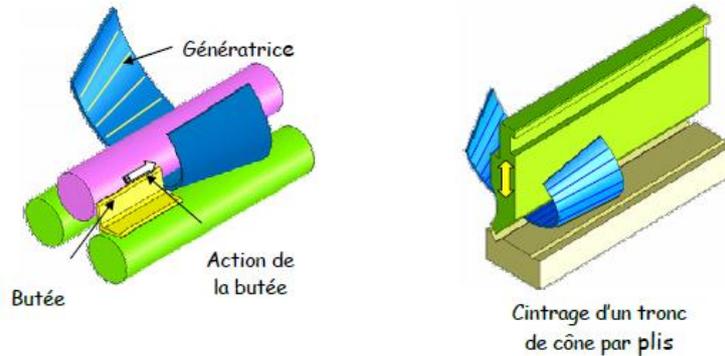


Figure V-5 Machines utilisées

V.5 Cintrage des tubes [8]

V.5.1 Principe

Le cintrage des tubes (tubes profilés également) demande des précautions particulières étant donné qu'il faut éviter la déformation des tubes (corps creux). Sans cela, la partie cintrée du tube s'aplatirait. La face extérieure de la partie cintrée aurait alors tendance de s'approcher de l'âme pendant que la face intérieure s'échapperait vers l'extérieur [8].

V.5.2 Choix du rayon de cintrage pour tube

Choisir toujours un rayon de cintrage supérieur ou égal à $3d$.

$d = \text{Ø extérieur du tube.}$

V.5.3 Les différentes méthodes de cintrage

V.5.3.1 Cintrage à la main

Le cintrage à la main donne, généralement, des résultats peu satisfaisants, car il n'est pas guidé et les actions appliquées ne sont pas toujours proportionnelles, ni localisées en fonction de la déformation désirée. De plus, la déformation de la section est libre car aucun support ne permet de la réduire au cours du cintrage [8].

V.5.3.2 Cintrage par flexion

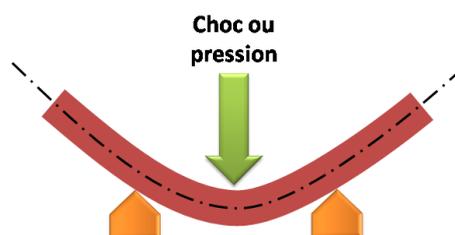


Figure V-6 Cintrage par flexion.

V.5.3.3 Cintrage par appui en porte à faux

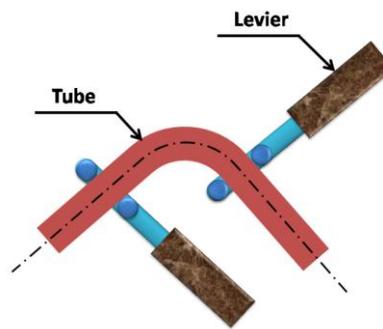


Figure V-7: Cintrage par flexion.

V.5.3.4 Cintrage à vide

Le cintrage à vide convient pour les tubes épais sur de grands rayons du fait que le risque d'aplatissement de la section est très élevé. Il se fait à chaud ou à froid selon le matériau utilisé et le genre de cintrage à exécuter.

Le cintrage à froid s'applique aux tubes inoxydables et aux matériaux non ferreux notamment le cuivre, l'aluminium et le plomb. La zone à cintrer doit être portée sur tasseau avant l'application de la force de cintrage. (**Figure V.8.**)

A chaud, on cintré surtout les tubes d'acier, vu leur grande résistance à la traction. La zone à cintrer doit être dégagée des tasseaux d'appui. (**Figure V.9.**)

Le chauffage se fait au chalumeau ou dans un four, lorsque la température désirée est jugée atteinte, on exécute le cintrage.

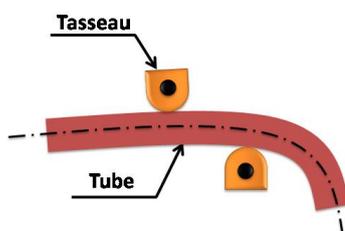


Figure V-8 Cintrage à froid.

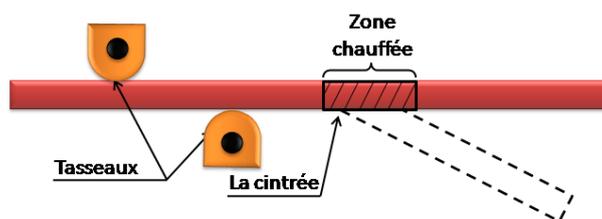


Figure V-9 Cintrage à chaud

V.5.4 Cintrage sur machine

Il nous permet des déformations régulières et progressives, d'autant plus que le matériau à cintrer est constamment guidé dans son déplacement.

V.5.4.1 Les différentes machines à cintrer [8]

Il existe plusieurs types de machines à cintrer qui diffèrent par leurs modes de travail.

V.5.4.1.1 Machine à cintrer à vérin

Le tube ou la tige prenant appui sur deux butées pivotantes est cintré par flexion sous l'action d'un sabot actionné par un piston. **(Figure V.10.)**

Le sabot cintréur présente une gorge torique qui maintient le tube sur la moitié de la section et s'oppose à l'élargissement du diamètre.

L'application des axes des butées pivotantes est réglable en fonction des rayons de cintrage à obtenir.

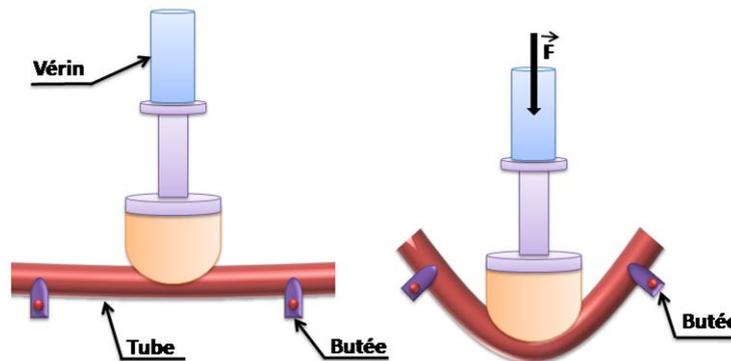


Figure V-10 Cintrage par machine à vérin.

V.5.4.1.2 Presse à cintrer

Le principe de base est le même que celui des machines à vérin. Les matrices d'appui formant les butées, accompagnent la pièce pendant le cintrage en exerçant une pression contre le sabot. Ces machines présentent l'avantage d'être rapides et sont utilisées pour les travaux de série. **(Figure V.11)**

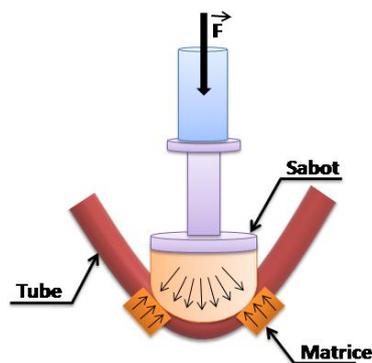


Figure V-11 Cintrage par presse.

V.5.4.1.3 Presse à cintrer à trois galets

La presse à cintrer à trois galets permet de réaliser un cintrage par flexion entre deux appuis. La rotation des galets permet de cintrer en continu sur une longueur illimitée. La pièce est portée dans la gorge des galets juste au point de tangence.

Ce procédé convient pour les grands rayons de cintrage, sur de grandes longueurs. Dans la plupart des machines les trois galets sont moteurs. **(Figure V.12)**

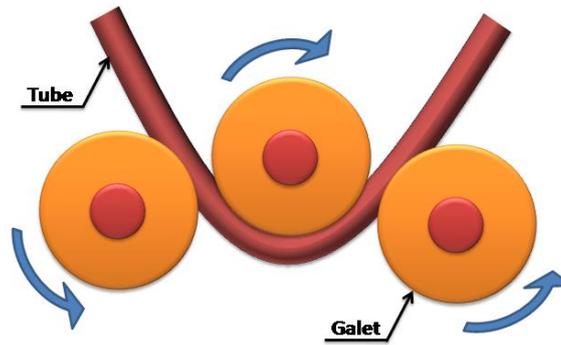


Figure V-12: Cintrage sur presse à trois galets.

- **Cintrage par enroulement et étirage**

Cette méthode est la plus répandue. Elle permet d'exécuter des coudes dans les conditions les plus difficiles. Ces machines sont équipées de trois outils à savoir :

- Une forme tournante.
- Une mâchoire ou sabot de blocage.
- Une glissière.

La pièce bloquée énergiquement par un galet central qui comporte une gorge semi torique, alors que la glissière peut être fixe ou mobile.

Pour les pièces tubulaires, la glissière fixe provoque un amincissement plus marqué à l'extérieur (Extrados). Inversement, la glissière coulissante augmente les risques de plissage de l'intrados en diminuant l'amincissement de l'extrados.

Pour remédier à cela, il convient d'introduire un mandrin à l'intérieur du tube pour qu'il s'oppose à la déformation. (**Figure V.13**)

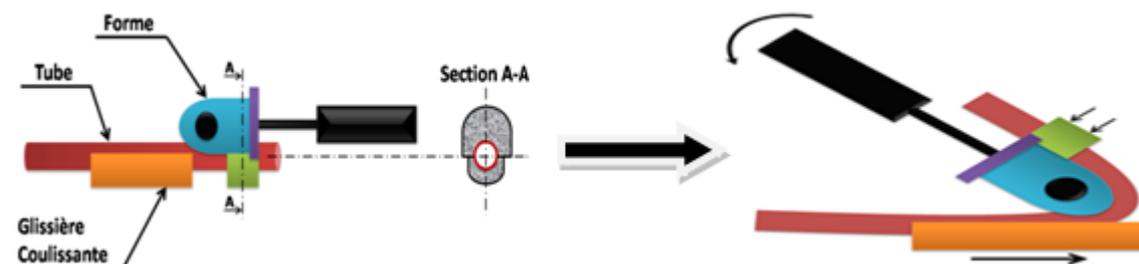


Figure V-13 Cintrage par enroulement et étirage

- **Cintrage par enroulement et compression**

Le principe de ces machines est différent de celui des machines précédentes. En effet, le cintrage n'est pas obtenu par flexion entre deux appuis, le tube est bloqué énergiquement contre une forme fixe qui porte une gorge semi torique dont les dimensions sont identiques à celles du tube à cintrer, et un galet cintreur cylindrique qui enroule le tube dans la gorge de la forme.

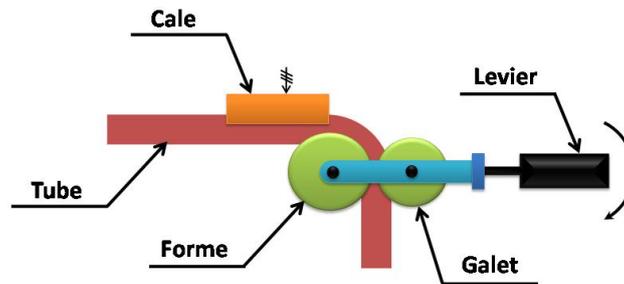


Figure V-14 Cintrage par enroulement et compression.

- **Cintrage sur machines à galets formeurs et sabots d'appui**

La force F exercée sur le tube est appliquée en porte à faux par rapport aux appuis a et b (figure V.15) qui forment des actions de contact durant le cintrage. Le déplacement simultané du galet formeur et des sabots d'appui est prévu.

Cette technique produit un maintien global et augmente la précision du résultat obtenu.

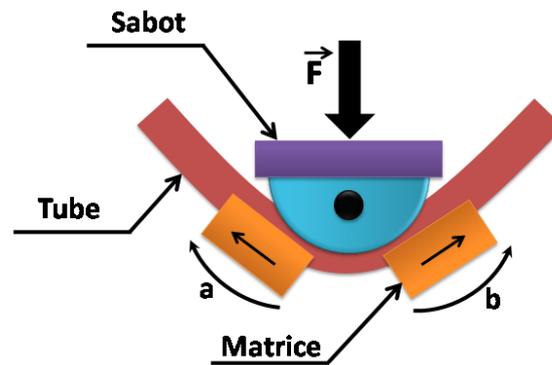


Figure V-15 Cintrage à galets formeurs et sabots d'appui

- **Remarque**

Concernant le cintrage des tubes ; pour éviter l'aplatissement, on les remplit soit par du sable, soit de la résine, ou bien par les alliages à bas point de fusion.

V.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques notions fondamentales et présenté un état de l'art sur le cintrage d'une façon générale soit sur le cintrage des tubes ou de profilés et les cintruses dont quelques exemples ont été donnés.

VI. L'EMBOUTISSAGE

VI.1 Introduction

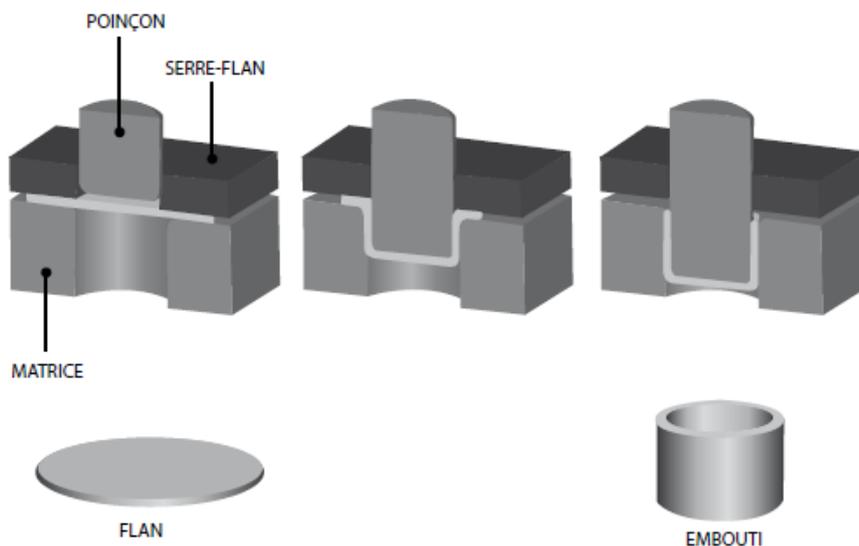
L'emboutissage est l'un des procédés de formage par déformation plastique à chaud ou à froid d'une feuille de métal initialement plane, appelée "flan". Il permet de fabriquer à partir des pièces de forme complexe non développables en minimisant les pertes de matière

Les deux (02) types d'emboutissage sont :

1. **Emboutissage à froid** (pratiqué à la température ambiante) : c'est le procédé le plus employé pour la fabrication en grande série.
2. **Emboutissage à chaud** : pour lequel la tôle est portée à la température de forgeage, se pratique quand :
 - Le métal ou l'alliage ne peut pas se conformer à froid ;
 - En raison de l'épaisseur et de la surface de la tôle, l'emboutissage à froid exige une force supérieure à celle de la presse dont on dispose.

Une telle transformation peut être produite soit en une seule étape, soit dans une séquence d'opérations, chacune modifiant la forme mais partiellement. Il est largement employé dans plusieurs domaines industriels : l'automobile, l'aéronautique, l'électroménager, ou les appareillages électriques...etc.

L'obtention de la pièce emboutie se fait par l'entraînement de la tôle sous l'action d'un poinçon qui forme celle-ci à son empreinte en fond de matrice. La figure suivante montre trois séquences de réalisation d'un embouti à partir d'un flan prédécoupé dans une tôle :



L'emboutissage est réalisé lorsque la tôle n'est pas bloquée en périphérie de la cavité de la matrice. Dans le cas contraire, la tôle ne peut pénétrer dans la matrice qu'en s'étirant et en s'amincissant, ce qui limite la profondeur du bosselage réalisable sans déchirure de la tôle. Cette situation propre aux opérations de formage se produit lorsque la tôle est retenue en périphérie soit par l'outillage ou par un rebord de tôle trop grand relativement à la partie que l'on veut déformer.

VI.2 Définition

L'emboutissage est le procédé permettant d'obtenir des pièces de formes simples non développables à partir d'un flan découpé dans une tôle. Cette opération est effectuée sur des presses. La forme est déterminée par le poinçon et la matrice.

VI.3 Principe de l'opération

Le processus d'emboutissage se décompose de la manière suivante [1] :

- Définition de la direction d'emboutissage ;
- Définition du contour et de la position du flan initial ;
- Descente du serre-flan pour plaquer la tôle sur la matrice ;
- Mise en forme de la tôle par avancée du poinçon ;
- Découpage des habillages de l'embouti afin d'obtenir la pièce finale.

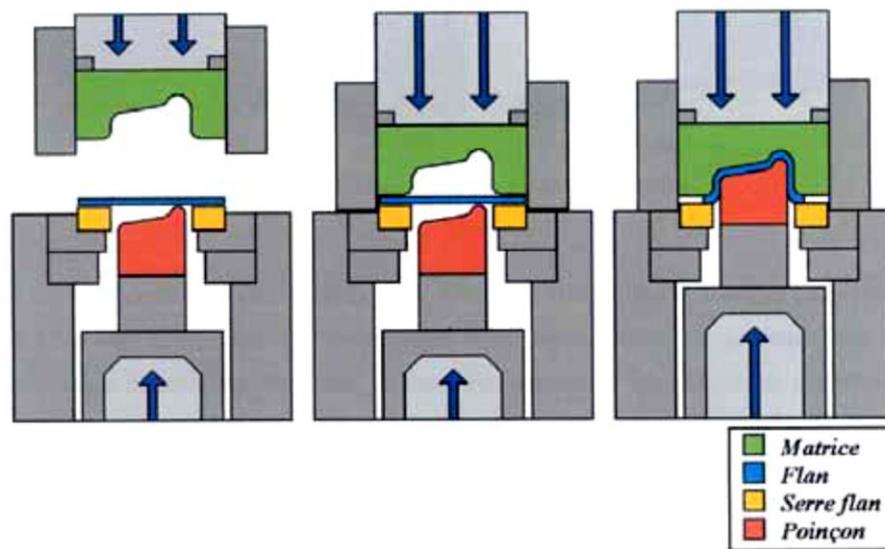


Figure VI-1 Schématisation de l'opération d'emboutissage.

Au début, le matériau doit surmonter sa propre limite élastique, succombant à la déformation plastique juste après. Le flan étant plaqué, avec une certaine force contre la matrice, par le serre-flan, un poinçon cylindrique P se déplace dans le sens de flèche F à l'aide d'une presse pour pénétrer dans la matrice M. Nous pouvons présenter le procédé d'emboutissage comme suit (Figure VI-3 et VI-2) :

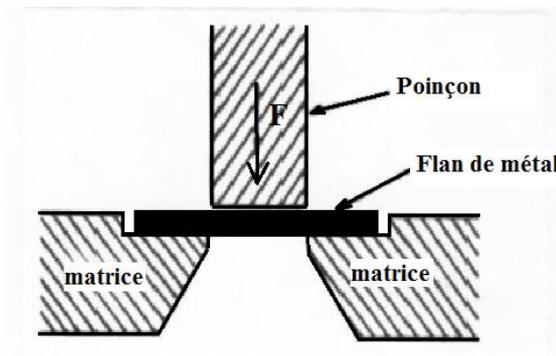


Figure VI-2 Procédé d'emboutissage.

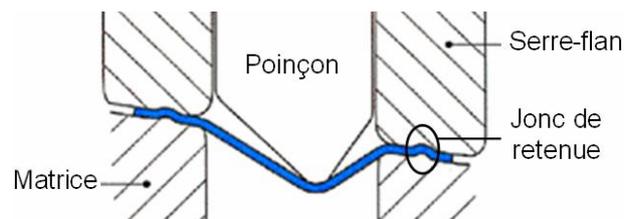


Figure VI-3 Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.

VI.4 Mode d'emboutissage

L'emboutissage impose à la tôle différents modes de déformation dont le but est l'obtention d'une surface creuse. Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation [9] :

- Mode en retraiteint (essai SWIFT ou LDR) : lorsque le flan métallique glisse librement, il n'y a pas d'amincissement du métal par emboutissage (figure VI-4), c'est-à-dire que le métal est amené à glisser entre la matrice et le serre-flan de manière à réaliser la partie droite ou jupe de l'embouti.
- Mode en expansion (essai ERICHSEN) : Si la pièce a une forme complexe mais de faible profondeur on peut bloquer le flanc entre serre flan et matrice, lorsque le flan est freiné, la paroi s'amincit en même temps qu'elle s'allonge (figure VI-4), La tôle ne se déforme alors que sur le poinçon en s'allongeant dans une ou plusieurs directions et en s'amincissant.

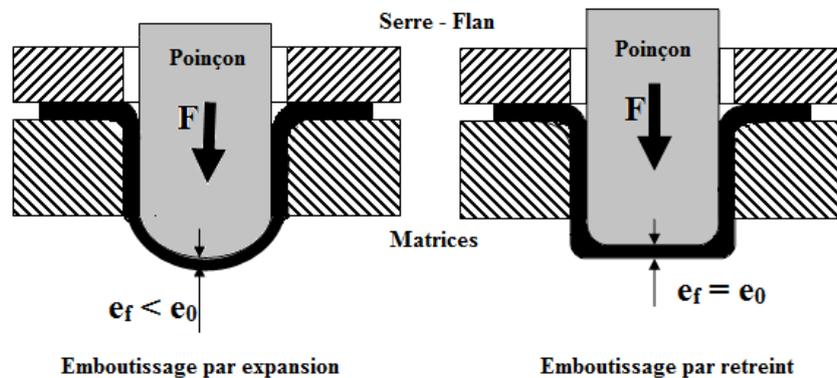


Figure VI-4 Principaux types de déformation par emboutissage.

L'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces deux modes de déformation et à optimiser ainsi l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan. Dans la plupart des cas, l'emboutissage associé à la fois des composantes d'expansion et de retraiteint c'est ce qu'on appelle emboutissage mixte.

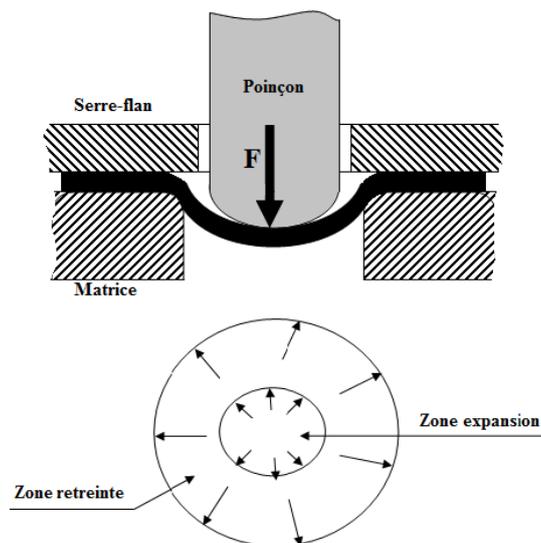


Figure VI-5: Emboutissage mixte.

- Au cours du processus d'emboutissage, La forme de la pièce et parfois même son épaisseur sont modifiées.

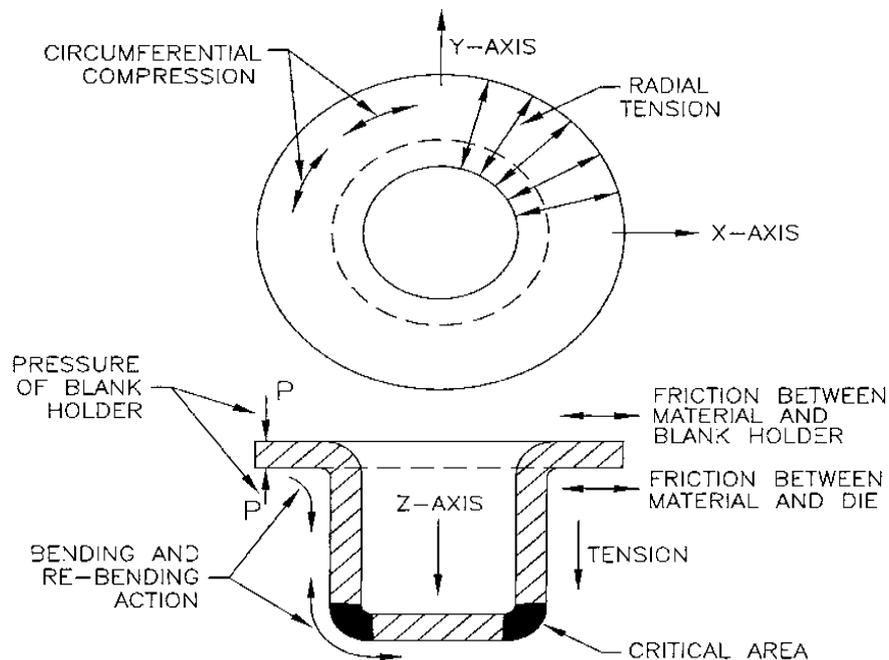


Figure VI-6 : Sollicitations mécaniques au cours de l'emboutissage

Dans l'emboutissage, les limites de la déformation admissible est fixée par la limite d'étirage des flans. Le rapport d'emboutissage LDR (limite Drawings ratio) est utilisé pour :

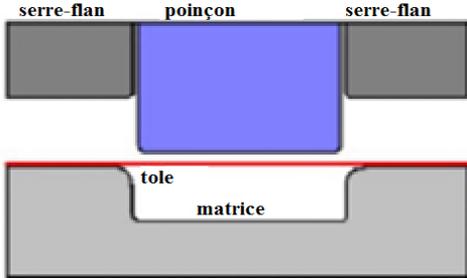
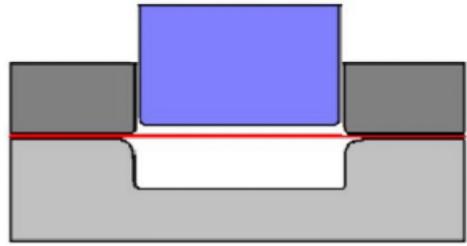
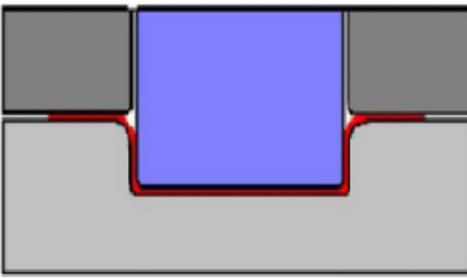
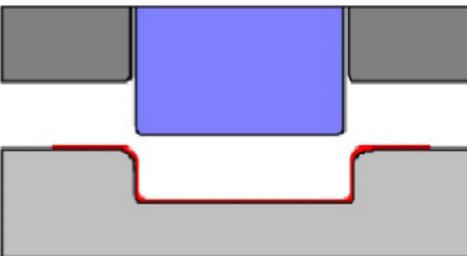
- **déterminer** combien les opérations d'emboutissage sont nécessaires pour produire une pièce sans défaut
- **juger** de la capacité d'allongement des matériaux pour emboutissage profond ;
- **calculer** la force d'emboutissage.



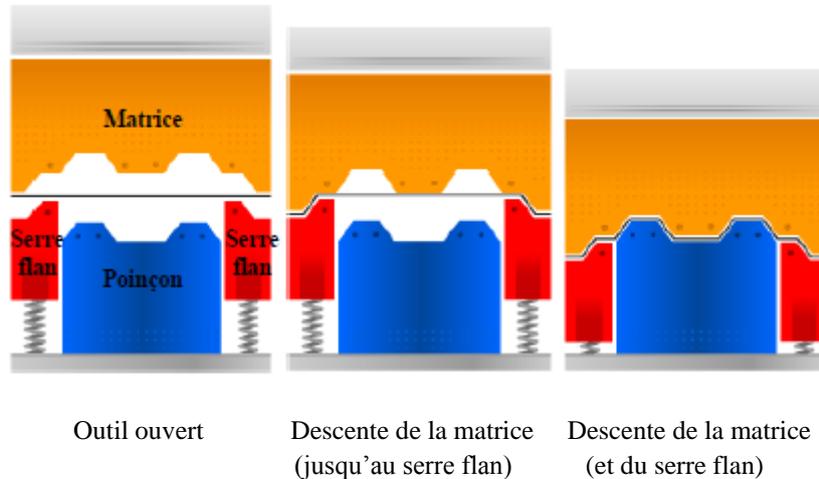
Étapes de réalisation d'une cannette

VI.5 Procédés d'emboutissage

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau. L'emboutissage passe par les phases suivantes [10]:

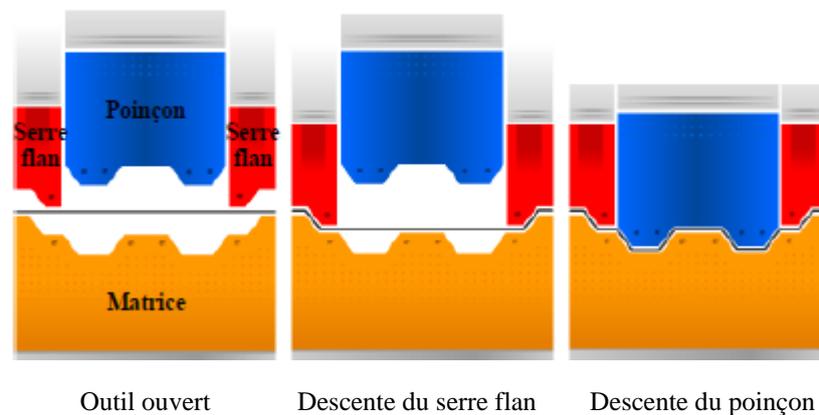
Phase 1	Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice (voir la Figure 1).	
Phase 2	Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir le tout en lui permettant de fluer (voir la Figure 2).	
Phase 3	Le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique, en l'appliquant contre le fond de la matrice (voir la Figure 3). La tôle étant maintenue avec glissement possible entre le serre-flan et la matrice, le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle, en la déformant, contre le fond de la matrice (voir la Figure 3).	
Phase 4	Le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée) (voir la Figure 4). La pièce formée reste au fond de la matrice. Il reste jusqu'à l'éjection et son détourage (voir la Figure 4).	
Phase 5	On procède au détourage de la pièce, c-à-d à l'élimination des parties devenues inutiles. (Essentiellement les parties saisies par le serre-flan).	

VI.6 Emboutissage sans serre flan simple effet.



Lors de cet emboutissage, il y a formation de plis. Ces derniers limitent la réduction du diamètre possible à 20% environ, ce qui donne des emboutis dont la hauteur est approximativement égale à 15% du diamètre.

VI.7 Emboutissage avec serre flan ou double effet



L'emboutissage avec serre-flan est utilisé pour les emboutis de toute hauteur.

VI.8 Détermination du flan primitif

La détermination des dimensions du flan primitif a pour base l'égalité des surfaces de la pièce terminée et du flan primitif mais elles ne peuvent se déterminer avec précision qu'à la suite d'essais avec les outils d'emboutissage réalisés [1].

L'outil de découpage du flan primitif n'est exécuté qu'après les essais cités dans la partie théorique.

VI.9 Arrondi sur la matrice

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. Une règle générale est de respecter, au minimum, un rayon de matrice r_m est : $5e \leq r_m \leq 10e$. Une formule simple due à Kackzmarek, permet de prévoir le

rayon de matrice dans le cas d'un embouti cylindrique de révolution. Le rayon efficace sur la matrice est estimé par la relation suivante [1] :

$$R_{mat} = k \times \sqrt{(D - d) \times e} \quad (VI-1)$$

Avec :

- R_{mat} : rayon de matrice
- e : épaisseur du métal
- D : diamètre du flan
- d : diamètre du poinçon
- $k = 0.8$ pour un acier doux, et $k = 0.9$ pour l'aluminium.

On observera pour $r = 0$ un déchirement du flan et pour $r = (D - d)/2$ la formation de plis.

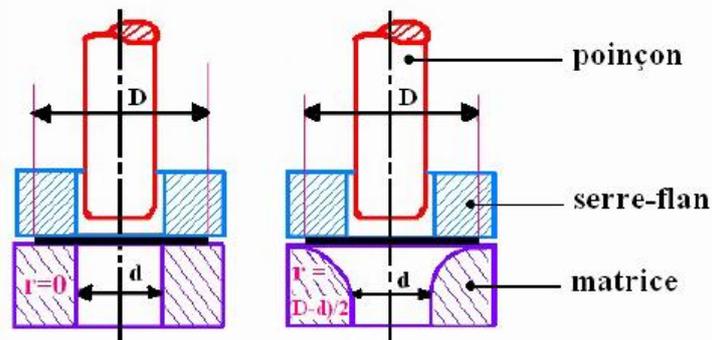
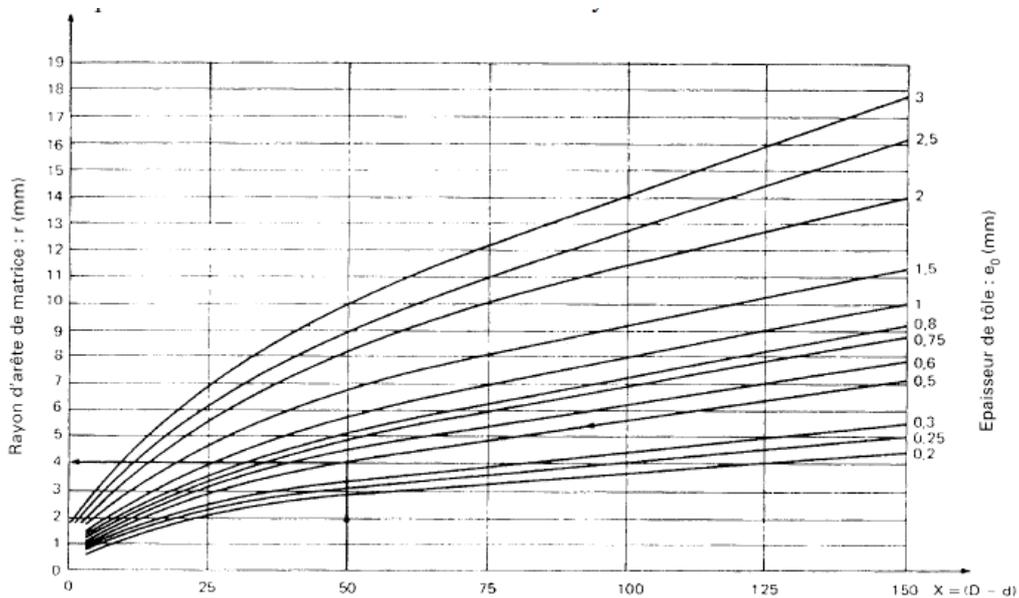


Figure VI-7: Variation de l'arrondi sur la matrice



$X = (D - d)$.
 D = diamètre de flan.
 d = diamètre du poinçon

Nota. — Les valeurs indiquées sont valables pour les métaux ferreux et les alliages de cuivre ; pour les métaux légers elles doivent être majorées de 10 % environ.

VI.10 Arrondi sur le poinçon

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec la surface inférieure du poinçon subit l'action des forces de frottements qui empêchent la matière de bouger. L'effort du poinçon se transmet aux parois de l'embouti. Le poinçon doit contenir un arrondi pour ne pas percer le flan. Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice.

Le rayon du poinçon r_p ne doit pas être trop faible pour éviter le décalage du fond de la pièce (aminçissement local de la tôle traduisant une déformation locale en expansion) ni trop important pour éviter les risques de plis [1]. Dans le cas où la pièce exigerait un faible rayon, il faut prévoir une opération supplémentaire de conformation le rayon (R_p) est limité entre $5e$ et $10e$.

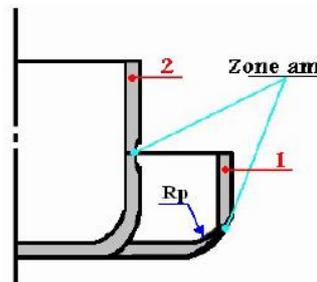


Figure VI-8 : le rayon sur le poinçon

VI.11 Rayon du flan

La formule suivante permet de déterminer très rapidement le rayon R du flan permettant d'obtenir, avec un acier doux, une pièce de hauteur h en tenant compte du rayon de coin r et du métal restant dans la collerette D :

$$R = \left(\frac{h+D}{2} \right) + r$$

Le schéma VI-8 explicite les paramètres considérés :

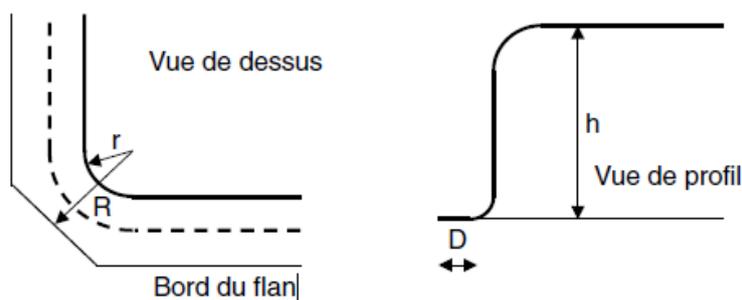


Figure VI-9 : Paramètres

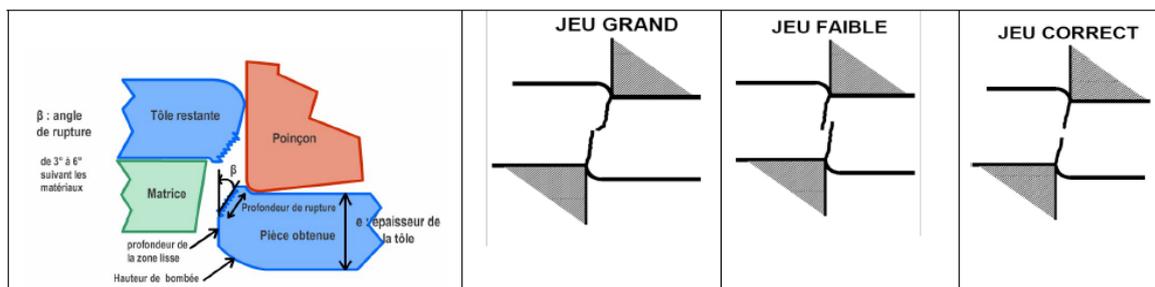
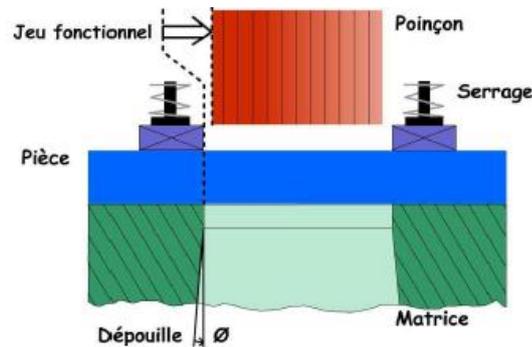
VI.12 Jeu entre matrice et poinçon [1]

Le jeu radial entre poinçon et matrice doit être plus grand que l'épaisseur nominale du métal embouti, qui sert à diminuer l'effort de poinçonnage et l'écroutissage de la zone poinçonnée et pour tenir compte des tolérances sur l'épaisseur des métaux en feuilles [1].

Il faut choisir un jeu convenable entre la matrice et le poinçon $j = D - d$.

- $j = 0.1 e$ pour l'aluminium
- $j = 0.07 e$ pour l'acier dur

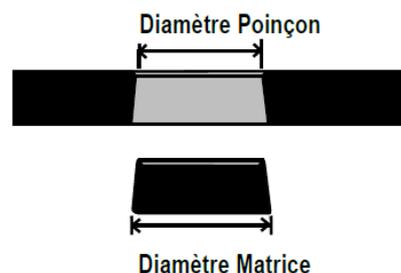
- $j \approx 0.06 e$ pour l'acier mi - dur
- $j \approx 0.05 e$ pour l'acier doux, laiton et cuivre



• **Remarque :**

Pour parler de métaux en feuille il faut que ces deux conditions soient remplies :

- $e \leq 10 \text{ mm}$ et $e \leq \frac{L}{10}$ avec : e l'épaisseur de la tôle et L la plus grande longueur en mm
- Du fait de la présence du jeu, l'ajoure dans la bande aura une forme conique, le jeu est pris sur la matrice si l'on désire obtenir un ajoure précis, sur le poinçon si le flan doit être précis.



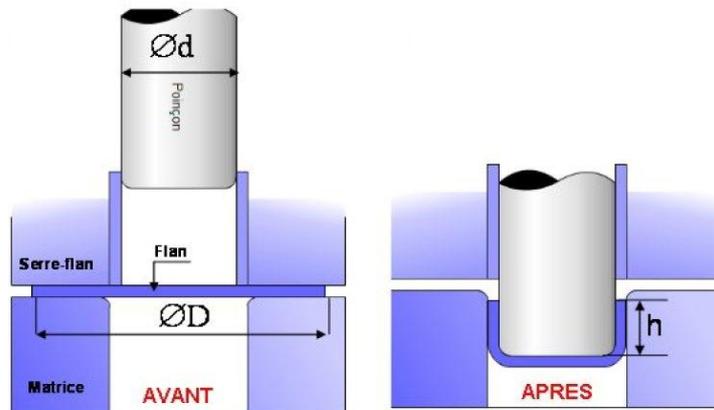
VI.13 Détermination du diamètre initial du flan

La taille et la forme du flan sont importantes pour la consommation de matières (dimensionnement correct de réduire les déchets), pour la conception de l'outillage d'emboutissage et l'optimisation du rapport coût-efficacité du processus.

Dans cette étude on considère l'emboutissage cylindrique. Lors de la détermination de la taille du flan circulaire, on suppose que l'épaisseur du matériau reste constante tout au long de l'emboutissage

Dans le cas d'un emboutissage cylindrique le rapport d'emboutissage est donné par la relation (voir figure suivante).

$$F_{BH} = P \times S_{BH}$$



VI.14 Détermination des forces d'emboutissage

La description de ces efforts n'est pas simple. Il n'existe pas de loi analytique précise permettant de les prévoir, ce qui oblige, soit à utiliser des formules approchées, soit à pratiquer des calculs par simulation numérique. Nous allons raisonner sur des pièces de forme simple (calotte cylindrique) [11].

VI.14.1 Emboutissage cylindrique

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend des diamètres de l'embouti et du flan, de l'épaisseur, du type de matériau, de la pression du serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, du rayon entrée matrice, du jeu entre poinçon-matrice et de la lubrification. Sa valeur maximale correspond à la charge de rupture par traction du métal, de la section motrice de l'embouti.

En pratique, on utilise la formule suivante :

$$F_e = \pi \times d \times e \times R_c \times K \quad (\text{VI-2})$$

Avec :

- F_e : effort d'emboutissage (en daN) ;
- d : diamètre du poinçon (en mm) ;
- D : diamètre du flan (en mm) ;
- e : épaisseur de la tôle (en mm) ;
- R_c : résistance de la tôle à la traction (en daN/mm²) ;
- K : coefficient en fonction de d/D .

d/D	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
K	1	0,86	0,72	0,6	0,5	0,4

Tableau VI-1: le coefficient K en fonction de d/D

VI.14.2 Emboutissage rectangulaire

Dans le cas de l'emboutissage rectangulaire, on utilise la formule :

$$F_e = e \times R_m (2 \times K_A \times \pi \times r + K_B \times L)$$

Avec :

- F_e : effort d'emboutissage ;
- e : épaisseur de la tôle ;
- R_m : résistance de la tôle à la traction ;
- $K_A = 0,5$ pour les emboutis peu profonds ou $K_A = 2$ pour les emboutis dont $h=5$ à $6r$;
- $K_B = 0,2$ pour un jeu important et pas de serre-flan ; $K_B = 0,3$ à $0,5$ si écoulement facile et faible serre-flan ; $K_B = 1$ si fortes pressions serre-flan,
- r : rayon de la matrice ;
- $L = 2(a + b)$.

On pratique pour les pièces cylindriques, l'effort est déterminé d'après le tableau suivant :

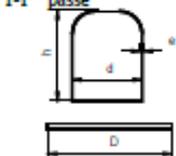
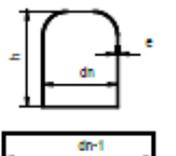
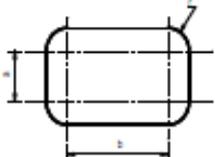
Opération	Effort (N)	Energie (J)	Observations																					
<p><i>Pièce cylindrique</i></p> <p>1-1^{ère} passe</p> 	$F_B = K \pi d e R_r$	$W_s = \frac{K_e h F_s}{1000}$	<table border="1"> <tr> <td>d/D</td> <td>0,35</td> <td>0,6</td> <td>0,65</td> <td>0,7</td> <td>0,75</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>1</td> <td>0,86</td> <td>0,72</td> <td>0,6</td> <td>0,5</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,8</td> <td>0,77</td> <td>0,74</td> <td>0,7</td> <td>0,67</td> <td>0,64</td> </tr> </table>	d/D	0,35	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	K	1	0,86	0,72	0,6	0,5	0,4		0,8	0,77	0,74	0,7	0,67	0,64
d/D	0,35	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8																		
K	1	0,86	0,72	0,6	0,5	0,4																		
	0,8	0,77	0,74	0,7	0,67	0,64																		
<p>2-n-ième passe</p> 	$F_{Bn} = 0,5 F_{Bn-1} + Q \pi d_n e R$	$W_s = \frac{K_e h F_s}{1000}$	<table border="1"> <tr> <td>dn/dn-1</td> <td>0,7</td> <td>0,75</td> <td>0,8</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>0,8</td> <td>0,6</td> <td>0,5</td> <td>0,35</td> </tr> </table>	dn/dn-1	0,7	0,75	0,8	0,85	Q	0,8	0,6	0,5	0,35											
dn/dn-1	0,7	0,75	0,8	0,85																				
Q	0,8	0,6	0,5	0,35																				
<p><i>Pièce quadrangulaire</i></p>  <p>$h = \text{hauteur}$ $L = 2(a+b)$</p>	$F_r = e R_r$ $(2K_A \pi r + K_B L)$	$W_s = \frac{0,7 h F_s}{1000}$	<p>$K_A = 0,5$ pour les emboutis peu profonds = 2 pour les emboutis dont $h=5$ à $6r$.</p> <p>$K_B = 0,2$ pour un jeu important et pas de SF = 0,3 à 0,5 si écoulement facile et faible SF. = 1 si fortes pressions SF.</p>																					
<p><i>Pièce quelconque</i></p>	$F_r = p e R_r$	$W_s = \frac{h F_s}{1000}$																						

Tableau VI-2- Effort de poinçon

VI.15 Détermination des forces de serrage du serre-flan

Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebond du flan en exerçant une pression appropriée. Si cette force est trop importante, le flan risque de se fissurer, par contre si cette force est trop faible, le flan risque de présenter des plis [12].

La présence du serre-flan ne s'impose que si $d < 0.95 D$ ou $e < 0.02(D - d)$.

VI.15.1 En cylindrique

Pour un embouti cylindrique :

$$F_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P \quad (\text{VI-1})$$

Avec :

- F_s : effort d'emboutissage
- D : diamètre du flan ;
- d : diamètre du poinçon d'emboutissage ;
- P : pression spécifique sur le serre-flan.

Matière (flan)	P (daN/mm ²)
Acier doux	0,25
Tôle étamée	0,30
Cuivre	0,20
Laiton	0,20
Acier inoxydable	0,20
Aluminium	0,12
Duralumin	0,16

Tableau VI-3 Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques

L'effort sur le serre-flan est ajouté à l'effort d'emboutissage lors d'emboutissage sur une presse à simple effet.

VI.15.2 En rectangulaire

- La force de serrage en emboutissage rectangulaire est estimée par l'expression :

$$F_{BH} = p \times S_{BH} \quad (\text{VI-2})$$

Où p est la pression de serrage du serre-flan et S_{BH} la surface du serre-flan.

VI.16 Vitesse d'emboutissage

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse [1].

1. Une vitesse trop faible, tend à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable.
2. Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan.

D'après BLISS, il existe une vitesse optimale pour chaque métal, ces vitesses sont reportées dans le tableau VI-4.

Matériau	Vitesses mm/s
L'acier	200
Le zinc	200
L'aluminium	500
Les aciers doux	280
Le laiton	750

Tableau VI-4: les vitesses optimales des matériaux

VI.17 L'emboutissage cylindrique profond

L'emboutissage profond consiste à fabriquer par formage généralement à froid une pièce creuse profonde (embout) à partir d'une feuille ou d'une plaque préalablement découpée (flan), et ce par action d'un poinçon et d'une matrice, et d'un serre-flan, sans réduction sensible de l'épaisseur. Le procédé est capable de fabriquer des pièces de formes circulaires (telles que des casseroles de cuisson), de formes carrées ou rectangulaires ainsi que d'autres formes complexes.

Les principaux facteurs déterminants dans l'opération d'emboutissage sont le diamètre du flan et du poinçon, les rayons des bords du poinçon et de la matrice, le jeu entre le poinçon et la matrice, l'épaisseur du flan, la lubrification et la pression du serre flan.

VII. Etude et conception de l'outil

VII.1 Introduction

Ce chapitre présente l'application envisagée dans le cadre de cette présente étude en premier temps, ensuite nous passerons aux calculs des efforts de découpage et d'emboutissage en tenant compte des différents paramètres de ces procédés de mise en forme des matériaux et faire le choix de la presse qu'il faut pour l'opération à effectuer en tenant compte des efforts que doit fournir la presse.

VII.2 Travail demandé

Le travail consiste à concevoir un moule d'assemblage d'un outil d'emboutissage d'un bandeau frontal d'une cuisinière ENIEM avec un matériau inoxydable, afin d'améliorer le design du moule disponible au niveau de l'entreprise. Ainsi nous allons définir les pièces formant notre outil (moule à emboutissage) et on clôture notre chapitre par la mise en plan de ces dernières.

VII.3 Cahier des charges

La pièce à réaliser est « **Le bandeau bombé d'une cuisinière ENIEM** ». Dont les caractéristiques sont présentées au dessin de définition de la pièce.

VII.4 Emplacement de la pièce

La pièce se monte en avant du la cuisinière ENIEM.



Figure VII-1: Emplacement de la pièce

VII.5 Fiche technique de la tôle

VII.5.1 Désignation de la tôle

Elle est en acier inoxydable satiné $X_2CrNi18-9$
Selon la norme EN 10088-2-2014 1.4307

VII.5.2 Dimension nominale

- 130 096A (code ENIEM)
- 0.6 mm (Epaisseur)
- 640 mm (Largeur BOBINE)

VII.5.3 Caractéristiques

- **Caractéristiques mécaniques**
 - $R_p = 220 \text{ N/mm}^2$ 0.2% (résistance limite à la rupture).
 - $R_m = 520-700 \text{ N/mm}^2$ (résistance à la traction).
 - $A = 45 \%$ (allongement après rupture A80%).
- **Caractéristiques chimiques**

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	N (%)	S (%)	P (%)
≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	8-10	17,5-19,5	≤ 0.10	≤ 0.015	0.045

VII.5.4 Aspect de surface

- La qualité de surface est : 2B/SAT
- La surface tôle en INOX doit être protégée par un film vinylique (PS/PVC) sur une la surface extérieure.

VII.6 Fiche technique de l'outil (Poinçon et portes poinçons)

VII.6.1 Désignation du matériau

Elle est en acier carbone à teneur plus élevée C45 (1.1191) (NF EN 10027-1)

VII.6.2 Propriétés

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C45, utilisée en mécanique générale de par sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécanique.

VII.6.3 Caractéristiques

- **Caractéristiques chimiques**

C	S	Mn	P	Si
0.25-0.50	≤ 0.035	0.50-0.80	≤ 0.035	0.40 maxi

- **Caractéristiques mécaniques**
 - $R_m = 560/620$ N/mm² (résistance à la traction).
 - $R_e = 275/340$ N/mm² (résistance limite d'élasticité).
 - $A = 14/16$ % (allongement après rupture).

VII.6.4 Aspect de surface

Traitement thermique

- C45 traite à 45 HRC
- XC38 cimentation (traitement superficiel)

VII.7 Description de l'outil d'emboutissage

L'outil conçu est un outil fermé, il a pour but d'améliorer le processus de fabrication de la pièce à réaliser, de proposer une meilleure solution plus économique et plus rapide pour augmenter la production (cadence) c'est un outil composé de plusieurs pièces réparties en deux parties (partie supérieure, partie inférieure).

VII.7.1 Partie supérieure

Cette partie représente la partie mobile de l'outil, elle est composée de quatre éléments :

- **Semelle supérieure** (planche 09) : elle est en FT 30. Qui porte toutes les pièces de la partie supérieure (matrice, porte matrice, colonnes de guidage). Ces dernières sont goupillées et assemblées avec des vis CHC. Cette semelle possède six trous pour passage de vis à rondelle cuvette qui donne la course du serre-flan.
- **La porte matrice** (planche 08) : elle est en XC200C12. Elle est à l'opposé des poinçons qui passent à travers elle pour poinçonner, et assurer aussi le guidage du matrice en translation.
- **La matrice** (planche 07) : Il est en C45 (trempé + revenu). Il a un double rôle, le premier est du poinçon lors de l'emboutissage de la partie interne de la pièce (ce dernier doit obliger le flan à ce déformer en glissant pour épouser sa forme) ; le second rôle est celui de buter la pièce contre le poinçon pour permettre à la pièce de ne pas se déformer lors de l'emboutissage de la partie externe) il est donc sollicité à l'usure.
- **Colonnes de guidage** (planche 12) : Elles assurent un bon ajustement entre les deux parties supérieure et inférieure de l'outil, leur matériau est en E360.

VII.7.2 Partie inférieure

Cette partie représente la partie mobile de l'outil, elle est composée de quatre éléments :

- **Cales en L** (planche 02) : ont le rôle de récupérer la distance restante pour atteindre la hauteur voulue de l'outil, et elles servent pour la fixation de la partie inférieure sur la table de la presse est en C15.

- **Cales en I** (planche 03) : le rôle se situe seulement pour récupérer la distance pour atteindre la hauteur voulue de l'outil, leurs nombres dépend de la résistance de la semelle à la flexion, elles doivent résister à l'effort fourni par la machine (presse).
- **Semelle inférieure** (planche 04) : Elle est comme la semelle supérieure du côté forme et même du côté matériau (FT 30).
- **Poinçons** (planche 05): c'est les éléments qui exécutent réellement le travail, ils sont montés dans le porte poinçon avec un ajustement pressé, ils sont en C45 (trempé + revenu) pour avoir une meilleure résistance à l'usure.
- **Serre-flan** (planche 06): il a deux rôles essentiels qui sont :
 - Le rôle du serre-flan lors de l'emboutissage de la première partie, sert à empêcher la formation des plis
 - Assurer le décrochage de la pièce lorsque le poinçon remonte et assure aussi le positionnement du flan. Il est en C45.
- **Butée de positionnement du flan** (planche 11) : il assure le bon positionnement du flan.
- **Les embases** (planche 13) : C'est un élément qui assure le guidage entre les deux semelles supérieure et inférieure par l'intermédiaire des colonnes de guidage.

VII.8 Spécification des éléments standards :

- 8 vis fraisée FHC M8 L=2.50po
- 6 vis CHC M12 L=75mm
- 2 Goupilles diamètre 12 L=110mm
- 2 goupilles diamètre 12 L=80mm

VII.9 Processus de fabrication

Le processus de fabrication de ce bandeau passe par cinq étapes :

- **1ère étape** : Elle consiste à découper des bandes à partir de la tôle fournie en format commercial standard sous forme de bobines.
- **2ème étape** : l'emboutissage sur presse hydraulique
- **3ème étape** : détournage et poinçonnage sur une presse excentrique
- **4ème étape** : opération de pliage sur une presse excentrique
- **5ème étape** : sérigraphique : Elle consiste à emboutir la plaque après lui avoir donnée une forme dans la première étape.

VII.10 Calcul de la développée de la pièce

La pièce représente une symétrie par rapport à l'axe OZ voire la (Figure VII-2)

VII.10.1 Détermination de la cote L_1

L_1 : longueur de la développée de la pièce

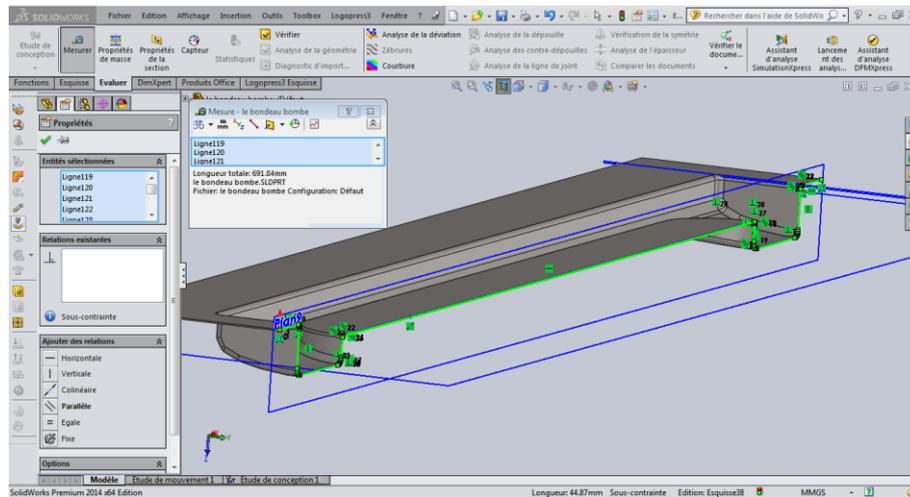


Figure VII-2: Mesure de la longueur de la développée

La longueur de la pièce est déterminée par le logiciel Solidworks par la fonction « mesurer ».

$$L_1 = 691.84 \text{ mm}$$

VII.10.2 Détermination de la cote L_2 :

L_2 : la largeur de la développée de la pièce

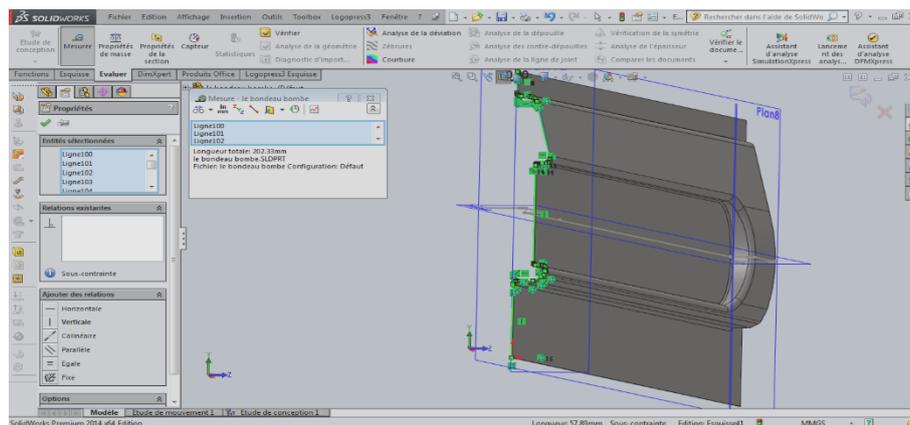


Figure VII-3 Mesure de la largeur de la développée

La largeur de la pièce est déterminée par le logiciel Solidworks par la fonction « mesurer ».

$$L_2 = 202.33 \text{ mm}$$

VII.11 Calcul des efforts

VII.12 Calcul de l'effort de découpage

VII.12.1 Le jeu de découpage

La valeur du jeu s'évalue en fonction de l'épaisseur de la bande :

Pour l'inco : 1/8 ème de l'épaisseur de la tôle.

$$e = 0.6 \text{ mm}$$

Application numérique :

$$J = 0.6 \div 8$$

$$J = 0.075 \text{ mm}$$

VII.12.2 Effort de découpage

$$F_d = P \times e \times R_c \quad (\text{VII-1})$$

Avec :

- F_d : effort de découpage ;
- P : périmètre à découper ;
- e : épaisseur de la tôle (0.6mm) ;
- R_c : résistance de la tôle au cisaillement ;

En fabrication pour compenser les frottements et l'usure des parties actives $R_c = 0,8$. R_m

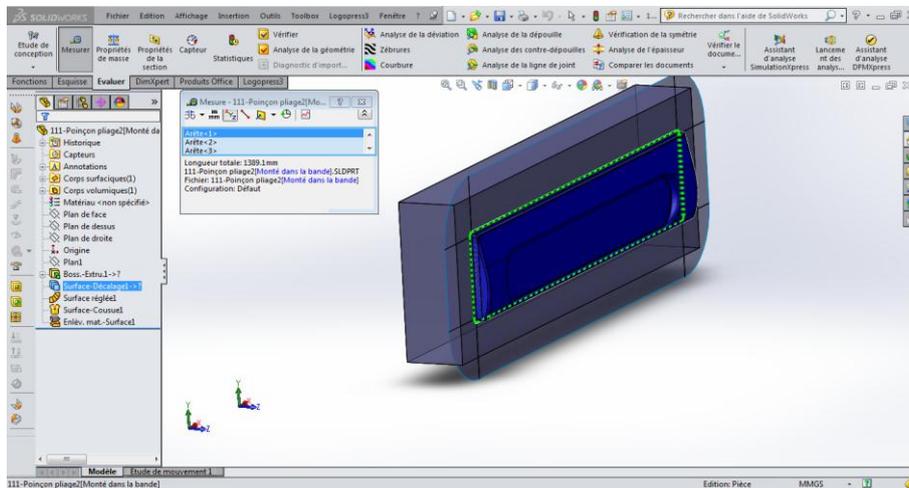


Figure VII-4 : Mesure de périmètre de poinçon

Le périmètre $P=1389.1\text{mm}$

Application numérique :

$$F_d = 1389.1 \times 0.6 \times 0.8 \times 560$$

$$F_d = 373390.08 \text{ daN}$$

VII.13 Calcul de l'effort de d'emboutissage

VII.13.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice :

Pour l'acier

$$W = e + 0,07 \times (10 \times e)^{1/2}$$

Application numérique :

$$W = 0.6 + 0.07 \times (10 \times 0.6)^{1/2}$$

$$W = 0.77 \text{ mm}$$

VII.13.2 Le rayon sur la matrice :

- $r = 0$: un déchirement du flan.
- $r = (D - d)/2$: la formation de plis.

Afin de déterminer le rayon efficace pour une tôle en aluminium, on utilise la relation suivante :

$$r = 0,8 \times [(D - d) \times e]^{1/2} \quad (\text{VII-2})$$

Application numérique :

$$r = 0.8 \times [(700 - 630) \times 0.6]^{1/2}$$

$$r = 5.18 \text{ mm}$$

Dans le cas de l'emboutissage, les angles vifs sont défavorisés contrairement à l'emboutissage

VII.14 Arrondi sur le poinçon :

Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice.

VII.15 La vitesse d'emboutissage

Pour les aciers inox : 133.33 à 166.66mm/s

VII.16 L'effort d'emboutissage :

$$F_e = e \times R_m (2k_a \pi r + K_b L)$$

Avec:

- $K_A = 0.5$ pour les emboutis peu profonds $K_A = 2$ pour les emboutis dont $h=5$ à $6r$.
- $K_B = 0.2$ pour un jeu important et pas de $SF = 0.3$ à 0.5 si écoulement facile et faible $SF = 1$ si fortes pressions SF .
- e : épaisseur de la tôle.
- F_e : effort d'emboutissage.
- $\pi=3.14$;
- R_m : résistance de la tôle a la traction.
- $L = 2(a+b)$
- $r=5\text{mm}$

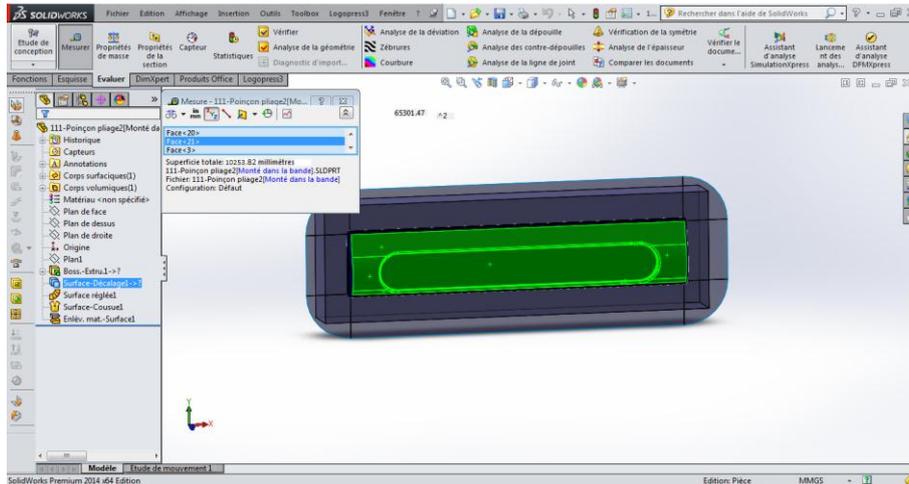


Figure VII-5 : Mesure de périmètre de contre poinçon

Calcul de périmètre $P=10253.82\text{mm}$

$$L = 2(a+b) = 2(104.24+577) = 1357.68 \text{ mm}$$

Calcul de l'effort d'emboutissage :

Application numérique :

$$F_e = 0.6 \times 520(2 \times 2 \times 3.14 \times 5 + 0.3 \times 1357.68)$$

$$F_e = 146672.448 \text{ daN}$$

$$F_e = 146.67 \text{ tonnes}$$

VII.17 Calcul de l'effort de contre pression du devêtisseur

VII.17.1 La pression sur le serre-flan

La présence du serre-flan ne s'impose que si :

$$d < 0,95 D \text{ ou } e < 0,2 (D - d)$$

Vérification avec la formule suivante : $e < 0,2 (D-d)$

Application numérique :

$$0,2 (D-d) = 0.2 (700 - 630) = 14 \text{ mm}$$

L'épaisseur de la tôle étant égale à 0.6 mm, la relation citée ci-dessus est vérifiée. De ce fait, notre moule nécessite la présence d'un serre-flan

La pression sur le serre-flan est exercée par l'hydraulique de la machine
L'effort sur le serre-flan est donné par

$$F = Sa \times P$$

Avec :

Sa : surface du flan en contact avec le serre flan.

P : la pression spécifique

Pour les acier inoxydable P=2 daN/mm²

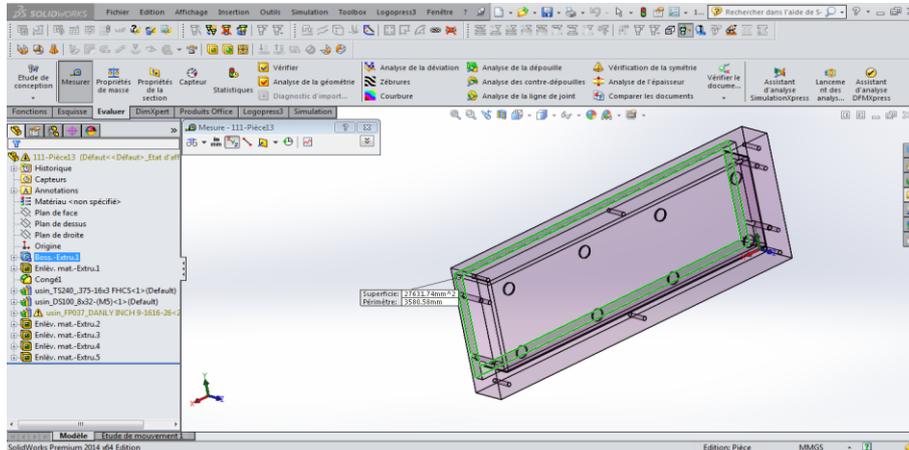


Figure VII-6 : mesure de la surface d'appui de la porte matrice

Calcul de la surface d'appui du serre-flan $S = 27631.74\text{mm}^2$

Application numérique

$$F = 27631.74 \times 2 = 55263.48 \text{ daN}$$

VII.18 Calculs et choix des ressorts

VII.18.1 Ressorts pour éjecteurs :

Pour extraire facilement la pièce du poinçon lors de la montée de la partie supérieure, des éjecteurs logés à l'intérieur du poinçon dont le nombre est $N=3$.

Détermination de l'effort d'extraction de la pièce.

$$F = P + 7\%F_e \quad (\text{VII-3})$$

Avec :

- F : effort d'extraction de la pièce ;
- P : poids de la pièce ;
- $7\%F_e$: représente le pourcentage de l'effort d'emboutissage.

$$F_e = 1466720 \text{ N.}$$

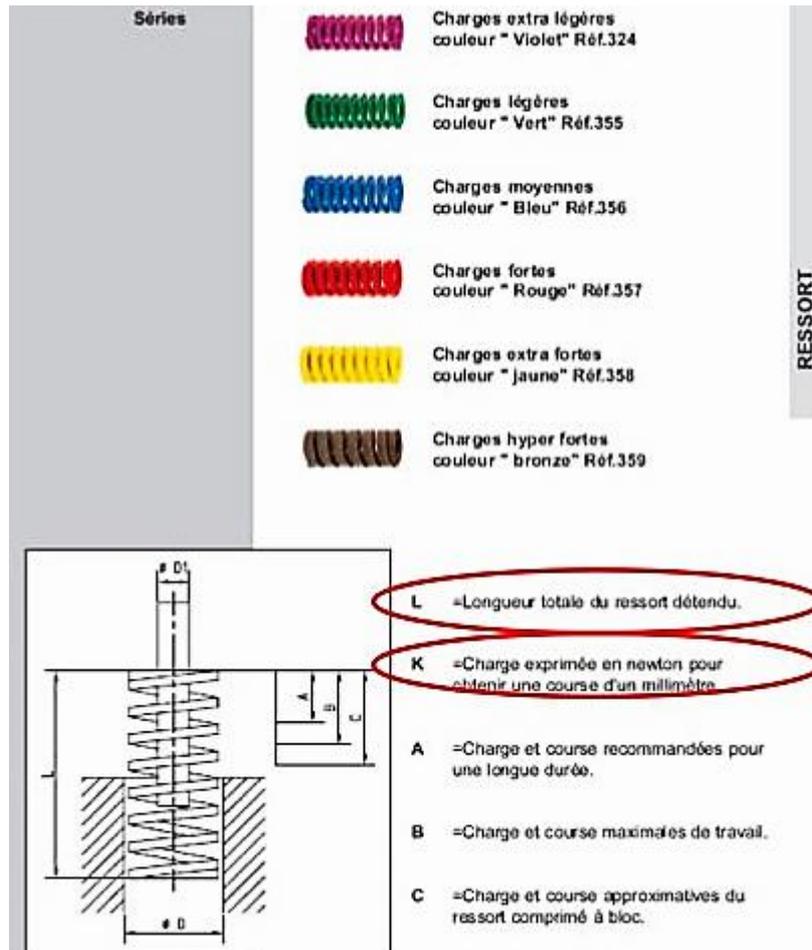
Donc :

$$7\% \text{ de } F_e = 102670.4 \text{ N}$$

VII.18.2 Choix des ressorts :

Le choix des ressorts est une opération très délicate étant donné leur fonction est d'assurer l'effort de dévêtissage qui consiste à plaquer la bande contre la matrice lors des opérations de formage pour éviter toute déformation telle que la formation de plis et éviter la remontée de la bande lors du retour des poinçons.

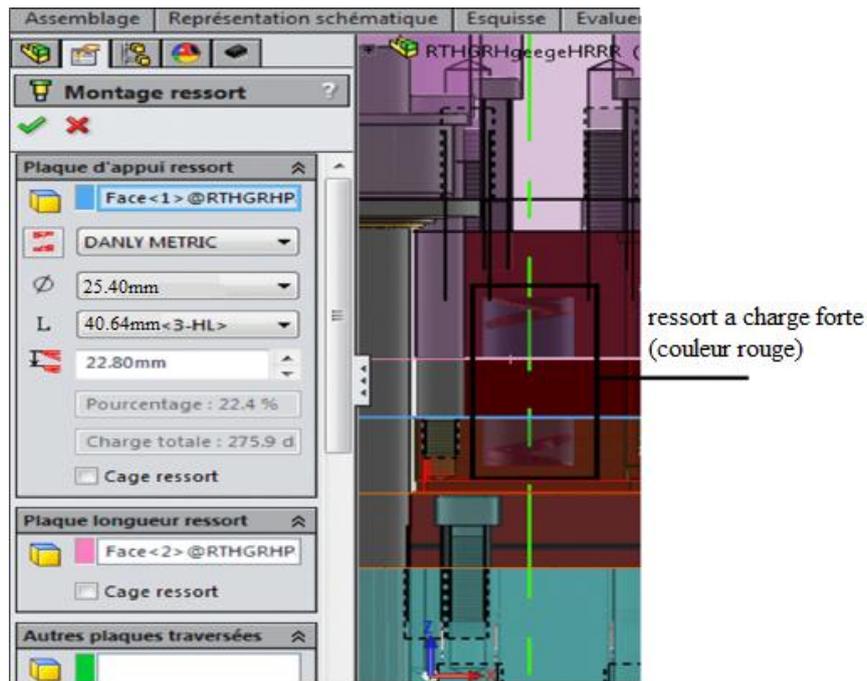
La figure suivante montre les différents ressorts classés selon leurs charges et différenciés par leurs couleurs



Logopress3 inclut une librairie de composants standard, et un puissant logiciel de conception de la structure de l'outil qui nous permet de modéliser très rapidement les principaux composants de l'outil dont tous les ressorts normalisés pour la plupart des fournisseurs existant sur le marché.

Tous les ressorts sont à charge forte et à section rectangulaire. Selon l'effort à obtenir, on divise la charge par le nombre de ressorts.

En fixant la charge et la course pour une durée de vie optimale, Logopress3 se charge de trouver le ressort qui convient en rajoutant le diamètre et la longueur tout en restant dans le rayon des ressorts à forte charge, comme l'indique la figure ci-dessous.



D'après le (tableau VII-1), on a opté pour des ressorts de caractéristique suivantes :

$D= 25 \text{ mm}$, $D1=12.5 \text{ mm}$, $L= 44 \text{ mm}$, $K= 187 \text{ N/mm}$, $A= 8.8 \text{ mm}$ (course du ressort comprimée), $F_{ressort}=1646 \text{ N}$

D	D1	L	K	A 20 %	
mm	mm	mm	N/mm	N	mm
25	12,5	25	375	1875	5
		32	297	1901	6,4
		38	219	1864	7,6
		44	187	1646	8,8
		51	156	1591	10,2
		64	123	1574	12,8
		76	99	1505	16,2
		89	84	1495	17,8
		102	73	1489	20,4
		115	65	1495	23
		127	57,7	1466	25,4
		139	52,7	1465	27,8
		152	47,8	1453	30,4
		178	41	1460	35,6
		203	35,8	1453	40,6
305	22,9	1397	61		

Tableau VII-1: représente les ressorts des charges forte

Condition de résistance à la compression : $\sigma_{com} < R_e$

$R_e = 340$ (la limite élastique de l'acier C45)

$$\sigma_{com} = \frac{F}{S}$$

Avec :

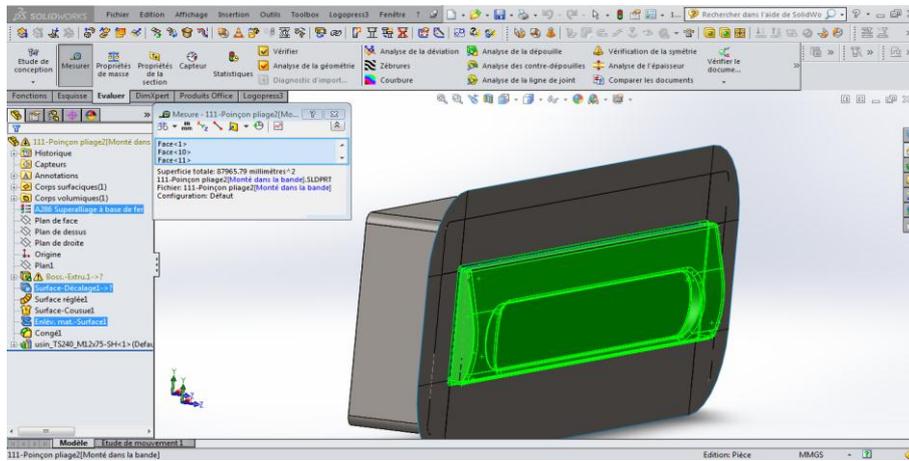
F : effort de découpage ou d'emboutissage.

S : section du poinçon

Poinçon

$F_d = 146672.448$ daN (effort de découpage / 2)

$S_1 = 87965.79$ mm² (mesuré sur SolidWorks)



Application numérique :

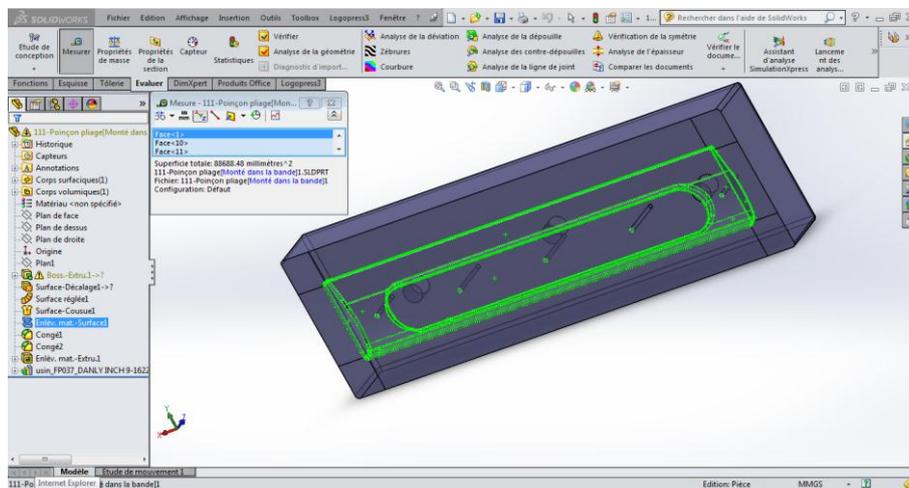
$$\sigma_{com} = \frac{146672.448}{87965.79} = 1.66 \text{ daN/mm}^2$$

La matrice :

$F_d = 466737.6$ daN (effort de découpage / 2)

$F_e = 146672.448$ daN (effort d'emboutissage)

$S_2 = 88688.48$ mm² (mesuré sur SolidWorks)



Mesure de la, surface S2 de la matrice.

$$\sigma_{com2} = \frac{F_d}{S_2} \quad (\text{VII-4})$$

Application numérique $\sigma_{com2} = \frac{146672.448}{88688.48} = 1.65 \text{ daN/mm}^2$

VII.19 Calcul de l'effort total

$$F_{tot} = F_e$$

Avec :

F_{tot}: effort total (daN)

F_e : effort poinçonnage (daN)

Application numérique : **F_{tot} = 146.67 tonnes**

Conditions de résistance de la semelle inferieure à la flexion

Pour vérifier la condition on fait appel à la simulation de SolidWorks pour une étude d'analyse statique sur un le modèle ci-dessous

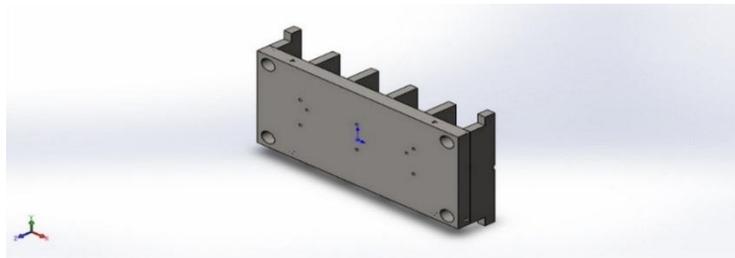


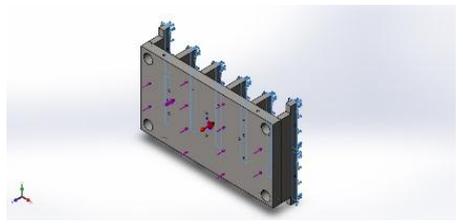
Figure VII-7: le corps volumique

Information sur le modèle

Traité comme un corps volumique constitué de trois pièce les cales en L les cales en I et la semelle inferieure

Propriétés de l'étude

C'est une étude d'analyse statique avec un maillage volumique applique avec effets thermique 298 Kelvin et une vérification des forces externes activé

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entité: 8 face(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.337097	-0.202087	1.4702^e+006	1.4702^e+006
Moment de réaction (N.m)	0	0	0	0

Informations sur le contact et le maillage

C'est un contact global plan

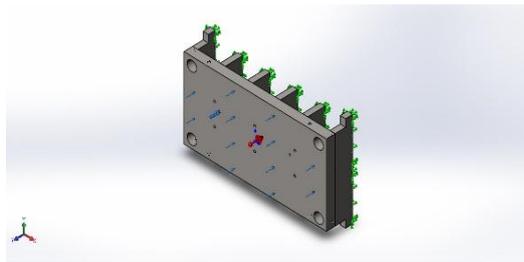


Figure VII-8 : image du contact

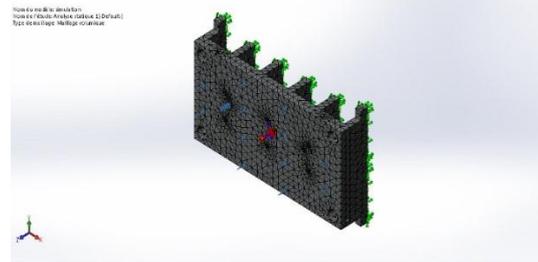
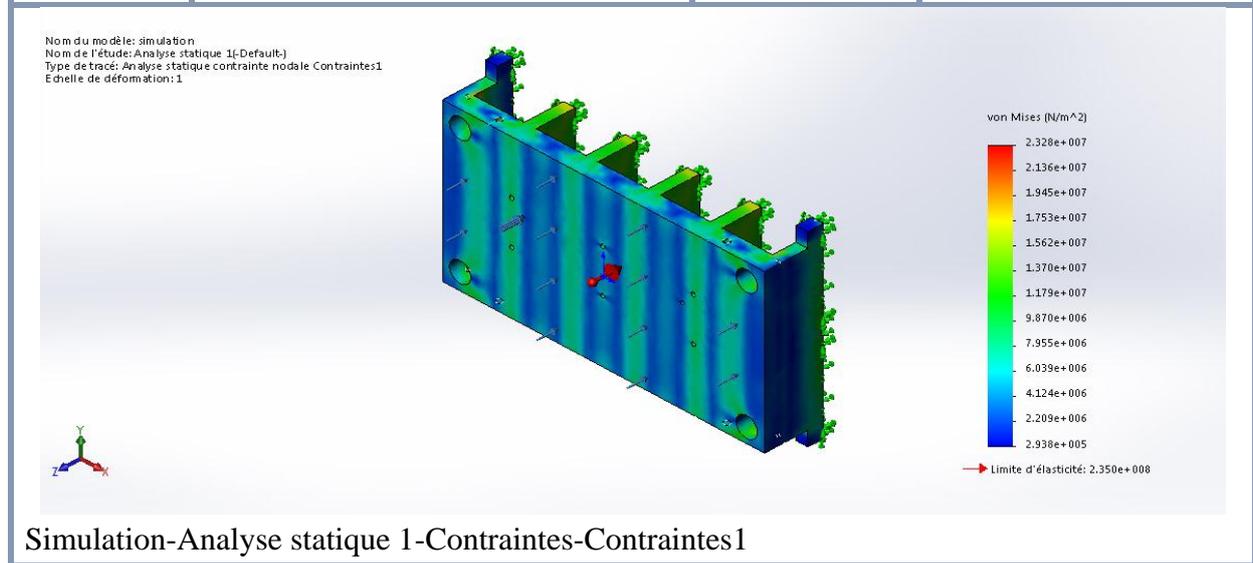


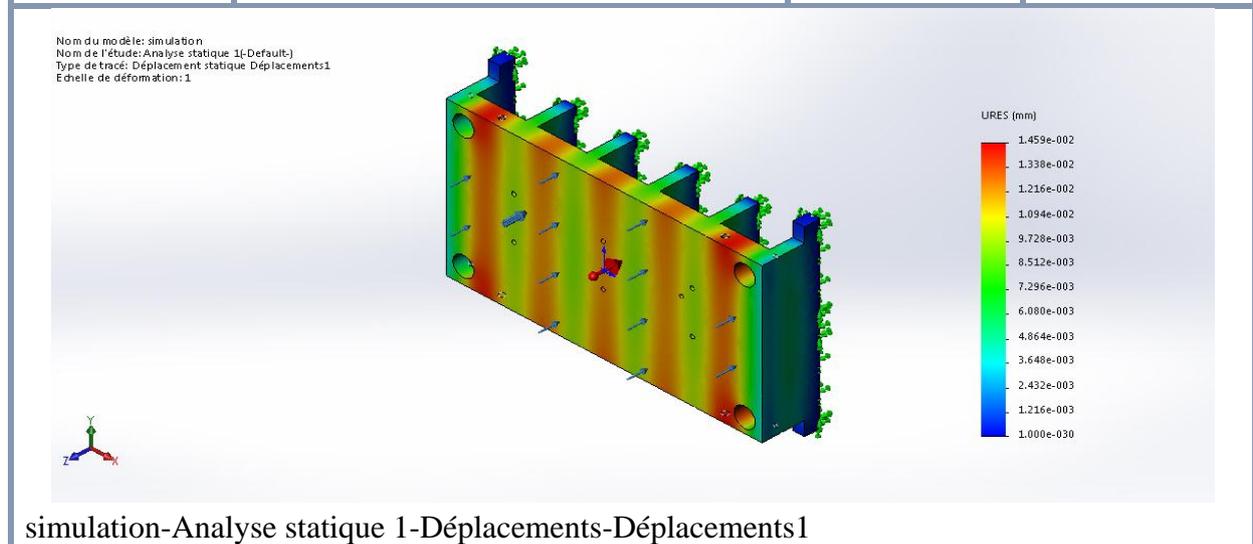
Figure VII-9 : image sur le maillage

► Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contrainte1	VON: contrainte de von Mises	293841 N/m ² Noeud: 20288	2.32762e+007 N/m ² Noeud: 22942



Nom	Type	Min	Max
Déformations1	URES : Déplacement résultant	0 mm Noeud : 108	0.0145922 mm Noeud : 15498



Conclusion sur cette étude

Après avoir réalisé la simulation, nous avons obtenu une flèche maximale d'une valeur de $y_{\max}=0.0145922$ mm, résultante d'une contrainte $\sigma_{MAX} = 23,276$ Mpa, sachant que la contrainte appliquée est de $\sigma_{Appliqué}=2.78$ Mpa, donc la condition de résistance à la flexion est vérifiée.

VII.20 Exigence pour le choix d'une presse

Pour la réalisation d'une opération, le choix d'une presse est basé sur les caractéristiques suivantes :

- La longueur de course des coulisseaux ;
- Dimensions de l'outil et la pièce ;
- L'effort nécessaire pour la réalisation d'une opération ;
- Le type de travail à envisager ;
- Cadence nominale de fonctionnement ;
- Longueur de la tôle ;
- Distance entre colonnes.

VII.21 Choix de la presse à utiliser

La force produite provient de la presse à utiliser, elle doit produire un effort supérieur à la somme des efforts (effort total de l'outil).

$$F_{pr} > F_{tot}$$

Avec :

F_{pr} : Effort de la presse, (en daN)

F_{tot} : Effort total, (en daN)

$$F_{pr} > 650 \text{ Tonnes} - \text{Force}$$

Pour notre cas, la presse disponible au niveau de l'atelier est une presse hydropneumatique de série T29 avec une capacité de 650 tonnes – force.

VII.22 Comportement de la tôle dans l'outil d'emboutissage

Lors de la mise au point, analysons les mécanismes de déformation d'un matériau dans un outil de formage. Il n'y a que deux actions mécaniques transmises par la presse :

- Une force motrice générée par le poinçon. Elle va déformer le flan et l'obliger à prendre sa forme dans la matrice,
- Une force perpendiculaire au plan de la tôle assurant la pression du serre-flan.

La presse à utiliser est une presse hydraulique de T29, ce type de presse est actionnée par la pression d'un liquide, de l'eau pour les modèles anciens et les presses modernes.

Parmi les avantages des presses hydrauliques nous citons :

- La facilité d'inversion de sens de marche même à grande vitesse ;

- L'obtention de très longues courses ;
- Permettent de contrôler constamment la pression et la vitesse de descente des coulisseaux.

Le cycle d'une opération est reparti de la façon suivante :

- Avance rapide jusqu'au contact avec la tôle ;
- Arrêt du coulisseau ;
- Emboutissage à une vitesse constante et aussi faible qu'on le désire ;
- Retour rapide.

Les presses modernes ont leur circuit entièrement logé à l'intérieur du bâti, ces circuits comprennent généralement deux étages de pression :

- Un étage à basse pression dont la pompe alimente les vérins pour l'avance et le retour au travail sous faible charge ;
- Un étage à haute pression et vitesse lente qui rentre en action lorsque l'effort résistant devient supérieur à la force engendrée par la basse pression (c'est à dire pendant la phase active de l'emboutissage).

Caractéristiques techniques des presses

Désignation des presses	Tonnage (T)	Encombrement		Cours du coulisseau	Plage de réglage du coulisseau	Point mors haut	Point mors bas
		Table (mm)	(mm) coulisseau				
T27 excentrique	630	4730 X 1500	4500 X 1500	400	200	1330	930
T29 hydraulique	650	2000 X 1500	2000 X 1500	300	-	1400	1100
T31A excentrique	315	1850 X 1250	1750 X 1250	315	160	1040	725
T31B excentrique	200	1850 X 1250	1750 X 1250	315	125	1040	725
T31C excentrique	200	1850 X 1250	1750 X 1250	315	125	1040	725
T31D excentrique	200	1300 X 850	1000 X 700	200	120	670	470
T31E excentrique	157	1050 X 680	900X570	-	-	-	-

VII.23 Conclusion

La mise à plat de la pièce avec Logopress3 nous a permis d'avoir les dimensions du flan et le choix des ressorts sans avoir recours aux essais expérimentaux, ce qui représente un gain de temps et une économie. En effet, les erreurs commises lors de la modification des outils après les différents essais comme la correction des rayons des poinçons sont irréversibles.

Le module d'outil nous a offert plusieurs avantages, le meilleur tel que l'optimisation du placement du poinçon, le calcul de tous les efforts et la meilleure disposition de la pièce.

Nous avons conçu notre outil de manière à être fiable (choix des matériaux, et surdimensionnement des éléments), précis (guidage de l'acheminement de la bande) et rentable.

VIII. Conclusion Générale

VIII.1 Conclusion

La technique de formage la plus répandue dans l'industrie est l'emboutissage. Cette étude nous a permis à l'occasion de l'aborder et d'élargir nos connaissances dans ce domaine de fabrication, ce dernier existe depuis longtemps sa contrainte est toujours croissante dans l'industrie

Dans un premier temps, nous avons commencé par une présentation d'une étude théorique qui nous a amenés à faire un travail de recherche très poussé dans le domaine du formage des feuilles qui a nécessité une documentation technique adéquate pour bien les décrire (Découpage, Poinçonnage, Pliage, Cintrage, Emboutissage). Puis, nous avons défini le procédé d'emboutissage et montré son importance sur le plan de fabrication et économique : (les essais de caractérisation, les paramètres du procédé, les défauts rencontrés dans ce procédé...), nous avons aussi énuméré les étapes de l'emboutissage et l'évaluation des efforts pour chaque procédé, pour la conception d'un outil d'emboutissage qui serve à la réalisation de la deuxième phase de la fabrication après avoir découpé le flan d'une pièce de cuisinière appelée «bandeau frontal».

Les connaissances acquises lors de l'étude théorique des différentes caractéristiques et les matériaux utilisés pour la réalisation nous ont servis de base pour la conception de notre outil et le choix de notre solution est le fait parmi tant d'autres existants (avec ses inconvénients et ses avantages), elle est prise d'une manière à faciliter la réalisation de la pièce et avoir un coup de revient plus bas possible avec une bonne qualité de fabrication.

Notons que pour l'élaboration de ce travail nous avons appris l'utilisation d'un logiciel spécialisé dans le domaine de la mise en forme par déformation plastique des métaux en feuilles tel que Logopress3 nous a offert la possibilité de simuler au plus près du réel l'opération d'emboutissage, et de détecter les différentes zones fragilisées comme la flexion de la semelle inférieure, la localisation de déplacement des points. Et les moyens techniques existants au sein de l'entreprise, sans oublier l'aide de son personnel

En choisissant ce thème, nous avons pu explorer une bonne partie de Logopress3. Nous aurions aimé approfondir le sujet, configurer bien plus d'avantage de paramètres, comme le retour élastique par exemple.

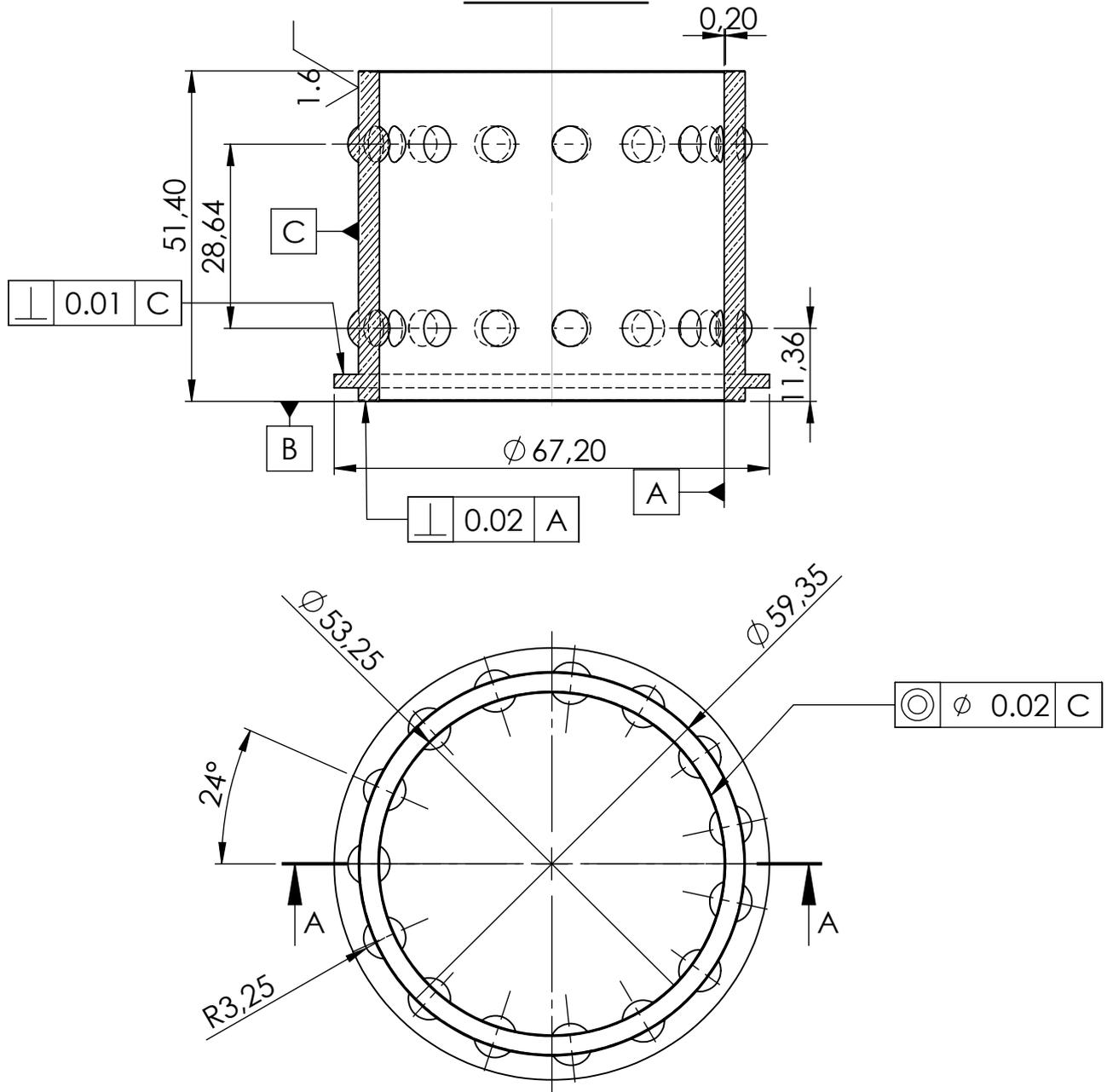
En fin, nous souhaitons que ce travail puisse être utile à l'entreprise, malgré nos efforts pour mener à bien cette étude, nous ne prétendons jamais est parfait, par conséquent il reste ouvert aux critiques et aux propositions allant dans le sens de son éventuelle amélioration.

Bibliographie

- [1]. Haddadou Mahdi, aichoun Mohammed « Etude et conception de deux outils de découpage-poinçonnage et de pliage pour clapet air bruleur », mémoire de master II en Construction mécanique, UMMTO 2013.
 - [2]. Crisbon D.J., « Experimental measurement and finite element simulation of spring back in stamping aluminium alloy sheets for Auto-body panel application», Dep. Mechanical University, Mississippi State University, 2003.
 - [3]. P. Poloukhine, V. Tiourine, P. Davidkov, D. Vitanov, Traitement des métaux par déformation. Mir Moscou 1987.
 - [4]. Ait Amrane Lyes, Djerdi Ahmed, Etude et conception d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur. UNIEM, mémoire de master, Université MOULOUD MAMERI.TIZI- OUZOU, Année 2016 -2017.
 - [5]. Chamekh Abdessalem, Optimisation des procédés de mise en forme par réseaux de neurones artificiels, Thèse de doctorat, Ecole nationale d'Ingénieurs de Monastir Tunisie, 2007.
 - [6]. Col A, Emboutissage des tôles : Importance des modes de déformation, Techniques de l'ingénieur, BM 7510, 2002.
 - [7]. Mourad Jerbi, Procédé de mise en forme, support de cours génie mécanique niveau1. I.S.E.T. N, Département GM.
 - [8]. [A. B. Ismail. Modélisation de la découpe des tôles ferromagnétiques : corrélation entre l'état mécanique et les propriétés magnétiques. PhD thesis, Université De Technologie De Compiègne, 2000.
 - [9]. L. Girardot, Technologie. Professionnelle pour L'outilleur, Découpage, Cambrage, Emboutissage, FOUCHIER, France.
 - [10]. Technique de l'ingénieur, Mise ou forme des métaux en feuille, SNDL.
 - [11]. Etude et conception et simulation pour la réalisation de deux outils à presse bande pour les plaques d'appuis. Université mouloud Mammeri 2015/2016.
 - [12]. Saadi Toufik « Étude et conception d'un outil à suivre à bande », mémoire de master II, en fabrication mécanique, UMMTO 2014.
 - [13]. R. Quatremer « Déformation plastique des tôles », édition DELAGRAVE, 1981.
 - [14]. D. François, Essais mécaniques des métaux, Technique de l'ingénieur, Doc M120. 1993
 - [15]. Documentation ENIEM.
 - [16]. Belhocine Zohra, Etude et conception d'un outil de détournage et poinçonnage d'une pièce (autonettoyant) pour cuisinière E.N.I.E.M, Mémoire de master II en construction mécanique, UMMTO, 2015.
 - [17]. Gréban F., Découpabilité du cuivre et des alliages cuivreux, Thèse de l'Université de Franche-comté, Besançon, France, 2006.
-
-

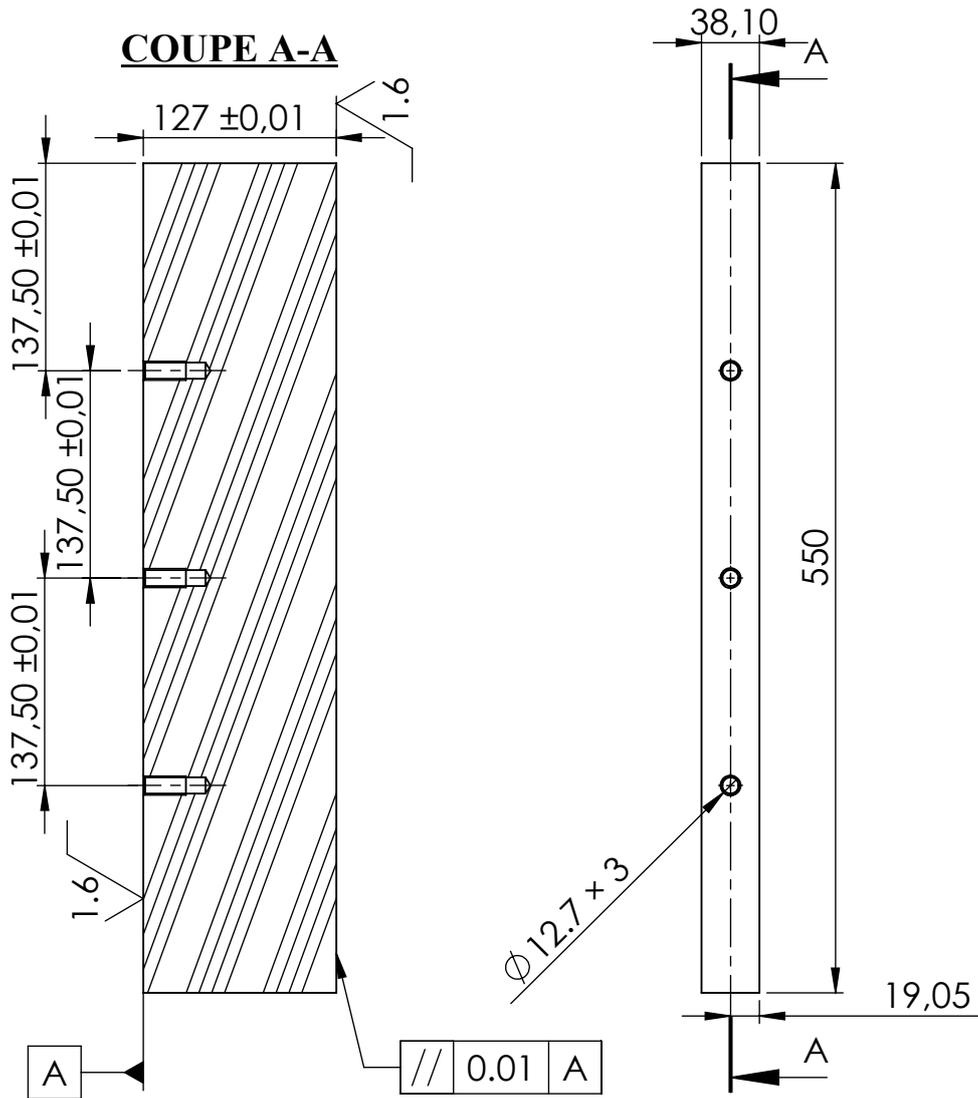
Annexe

COUPE A-A



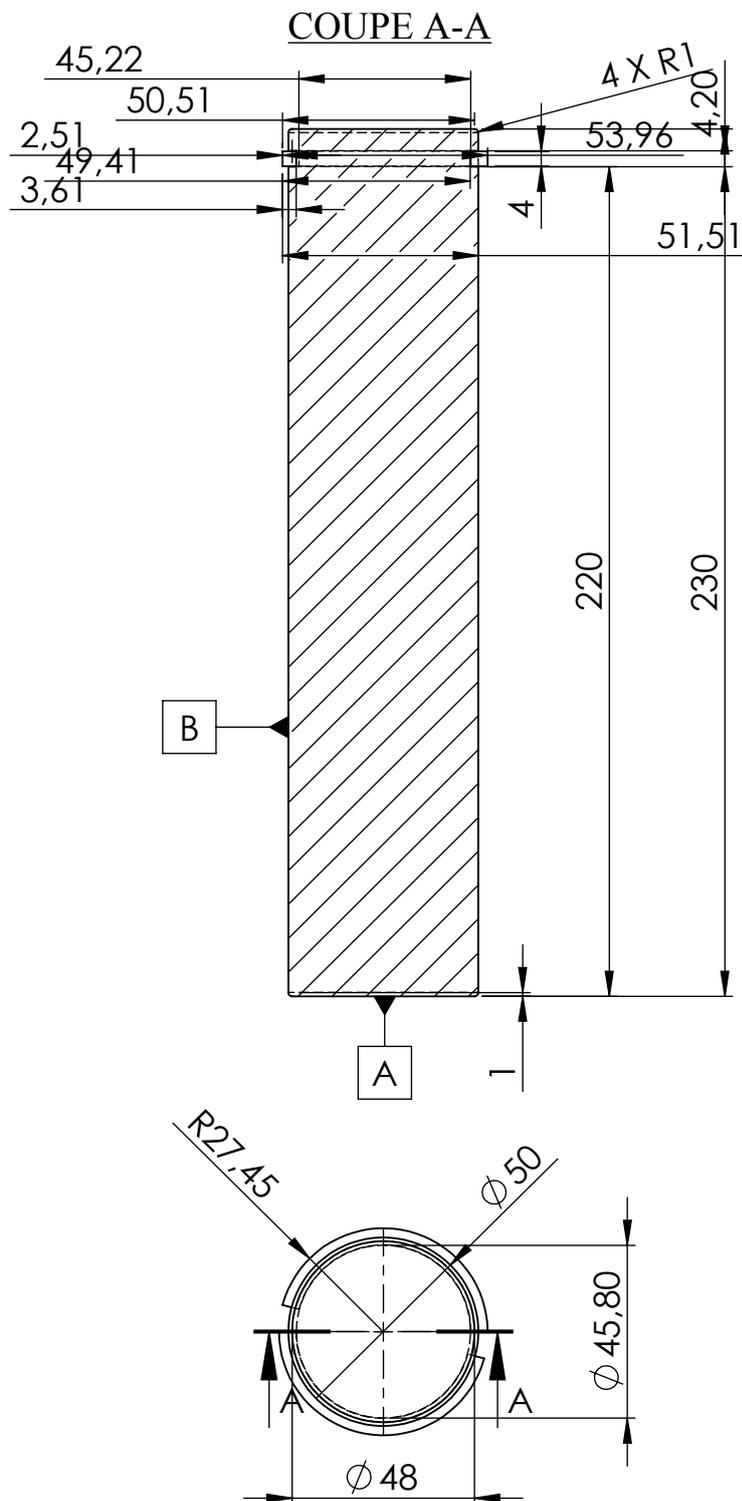
Tolerance ± 0.05 Sauf IND

12	04	Bague de guidage pour l'embase	XC 65	Traitée
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 1		Bague de guidage		surface $Ra = 3.2$
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°: 14
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018

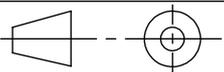


Tolérances : ± 0.05 Sauf indications

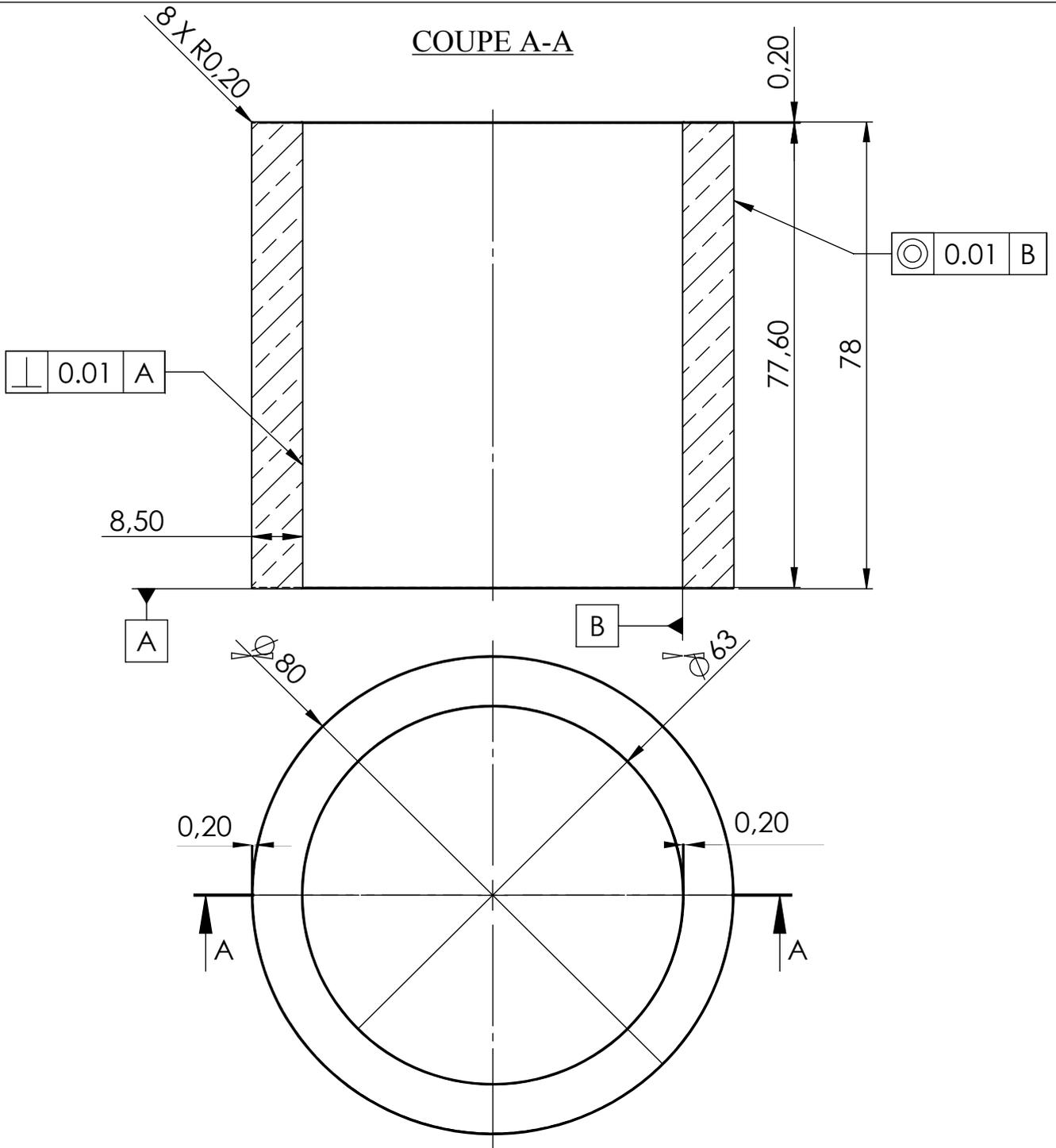
17	04	Cale en I de l'outil d'emboutissage	C 15	Traitée
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 5		Cale en I		surface $Ra = 3.2$
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°:03
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018



Tolérance ± 0.05 Sauf indications

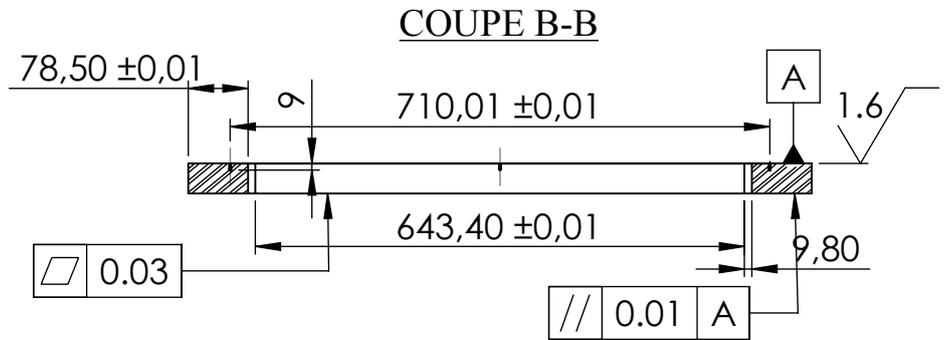
02	04	Colonne de guidage pour l'embase	E 360	Traitée
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 2		Colonne de guidage		surface $Ra = 3.2$
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°: 12
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018

COUPE A-A

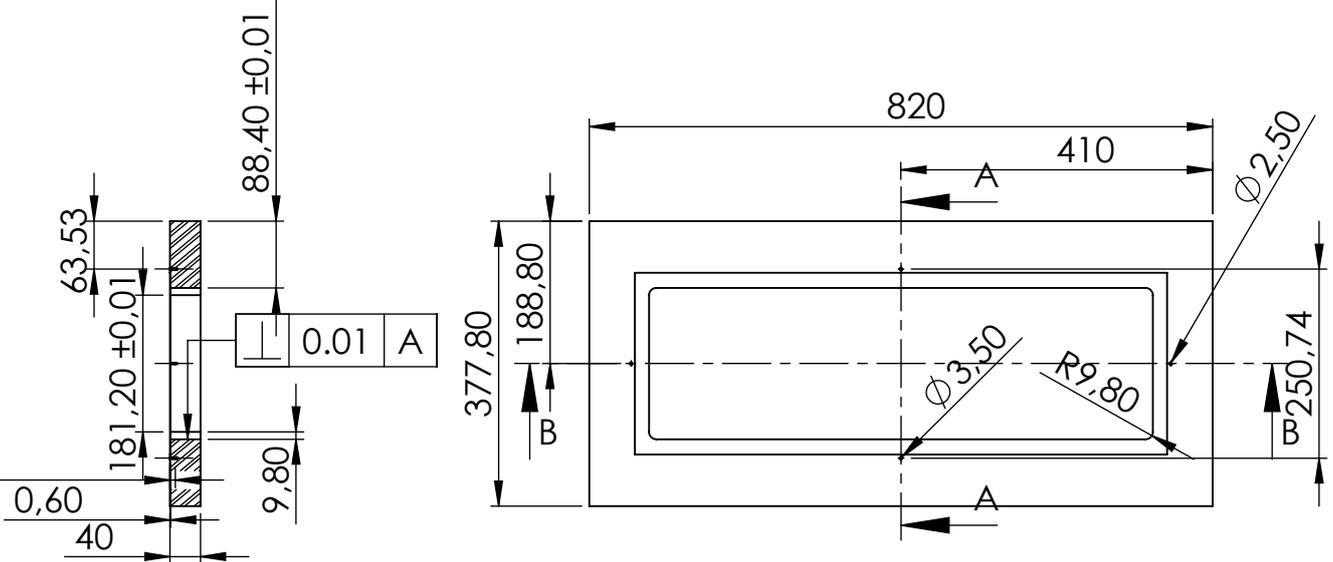


Tolérance ± 0.05 Sauf indications

11	04	Embase pour l'outil f'emboutissage	Cu Zn 28	Traitée
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 1		Embase		surface $Ra = 3.2$
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°: 13
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018



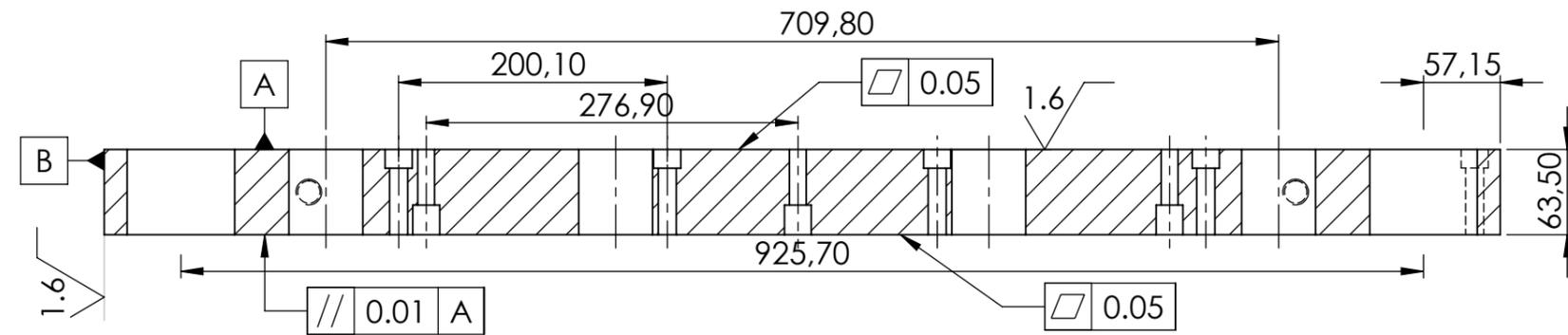
COUPE A-A



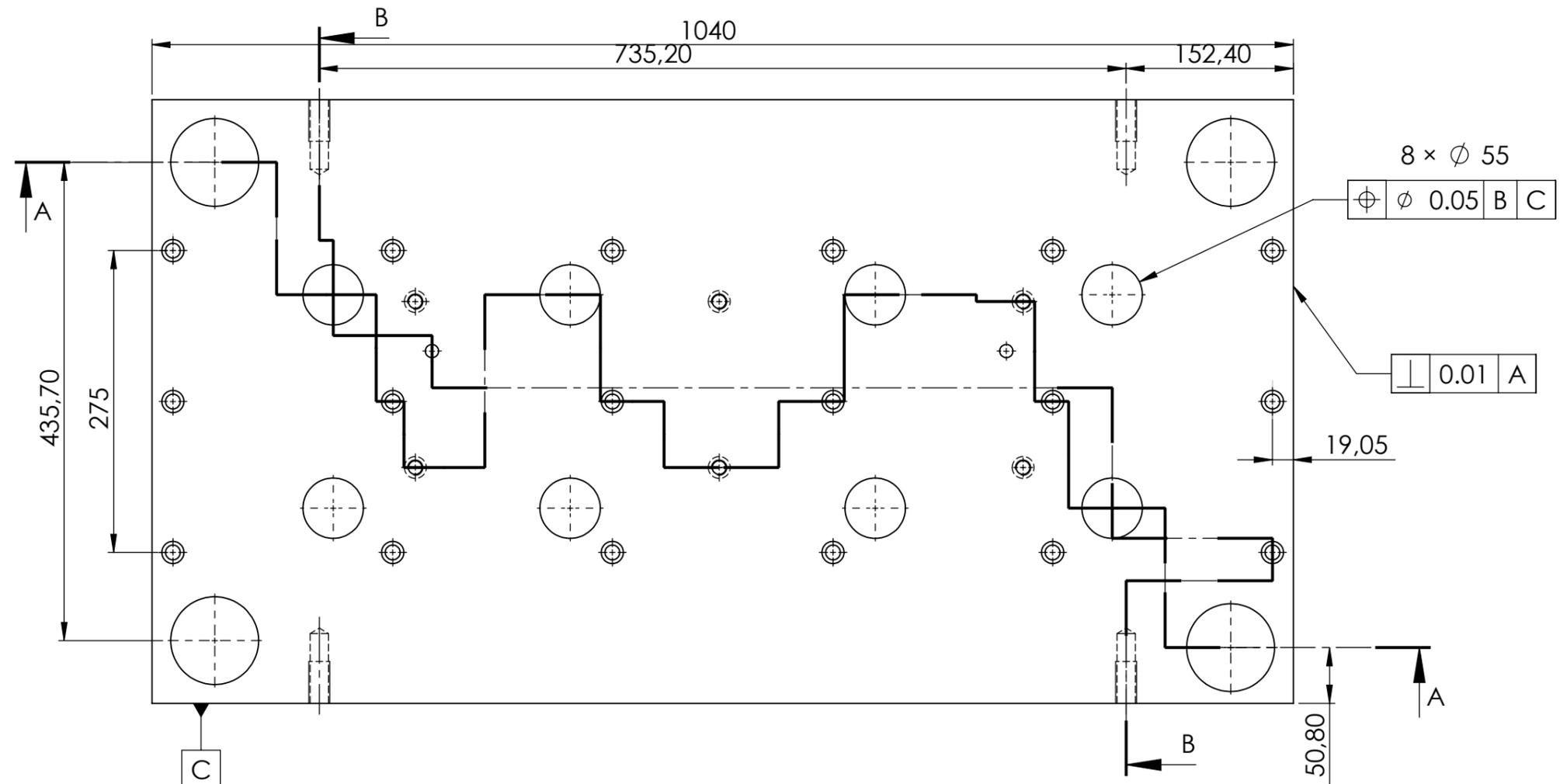
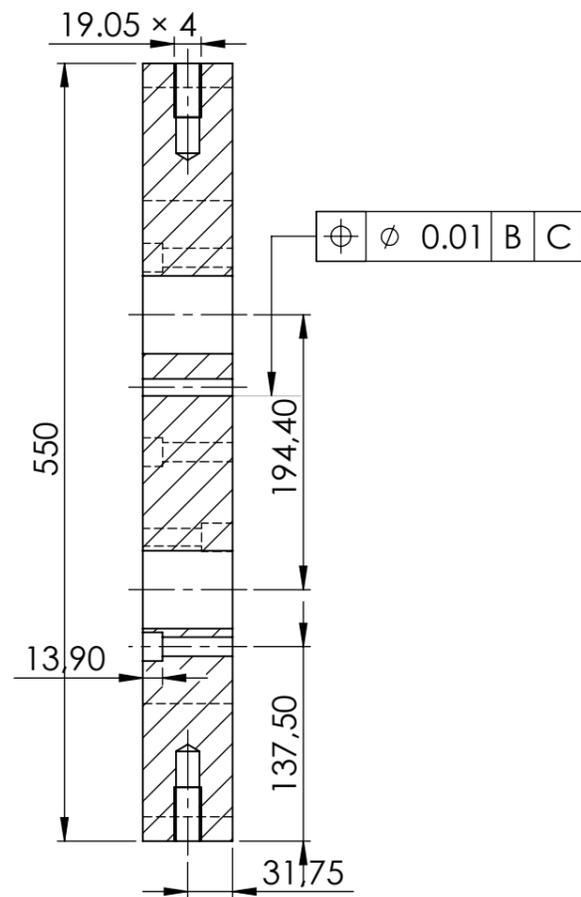
Tolérances: ± 0.05 Sauf indications

Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
13	01	Le serre-flan de l'outil d'emboutissage	C 45	Traitée
Echelle 1 : 10		Le Serre-flan		surface Ra=3.2
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°: 06
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018

COUPE A-A



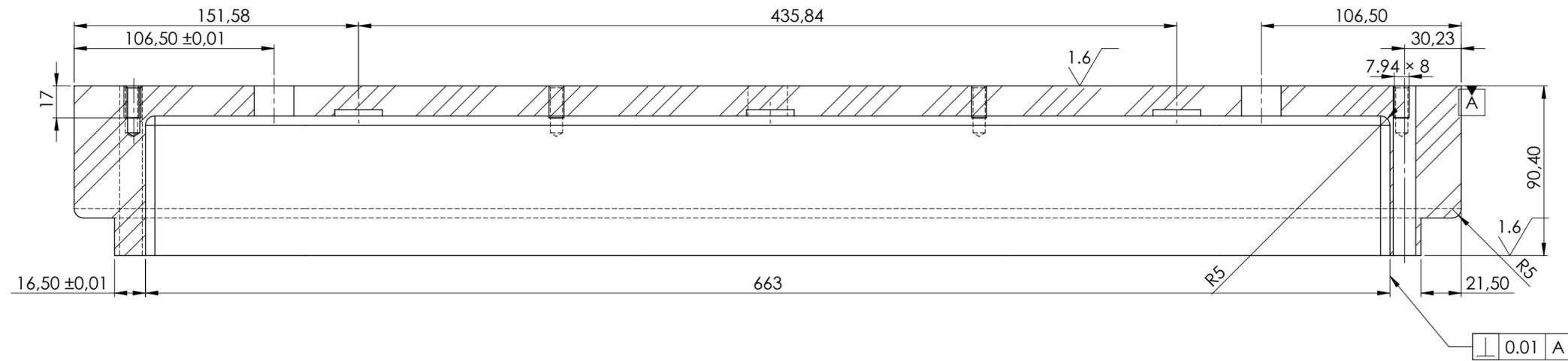
COUPE B-B



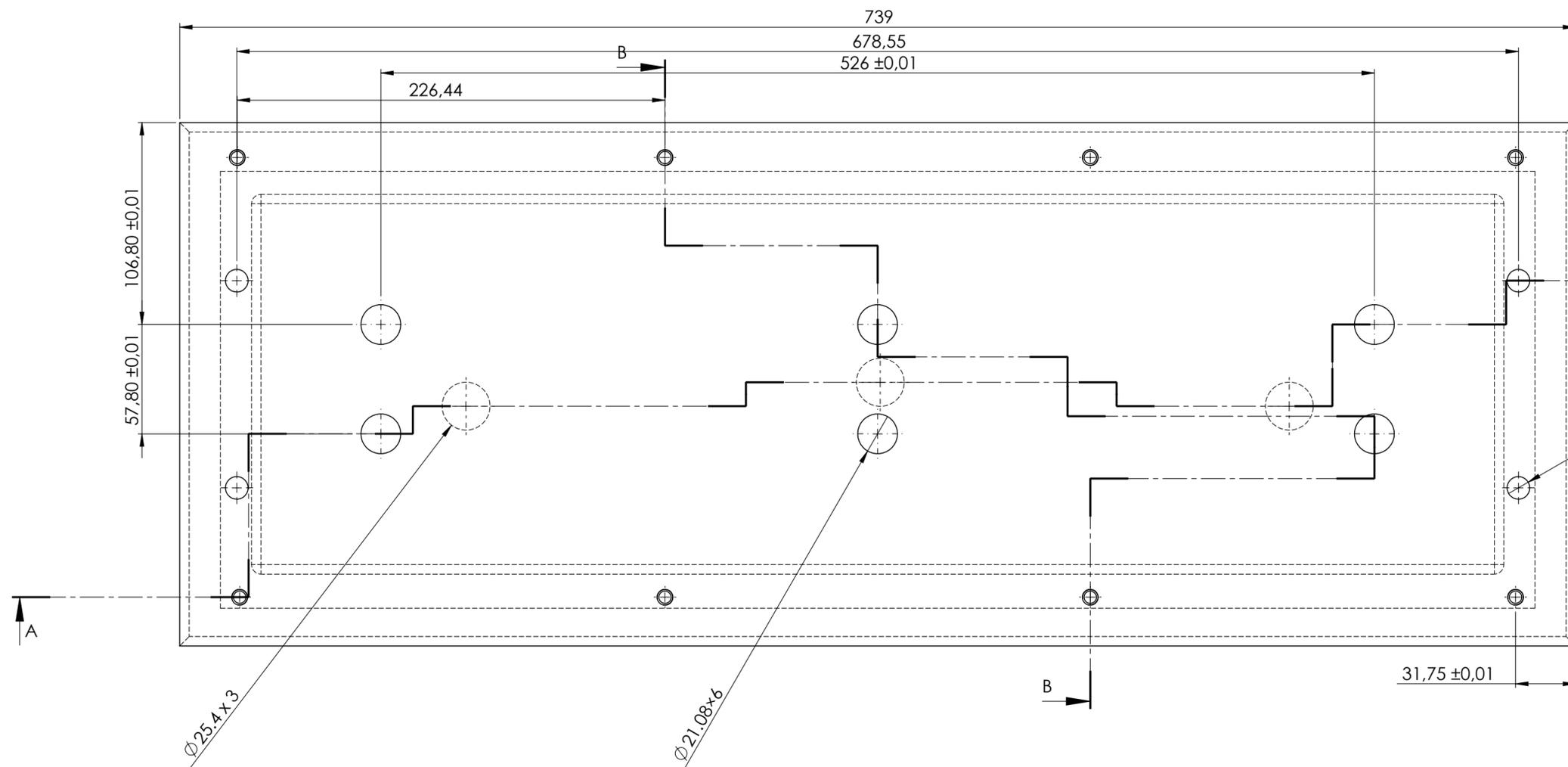
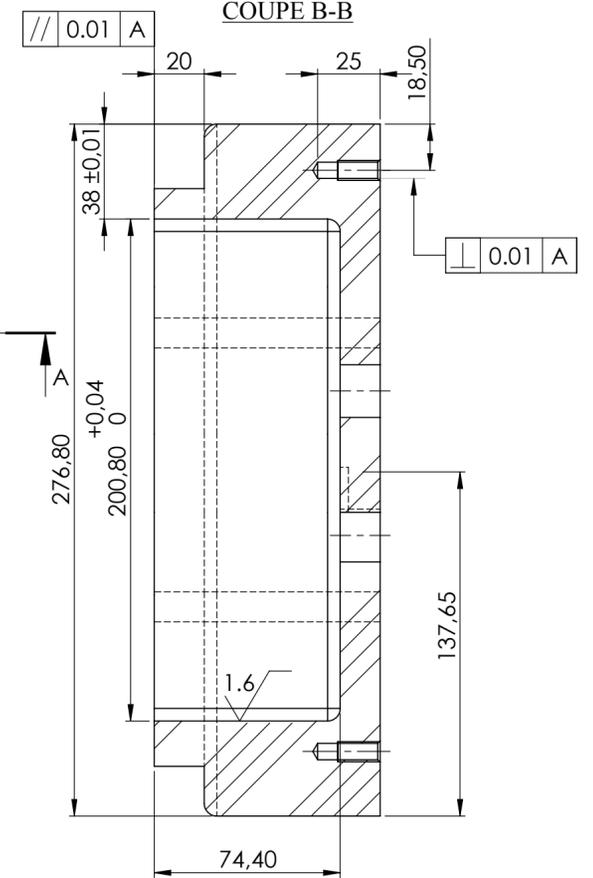
10	01	Semelle inferieure de l'outil d'emboutissage	FT 30	
Ref	Nbr	Désignation	Marière	Observation
Echelle		Semelle inferieure	surface Ra=3.2	
			Planche N° : 04	
A 3		NEZLIOUI . N - LARBI . D	PRO : 2017 / 2018	

Tolérance : ± 0.05 Sauf indications

COUPE A-A



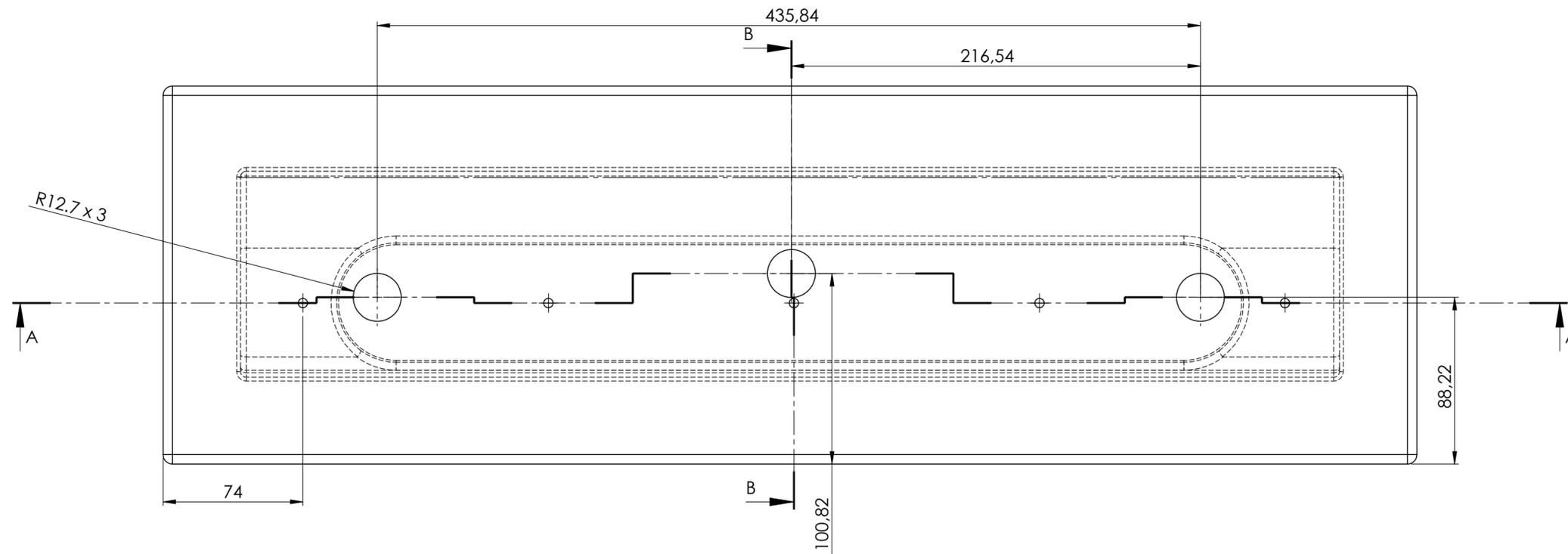
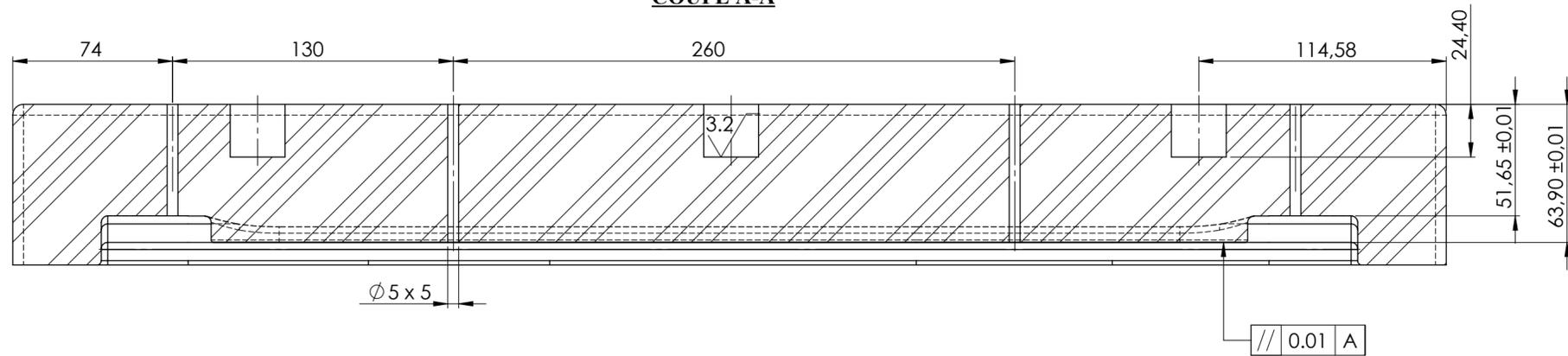
COUPE B-B



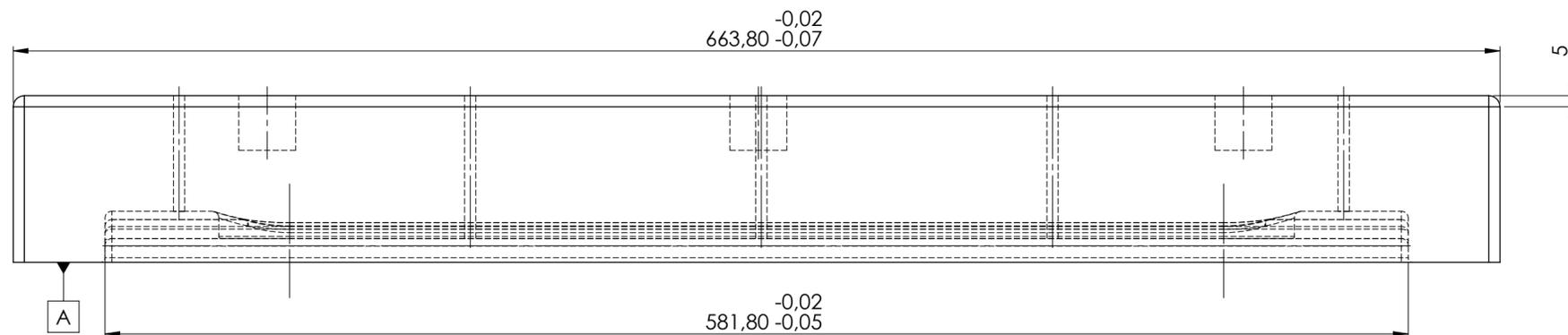
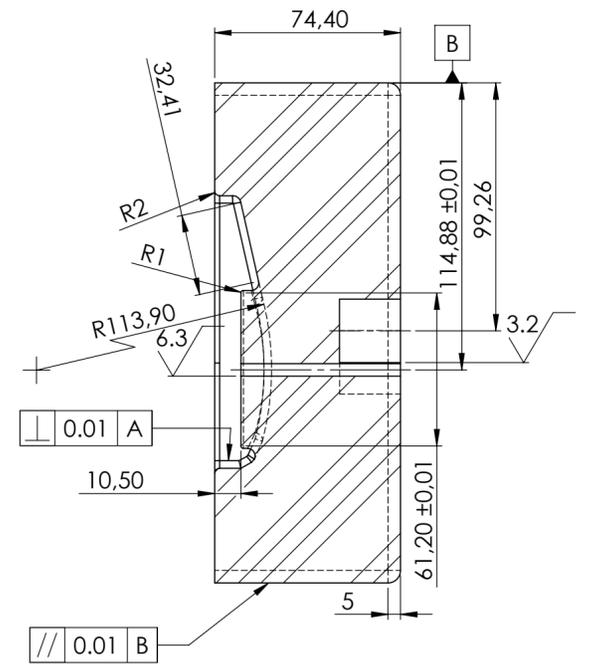
Tolérances : ±0.05 Sauf indications

08	01	Porte Matrice d'emboutissage de l'outil d'emboutissage	X 200 C 12	Traité
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 2		Porte Matrice d'emboutissage	Surface Ra = 3.2	
A 2			FMP - GM - UMMTO	Planche N° : 08
		NEZLIOUI . N - LARBI . D	Pro : 2017 / 2018	

COUPE A-A



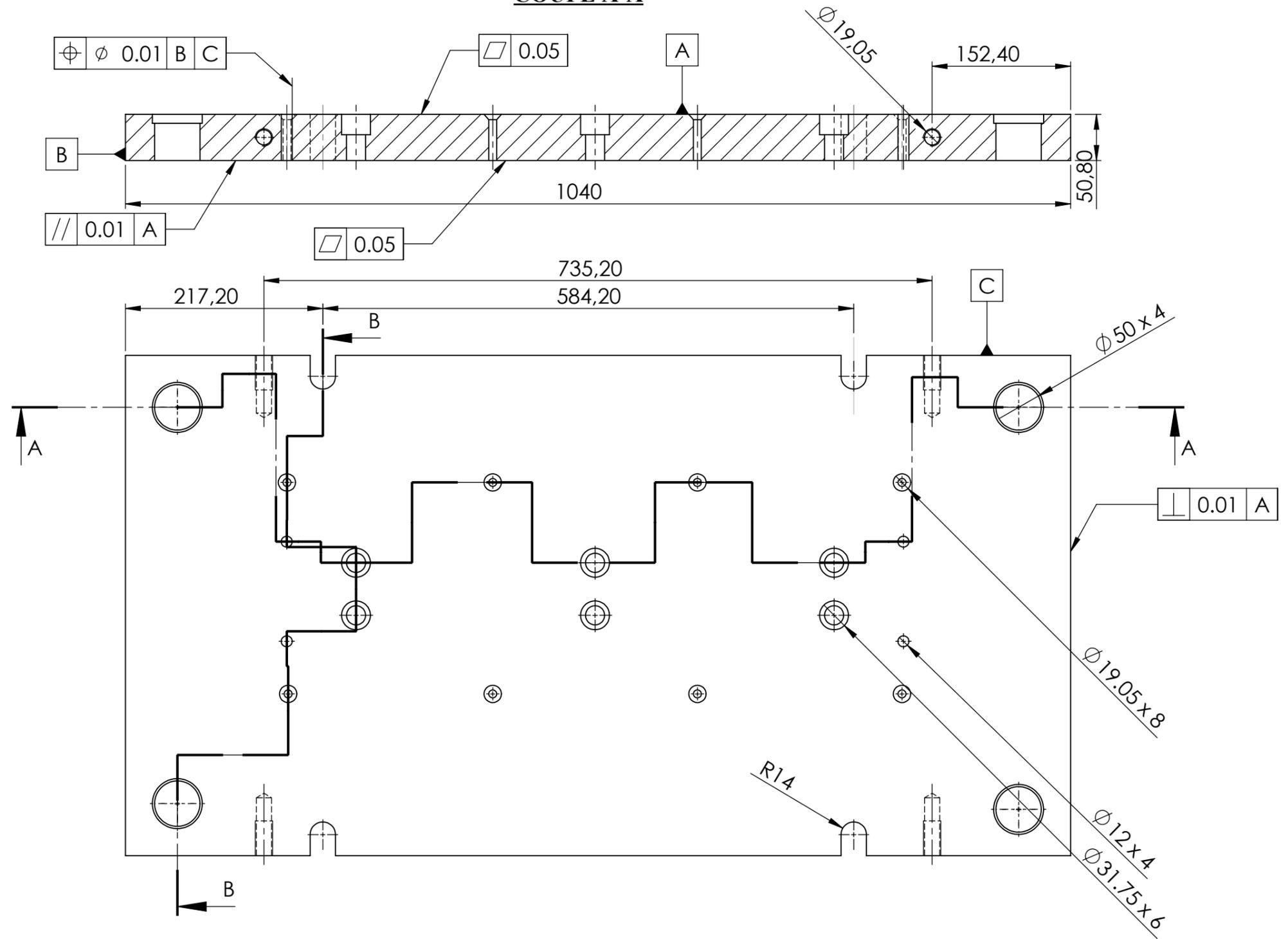
COUPE B-B



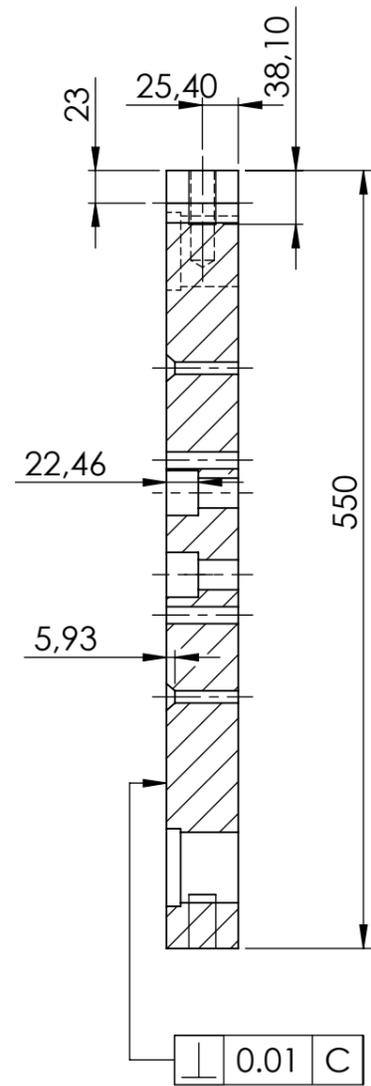
Tolérances: ±0.05 Sauf indications

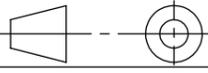
03	01	Matrice de l'outil d'emboutissage	C 45	Traité
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 2		Matrice	Surface Ra = 1,6	
		FMP - GM - UMMTO	Planche N° :07	
A 2		NEZLIOUI . N - LARBI . D	Pro : 2017 / 2018	

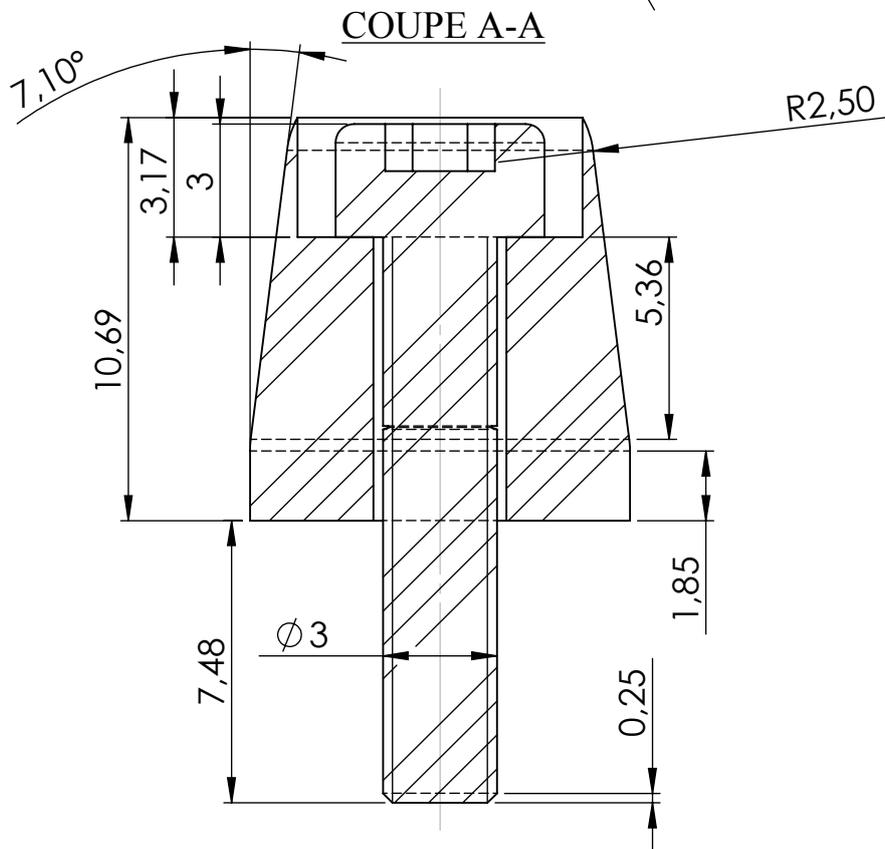
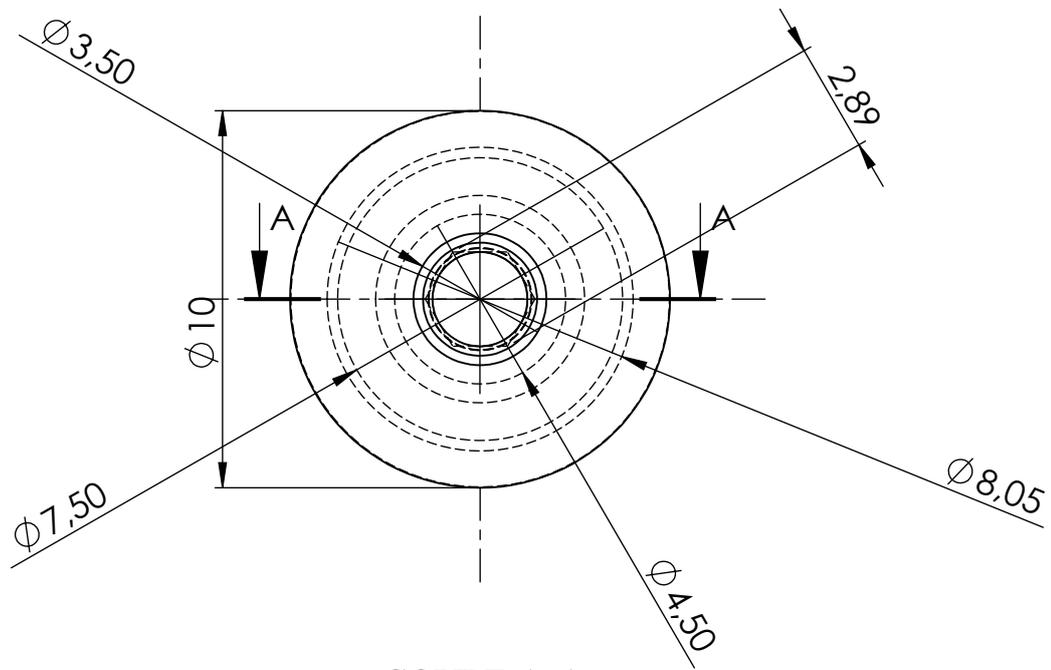
COUPE A-A



COUPE B-B

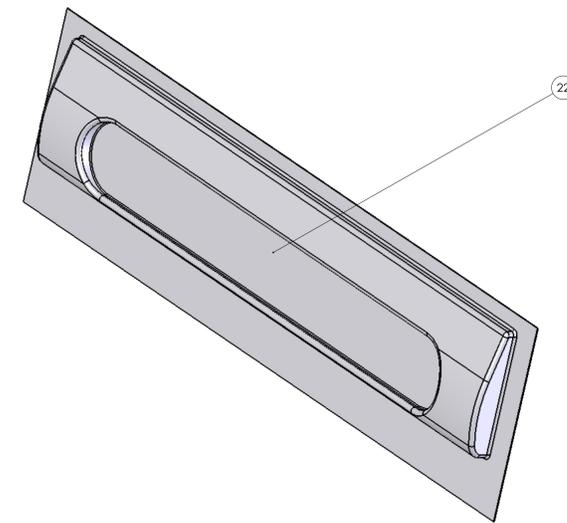
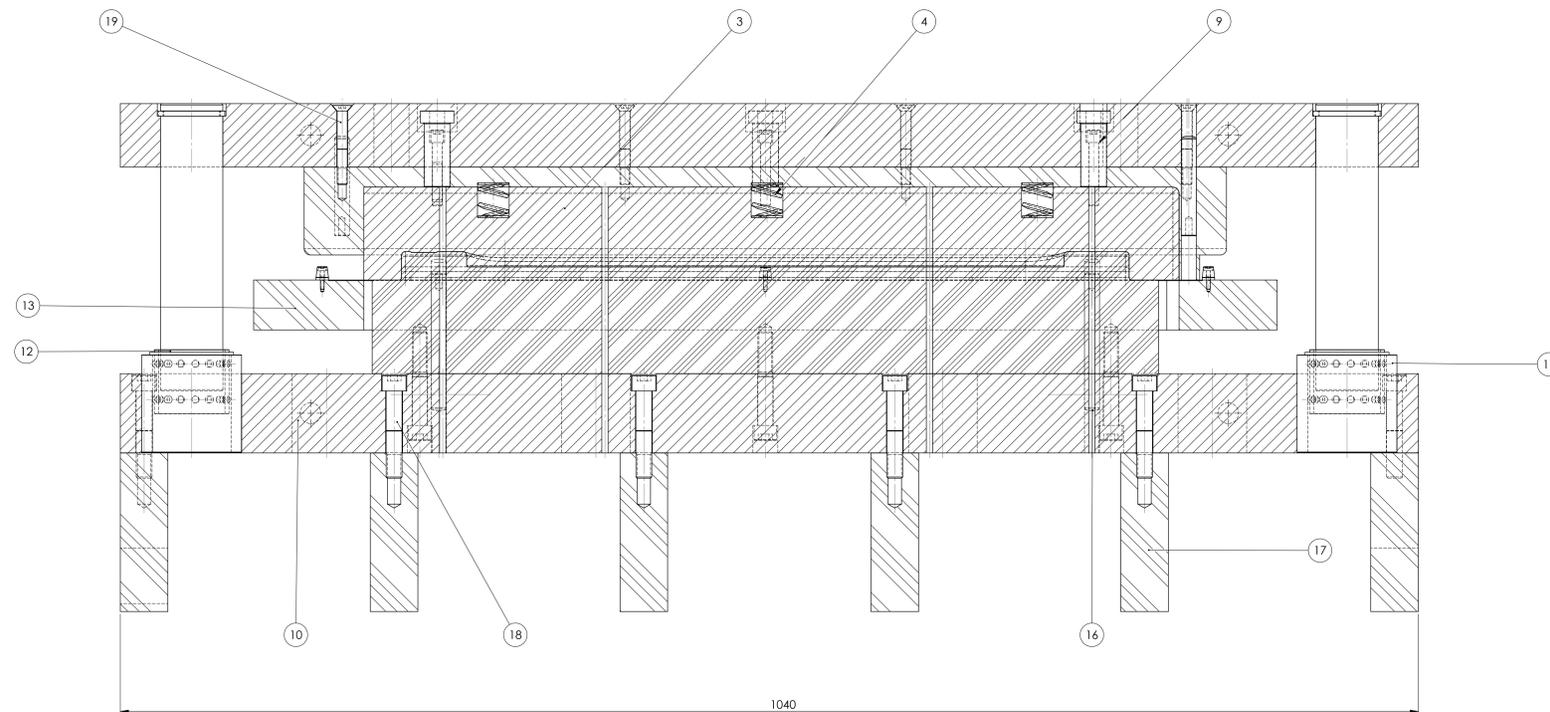
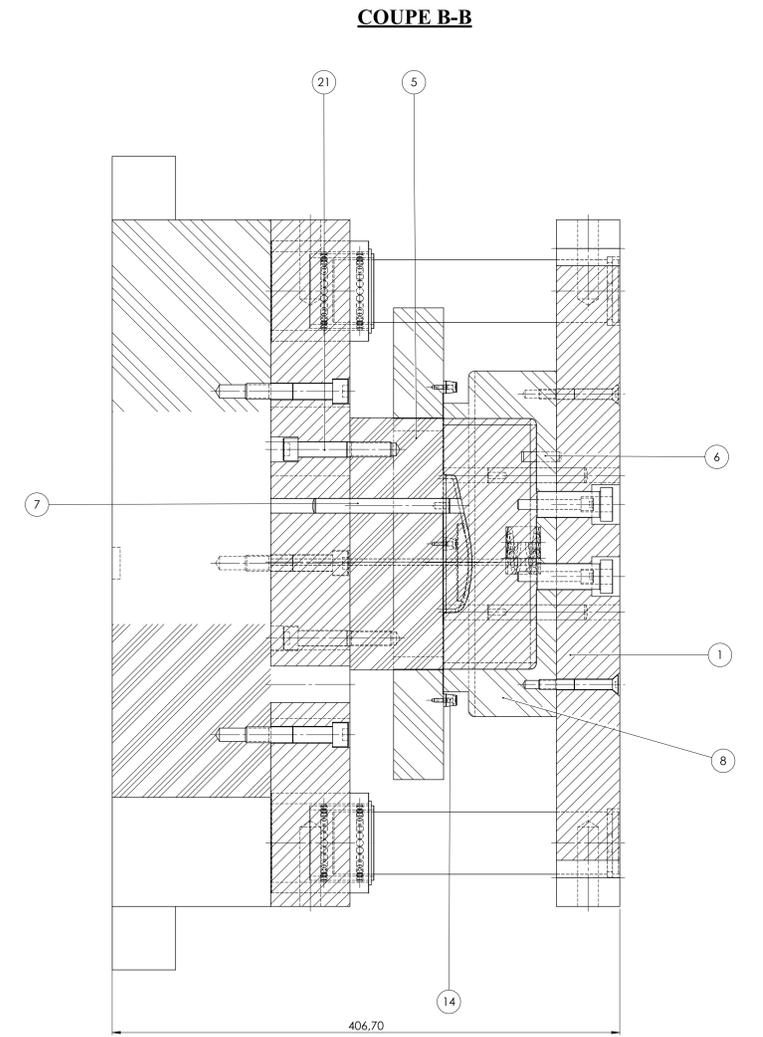
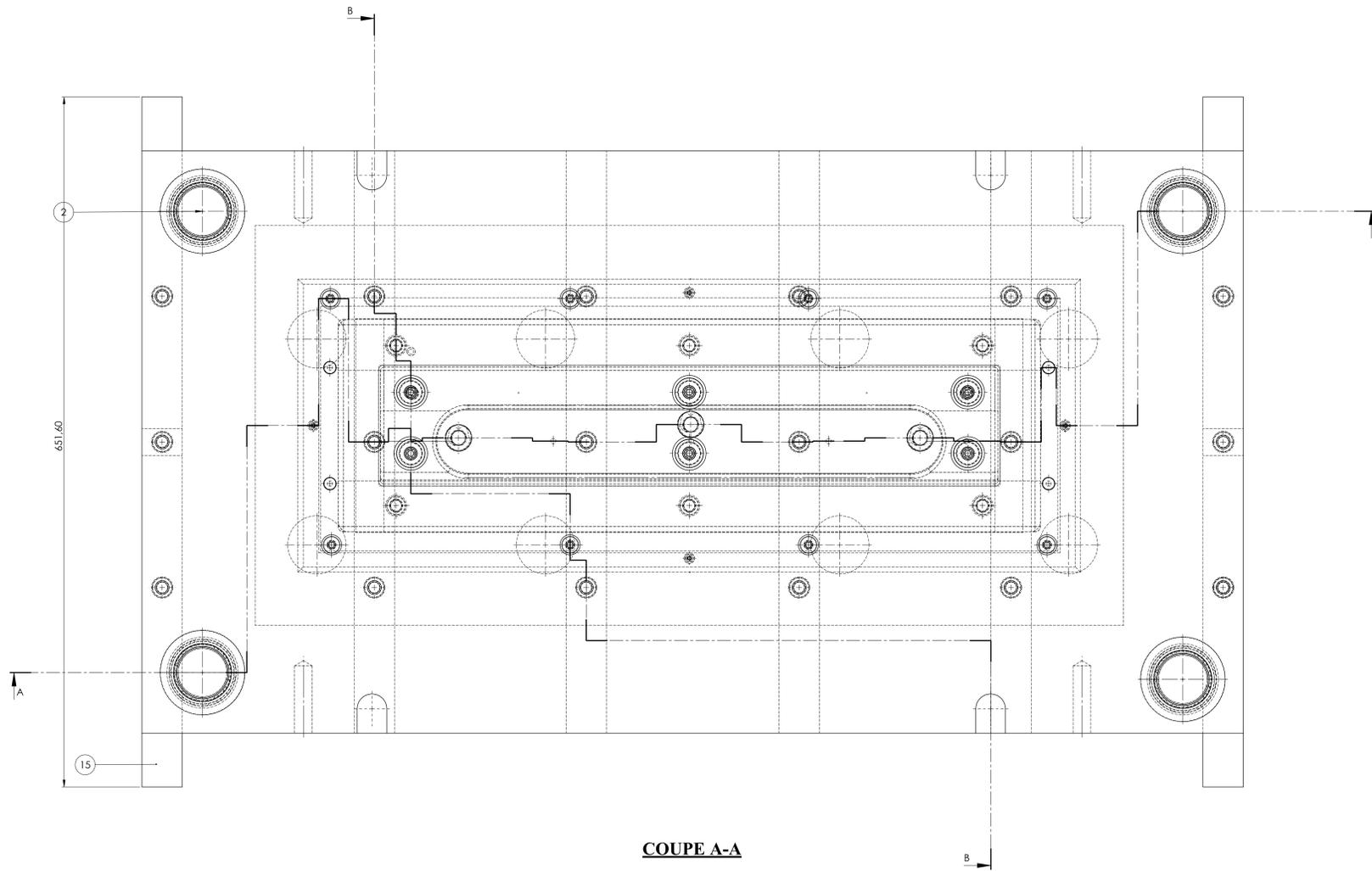


01	01	Semelle supérieure de l'outil d'emboutissage	FT 30	Cémenté
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 5		Semelle Supérieure	Surface Ra=3.2	
			Planche N° : 09	
A 3		NEZLIOUI . N - LARBI . D	PRO : 2017 / 2018	

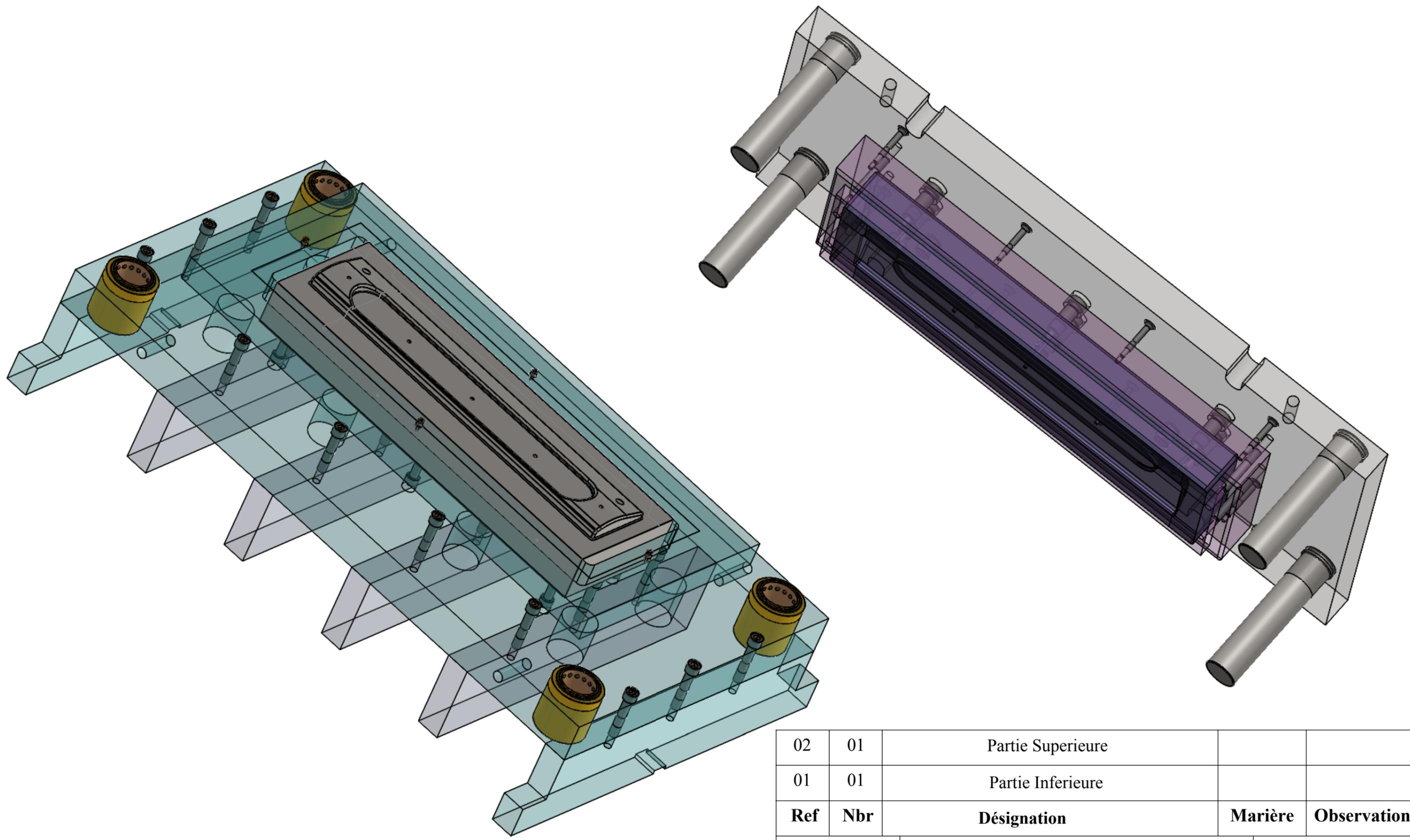


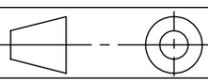
Tolérances: ± 0.05 Sauf indications

14	04	Butée de positionnement du flan	C 48	Traitée
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 5 : 1		Butée de positionnement		surface $Ra = \sqrt{1.6}$
		FMP - GM - UMMTO		Planche N°: 11
A 4		NEZLIOUI . N - LARBI . D		PRO: 2017/2018

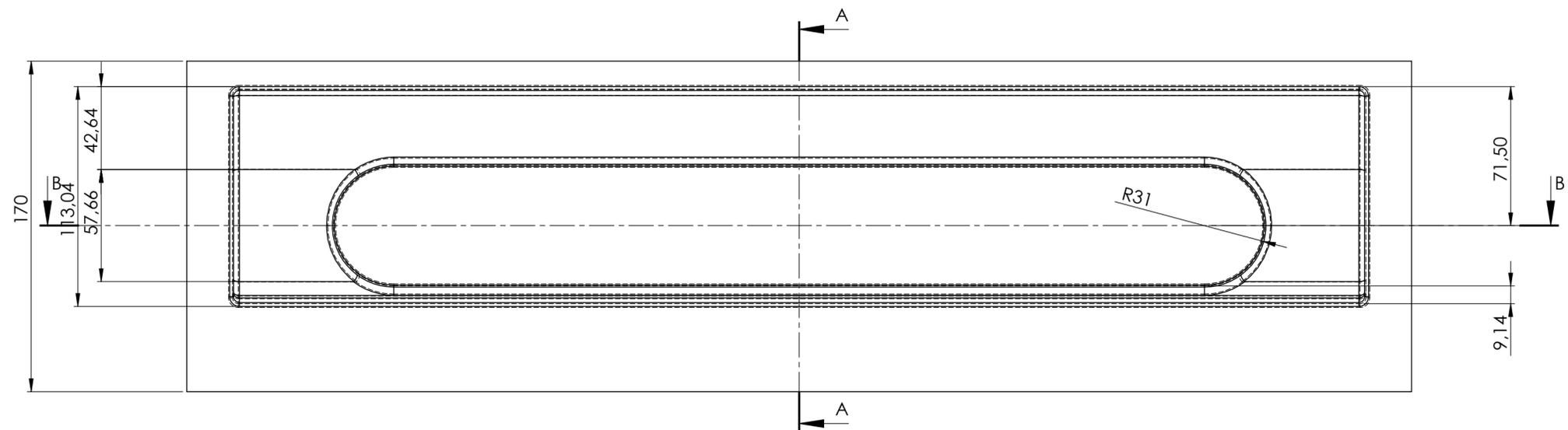
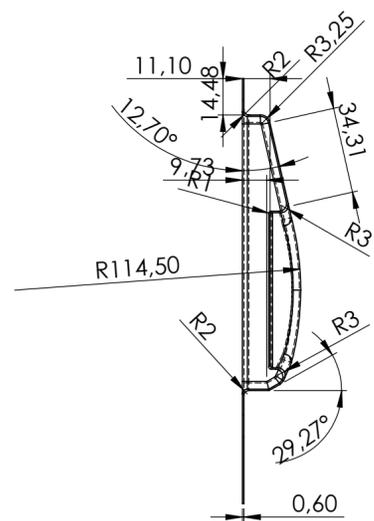


22	01	Bandeau bombé	X:Cr Ni 18-9	
21	06	Vis CHC M12-75-35-99		
20	02	Goupille à trou taraudé		
19	06	Vis CHC M8-63.5-28.5		
18	18	Vis CHC	XC 38	Traité
17	04	Cale en I	C15	
16		Goupille à trou taraudé		
15	02	Cale en L	C 15	
14	04	Butée de positionnement du flan	C 48	Traité
13	01	Serre-flan	C 45	Cémenté
12	04	Bague de guidage	XC 65	Traité
11	04	Embase	Cu Zn 28	Traité
10	01	Semelle inférieure	FT 30	
09	06	Vis chandelle à rendelle cuvette	XC 65	
08	01	Porte Matrice	X 200 C12	Traité
07	02	Goupille à trou taraudé		
06	04	Goupille		
05	01	Poinçon	C 45	Traité
04	03	Ressort ϕ 25 - 44		
03	01	Matrice	C 45	Traité
02	04	Colonne de guidage	E 360	Traité
01	01	Semelle supérieure	FT 30	
Ref	Nbr	Désignation	Matériau	Observation
Echelle 1:2		Outil d'emboutissage		SURFACE
A 0		FMP - GM - UMMTO	Planche N°: 01	
		NEZLIOUI . N - LARBI . D	PRO:2017/2018	

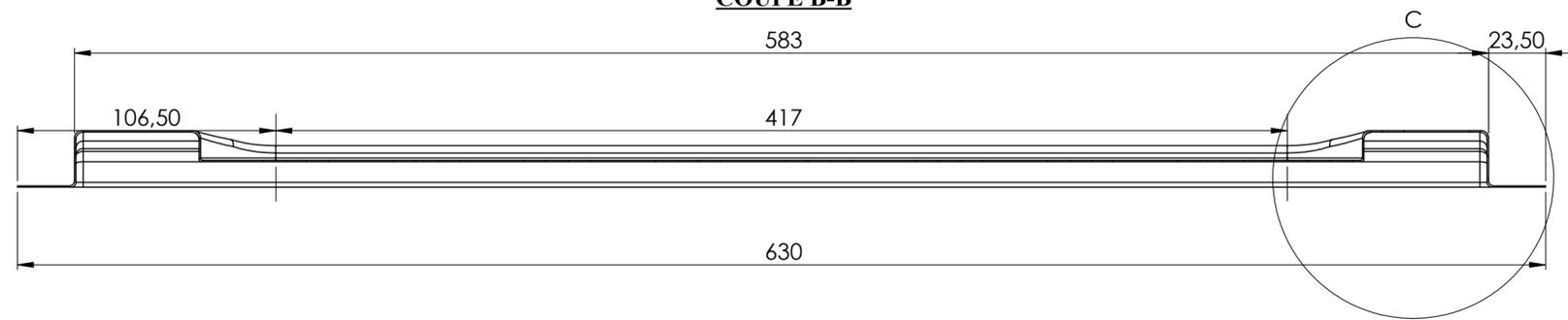


02	01	Partie Superieure		
01	01	Partie Inferieure		
Ref	Nbr	Désignation	Marière	Observation
Echelle 1:5		Outil d'emboutissage		Surface
		FMP - GM - UMMTO	Planche N° : 16	
A 3		NEZLIOUI . N - LARBI . D	PRO : 2017 / 2018	

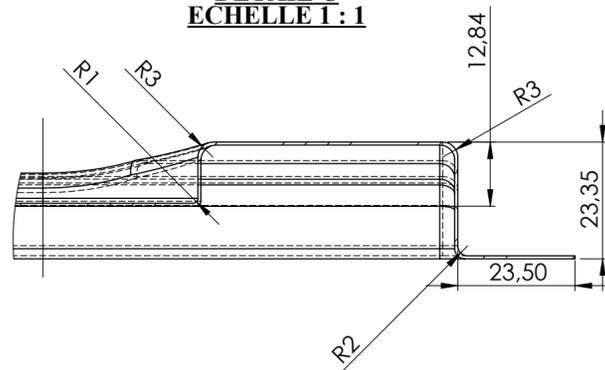
COUPE A-A



COUPE B-B



**DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1**



Tolérances : ± 0.05

22	01	Le Bandeau frontal de la première opération	X2CrNi 18 - 9	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 2		Pièce emboutie	Surface Ra = 3.2	
A 2		FMP - GM - UMMTO	Planche N° : 10	
A 2		NEZLIOUI . N - LARBI . D	Pro : 2017 / 2018	