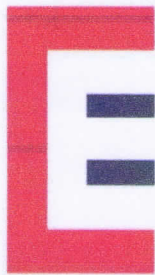


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DE MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU  
FACULTÉ DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE  
OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

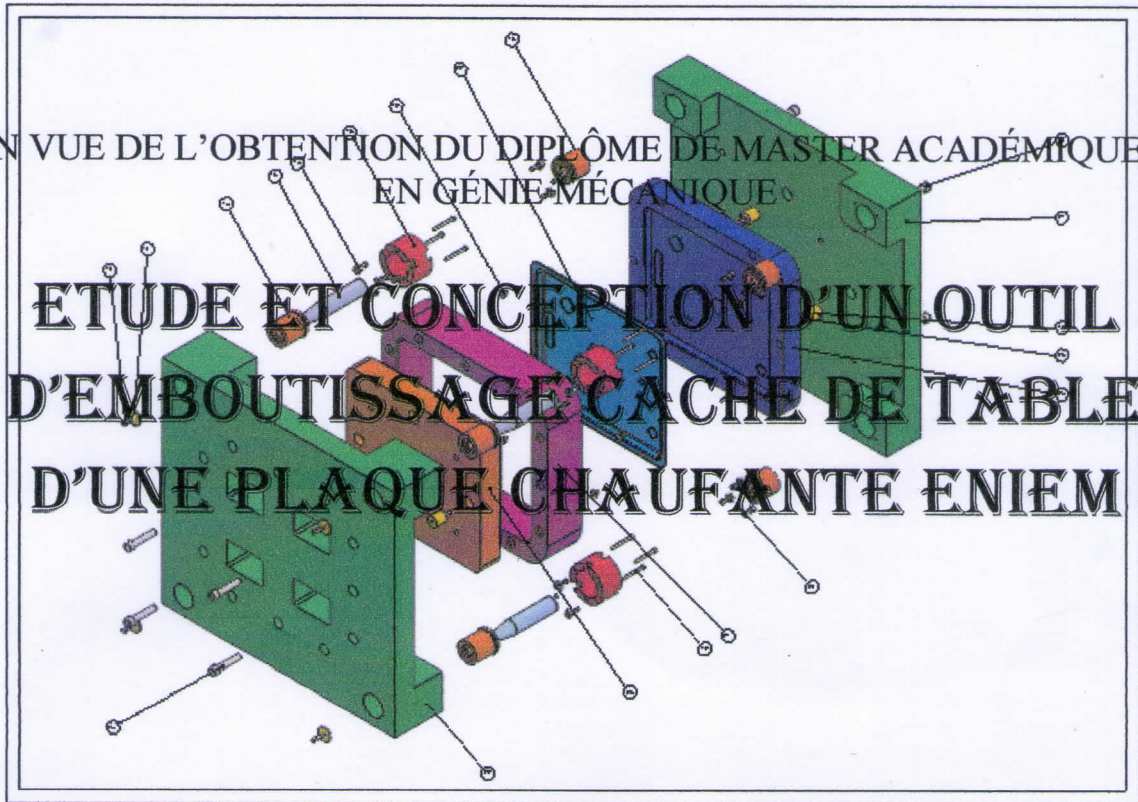


## Mémoire de fin d'études

### Thème

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADÉMIQUE  
EN GÉNIE MÉCANIQUE

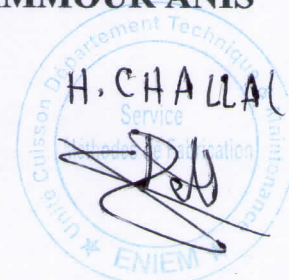
ETUDE ET CONCEPTION D'UN OUTIL  
D'EMBOUTISSAGE CACHE DE TABLE  
D'UNE PLAQUE CHAUFANTE ENIEM



**Encadré par :**  
Mr M. HAMOUR

**Réalisé par :**  
CHALAL MOURAD  
SI AMMOUR ANIS

**Membre du jury :**  
A. MENOUEUR  
H. ZIANI



PROMOTION 2020/2021

## *Remerciement*

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr MOHAMED HMOUR, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent à L'ensemble de l'équipe de l'entreprise ENIEM pour leurs aides pratique et leurs soutiens moral et leurs encouragements.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents mes enfants, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler,

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À celle que j'aime beaucoup et qui ma soutenue toute au long de projet ma source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice.

Ta prière et ta Bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie.

Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes sacrifices.

Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur.

Chalal Mourad

## *Dédicace*

*Il m'est agréable de saisir cette occasion pour dédier ce travail à :*

*Mon père qui a toujours cru en moi et sa présence et son aide précieuse durant mon cursus.*

*Ma très chère mère pour ses sacrifices, son dévouement pour mon bien-être, et son soutien dans ma vie.*

*A mon frère et mes sœurs et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin .*

*Anis si ammour*

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
<b>CHAPITRE I Les matériaux</b>	
I.1- Introduction	3
I.2- caractéristique de matériaux d'outil	3
I.2.1- Contrainte de fabrication	3
a) Résistance	3
b) Dureté	3
c) Qualité dimensionnelle, géométrique et état de surface	3
I.2.1- Contrainte de fonctionnement	3
a) L'importance de la série	3
b) La nature de matériau à travailler	4
c) Précision des Pièces (tolérances dimensionnelles)	4
I.3- les différents Métaux et alliages métalliques	4
I.3.1- Les aciers	4
a) Aciers non alliés	5
❖ Les aciers de construction	5
❖ Aciers de qualité non alliés	5
b) Aciers faiblement alliés	5
c) Aciers fortement alliés :	6
I.3.2- Les fontes	6
a) Fontes à graphite lamellaire EN-GJL	7
b) Fontes à graphite sphéroïdal EN-GJS	7
c) Fontes blanches EN-GJN	7
d) Fontes malléables EN-GJMW et EN-GJMB	7
I.4) Traitements thermiques	8
I.4.1) La trempe de l'acier	9
I.4.2) Le revenu : (entre 180°C et $A_{c1}$ )	9
I.4.3) Cémentation : (920 à 950°C)	9
I.4.4) Nitruration : (500 à 570 °C)	9
I.4.5) Cyanuration et carbonitruration : (730 à 830°C)	10
I.5) CONCLUSION	10
<b>CHAPITRE II Procéder de mise en forme des tôles</b>	
II.1) INTRODUCTION	11
II.2) Définition de formage	11
II.2.1) découpage	11
II.2.1.1) Les procédés de découpages	12
a) Le cisailage	12

b) Poinçonnage	12
II.2.1.2) Autre procédure de découpage	14
a) Caravage	14
b) Encochage	14
c) Grignotage	14
d) Détourage	15
e) Soyage	15
II.2.1.3) Différentes phases d'une opération de découpe	15
II.2.1.4) Influence des paramètres de l'opération de découpage	16
II.2.2) pliage	17
II.2.2.1) Les différents types de pliage	17
- Pliage en vé	17
❖ Pliage en l'air	18
❖ Pliage en frappe	18
- Pliage en U	19
- Pliage en L	19
II.2.2.2) les paramétrés qui influence sur les opérations de pliage	20
a) Rayon minimum de pliage	20
b) Caractéristique d'un pli	20
c) Retour Elastique	21
II.2.3) Formage par compression :	22
a) Laminage	22
b) Matricage	22
II.3) CONCLUSION	23
<b>CHAPITRE III Procéder d'emboutissages des tôles</b>	
III.1) Introduction	24
III.2) définition :	25
a) Emboutissage à froid	25
b) Emboutissage à chaud	25
III.3) Principe d'emboutissage	25
III.4) Modes d'emboutissage	26
a) L'expansion	27
b) Le rétreint	27
III.5) Procédé d'emboutissage	28
III.5.1) Emboutissage simple effet (sans serre flan)	28
III.5.2) Emboutissage double effet (avec serre flan)	29
III.6) Matériaux et formes d'emboutis	29
III.6.1) Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage	29
III.7) Formes des pièces emboutis usuelle	32
III.7.1) Forme cylindrique	32
III.7.2) Forme demi-sphérique	33
III.7.3) Forme rectangulaire	33

III.8) Principaux défauts rencontrés en emboutissage	34
III.9) Les aspects opératoires	36
III.9.1) Le jeu entre le poinçon et la matrice	36
III.9.2) Le rayon sur la matrice (r)	37
III.9.3) Rayon du poinçon (R poinçon)	37
III.9.4) La vitesse d'emboutissage	38
III.9.5) La pression du serre-flan	39
III.9.6) L'effort d'emboutissage	40
III.9.7) Aspects métallurgiques d'emboutissage (directions de laminage)	42
III.9.8) détermination des diamètres du flan et nombre de passes	42
a) Méthode analytique	43
b) Méthode graphique	44
III.9.9) Nombre de passes	45
III.9.10) Conclusion	47
<b>CHAPITRE IV Les machines presses industrielle</b>	
IV.1) Introduction	48
IV.2) définition	48
IV.3) Classification des presses	48
IV.3.1) Selon mode transmission d'énergie	48
a) Presse excentrique mécanique	48
❖ Avantages	49
❖ Inconvénients	49
b) Presse hydraulique	49
❖ Avantages	50
❖ Inconvénients	50
IV.3.2) Selon le nombre de coulisseaux :	51
a) Presse simple effet	51
b) Presse double effet :	51
c) Presse triple effet :	52
IV.3.3) Selon la forme de bâti	53
a) Presse a montant droit	53
b) Presse à table mobile et bigorne :	53
c) Presses à col de cygne :	53
d) Presses à arcade :	53
IV.3) CONCLUSION	54
<b>CHAPITRE V Etude et conception</b>	
V.1) Introduction	55
V.2) Cahier des charges	55
V.3) Processus de fabrication	56
V.4) Fiches techniques	56
V.4.1) Fiches techniques de la tôle	56
a) Caractéristiques chimiques	56
b) Caractéristiques mécaniques	56
c) Caractéristiques du revêtement	56
V.4.2) Fiches techniques de l'outil	57
a) Semelle inferieur et supérieure	57

b) L'empreinte supérieure et inférieure	57
c) Les goujons et les goupilles	57
d) Les axes et les bagues de guidage	57
❖ Les axes	57
❖ Les bagues supérieures	57
❖ Les bagues inférieures	57
e) Serre flan	58
f) Butés de positionnement du flan	58
g) Buté de fin de cours	58
h) Les éléments de fixation	58
V.5) Calcule	58
V.5.1) Dimensions de la développée	58
V.5.2) Calcul l'efforts Découpe de flan	60
V.6) Calcule l'effort d'emboutissage	61
V.6.1) Effort d'emboutissage cylindrique $F_c$	61
a) Pour les formes $F_{c1}$ , $F_{c2}$ , $F_{c3}$	62
b) Pour la forme $F_{c4}$	62
c) Pour les formes $F_{c5}$ , $F_{c6}$	63
d) Pour la forme $F_{c7}$	63
e) Pour Effort d'emboutissage cylindrique $F_c$	63
V.6.2) Effort d'emboutissage rectangulaire $F_r$	63
a) Pour la forme $F_{r1}$	63
b) Pour la forme $F_{r2}$	64
c) Effort d'emboutissage rectangulaire $F_r$	65
V.6.3) Effort d'emboutissage total $F_c$	65
V.7) Calcul l'effort de serrage du serre flan sur le flan	65
a) Vérification de la condition	65
b) Calcul la surface sous le serre flan	66
c) Calcul l'effort de serrage de serre flan	66
V.8) Choix de la presse à utiliser	67
V.9) Les aspects opératoires des paramètres pour une bonne qualité de cache	67
V.9.1) Calcul le jeu entre le poinçon et la matrice	67
V.9.2) Le rayon sur la matrice	68
V.9.3) Arrondi sur le poinçon	68
V.9.4) vitesse d'emboutissage	68
V.9.5) La résistance des empreintes a la compression	68
a) Poinçons	68
b) Contre poinçon	69
V.10) Conclusion	70
<b>Conclusion générale</b>	
Conclusion générale	71

## LISTE DES FIGURE

Figure II.1: Principe de cisaillement	12
Figure II.2 : Poinçonnage	13
Figure II.3 : Longueurs caractéristiques du profil découpé	13
Figure II.4 : Caravage	14
Figure II.5 : Encochage	14
Figure II.6 : Grignotage	14
Figure II.7 : Détourage	15
Figure II.8 : Soyage	15
Figure II.9 : Les différentes étapes du découpage	16
Figure II.10 : principe de pliage	17
Figure II.11 : pliage en Vé	17
Figure II. 12 : pliage en air	18
Figure II. 13 : pliage en frappe	19
Figure II. 14 : pliage en U	19
Figure II. 15 : pliage en L	20
Figure II. 16 : rayon de pliage	20
Figure II. 17 : déformation des fibres	21
Figure II. 18 : Retour élastique.	21
Figure II.19 : Laminage	22
Figure II.20 : Matriçage	23
Figure III.1 : Emboutissage d'aile d'une voiture	24
Figure III.2 : Ligne de presses d'emboutissage.	24
Figure III.3 : principe d'emboutissage	26
6Figure III.4 : Modes d'emboutissage.	27
Figure III.5 : Emboutissage simple effet (sans serre flan)	28
Figure III.6 : Emboutissage double effet (avec serre flan)	29
Figure III.7 : Modes de déformation dans le repère des déformations principales	30
Figure III.8 : Emboutissage en expansion pure	30
Figure III.9 : Les modes de déformation sur un embouti.	31
Figure III.10 : Plissement dans la partie libre de l'embouti.	32
Figure III.11: Emboutissage renversé.	32
Figure III. 12 : Emboutissage de pièce demi sphérique.	32
Figure III.13 : Emboutis rectangulaires.	33
Figure III.14 : Rupture (a), retour élastique (b) et plissement (c) et (d).	34
Figure III.15 : Variation de l'arrondi sur la matrice	37
Figure III.16 : Le rayon sur le poinçon	38
Figure III.17 : sans collerette	44
Figure III.18 : avec collerette	45

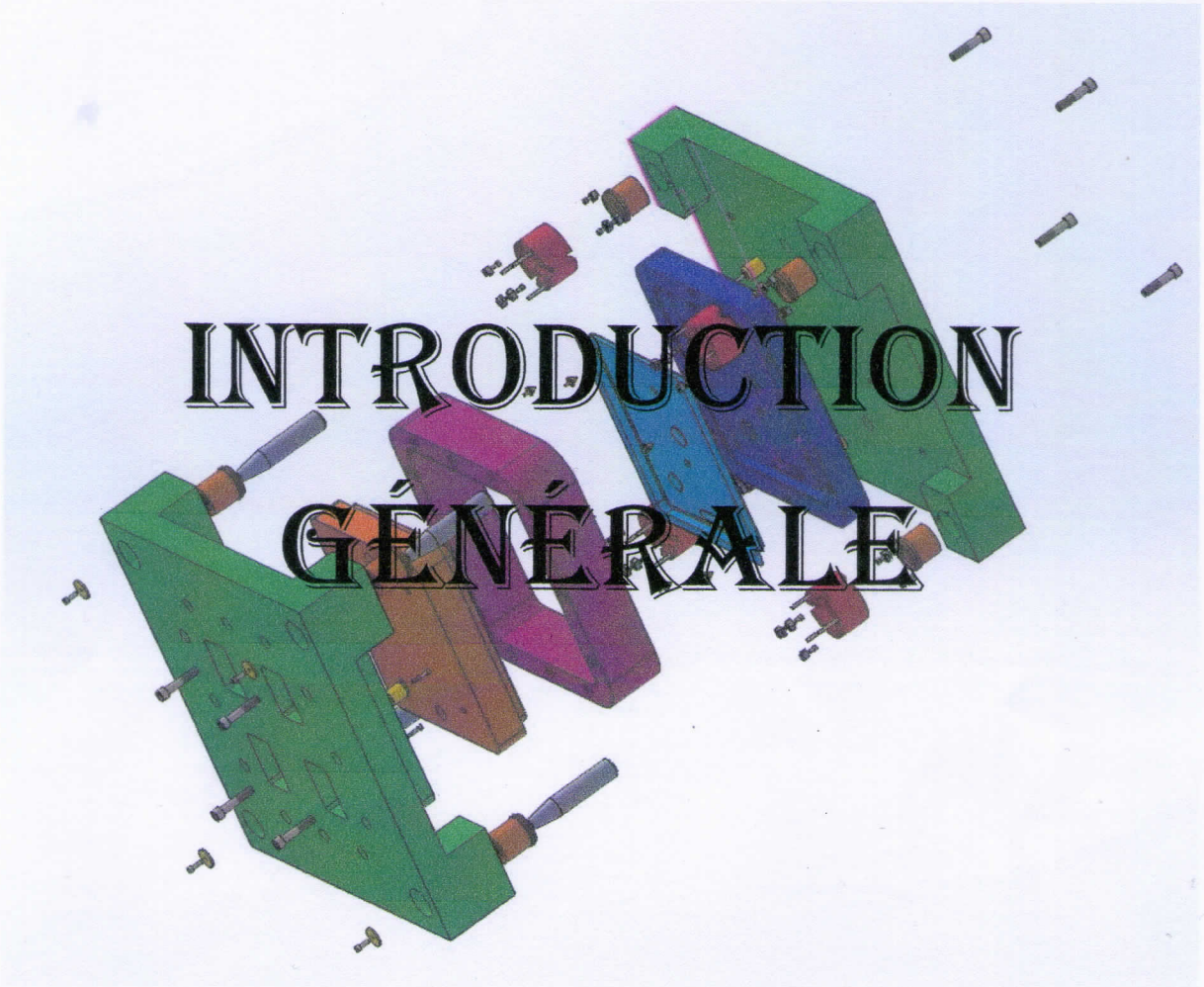
---

Figure III.19 : Nombre de passes	46
Figure IV.1 : presse mécanique	49
Figure IV.2 : presse hydraulique	50
Figure IV.3 : presse double effet	52
Figure IV.4 : presse triple effet.	52
Figure V.1 : Cache table et quelque éléments interne	55
Figure V.2 : mesure de la longueur de la développée	59
Figure V.3 : mesure de la largeur de la développée	59
Figure V.4 : les côtes de flan	60
Figure V.5 : répartition des efforts d'emboutissage	61
Figure V.6 : mesure de diamètre d et de flan D	62
Figure V.7 : mesure de périmètre de contre poinçon $F_{r1}$	64
Figure V.8 : mesure de périmètre emplacement de la génératrice $F_{r2}$	65
Figure V.9: surface sous le serre flan	66
Figure V.10 : Mesure de la surface $S_1$	69
Figure V.11: Mesure de la surface $S_2$	70

---

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Fonte EN-GJS-400-18.	6
<b>Tableau I.2</b> : Les caractéristiques Fontes malléables EN-GJMW et EN-GJM.	8
<b>Tableau I.3</b> : La dureté après le revenu pour les aciers Z200 C12 (X210CrW12).	9
<b>Tableau III.1</b> : vitesses d'emboutissage pour différent matériaux.	38
<b>Tableau III.2</b> : pression spécifique.	40
<b>Tableau III.3</b> : Formule d'emboutissage.	40
<b>Tableau III.4</b> : calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage.	41
<b>Tableau III.5</b> : calcul des surfaces élémentaires.	43
<b>Tableau III.6</b> : quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux.	46
<b>Tableau V.1</b> : caractéristique chimique de la tôle.	56
<b>Tableau V.2</b> : caractéristique mécanique de la tôle.	56
<b>Tableau V.3</b> : : caractéristique du revêtement de la tôle.	56
<b>Tableau V.4</b> : caractéristique de la semelle inférieur et supérieur.	57
<b>Tableau V.5</b> : caractéristique de l'empreinte inférieur et supérieur.	57
<b>Tableau V.6</b> : caractéristique de serre flan.	58
<b>Tableau V.7</b> : caractéristique mécanique de la presse hydraulique T29 (ENIEM-CUISSON).	67



**INTRODUCTION  
GENERALE**

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

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, l'aéronautique ou l'électroménager. 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.

Parmi les principaux procédés de mise en forme apparus récemment afin d'assurer la production en grande série, se trouve le formage. Ce procédé regroupe plusieurs techniques dont on peut citer le poinçonnage, crevage, encochage, ajourage, détourage...

Les techniques les plus répandues dans l'industrie sont le pliage et l'emboutissage. Néanmoins, chaque pièce à produire nécessite la mise au point d'un outillage approprié qui permet une production en série de qualité constante avec des intérêts économiques et technologiques de l'emboutissage indéniables : grandes cadences de production, qualités géométrique et mécanique des pièces et faible taux de chutes.

Malgré ces moyens modernes fascinant par leur facilité, ils ne déchargent pas le concepteur de toute réflexion, ils exigent bien des connaissances plus étendues pour être utilisées efficacement à travers de nombreuses tâches.

Pour plus d'économie, ces derniers temps, des entreprises ont pris l'initiative de fabriquer certaines pièces au niveau local dans le cadre d'un redéploiement de leurs activités visant, concurrence oblige, un meilleur positionnement de ses produits sur le marché devenu de plus en plus exigeant.

Parmi ces entreprises, nous citerons à titre d'exemple, l'Entreprise Nationale de l'Industrie Electroménager, ENIEM, connue par la fabrication des cuisinières qui compte diversifier sa gamme de nouveaux produits.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, le service du développement de l'unité cuisson nous a confié de faire une étude et une conception d'un outil à flan permettant la réalisation d'un cache table extra plat d'une cuisinière.

Pour répondre à la demande, il est important de se munir des connaissances suffisantes sur les différents procédés et l'outillage nécessaire permettant la réalisation de la pièce demandée.

Pour atteindre cet objectif, nous avons organisé notre travail en cinq chapitres.

Après une introduction générale sur le sujet, vient le chapitre I.

Ce chapitre abordera les différents matériaux des outils et leurs différentes caractéristiques.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents procédés de mise en forme des tôles ;

Les différents procédés d'emboutissage des tôles ont fait l'objet du chapitre III,

Les différentes presses industrielles, leurs avantages et inconvénients ont été traitées dans le chapitre IV ;

Le cahier de charge, les fiches techniques de la tôle et de l'outil et ainsi que le logiciel SOLIDWORKS ont été utilisés dans les calculs pour le dimensionnement de l'outil dans le chapitre V ;

On termine enfin notre travail par une conclusion générale.



# CHAPITRE I

# LES MATERIAUX

# LES MATERIAUX

## I.1- Introduction

Un matériau est la forme marchande d'une matière première choisie en raison de propriétés d'usage spécifiques et de sa mise en œuvre par des techniques appropriées pour l'obtention d'un objet de géométrie donnée à fonction préméditée.

Les objets qui nous entourent, que nous manipulons quotidiennement, sont tous constitués d'une matière choisie pour sa bonne adaptation à la fonction de l'objet en question et au procédé utilisé pour conférer à l'objet la forme souhaitée.

En parlant du principe que la matière d'un outil doit impérativement avoir une dureté supérieure à celle de la pièce à usiner et en tenant compte des différents paramètres tels que : la résistance aux frottements, aux chocs, usinabilité...etc. Des compromis naissants, il est donc important de faire un choix judicieux en ce qui concerne les matières à utiliser de façon à ce que l'outil présente des bonnes caractéristiques mécaniques, et que son usinabilité ne représente pas un handicap technique ni financier pour l'entreprise.

## I.2- Caractéristiques des matériaux des outils

Les contraintes de fabrication et de fonctionnement nous amènent à choisir des outils qui présentent des caractéristiques suivantes :

### I.2.1- Contrainte de fabrication

#### a- Résistance

- Aux efforts de coupe (résistance à la rupture) ;
- À l'abrasion (résistance à l'usure) ;
- À la température élevée (conservation de la dureté).

a) **Dureté** : la partie active de l'outil doit être plus dure que la matière à usiner.

b) **Qualité dimensionnelle, géométrique et état de surface** : la réalisation de pièce de grande précision impose l'utilisation d'outil précis.

### I.2.2- Contrainte de fonctionnement

a- **Importance de la série** : dans le cas d'une série importante où les machines travaillent à haute cadence. Durant le temps du travail, l'immobilisation de l'outil prend une importance considérable dans le prix de la pièce, et de ce fait, les matériaux doivent avoir une bonne résistance à l'usure pour limiter le plus possible les affutages. Ces critères sont utilisés pour les très grandes séries.

- a) **La nature du matériau à travailler** : l'usure de l'outil doit être en fonction de la dureté du matériau et de son état structural (intérêt de découper de feuillards d'aciers à l'état globulaire par exemple).
- b) **Précision des pièces (tolérance dimensionnelles)** : la tolérance est directement liée à la résistance à l'usure des parties actives et à la ténacité (car une tolérance serrée étant obtenue par un faible jeu. Il y a risque de contact entre arêtes coupante, poinçon et matrice).

### I.3- Différents métaux et alliages métalliques

Un métal est un matériau, généralement solide, issue le plus souvent d'un minerai, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie.

Les alliages non ferreux résistent à la corrosion et à l'oxydation, c'est ce qui facilite leur mise en œuvre. Ces avantages l'emportent dans certaines applications, malgré le coût de revient qui est plus élevé. Nous citons quelques alliages :

- L'aluminium et ses alliages
- Le cuivre et ses alliages
- Le zinc et ses alliages

Les alliages ferreux se prêtent facilement à une production en masse, ils sont bon marché et on peut les acquérir sous des formes très variées grâce à la diversité des traitements thermiques et des éléments d'addition. Nous pouvons distinguer :

- Les fontes.
- Les aciers d'usage général ;
- Les aciers de traitement thermique ;
- Les aciers à outils ;
- Les aciers inoxydables ;

#### I.3.1- Les aciers

L'acier est un alliage métallique constitué majoritairement de fer et d'une faible quantité de carbone. C'est la présence (entre 0.02 % et 2 % en masse) de cet élément chimique qui octroie à l'acier ses propriétés spécifiques. Plus le pourcentage de carbone présent dans l'acier est élevé, plus la dureté du métal est importante. L'acier peut aussi comporter certains éléments additionnels, tels que le cuivre ou le chrome, qui lui confèrent des caractéristiques d'utilisation (flexibilité, résistance aux changements de température, ...),

On distingue aussi d'autres aciers selon la norme DIN 17006

### a- Aciers non alliés

- **Les aciers de construction** : courants comprennent le symbole "St", suivi d'une donnée numérique relative à la résistance à la traction minimale en  $\text{kp/mm}^2$  ( $\text{kp} = \text{kilopond} = 9,81 \text{ Newton (N)}$ ). Ainsi St 44 signifie : 44 = résistance minimale à la traction  $44 \text{ kp/mm}^2$  St = acier de construction courant

Un acier de construction doit posséder en plus des bonnes propriétés mécaniques, de bonnes propriétés technologiques telles que se prêter bien au formage (laminage ; forgeage, emboutissage, etc.), à l'usinage, au soudage. [1]

### b- Aciers de qualité non alliés

Aciers destinés à subir un traitement thermique. Leur désignation comprend le symbole "C" suivi de l'indice du carbone (nombre représentant la teneur en carbone en pourcentage multipliée par 100). La désignation "C 45" signifie ainsi : C = acier de qualité 45 = 0,45 % teneur en carbone (teneur effective multipliée par 100). Dans cette désignation, la teneur en carbone est égale au quotient de la division du nombre indicatif du carbone par 100.

### c- Aciers faiblement alliés

Il s'agit d'aciers dont la somme des différents éléments d'alliage n'excède pas 5 pour-cent en masse. Leur désignation comprend, dans l'ordre :

- L'indice du carbone
- Les symboles des éléments d'alliage
- Les indices des éléments d'alliage.

Les symboles des éléments d'alliage sont rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes. Les indices des éléments d'alliage sont rangés dans le même ordre que les symboles du groupe précédent. Les indices se rapportant à des éléments d'alliage ajoutés en faibles proportions ne sont pas repris. La proportion effective des éléments d'alliage s'obtient en divisant l'indice correspondant par les facteurs suivants :

- ❖ 4 pour Cr, Co, Mn, Ni, Si, W
- ❖ 10 pour Al, Cu, Mo, Ta, Ti, V
- ❖ 100 pour C, P, S, N

**d- Aciers fortement alliés**

Il s'agit d'aciers dont la teneur en éléments d'alliage est supérieure à 5 % en masse. Leur désignation abrégée comprend :

- La lettre initiale X
- L'indice du carbone (nombre correspondant à la teneur en carbone en pourcentage multipliée par 100)
- Les symboles des éléments d'alliage, dans l'ordre décroissant des teneurs
- Les indices en pour-cent des teneurs effectives en ces éléments, classées dans l'ordre des symboles précédents.

**I.3.2- Les fontes**

Ce sont des alliages de fer et de carbone tels que leurs teneurs en carbone est comprise entre 2 et 6.69%. Leur grande coulabilité permet d'obtenir des pièces de fonderie aux formes complexes. A cause du pourcentage élevé de carbone qu'elles contiennent, elles sont en général assez fragiles, peu ductiles (inadaptées aux déformations à froid : forgeage, laminage...) et difficilement soudables. La figure 1.4 donne la méthode de désignation des fontes :

EN-GJS-400-18 : Fonte à graphite sphéroïdale, de résistance maximale par traction 400MPa et d'allongement maximal 18%.

**Tableau I.1 : Fonte EN-GJS-400-18.**

Fonte		EN-GJS-400-18	
EN	Préfixe	400	Résistance maximale par GJ Fonte traction (en MPa)
GJ	Fonte		L'allongement A%
S	<b>L</b> : lamellaire <b>S</b> : sphéroïdale, <b>MW</b> : malléable à cœur blanc <b>MB</b> : malléable à cœur noir <b>N</b> : blanche...	18	

**a- Fontes à graphite lamellaire EN-GJL**

Elles sont les plus économiques, les plus utilisées. Ce sont les fontes de moulage par excellence. Le carbone se présente sous forme de fines lamelles de graphite qui lui donne une couleur « grise ».

**Propriétés** : bonne coulabilité, bonne usinabilité, grande résistance en compression et grande capacité d'amortissement des vibrations. Applications : bâtis de machine, supports, carters, blocs-moteur...

**b- Fontes à graphite sphéroïdal EN-GJS**

Ce sont les plus utilisées après les fontes à graphite lamellaire, obtenues par addition de petites quantités de magnésium juste avant moulage ; le graphite s'agglomère pendant le traitement sous forme de nodules ou sphères.

**Propriétés** : bonne ductilité, résilience et usinabilité. Applications : vilebrequins, arbres de transmission, tuyauteries...

**c- Fontes blanches EN-GJN**

C'est une solution de perlite et de cémentite. Le carbone s'y trouve sous forme de carbure de fer ( $Fe_3C$ ). Possédant une bonne coulabilité, et un aspect blanc brillant, la fonte blanche est principalement utilisée pour les pièces d'aspect les pièces d'usure et la fonderie d'art. Très résistante à l'usure et à l'abrasion, elle est très difficilement usinable. En fonction de la teneur des éléments d'alliages, il est possible d'obtenir des fontes blanches perlitiques, ou martensitiques.

**Propriétés** : excellente résistance à l'usure et à l'abrasion, un bel aspect, excellente coulabilité, difficilement usinables.

**d- Fontes malléables EN-GJMW et EN-GJMB**

Elles sont obtenues par malléabilisation de la fonte blanche –sorte de recuit- et ont des propriétés voisines de celle de l'acier. Elles peuvent être moulées en faibles épaisseurs et sont facilement usinables. Applications : carters, boîtiers...

**Tableau I. 2** : Les caractéristiques Fontes malléables EN-GJMW et EN-GJM.

Nuances	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	HB
Fontes à graphite lamellaire				
EN-GJL-150	100	150	0,8	160
EN-GJL-200	130	200	↓	190
EN-GJL-250	170	250	↓	210
EN-GJL-300	200	300	↓	230
EN-GJL-350	230	350	↓	260
EN-GJL-400	260	400	0,3	290
Fontes à graphite sphéroïdale				
EN-GJS-400-15	250	400	15	170
EN-GJS-500-7	320	500	7	210
EN-GJS-600-3	370	600	3	230
EN-GJS-700-2	420	700	2	260
EN-GJS-800-2	480	800	2	300
EN-GJS-900-2	600	900	2	330

#### I.4' Traitements thermiques

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but :

- a- D'améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné, à partir des modifications suivantes :
  - Augmentation de la résistance à la rupture et de la limite élastique  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $A$  % en donnant une meilleure tenue de l'élément.
  - Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.
  - De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage.
  - De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux avant subit une déformation plastique à froid (emboutissage, fluotournage). [2]

### I.4.1- Trempe de l'acier

C'est un traitement thermique de durcissement qui consiste à chauffer la pièce à une température  $727+50^\circ$  et plus, puis on lui fait subir un refroidissement rapide pour obtenir une dureté maximale suivant le cycle :

- Un chauffage dans le domaine austénitique ;
- Un maintien suffisamment lent afin de permettre la dissolution partielle ;
- Un refroidissement effectué à une température dite : température de trempe.

La trempe est souvent la première étape d'un traitement

### I.4.2- Le revenu : (entre $180^\circ\text{C}$ et $A_{c1}$ )

C'est un traitement thermique pratiqué souvent après la trempe pour éliminer les défauts causés par la trempe, par amélioration de la très faible résilience avec une diminution légère de la dureté :

- Chauffage à une température comprise entre  $180^\circ\text{C}$  et  $A_{c1}$  ;
- Maintien à cette température pendant deux (02) heures ;
- Refroidissement moyennement lent par immersion dans l'huile

**Tableau I.3 :** dureté après le revenu pour les aciers Z200 C12 (X210CrW12).

T (C)	100	200	300	400
Dureté HRC	63	62	60	58

### I.4.3- Cémentation : ( $920$ à $950^\circ\text{C}$ )

Diffusion de carbone en milieu pulvérulent, pâteux, liquide ou gazeux effectuée à une température supérieure à  $A_{c1}$ . Il est souvent suivi d'une trempe. Son but principal est l'obtention d'une surface dure et résistante à l'usure par enrichissement de la couche superficielle en carbone jusqu'à de 0.8 à 1.2%.

### I.4.4- Nitruration : ( $500$ à $570^\circ\text{C}$ )

C'est un traitement qui consiste à sauter en azote la surface de l'acier dans le milieu ammoniac. La nitruration accroît sensiblement la dureté de la couche superficielle, sa tenue à l'usure, la limite de fatigue et la tenue à la corrosion dans des milieux comme l'atmosphère, l'eau, la vapeur etc...

#### **I.4.5- Cyanuration et carbonitruration : (730 à 830°C)**

C'est une saturation simultanée de la surface de l'acier en carbone et en azote. Ce traitement prévoit surtout l'augmentation de la dureté et de la tenue à l'usure.

#### **I.5- Conclusion**

Les matériaux utilisés dans la conception des outils, ont tous des propriétés qui les caractérisent et qui permettront de les différencier. Parmi ces propriétés, les plus courantes sont :

- Propriétés chimiques
- Propriétés mécaniques

Le choix d'un matériau pour la réalisation des outils dépend des contraintes de fabrication et de fonction, de ce fait on utilise dans l'industrie de la transformation des tôles les aciers et les fontes.

Pour améliorer et satisfaire la qualité et la dureté des éléments de l'outil, on doit lui subir des traitements thermiques.



CHAPITRE II

PROCEDER DE MISE EN

FORME DES TÔLES

---

## PROCEDES DE MISE EN FORME DES TOLES

### II.1- Introduction

La tôle est une plaque dérivée du laminage de dalles, produits semi-finis en acier obtenus à partir du coulage de métal liquide. La tôle est conditionnée en bobines de différentes épaisseurs et de largeurs.

Des techniques de mise en forme des tôles ont pour objectif de donner une forme déterminée tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un produit ayant les propriétés souhaitées.

### II.2- Définition de formage

Le formage des tôles est une opération qui assure la fabrication des pièces en production de grande série à faible coût. Rapportés à la qualité des pièces finales obtenues. Les procédés de mise en forme restent la forme la plus économique d'obtention des produits par déformation plastique des métaux. Aux cours du formage, les pièces subissent des variations dimensionnelles ou des caractéristiques fonctionnelles qui peuvent affecter, d'une manière considérable leur qualité finale. On distingue trois types principaux de mise en forme après avoir découpé la tôle des bobines sous forme de flan : [11]

- Emboutissage (voir chapitre III et IV).
- Poinçonnage et détourage.
- Pliage.

#### II.2.1- Découpage

Au sens général du terme, le découpage désigne l'ensemble des opérations de découpage pratiquées sur presse. Ce terme a également un sens plus précis lorsqu'on veut différencier la partie de l'outil (poinçon ou matrice) qui détermine la géométrie de la partie de la pièce découpée. Pour cette raison, nous présentons ci-dessous les définitions plus précises de termes utilisés par la profession pour désigner les différentes opérations de découpage :

Le découpage permet la réalisation du contour du flan ou de la pièce et pour lequel la partie importante de l'outil qui assure la précision dimensionnelle de la pièce, compte tenu du jeu, est la matrice

### II.2.1.1- Procédés du découpage

Il existe de nombreuses techniques de découpage. Elles sont choisies en fonction de la nature et de la dimension des matériaux à travailler :

#### a- Le cisailage

Il permet de séparer totalement ou partiellement un élément métallique à l'aide de deux lames dont l'une, au moins, est mobile.

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active des lames, il se produit une déformation élastique, puis un glissement avec décohésion du métal suivant deux directions formant l'angle  $\beta$ , ainsi que la profondeur de la décohésion varie suivant la nuance du métal et son état. Globalement un tiers de la section est cisailé, deux tiers sont arrachés.

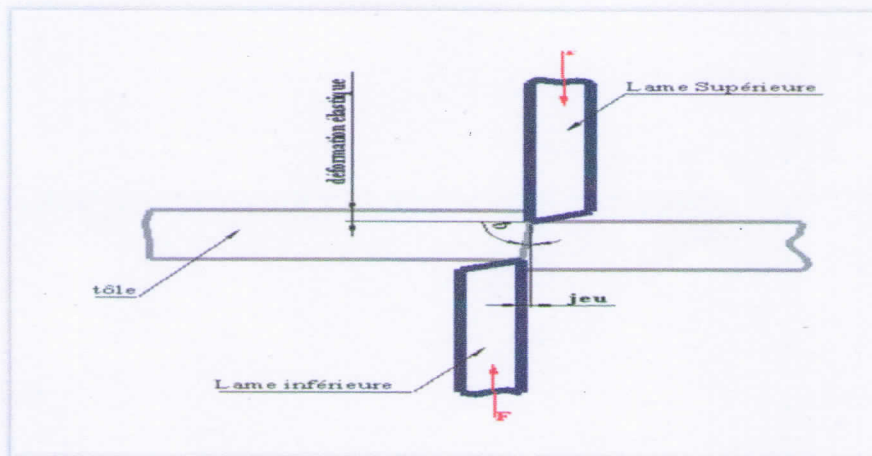
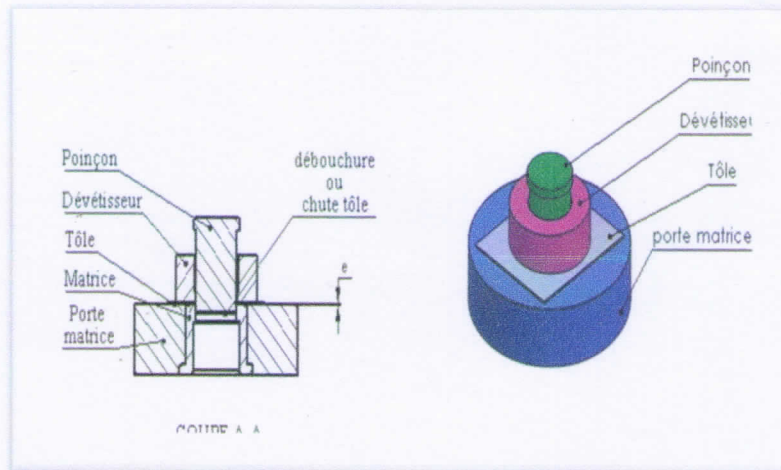


Figure II.1: Principe de cisaillement

#### b- Poinçonnage

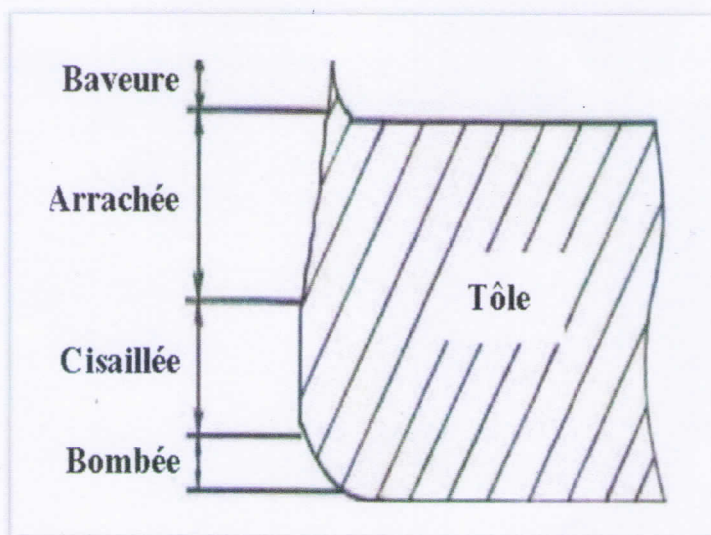
Un poinçon et une matrice remplaçant les lames de cisaille.



**Figure 2:** Poinçonnage

Le découpage permet d'obtenir des pièces directement prêtes à l'emploi. Des opérations de reprises ne sont donc pas nécessaires après les opérations de découpage. La qualité du produit découpé est caractérisée par l'aspect du profil présenté sur la figure (II.3). En plus des longueurs caractéristiques, d'autres défauts de fabrication peuvent apparaître sur le produit fini [3] :

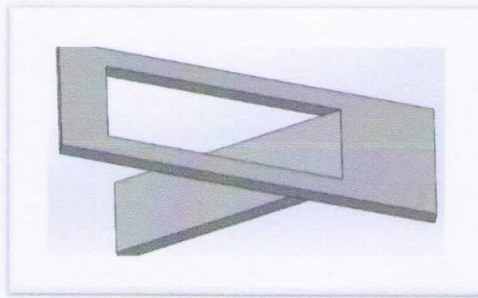
- Les variations de côtes,
- L'apparition de défaut de forme,
- La modification des caractéristiques mécaniques du matériau dans la zone découpée.



**Figure II.3 :** Longueurs caractéristiques du profil découpé

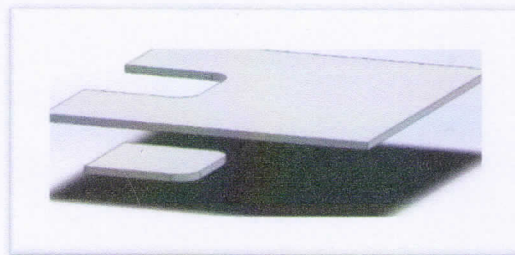
**II.2.1.2- Autre procédure de découpage [4]**

**a- Crevasse :** c'est un découpage partiel



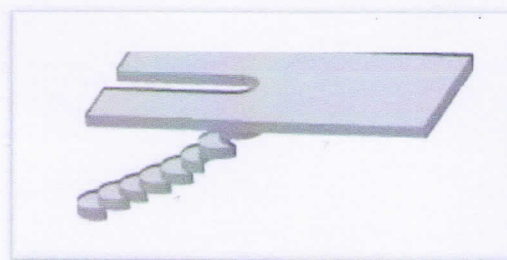
**Figure 4 :** Crevasse

**b- Encochage :** Découpage débouchant sur un contour.



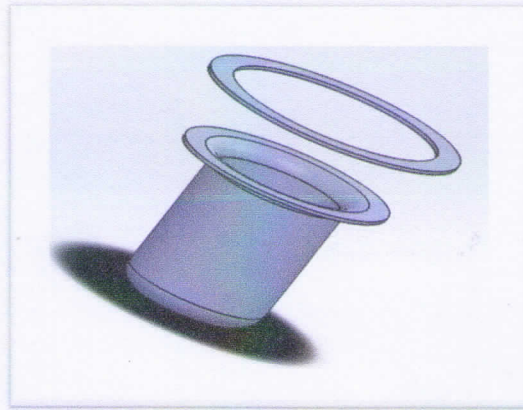
**Figure II.5 :** Encochage

**c- Grignotage :** Poinçonnage partiel par déplacement progressif de la pièce ou du poinçon.



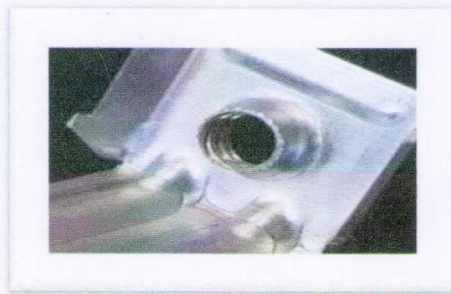
**Figure II.6 :** Grignotage

**d- Détourage :** Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation.



**Figure II.7 :** Détourage

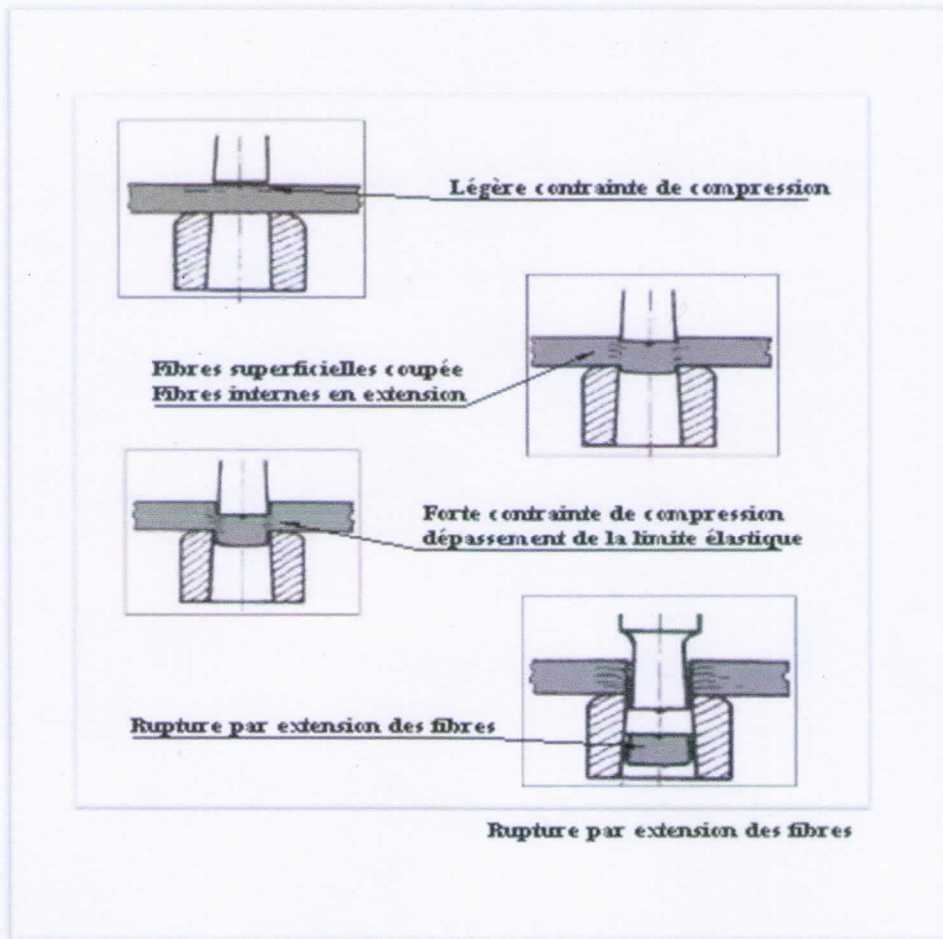
**e- Soyage :** Le soyage consiste à former un collet, soit par perçage de tôle, ou par un poinçon de forme pointue ou encore sur un profil déjà formé.



**Figure II.8 :** Soyage

### ***II.2.1.3- Différentes phases d'une opération de découpe***

La figure I.4 décrit les étapes successives de la réponse du matériau de tôle à la pénétration du poinçon. Après une première phase de légère compression, les fibres superficielles sont découpées alors que les fibres intérieures sont en tension. Ensuite, on observe une zone de forte compression où la limite d'élasticité du matériau de 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 [5]



**Figure II.9** : Différentes étapes du découpage

#### II.2.1.4- Influence des paramètres de l'opération de découpage

L'étude des efforts développés au cours de l'opération de découpage a fait l'objet de nombreux travaux. Les différents travaux mettent en évidence l'influence des paramètres du procédé sur les efforts de découpe et la qualité du produit final. Pour le produit final, les travaux de plusieurs auteurs ont permis de recenser les paramètres qui influencent la qualité du profil découpé [4] :

- Le jeu entre le poinçon et la matrice,
- La géométrie de l'outillage,
- L'épaisseur et la nature du matériau de la tôle,
- Le coefficient de frottement,
- La vitesse de découpe.

## II.2.2- pliage [5]

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

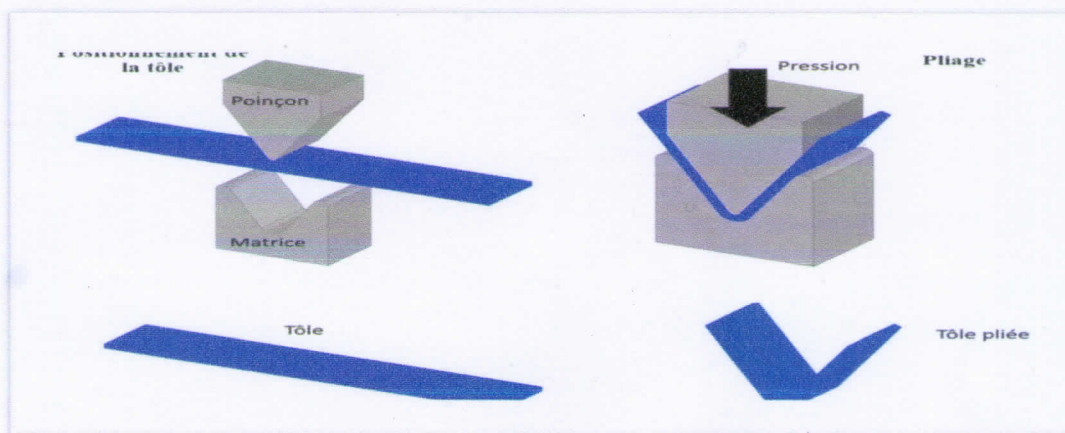


Figure II.10 : principe de pliage

### II.2.2.1- Différents types de pliage

Suivant la géométrie des poinçons et les matrices, trois types de pliage sont distingués

#### a- Pliage en vé

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 imposée au poinçon, le pliage est en l'air ou en frappe.

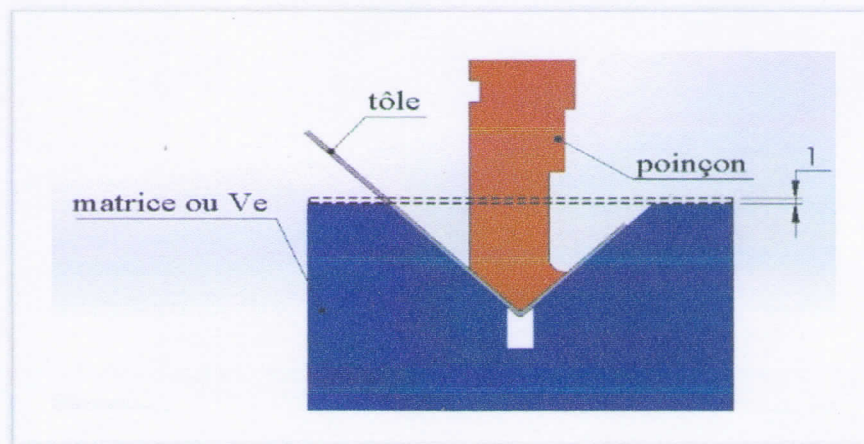


Figure II.11 : pliage en Vé

### ❖ Pliage en l'air

Dans le cas d'un pliage en l'air, la tôle est placée sur les arêtes du vé, ou poinçon, descend dans le vé, exerçant la force nécessaire pour déformer la tôle selon l'angle désiré.

Un certain nombre d'éléments influencent la formation de cet angle, pour un réglage défini : la tolérance de l'épaisseur de la tôle, les flexions du tablier, du coulisseau et la dimension des vé.

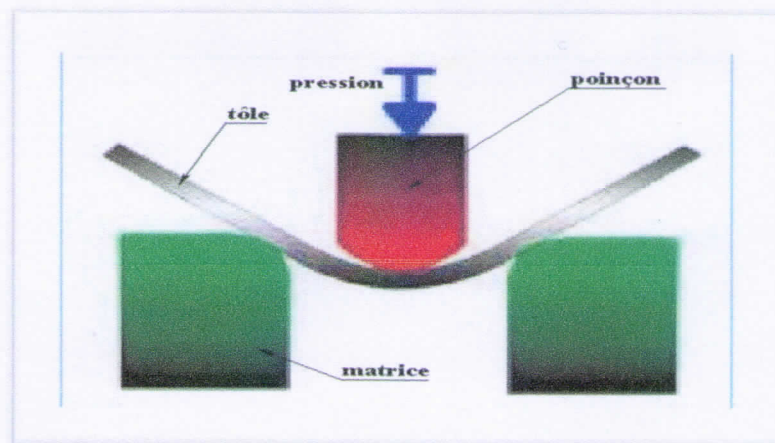


Figure II. 12 : pliage en air

### - Pliage en frappe

Également appelé pliage en fond de matrice, le pliage en frappe permet de marquer la tôle avec le poinçon, avec une telle force qu'il dépasse sa caractéristique élastique, supprimant, de fait, l'effet retour associé.

Ce forgeage à froid, réalisé en fond du vé, donne ainsi l'angle de pliage et nécessite une force très importante.

Autrement dit, cette méthode débute un pliage en l'air, avant d'exercer un effort de pénétration supplémentaire, pour que la tôle se positionne sur les faces de la matrice.

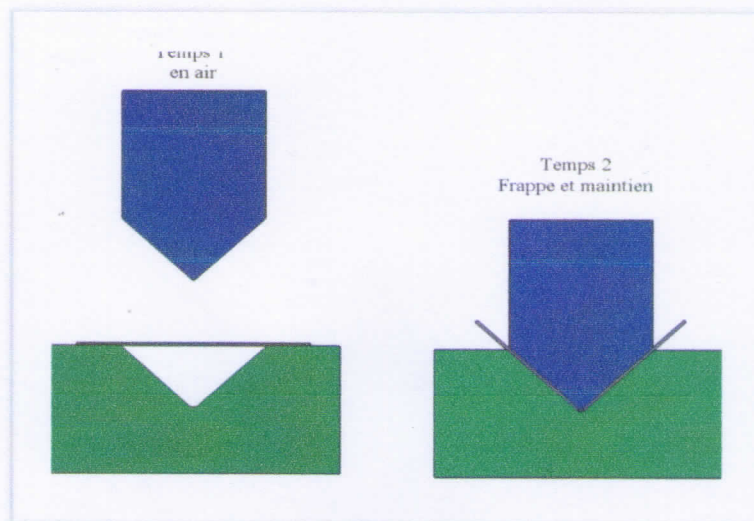


Figure II. 13 : pliage en frappe

### - Pliage en U

Le principe est voisin de celui du pliage en vé. Seuls les outils (poinçons et matrices seront différents).

Cela ressemble cependant a de l'emboutissage. On peut obtenir avec cette méthode une infinité de formes pliées, si les outils sont disponibles.

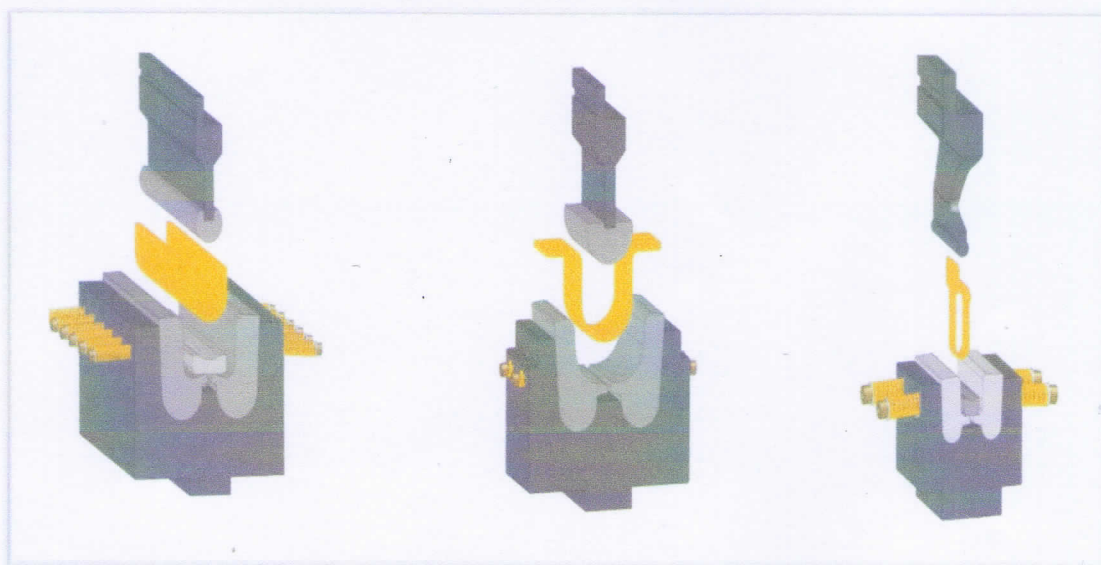


Figure II. 14 : pliage en U

### - Pliage en L

Le pliage en L ou en tombé de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à  $90^\circ$  maintenu entre la matrice et le serre-flan. Au niveau du pli, on définit la surface intérieure comme étant celle qui adopte de pliage, la surface extérieure étant celle avec le plus grand rayon.

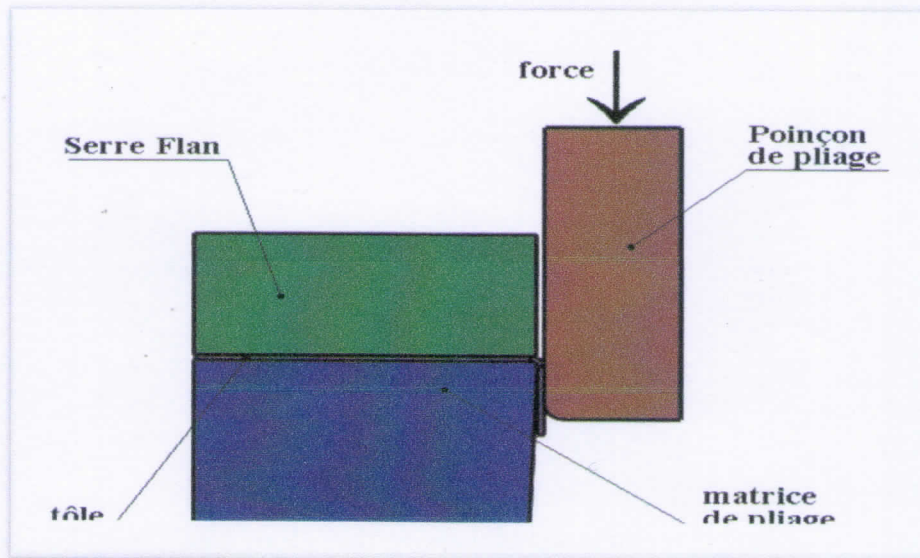


Figure II. 15 : pliage en L

**II.2.2.2- Paramètres qui influencent sur les opérations de pliage**

Plier une tôle, c’est relever une partie de cette tôle de façon à former un angle dont l’arête est rectiligne et plus ou moins arrondie [5] :

**a- Rayon minimum de pliage :**

Le rayon intérieur de pliage ne doit jamais être vif, car il constituerait une fatigue exagérée du métal et aurait un amincissement trop important qui pourrait amener une cassure.

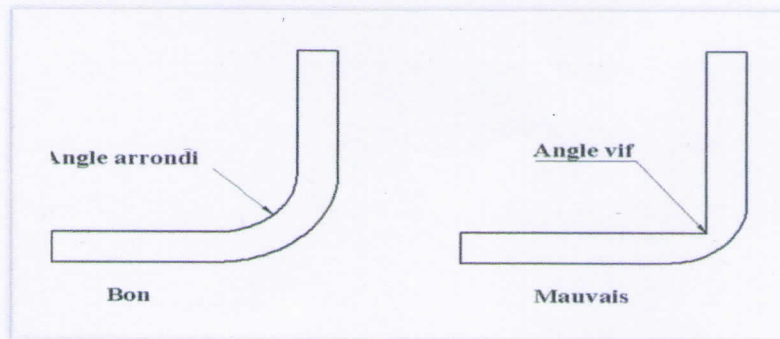


Figure II. 16 : rayon de pliage

**b- Caractéristiques d’un pli [5]**

Lors de pliage d’une tôle, il se produit une déformation plastique dans le pli. Cette déformation est de type allongement de la partie extérieur et compression de la partie.

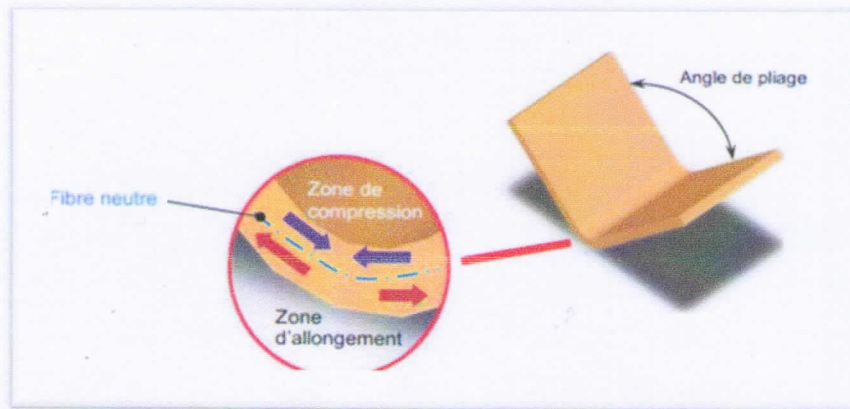


Figure II. 17 : déformation des fibres

### c- Retour Élastique

Le retour élastique est un changement géométrique qui survient à la fin du processus de formage lorsque les efforts appliqués par l'outil, sur la pièce, sont relâchés. Une fois le formage de tôle terminé, les pièces pliées ou étirées subissent un retour élastique et cela affecte la précision dimensionnelle de la pièce finie. La forme finale d'une pièce est modifiée par le retour élastique, ce qui rend la production de la pièce difficile [5].

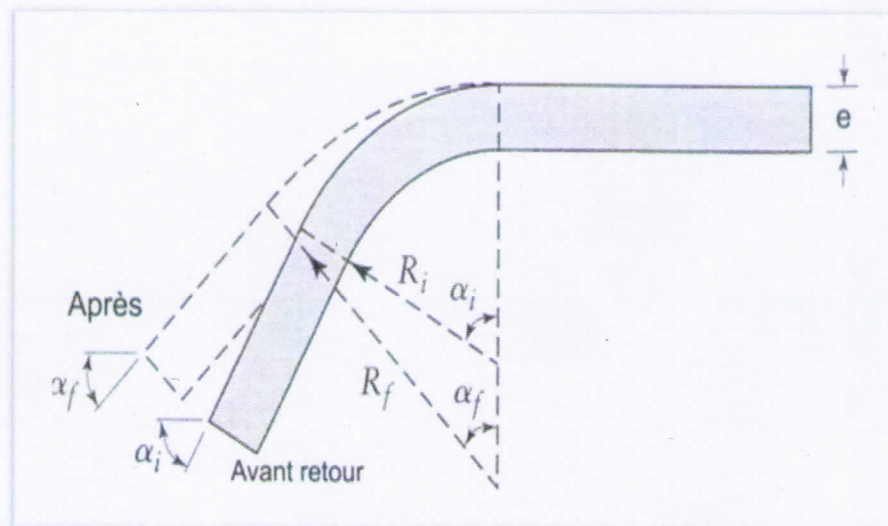


Figure II. 18 : Retour élastique.

Le formage des métaux intègre un grand nombre de procédés dans lesquels la déformation plastique est utilisée pour changer la forme de la pièce à fabriquer. La déformation est obtenue par un outil appelé « **matrice** », qui applique des contraintes au-delà de la limite élastique du métal. Le métal est déformé pour prendre la forme déterminée par la géométrie de la matrice. Les contraintes appliquées pour déformer plastiquement les métaux sont généralement des contraintes de compression. Elles sont classées en deux catégories : [11]

## II.2.3- Formage par compression

### a- Laminage [4]

Le produit passe entre deux cylindres tournant en sens inverse qui lui font subir une réduction d'épaisseur au profit de la longueur. Par laminage, on obtient des produits en feuille (tôle) ou des profilés (rail, barre, poutrelles). La réduction d'épaisseur varie de 20 à 90 % suivant la température, le type de laminoirs et le nombre de passe. On distingue le laminage à chaud et le laminage à froid. Le laminage à froid est généralement utilisé pour obtenir des épaisseurs faibles et inférieures ou égales à 3mm.

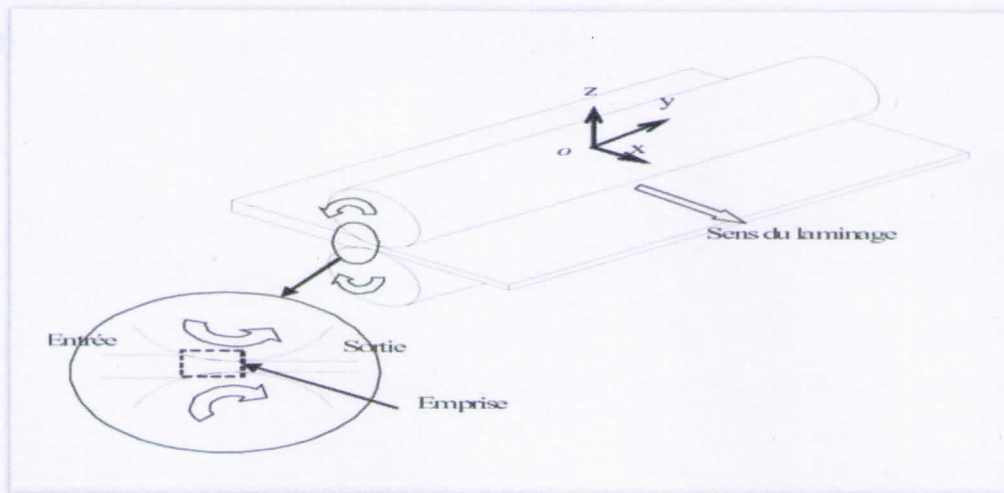


Figure II.19 : Laminage

### b- Matriçage

La forge par matriçage est une opération qui consiste à former par déformation plastique après chauffage des pièces réalisées en alliages non ferreux tels que ; le cuivre, les alliages d'aluminium, le nickel, etc. Cette opération de forge s'effectue à l'aide d'un outillage appelé matrice. Cette dernière est composée de deux parties, supérieure et inférieure. Les deux parties de la matrice portent en creux la forme de la pièce à réaliser. Généralement, il se fait en une seule phase [4].

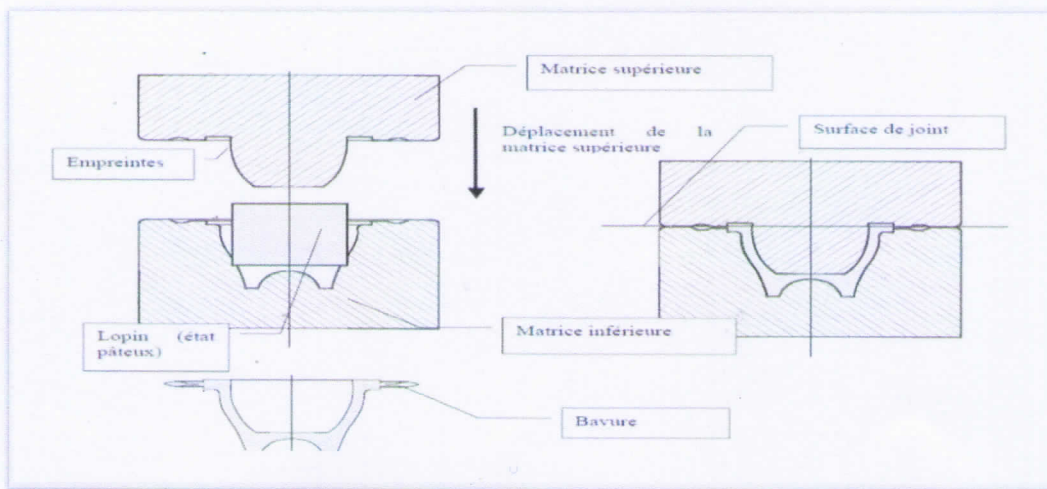


Figure II.20 : Matricage

### II. 3- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude théorique sur le formage (découpage, pliage), l'emboutissage ainsi que les différents paramètres qui l'influent sur ces opérations comme son rayon et le jeu entre poinçon et matrice qui fera l'objet de notre travail .

Le laminage et le matricage sont définis comme procédés de mise en forme des tôles par formage de compression.



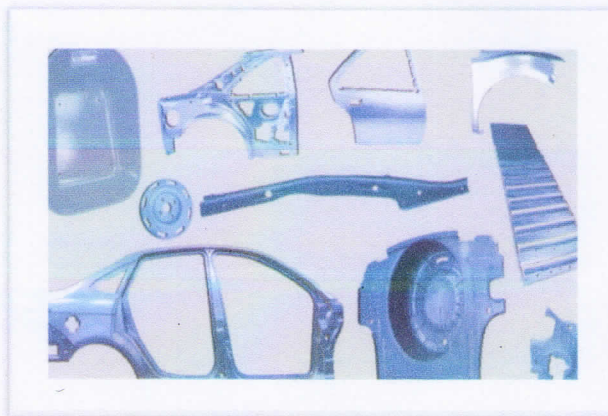
## DIFFERENTS PROCÉDES D'EMBOUITISSAGE DES TOLES

### III.1- Introduction

L'emboutissage consiste à fabriquer, à partir d'un flan plan de faible épaisseur, une pièce de forme complexe généralement non développable. Le flan étant plaqué, avec une certaine force contre la matrice, par la serre flan et mis en forme par avancée du poinçon à l'aide d'une presse [6].

Le procédé d'emboutissage est important dans les divers secteurs industriels : transport, carrosserie automobile (Figure III.1), appareils électroménagers, emballages métalliques, etc.

Un des intérêts principaux expliquant le succès de ce procédé réside dans la variété des composants réalisables et la cadence de production élevée. L'opération d'emboutissage peut se faire à froid ou à chaud, par l'intermédiaire d'une presse ou d'une ligne des presses lorsque plusieurs opérations sont nécessaires (Figure III.2).



**Figure III.1** : Emboutissage d'aile d'une voiture



**Figure III.2** : Ligne de presses d'emboutissage

### III.2- Définition

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique à chaud ou à froid des métaux. Il transforme une feuille de métal appelée flan en une surface généralement non développable. Le cas particulier, plus simple, du pliage délivre des pièces développables. L'opération d'emboutissage est effectuée sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration la plus simple, appelée outil à simple effet comprend deux pièces principales : la matrice et le poinçon. L'une est bridée sur la table fixe, l'autre sur le coulisseau animé d'un mouvement rectiligne alternatif. L'outillage double effets comprend en plus un serre-flan qui assure le contrôle de l'écoulement du métal pour prévenir la formation de plis sur la pièce finie. L'emboutissage impose à la tôle divers modes de déformation [6].

On distingue deux types d'emboutissage : l'emboutissage à froid et l'emboutissage à chaud :

#### a- Emboutissage à froid

Il est réalisé sur des presses mécaniques. L'emboutissage à froid est réservé aux matériaux d'épaisseur inférieure à 6mm (aluminium, aciers inoxydables, laiton, aciers doux (0.2% C Max), ce procédé impose, sauf rares exceptions, un outillage double effet. Les emboutis peu profonds ou ne nécessitant pas d'importants efforts de serrage, sont exécutés sur des presses double effets. Le serre-flan applique la tôle sur la matrice pendant toute la durée du travail du poinçon, l'opération terminée, la pièce est dégagée soit à l'aide de l'éjecteur, soit au travers de la matrice [6].

#### b- Emboutissage à chaud

Il est réalisé exclusivement sur presses hydrauliques. Il est réservé aux matériaux peu ductiles (magnésium, titane, zinc, ...), aux emboutissages profonds, et aux tôles de forte épaisseur nécessitant de grands efforts (épaisseur supérieure à 7 mm pour l'acier). Les cadences.

### III.3- Principe d'emboutissage

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau. L'emboutissage passe par les étapes suivantes :

- **Étape 1** : Dans la première étape, le poinçon et le serre-flan sont relevés. La tôle (ou le flan), préalablement graissé(e), est posé(e) sur la matrice
- **Étape 2** : Le serre-flan descend et vient appliquer une pression de serrage afin de maintenir le flan tout en lui permettant de se déformer plastiquement
- **Étape 3** : Dans la troisième étape, le poinçon descend et déforme plastiquement la tôle.
- **Étape 4** : Le poinçon puis le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée).
- **Étape 5** : La dernière étape est l'élimination par détournage des parties devenues inutiles (Essentiellement les parties saisies par le serre-flan).

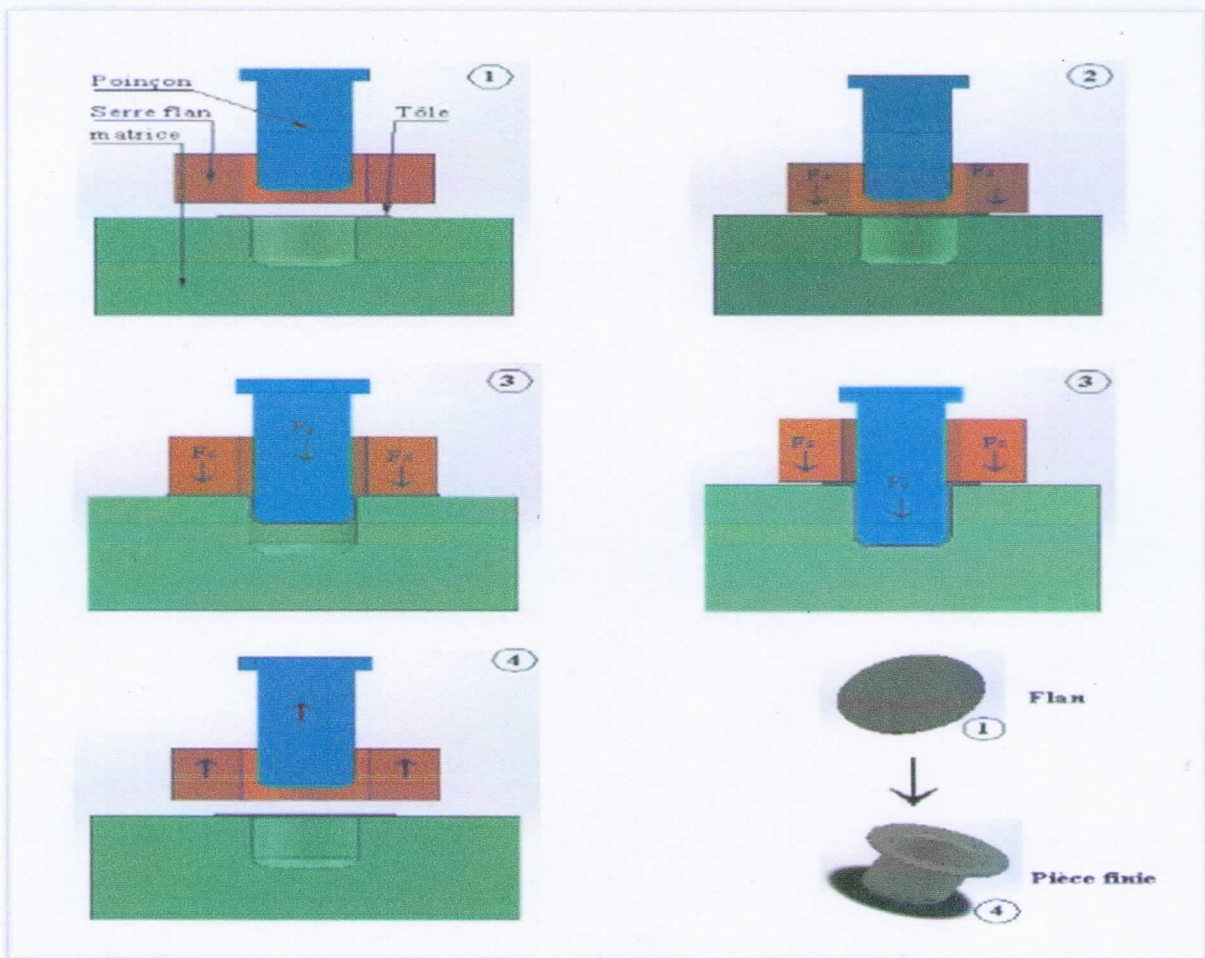


Figure III.3 : principe d'emboutissage

### III.4- Modes 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 :

- a) **L'expansion** : c'est l'accroissement du diamètre d'un corps creux, par action sur sa paroi interne à l'aide d'un outil, d'un fluide ou d'un matériau élastique. Le schéma (Figure III.5.a) met en évidence un emboutissage par expansion sur le poinçon, le flan étant bloqué sous le serre flan, l'épaisseur sous le poinçon diminue.
- b) **Le retrait** : c'est la réduction diamétrale de l'extrémité ouverte d'un corps creux. Le schéma (Figure III.5.b) montre un emboutissage profond avec rétreint du métal glissant sous le serre flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice peut augmenter.

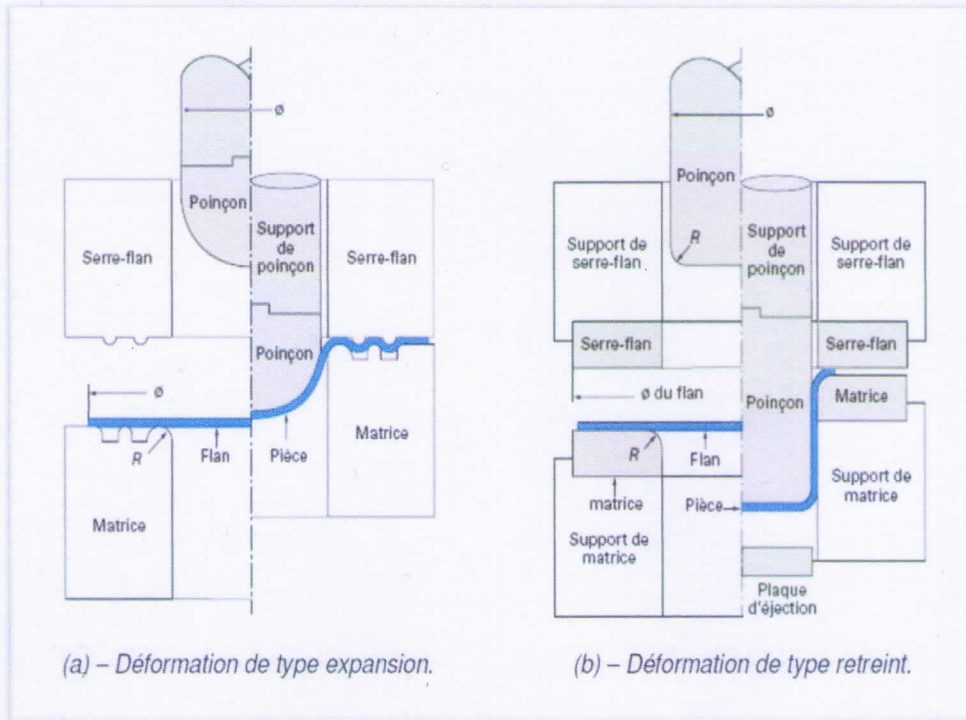


Figure III.4 : Modes d'emboutissage.

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.

**Remarque :**

L'épaisseur de la pièce finie diffère de l'épaisseur du flan, l'épaisseur du fond de la pièce étant proche de celle du flan. Aux endroits de passage du fond à la paroi latérale, on peut constater un amincissement de 10 à 25%, et près de la face d'about un épaissement de 15 à 25% [6].

### III.5- Procédé d'emboutissage

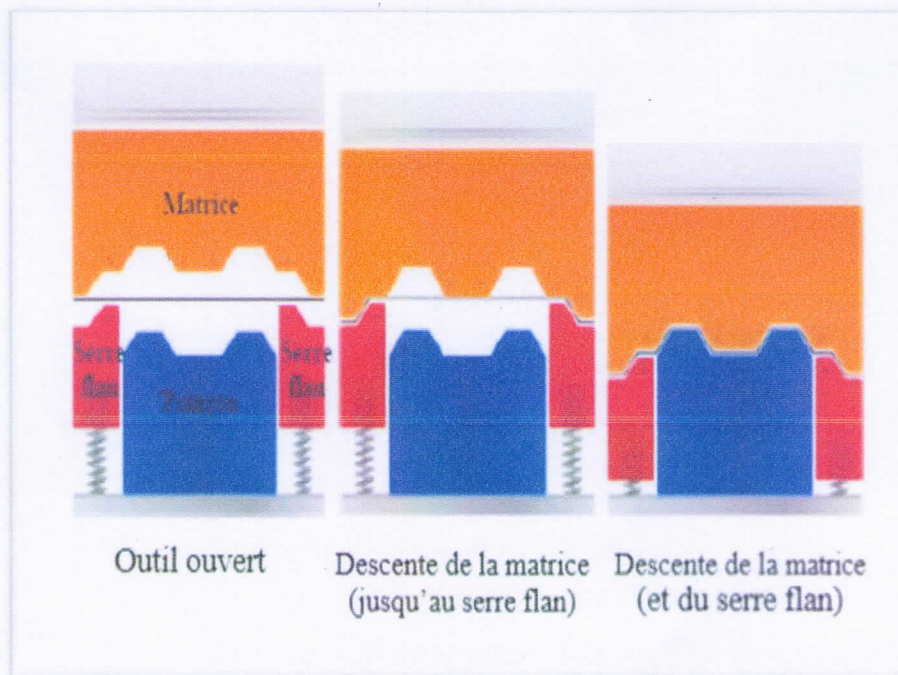
Les cadences de production, souvent très intenses (voisines de 2200 pièces /jour, pour pièces de la cuisinière ENIEM) font du procédé d'emboutissage, une opération de mise en forme très attractive du point de vue des coûts de production. Pourtant la mise en point des outils d'emboutissage nécessite un savoir-faire que seuls, souvent pour l'instant, les emboutisseurs détiennent. En effet les principales difficultés rencontrées pour obtenir une forme finale correcte sont nombreuses :

- L'état de la surface des tôles doit être parfaitement lisse,
- Les zones de faibles épaisseurs doivent être contrôlées,
- Les plis et les ruptures (par striction) doivent être évités,
- Le retour élastique de la tôle après emboutissage doit être pris en compte.

Les interactions superficielles de la tôle avec les outils ont évidemment une influence sur la qualité de la pièce formée et la maîtrise de l'opération requiert une connaissance au moins qualitative de l'effet des paramètres sur leur intensité.

#### III.5.1- Emboutissage simple effet (sans serre flan)

Cette configuration est la plus simple. Elle est composée d'une matrice et d'un poinçon (équipé d'un coussin élastique situé sous la table de la presse). Pour cette technique, les emboutis réalisées sont peu profond et ne nécessitent pas d'important effort de serrage.

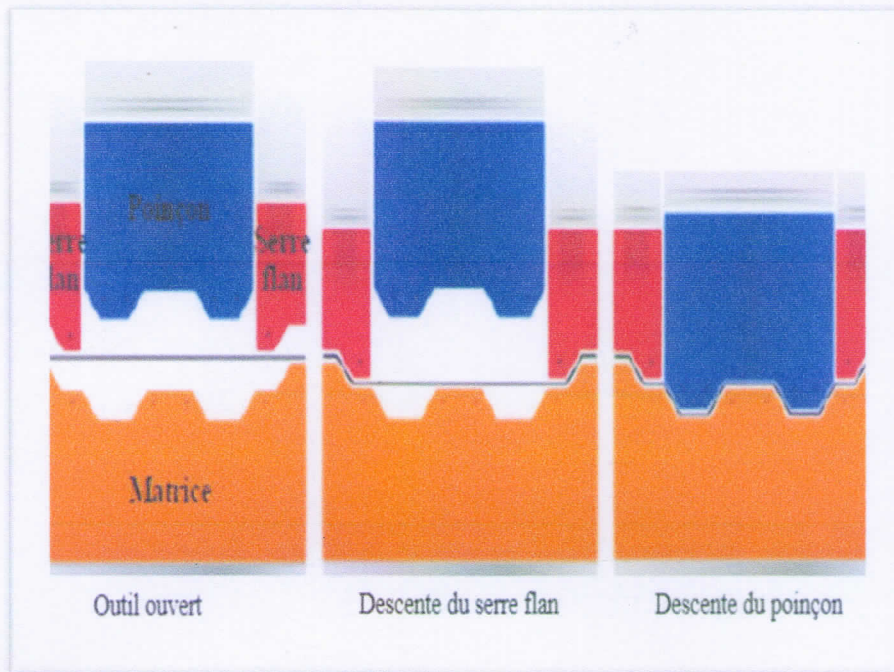


**Figure III.5 :** Emboutissage simple effet (sans serre flan)

### III.5.2- Emboutissage double effets (avec serre flan)

Par rapport à l'emboutissage à simple effet, l'emboutissage double effets comprend en plus un serre-flan. Cette technique de formage est la plus répandue dans l'industrie.

Ici les emboutis sont très profonds et les efforts d'emboutissage sont importants. Un serrage très efficace d'emboutissage.



**Figure III.6 :** Emboutissage double effets (avec serre flan)

### III.6- Matériaux et formes d'emboutis

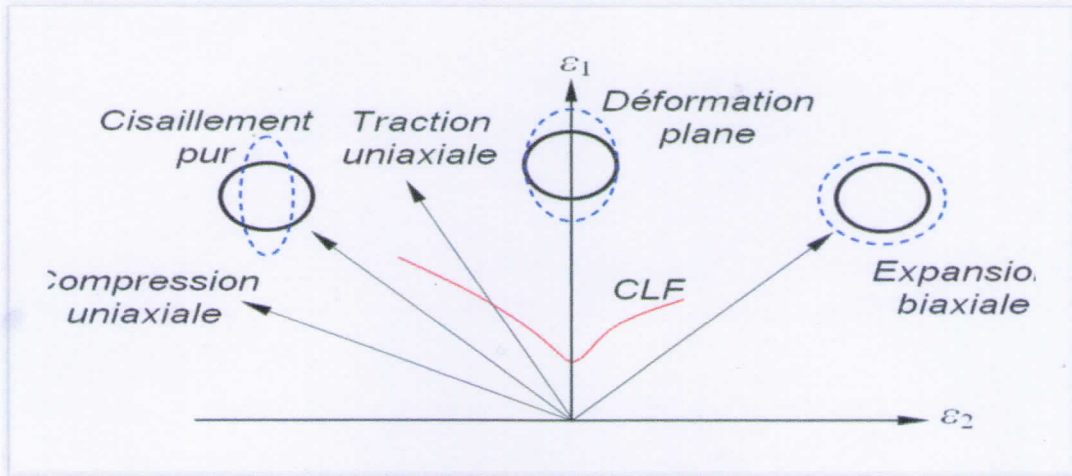
La technique d'emboutissage permet de mettre en forme de nombreux matériaux que ce soit des aciers des alliages non ferreux ou des pâtes. Néanmoins, la mise en œuvre d'une tôle nécessitera certains réglages ou certaines actions préalables dépendant de la nature même du matériau.

#### III.6.1- Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage

Au cours de l'opération d'emboutissage des tôles minces, différents modes des sollicitations peuvent apparaître dans certaines zones de l'embouti, conduisant à la formation d'ondulations que nous matériau donné, ces capacités de déformation peuvent différer fortement d'un mode à l'autre et c'est la raison pour laquelle nous aborderons l'étude de la formabilité des tôles par la définition de ces différents modes :

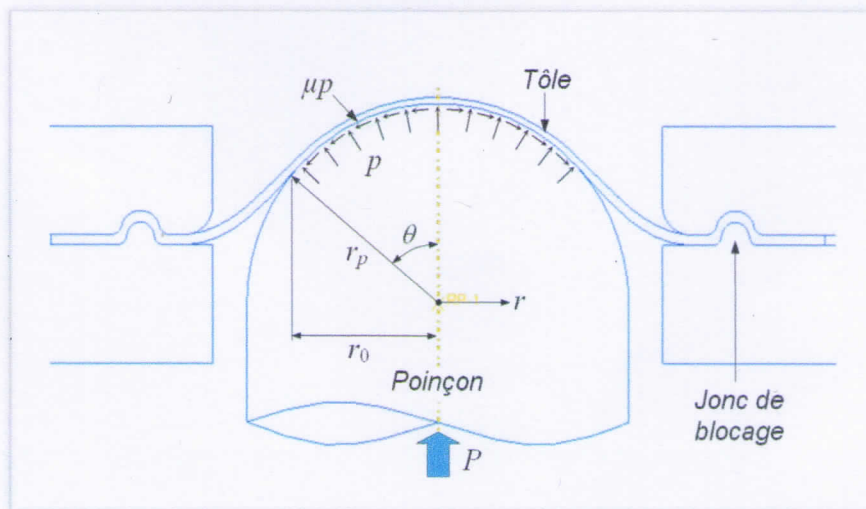
- Expansion biaxiale.

- Cisaillement pur.
- Traction uniaxiale.
- Rétreint.
- Compression uniaxiale.



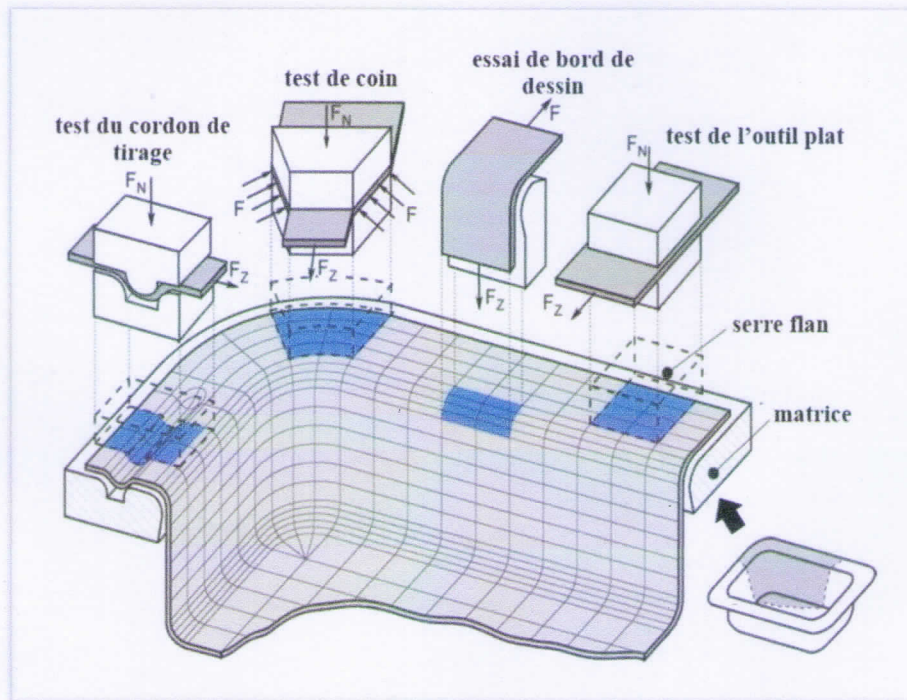
**Figure III.7 :** Modes de déformation dans le repère des déformations principales

La Figure III.8 met en évidence un emboutissage par expansion pure. La tôle est soumise à l'action d'un poinçon hémisphérique alors que le métal du flan est bloqué sous le serre flan : la surface du flan a donc augmenté au détriment de son épaisseur. Les conditions de lubrification ont peu d'influence sur l'évolution de l'aire de contact et sur la force d'emboutissage, mais beaucoup sur la déformation plastique. A faible frottement, l'amincissement est maximal au pôle de l'embouti où se produit la rupture. Plus le frottement augmente, plus l'amincissement s'éloigne du pôle [6].



**Figure III.8 :** Emboutissage en expansion pure

La Figure III.9 montre une situation d'emboutissage profond, sur lequel nous identifions plusieurs secteurs et principaux modes de déformation (rétreint, expansion, flexion, pliage, etc.). Le secteur sous serre-flan repéré Rétreint subit une compression circonférentielle, qui résulte de l'avalement du métal dans la partie semi circulaire de la matrice. La bordure initiale de ce secteur se raccourcit au fur et à mesure que le poinçon descend. Nous sommes ainsi en présence d'une contraction de la matière conduisant à la formation des ondulations si les contraintes de compression dépassent une valeur critique. La partie inférieure du flan qui a été poussée par le poinçon subit une traction biaxiale (bi-expansion). La partie verticale qui joint la partie en contact avec le poinçon et celle en contact avec la matrice subit une traction plane. Une partie de la tôle peut passer de la zone sous le serre flan à la zone en traction simple, elle subit alors un phénomène de flexion alternée (cambrage dé cambrage) en passant le rayon de la matrice.

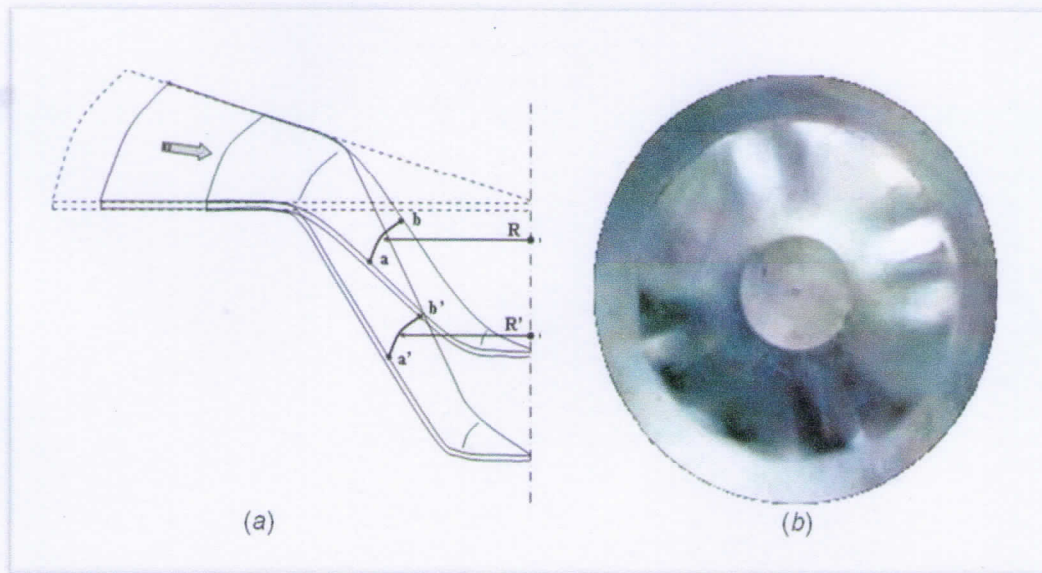


**Figure III.9:** Les modes de déformation sur un embouti.

Dans le cas d'un godet (Petit récipient sans pied ni anse) conique (Figure III.11a), la partie libre de l'embouti située entre la matrice et le poinçon se contracte parce que le rayon  $R$  de l'arc  $ab$  qui se déplace en  $a'b'$  diminue. Il en résulte des contraintes de compression circonférentielles, qui peuvent atteindre des valeurs critiques conduisant à la formation des plis (Figure III.11b) [6].

Pour éviter ce type de problèmes la meilleure réponse consiste à limiter autant que possible les brins libres dans les zones centrales des pièces, avec des presseurs ou en utilisant des systèmes appliquant une pression sur la face intérieure (hydroformage ou élastoformage). Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible.

Les métaux en feuille sont très sensibles à ces modes de déformation. Ainsi, de ce fait l'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces modes et à optimiser l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre flan .



**Figure III.10** : Plissement dans la partie libre de l'embouti.

### III.7- Formes des pièces embouties usuelles

D'une façon générale, les pièces embouties sont de forme simple telle que cylindrique, conique, sphérique ou prismatique. Cependant, ces formes simples sont déjà relativement difficiles à réaliser et ne sont généralement réalisables qu'avec un emboutissage par étapes, c'est à dire un emboutissage où la forme désirée n'est obtenue qu'après un certain nombre de phases successives.

#### III.7.1- Forme cylindrique

La forme cylindrique est facilement réalisable avec de bonnes conditions opératoires. A partir de cette forme simple, il est possible de réaliser des formes plus évoluées avec la méthode d'emboutissage dite renversée.

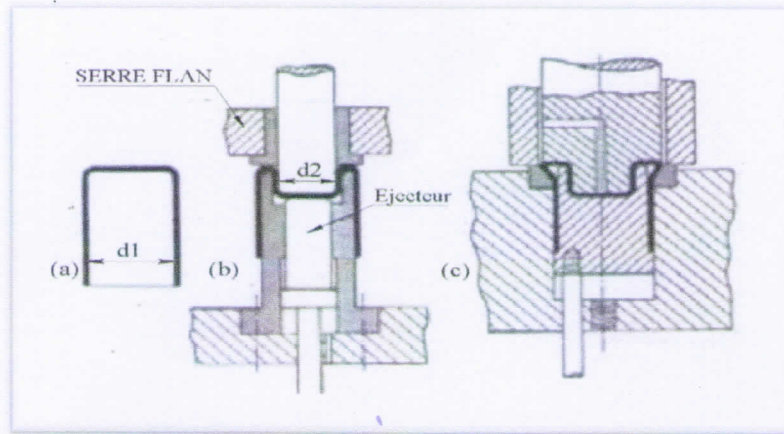


Figure III.11: Emboutissage renversé.

III.7.2- Forme demi-sphérique

L'emboutissage d'une demi-sphère est difficile en raison de la formation de plis, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet

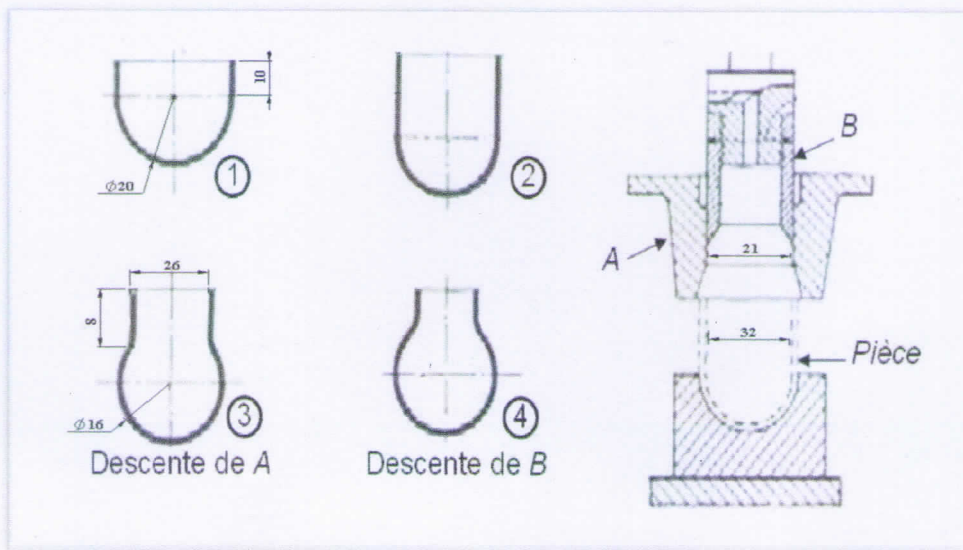


Figure III.12 : Emboutissage de pièce demi sphérique.

III.7.3- Forme rectangulaire

Dans les emboutis rectangulaires, on peut considérer que seuls les rayons latéraux sont emboutis (quart d'embouti cylindrique), les flancs étant simplement cambrés.

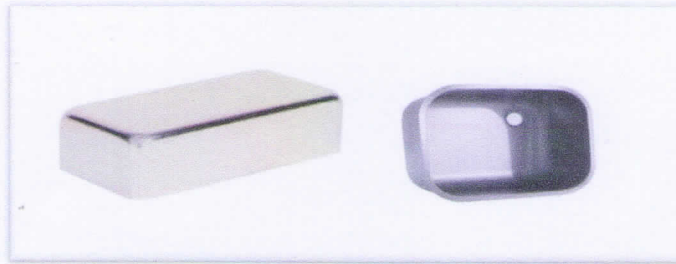


Figure III.13 : Emboutis rectangulaires.

### III.8- Principaux défauts rencontrés en emboutissage [6]

Au cours de l'opération de mise en forme par emboutissage, la feuille métallique subit différents modes de sollicitations. Dans certaines conditions, ces modes conduisent à la formation d'ondulations que nous désignerons généralement sous le nom plis ou à un amincissement excessif conduisant à la rupture de la tôle Figure III.14.

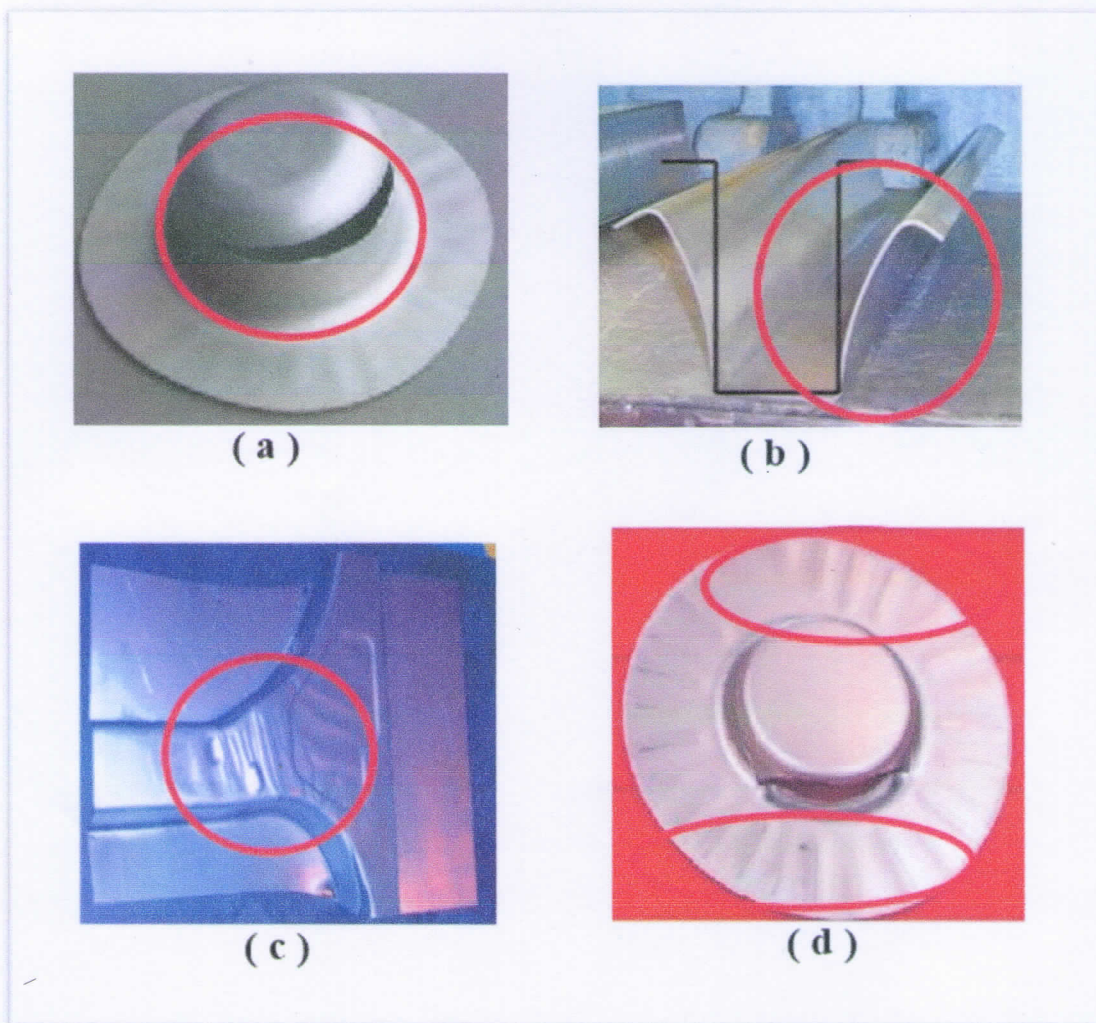


Figure III.14 : Rupture (a), retour élastique (b) et plissement (c) et (d).

La rupture et le plissement ne sont pas les seuls critères d'acceptation ou de refus d'une pièce. En effet, selon la fonction recherchée de l'embouti final, les défauts géométriques doivent être pris en compte le plus précocement possible dans la conception des pièces. Il s'agit d'apporter des modifications sur sa géométrie et/ou adapter l'outil ou les paramètres du procédé, pour compenser les écarts géométriques et réduire le retour élastique. La difficulté principale de l'emboutissage de pièces complexes est de contrôler le procédé à l'intérieur de ces limites de défaillances. Nous souhaitons que la pièce après mise en forme ne présente pas de défauts volumiques, surfaciques et dimensionnels :

- Les défauts de la surface tels que la présence de rayures, signes de grippage, etc.
- La rupture.
- Le plissement
- La non-conformité de la forme de la pièce qui est due à un retour élastique excessif ou à une formation de plis dans certaines zones de la pièce emboutie.
- La détérioration du revêtement.

La meilleure réponse à ce type de phénomène consiste à éviter de telles zones de compression lors de l'opération de mise en forme. Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible. Sur le plan matériau, les éléments à prendre en compte sont :

- **L'épaisseur** : Plus elle est faible, plus l'inertie décroît, plus le plissement est probable.
- **La limite d'élasticité** : Sous l'action d'une compression dans son plan, l'idéal serait qu'une tôle s'épaississe en se déformant plastiquement. Mais plus la limite d'élasticité est élevée, plus est retardé le début de cette déformation plastique, plus haute est la contrainte atteinte et plus brusque sera le flambement de la tôle. Les tôles ayant les plus basses limites d'élasticité sont donc celles qui plisseront le moins.
- **Le coefficient d'anisotropie normale  $r$**  : S'il a une haute valeur cela signifie que le métal se rétreint facilement, donc sous des contraintes faibles. De ce fait, les contraintes de compression radiale sont limitées et le plissement sera retardé [6].

### III.9- Les aspects opératoires

Lors de l'emboutissage d'une pièce, que ce soit au laboratoire ou en industrie, plusieurs paramètres permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité :

- Le jeu entre le poinçon et la matrice :
- Le rayon sur la matrice.
- Le rayon sur le poinçon.
- La vitesse d'emboutissage.
- La pression du serre-flan.
- L'effort d'emboutissage.

#### III.9.1- Jeu entre le poinçon et la matrice

Lorsque le jeu entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon, mais entraîne certains inconvénients tels que [6] :

- La détérioration du profil de la paroi.
- Déviation du poinçon entraînant la formation de languettes sur le bord de l'embouti.
- Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que le jeu qui existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. Le calcul du jeu est basé sur la formule suivante :

$$j = e_M + \Delta e_0 \quad (\text{III.1})$$

- $e_M$  : épaisseur maximale de la tôle.
- $e_0$  : épaisseur engendrée par le retrait.
- Pour l'acier :  $J = e_M + 0,07 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$
- Pour l'aluminium :  $J = e_M + 0,02 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$
- Pour métaux non ferreux :  $J = e_M + 0,04 \cdot (10 \cdot e_M)^{1/2}$

### III.9.2- Rayon sur la matrice (r)

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes ci-dessous, l'emboutissage n'est pas fiable :

- Pour  $r = 0$  on a un déchirement du flan
- Pour  $r = \frac{D-d}{2}$  on a la formation de plis
- 

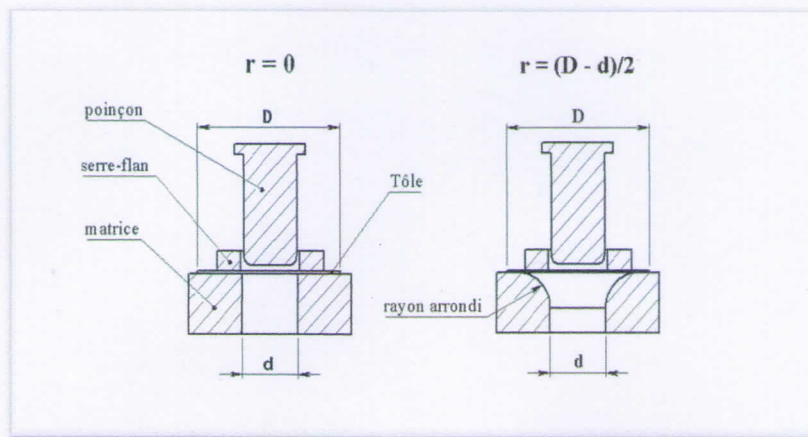


Figure III.15 : Variation de l'arrondi sur la matrice

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation concernant la première passe :

- Pour l'acier :  $r = 0.8 [(D - d_1) e]^{1/2}$
- Pour l'aluminium :  $r = 0.8 [(D - d_1) e]^{1/2}$
- Pour les passes suivantes on a :  $r_n = \frac{D_{n-1} - d_n}{2}$
- $r$  : rayon de la matrice
- $D$  : diamètre du flan (mm)
- $d_1$  : diamètre de l'embouti (mm)
- $e$  : épaisseur du flan (mm).

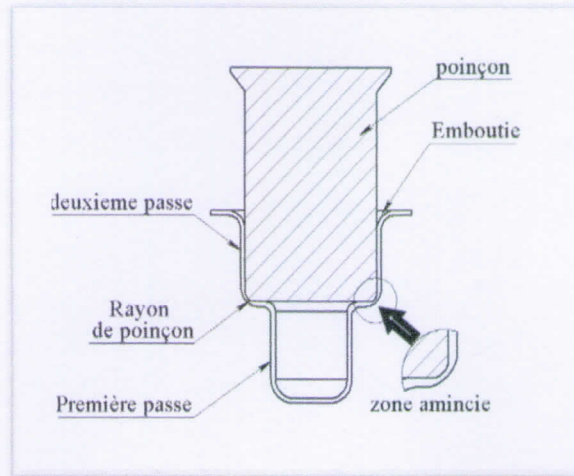
### III.9.3- Rayon du poinçon ( $R_{\text{poinçon}}$ )

Le rayon du poinçon 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.

Dans le cas où la pièce exigerait un faible rayon, il faut prévoir une opération supplémentaire de conformation.

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec le rayon trop faible de poinçon subit une diminution d'épaisseur, après emboutissage, le rayon de poinçon est limité entre  $5e$  et  $10e$  [6].



**Figure III.16 :** Le rayon sur le poinçon

### III.9.4- La vitesse d'emboutissage

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Une vitesse trop faible tend à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable. Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan [5].

Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan, il existe une vitesse optimale pour chaque métal :

**Tableau III.1 :** vitesses d'emboutissage pour différents matériaux

Matériau	Vitesses (mm/s)
Acier	200
Zinc	200
Les aciers doux	280
Aluminium	500
Laiton	750

### III.9.5- Pression du serre-flan

D'une manière générale, la surface du serre flan doit être développable. Le serre flan de première passe d'un outil d'emboutissage profond est plan et les pressions à appliquer pour éviter la formation de plis ne peuvent être déterminées avec précision qu'expérimentalement [5].

L'emboutissage des pièces peu profondes (expansion) et des pièces à grandes parois peu déformées entraîne la formation des plis ou une mauvaise conformation (ventre des parois droites). Le serre flan comporte alors des joncs qui empêchent ou diminuent le glissement de la tôle sous serre flan. Pour contrôler l'écoulement du métal dans la matrice plusieurs joncs peuvent être disposés les uns à la suite des autres.

Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée. La présence du serre-flan ne s'impose que si :

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

Dans la pratique, il faut que le serre-flan soit bien trempé et rectifié. La pression est réglée à l'aide de clés dynamométriques, de ressorts ou de silent bloc, en fonction de l'aspect de l'embouti :

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.
- Si la paroi est bonne, mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop importante.

Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre  $d$  et de flan de diamètre  $D$ , l'effort du serre flan pour différents matériaux est déterminée par la formule simplifiée suivante :

$$F_S = p (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} \text{ (daN)} \quad \text{(III.2)}$$

Avec :  $p$  est la pression spécifique déterminée d'après le tableau :

Tableau III.2 : pression spécifique

Matière (flan)	P (daN/cm <sup>2</sup> )
Acier doux	25
Acier inoxydable	20
Aluminium	12
Laiton	20
Duralumin	16

### III.9.6- Effort d'emboutissage

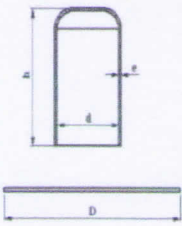
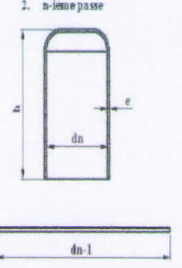
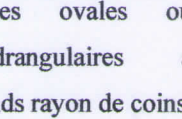
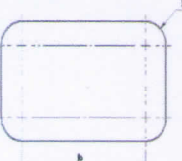
L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des diamètres de l'embouti et du flan primitif, de l'épaisseur et du type de matériau. Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de rayon de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification [6] :

Tableau III.3 : Formule d'emboutissage.

Emboutissage cylindrique			Emboutissage rectangulaire			
$F_e = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m \cdot K$			$F_e = e \cdot R_p \cdot (2 \cdot K_A \cdot \pi r + K_B \cdot L)$			
<b>F<sub>e</sub></b> : effort d'emboutissage (daN) <b>d</b> : diamètre de poinçon (mm) <b>D</b> : diamètre de flan (mm) <b>e</b> : épaisseur (mm) <b>R<sub>p</sub></b> : résistance pratique à la traction (daN/mm <sup>2</sup> )			<b>F<sub>e</sub></b> : effort d'emboutissage (daN) <b>e</b> : épaisseur (mm) <b>R<sub>p</sub></b> : résistance pratique à la traction (daN/mm <sup>2</sup> ) <b>r</b> : rayon de la matrice <b>L = 2(a + b)</b>			
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
K <sub>A</sub>	0.5 pour emboutie peu profond et 2 pour emboutis h = (5 à 6r)					
K <sub>B</sub>	0.2 jeu important et pas de serre flan ; 0.3 écoulement facile et faible ; 1 fortes pressions de serre flan.					

En pratique, pour les pièces cylindriques, l'effort est déterminé d'après :

**Tableau III.4** : calcul des efforts et énergies nécessaires pour une opération d'emboutissage

Opération	Effort (N)	Energie (J)	Observation																					
<p>Pièces cylindrique</p> <p>1. Première passe</p>  <p>2. n-ème passe</p> 	$F_e = K \cdot \pi \cdot d \cdot e \cdot R_p$ <p>Cet effort s'applique au 1/3 de la hauteur de l'emboutie à partir du fond</p> <p><math>R_p</math> : Résistance pratique à la traction de la tôle.</p>	$W_E = \frac{K_1 \cdot h \cdot F_e}{1000}$	<table border="1"> <tr> <td><b>d/D</b></td> <td>0.55</td> <td>0.6</td> <td>0.65</td> <td>0.7</td> <td>0.75</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td><b>k</b></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><b>K<sub>1</sub></b></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> <p>NB : si k et K<sub>1</sub> ne se trouvent pas dans se tableau, on les détermine par la méthode d'interpolation linéaire.</p>	<b>d/D</b>	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	<b>k</b>	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4	<b>K<sub>1</sub></b>	0.8	0.77	0.74	0.7	0.67	0.64
	<b>d/D</b>		0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8																
<b>k</b>	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4																		
<b>K<sub>1</sub></b>	0.8	0.77	0.74	0.7	0.67	0.64																		
	$F_{E,n} = 0.5 F_{E,n-1} + Q d_n \pi e R_p$ <p><math>R_p</math> : Résistance pratique à la traction de la tôle.</p>		<table border="1"> <tr> <td><math>\frac{d_n}{d_{n-1}}</math></td> <td>0.7</td> <td>0.75</td> <td>0.8</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td><b>Q</b></td> <td>0.8</td> <td>0.6</td> <td>0.5</td> <td>0.35</td> </tr> </table>	$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	0.7	0.75	0.8	0.85	<b>Q</b>	0.8	0.6	0.5	0.35											
$\frac{d_n}{d_{n-1}}$	0.7	0.75	0.8	0.85																				
<b>Q</b>	0.8	0.6	0.5	0.35																				
<p>Pièces ovales ou quadrangulaires à grands rayon de coins</p> 	$F_E = K \cdot P \cdot e \cdot R_p$ <p><b>P</b> : périmètre</p> <p><math>R_p</math> : Résistance pratique à la traction de la tôle.</p>		$K = 1.13 \sqrt{\frac{s}{S}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li><math>s</math> : section du poinçon.</li> <li><math>S</math> : section de flan.</li> </ul>																					
<p>Pièces Quadrangulaires</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li><math>h</math> : hauteur</li> <li><math>L = 2(a + b)</math></li> </ul>	$F_e = e \cdot R_p (2 \cdot K_A \cdot \pi \cdot r + K_B L)$ <p>L'effort max s'applique au 1/3 de la hauteur de l'emboutis</p>	$W_E = \frac{0.7 \cdot h \cdot F_e}{1000}$	<p><math>K_A</math> : 0.5 pour emboutie peu profond et 2 pour emboutis <math>h = (5 \text{ à } 6r)</math></p> <p><math>K_B</math> : 0.2 jeu important et pas de serre flan ; 0.3 écoulement facile et faible ; 1 fortes pressions de serre flan.</p>																					
<p>Pieces quelconque</p>	$F_E = P \cdot e \cdot R_p$ <p><b>P</b> : périmètre</p> <p><math>R_p</math> : Résistance pratique à la traction de la tôle.</p>	$W_E = \frac{h \cdot F_E}{1000}$																						

### III.9.7- Aspects métallurgiques d'emboutissage (directions de laminage)

L'anisotropie de déformation plastique des tôles tient un rôle prépondérant dans la caractérisation d'une tôle. L'étendue de ce critère a été mise en évidence grâce à l'analyse de la déformation du flan sur le serre flan (rétreint) dans les parois d'une coupelle ou aux pôles d'embouti (expansion). Du fait de l'orientation préférentielle des cristaux, la tôle ne possède pas les mêmes propriétés mécaniques suivant la direction considérée. Il en résulte aussi une perte de l'équilibre des déformations entre la largeur et l'épaisseur lors d'un essai de traction uni axiale ; sur ce point qui a servi de base au second critère d'emboutissabilité, qui est une proportionnalité entre la déformation rationnelle dans le sens de la largeur  $\varepsilon_2$  et celle dans le sens de l'épaisseur  $\varepsilon_3$ , définie par le coefficient d'anisotropie [6] :

$$r_a = \frac{\ln(b/b_0)}{\ln(h/h_0)} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3} \quad (\text{III. 3})$$

Il représente, en fait, la façon dont l'alliage se comporte entre le rétrécissement et l'amincissement.

- $r_a < 1$  : le métal aura tendance à s'amincir plutôt qu'à se rétrécir.
- $r_a > 1$  : le métal aura plutôt tendance à se rétrécir qu'à s'amincir.

Le coefficient d'anisotropie  $r$  dépend de la direction de la déformation. Ainsi, pour caractériser l'anisotropie d'un matériau, il est nécessaire de la mesurer à 45°, à 90° et dans le sens de laminage (direction 0°).

### III.9.8- Détermination des diamètres du flan et nombre de passes

La détermination du diamètre du flan d'un emboutie peut être réalisée par plusieurs méthodes, des hypothèses doivent être prises en considération [6] :

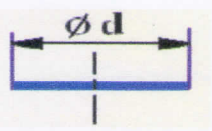
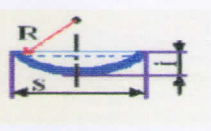
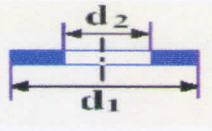
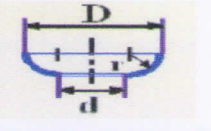
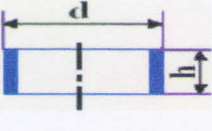
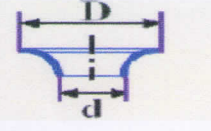
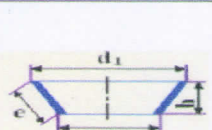
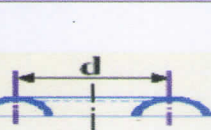
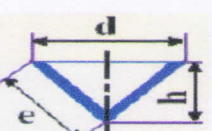
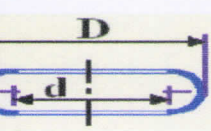
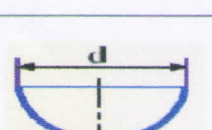
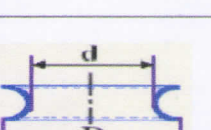
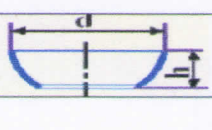
- Les calculs s'effectuent en considérant la fibre moyenne.
- L'épaisseur supposée constante

- Le flan et l'embouti auront même surface, plus de 2 à 3 mm seront ajoutés pour le détourage

**a- Méthode analytique**

On répartit la pièce en éléments avec la concordance d'éléments du tableau III.5, en leur attribuant aussi de formules pour calculer leurs surfaces, ainsi la surface totale du flan correspond à la somme des surfaces partielles [6].

**Tableau III.5 :** Calcul des surfaces élémentaires

Elément	$\frac{4}{\pi} S$	Elément	$\frac{4}{\pi} S$
1 	$d^2$	8 	$4d.i$ ou $8R.i$ ou $(S^2 + 4i^2)$
2 	$d_1^2 - d_2^2$	9 	$2\pi.r.(d + 1,3r)$ ou $2\pi.r.(D - 0,7r)$
3 	$4d.h$	10 	$2\pi.r.(d + 0,7r)$ ou $2\pi.r.(D - 1,3r)$
4 	$2.e.(d_1 + d_2)$ ou $2.(d_1 + d_2).\sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}$	11 	$4\pi.r.d$
5 	$2d.e$ ou $2.d.\sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$	12 	$4\pi.r.(d + 0,58r)$ ou $4\pi.r.(D - 1,42r)$
6 	$2d^2$	13 	$4\pi.r.(d + 0,58r)$ ou $4\pi.r.(D - 1,42r)$
7 	$4d.h$		

Le diamètre du flan est alors donné par :

$$D = \sqrt{\frac{\pi}{4} S} \quad (\text{III. 4})$$

- S est la surface du flan.

#### a- Méthode graphique

D'après le théorème de **GULDIN**, c'est la surface engendrée par une ligne plane tournant autour d'un axe situé dans son plan et ne le traversant pas, est égale au produit de la longueur développée de cette ligne par la circonférence décrite par son centre de gravité. Sur le cas d'un d'emboutissage cylindrique à fond plat, on distingue deux cas [6] :

- **Sans collerette** : le diamètre **D** du flan se calcule comme suit :

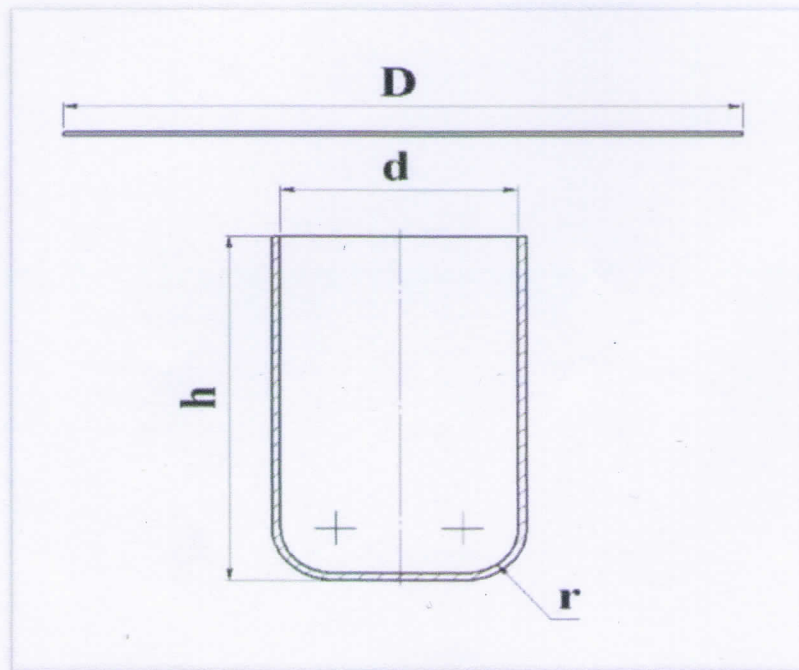


Figure III.17 : sans collerette

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} \quad (\text{III. 5})$$

- Avec collerette : Le diamètre **D** du flan se calcule comme suit :

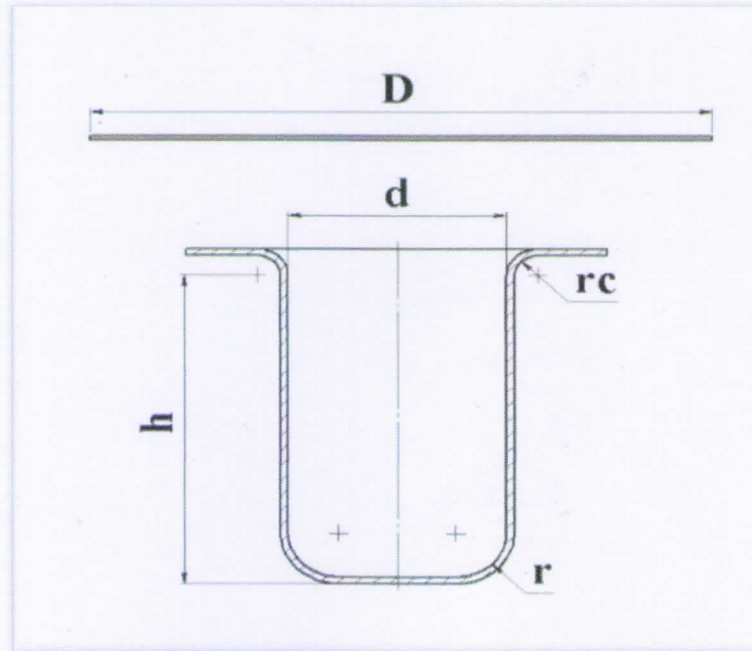


Figure III.18 : avec collerette

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h + 0.57 r + 0.57 rc - 0.52(r^2 - rc^2))} \quad (\text{III. 6})$$

Le rayon de raccordement de la paroi et du fond **r** est négligeable si :

$$r < \frac{d}{10} \quad (\text{III. 7})$$

### III.9.9- Nombre de passes [6]

- **1<sup>er</sup> passe** : Le diamètre **d<sub>1</sub>** de la première passe est égal au produit du coefficient **m<sub>1</sub>** par le diamètre du flan.
- **Passe suivantes** : Le diamètre de la deuxième passe **d<sub>2</sub>** est égal au produit coefficient **m<sub>2</sub>** par le diamètre de la première passe **d<sub>1</sub>** :

$$d_2 = m_2 \cdot d_1$$

- Et ainsi de suite jusqu'au diamètre à obtenir

$$d_3 = m_2 \cdot d_2 ; d_4 = m_2 \cdot d_3 ; \dots ; d_n = m_2 \cdot d_{n-1}$$

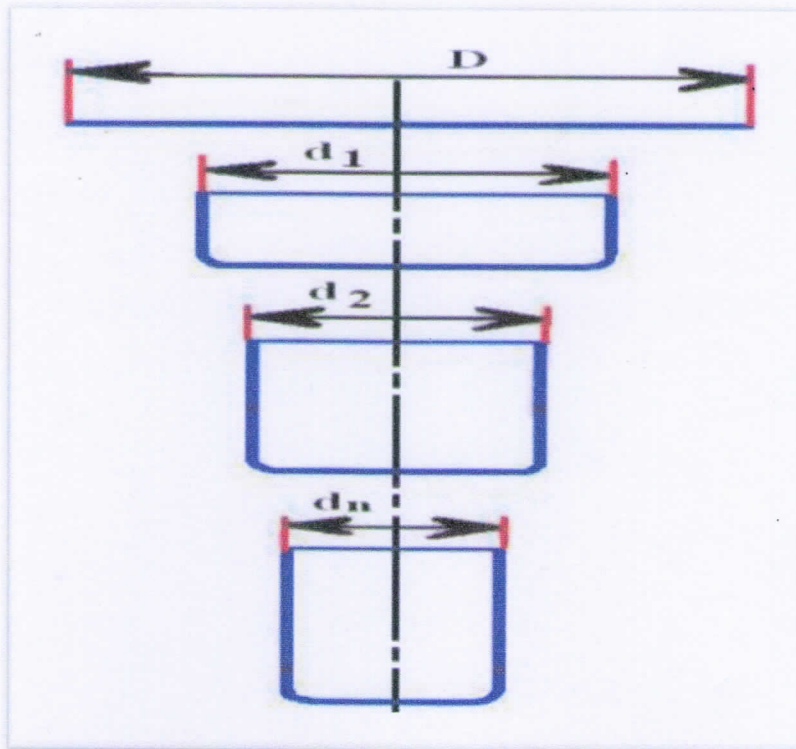


Figure III.19 : Nombre de passes

- Avec  $m_1$  et  $m_2$  sont des coefficients de réduction qui varient en fonction de métaux et du taux d'écroutissage admissible pour chaque métal :

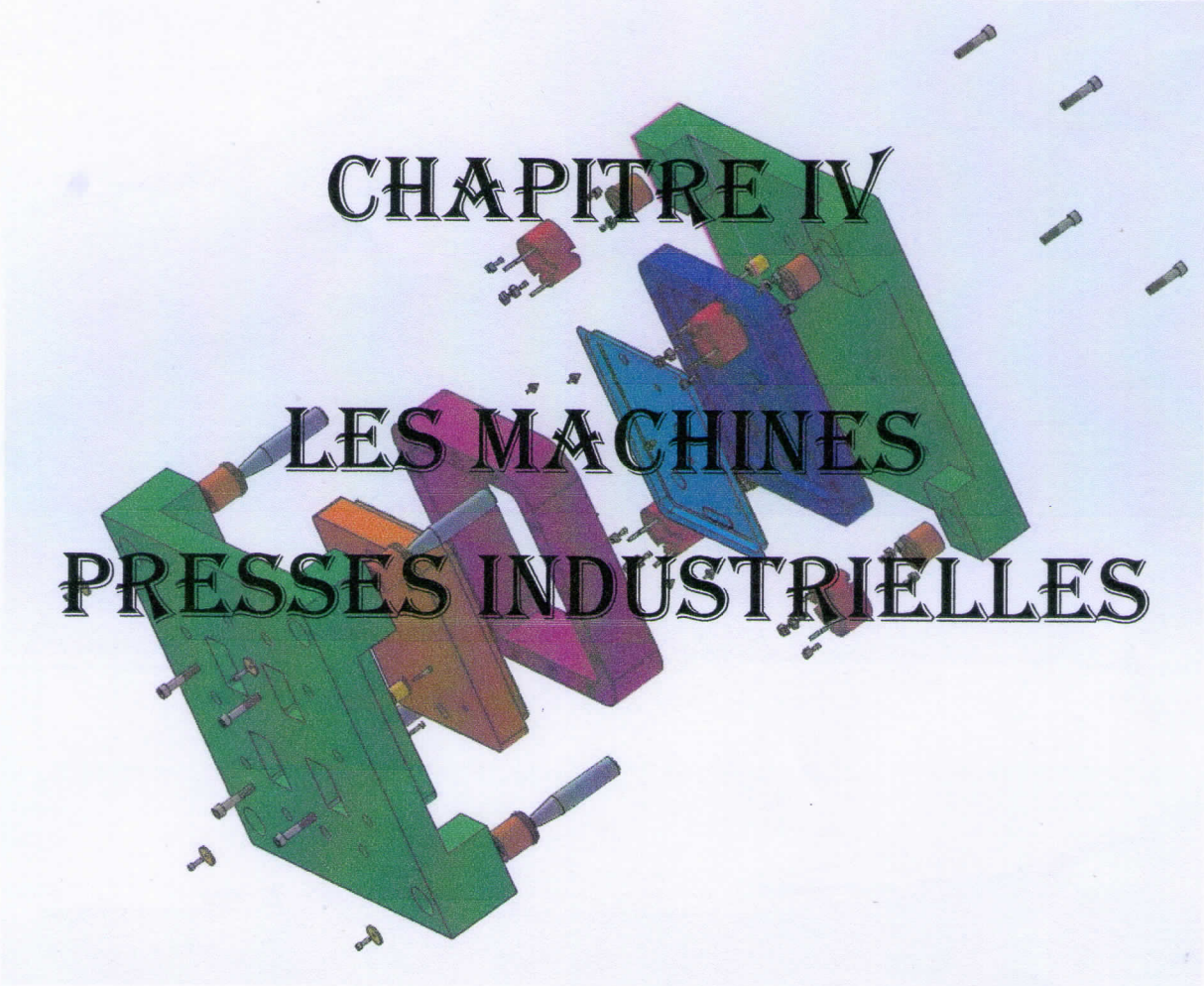
Tableau III.6 : quelques valeurs des coefficients de réduction pour différents types de métaux

MATIERE	$m_1$	$m_2$
<b>Tôle d'emboutissage</b>		
Ordinaire	0,6	0,8
Spéciale	0,55	0,75
<b>Tôle acier inoxydable</b>		
Austénitique	0,51	0,8
Ferritique	0,57	0,8
<b>Tôle autre matériaux</b>		
Cuivre	0,58	0,85
Laiton	0,53	0,75
Aluminium recuit	0,50	0,80
Duralumin recuit	0,55	0,9

**III.9.10- Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de présenter l'emboutissage et ses différents modes et principes et comment détecter et améliorer les principaux défauts rencontrés dans l'emboutissage tels que la rupture, le plissement et le retour élastique, en optimisant la géométrie du flan initial, l'effort de serrage, le rayon du poinçon et de matrice, le jeu entre matrice et poinçon, la vitesse d'emboutissage et les caractéristiques des matériaux (direction de laminage).

Dans le chapitre études et conception d'outil nous introduisons ces paramètres que nous avons cités pour concevoir l'outil tout en essayant de minimiser les défauts.

An exploded view diagram of industrial press components. The main parts are colored: a large green base, a blue upper plate, a purple central block, and an orange side plate. Several bolts and nuts are shown floating around the assembly, indicating they are used to secure the parts together. The text is overlaid on this diagram.

**CHAPITRE IV**  
**LES MACHINES**  
**PRESSES INDUSTRIELLES**

---

## LES PRESSES INDUSTRIELLES

### V.1- Introduction

Les outils (emboutissages, découpages, pliages ...ect) de transformation des tôles ont besoin des machines spécifiées. Les machines utilisées sont généralement des presses industrielles.

Les presses sont des machines constituées d'un ensemble d'organes mécaniques conçus pour la réalisation des différents travaux industriels. Elles sont utilisées pour la réalisation des pièces à partir des matériaux en feuille. [11]

### V.2- Définition

La presse est une machine composée essentiellement de deux plateaux susceptibles de se rapprocher par commande mécanique ou hydraulique, pour comprimer ce qui est placé entre eux. Ces presses sont des machines qui permettent de changer la forme d'une pièce en appliquant une pression. Elles sont formées d'une partie mobile (coulisseau) qui porte le poinçon et d'une partie fixe (bâti) qui porte la matrice.

### V.3- Classification des presses

La classification des presses se fait en fonction de plusieurs particularités :

- Leur mode de transmission d'énergie (hydraulique, mécanique),
- Le nombre de coulisseaux,
- La forme du bâti.

#### V.3.1- Selon le mode de transmission d'énergie

##### a- Presse excentrique mécanique

Une presse mécanique est une machine qui utilise un mécanisme pour faire fonctionner les matrices à la vitesse appropriée c'est-à-dire les mouvements de la presse mécanique sont commandés mécaniquement. Dans ce type de presses, l'énergie fournie par le moteur est un mouvement relatif qui est emmagasinée dans un volant d'inertie sous forme d'énergie cinétique.

Le démarrage de moteur détermine la rotation du volant d'inertie qui fait tourner un vilebrequin excentrique, qui provoque un mouvement alternatif (monté-descende) des deux bielles. [09]



**Figure V.1** : presse mécanique

❖ **Avantages**

- Le tonnage de la presse mécanique est facilement ajusté.
- Permet des opérations avec petit tonnage pour les matrices fragiles et la vitesse d'emboutissage reste constante pendant toute la course.
- Les pannes de la presse mécanique sont facilement détectables. [12]

❖ **Inconvénients**

La presse mécanique est plus chère que la presse hydraulique

La presse mécanique ne peut pas être surchargée car le système est protégé par deux soupapes de décharge séparément ajustés. [12]

### **b- Presse hydraulique**

L'énergie fournie par le moteur électrique est emmagasinée sous forme hydraulique dans un fluide sous pression. Cette énergie est obtenue par la pression d'un liquide.

L'énergie fournie par pompe hydraulique commande deux cylindres :

1. Cylindre principal pour le coulisseau ;
2. Cylindre groupe serre flan (serre tôle).

Cette énergie entraîne le coulisseau par un l'intermédiaire d'un cylindre principal. Par contre l'énergie de maintien du serre flan est fournie par le cylindre groupe serre tôle

Le cycle d'une opération peut alors se décomposer de la façon suivante :

- ✓ Avance rapide jusqu'au contact avec la tôle ;
- ✓ Arrêt du coulisseau ;
- ✓ Retour rapide [09]
- ✓ Emboutissage à une vitesse constante et aussi faible qu'on le désire ;



Figure V.2 : presse hydraulique

❖ **Avantages**

- Les presses hydrauliques sont très robustes. Elles peuvent créer une grande quantité de tonnage pression.
- Elles sont idéales pour l'hydroformage qui est une technique de formation des métaux nécessitant la présence d'un agent liquide.
- Elles sont lentes, ce qui donne suffisamment de temps au métal pour se former. [12]

❖ **Inconvénients**

- Les presses hydrauliques demandent beaucoup de maintenance. L'huile doit toujours être présente à l'intérieur de la presse, de plus, elles comportent plusieurs appareils pour le contrôle de la pression à fin d'assurer le bon fonctionnement de la presse.

- Nécessite un moteur plus puissant que celui de la presse mécanique du à l'absence d'un volant d'inertie pour stocker l'énergie.
- La maintenance de la presse hydraulique est plus difficile.[12]

### V.3.2- Selon le nombre de coulisseaux

#### a- Presse simple effet

Elles ne comportent qu'un seul coulisseau actionné, suivant sa taille, par 1, 2 ou 4 bielles

Elles sont spécifiquement destinées aux opérations de reprise mettant en œuvre l'emboutissage ou le pliage, et pour cette raison sont équipées d'un coussin inférieur destiné à assurer l'effet de serre-flan.

D'une façon générale, ces machines n'acceptent qu'un seul outil ou, au maximum, deux.

L'exécution d'une pièce en plusieurs passes nécessite l'utilisation de plusieurs presses.[11]

#### b- Presse double effet

Ces presses comportent un coulisseau plongeur et un coulisseau serre-flan guidé par le bâti

Le coulisseau serre-flan doit entrer en contact le premier avec la tôle pour assurer le serrage avant que le poinçon ne commence sa phase de travail.

Le coulisseau serre-flan doit rester immobile pendant toute la durée de travail du plongeur. Les deux coulisseaux sont en prise sur le même arbre moteur et cela conduit à deux cinématiques différentes pour le coulisseau serre-flan et pour le plongeur.

La commande du coulisseau plongeur est identique à celle des presses simple effet. La commande du serre-flan est différente car, du fait que l'on se trouve dans l'impossibilité d'obtenir l'arrêt complet du serre-flan dans de bonnes conditions, on réalise une immobilisation approchée en utilisant une combinaison de genouillères...etc. [11]

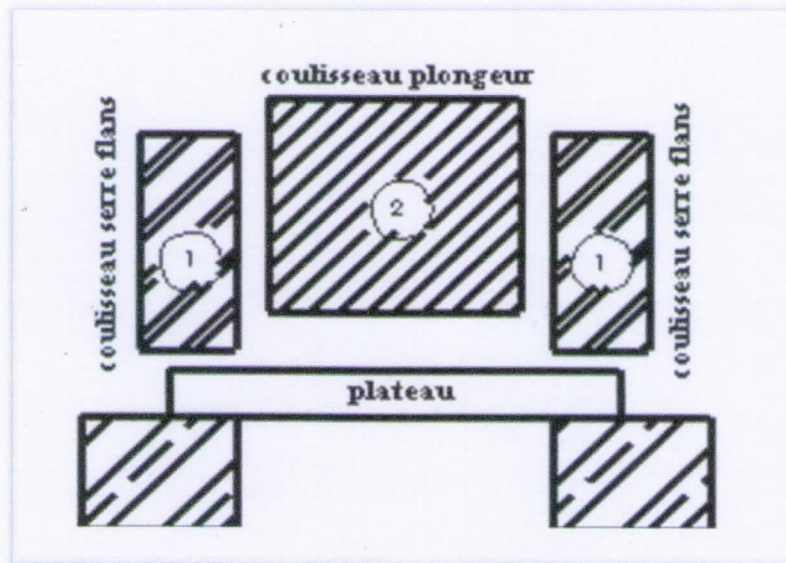


Figure V.3 : presse double effets

### c- Presse triple effets

De conception similaire aux presses double effets, elles sont équipées d'un coulisseau inférieur qui possède sa propre cinématique.

Ce type de presse est presque exclusivement utilisé pour la carrosserie qui nécessite souvent des contre-emboutis peu profonds. Ces presses permettent d'éviter une opération de reprise sur une autre presse.

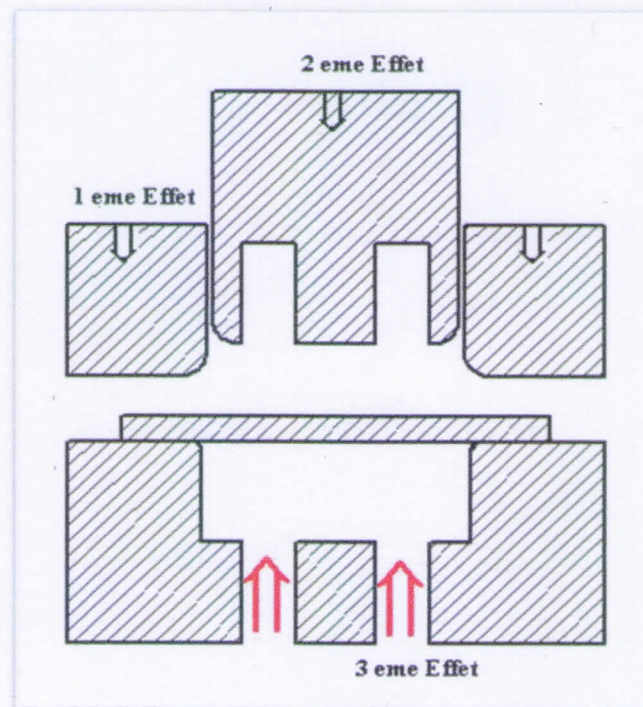


Figure V.4 : presse triple effets.

### V.3.3- Selon la forme de bâti

#### a- Presse à montant droit

Le bâti est du type « assemblé » c'est-à-dire que la table, les montants et le chapiteau sont reliés par quatre forts tirants en acier serrés à chaud (donc précontraints). Ces presses, très robustes, peuvent atteindre de très grandes dimensions. Elles peuvent développer une force au maximale de 10000 KN.

Les distances entre les montants et la distance entre le chapiteau et la table sont choisies en fonction du travail à exécuter. [11]

#### b- Presse à table mobile et bigorne

Elles sont équipées d'une table mobile, réglable en hauteur, autorise le montage d'outils très hauts, la table est éolisable par simple rotation, ce qui permet l'utilisation de la bigorne. La bigorne montée à la place de la table, permet le poinçonnage latéral de gros emboutis. [11]

#### c- Presses à col de cygne

La forme de ces presses rend la table et le coulisseau très accessible et leur inclinaison peut atteindre 30° en arrière, c'est ce qui lui permet l'évacuation aisée des pièces par gravité. Ce type de presse est employé pour tous les travaux de découpage, d'ajourage, de pliage et souvent pour des petites pièces et des grandes séries. Elles peuvent supporter au maximum 2000 KN d'effort. Sous charge, le bâti se déforme élastiquement et provoque un déplacement angulaire des deux parties de l'outil, ce qui justifie l'utilisation des tirants (bretelles) pour permettre au bâti une plus grande rigidité, mais réduit l'accessibilité de la table.

#### d- Presses à arcade

Ces machines présentent une rigidité maximale parce qu'elles ont un bâti mono-bloc coulé ou parfois soudé ce qui lui permet de supporter des efforts beaucoup plus importants, tout en assurant une plus grande précision dans le guidage des outils. Elles peuvent être simple ou à double effets.

Elles peuvent travailler avec des capacités supérieur ou inférieur à 1000 KN. Pour l'emboutissage, la découpe est rapide ( $\geq 400$  coups/min).

Néanmoins, il devient courant de rencontrer des presses, avec un bâti monobloc capable de développer plus de 10000 KN. **Presses à colonne :**

Elles sont employées pour le forgeage et le matriçage, et elles sont équipées de quatre glissières liant le sommet supérieur et inférieur. Leur puissance peut aller jusqu'à 6000 KN.

### **V.3- Conclusion**

Les presses peu importe leurs types sont très importantes dans l'industrie et sont largement utilisées pour concevoir beaucoup de produit qu'on utilise quotidiennement.

Pour engendrer un mouvement, on utilise soit la méthode mécanique, hydraulique ou pneumatique et chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients et le choix d'une méthode se fait suivant la tâche et le taux de production prévus.



CHAPITRES V  
ETUDE ET CONCEPTION

## ETUDE ET CONCEPTION

### V.1- Introduction

Le but de la production est de fabriquer des pièces ayant le minimum de déchet et le moins de coût. Sur les chaînes de montage on assemble ces pièces pour avoir un produit prêt à vendre. Dans notre cas, ce sont des tables de cuisson extra plat.

Les différents modèles se différencient de la matière de leur table (en verre, inox ou en tôle), de leur position de la rampe d'alimentation (à gauche, à droite ou au milieu), de nombre de feux (quatre, cinq ou six feux) de la disposition de ses feux mais le cache est commun à tous ces modèles.

Dans ce chapitre nous allons étudier et calculer tous les paramètres qui rentrent dans la conception de cet outil d'emboutissage de cache table.

### V.2- Cahier de charges

Le cache table extra plat ENIEM est une pièce qui cache tous les organes internes tels que la rampe d'alimentation, les robinets, les tubes en aluminium, la génératrice, ...ect. et qui se pose facilement sur le potager de la cuisine et qui répond aux normes **NF EN 30-2-1** et **IEC 60335-2-6** (La Commission Electrotechnique Internationale) délivré par **L'Institut Algérien de Normalisation IANOR**.

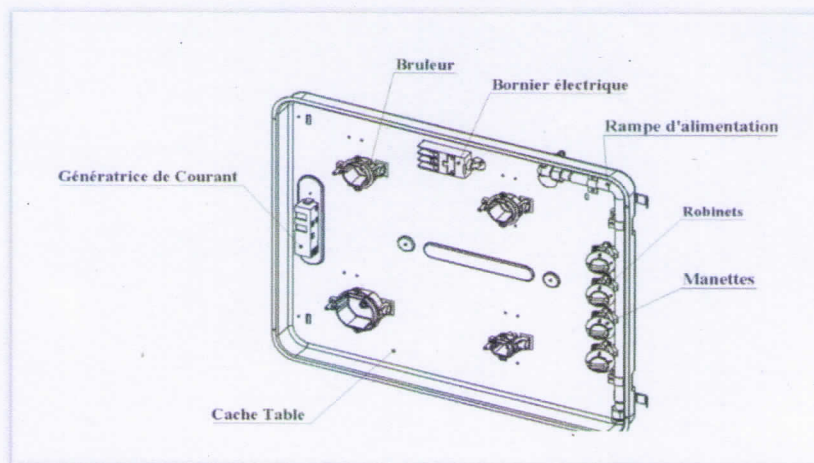


Figure V.1 : Cache table et quelques éléments internes

**Donc** notre pièce est de dimensions suivantes : **732 X 632 X 38** avec une épaisseur de **1mm**

### V.3- Processus de fabrication

Le cache table passe par trois étapes avant qu'il soit prêt pour le montage sur chaîne :

- **Etape 01** : découpé un flan à partir d'une bobine.
- **Etape 02** : emboutie le flan.
- **Etape 03** : poinçonner et détouré la pièce emboutie.

A chaque étape les pièces est contrôlé suivant la gamme de contrôle (délivré par le service développement).

### V.4- Fiches techniques

#### V.4.1- Fiches techniques de la tôle

C'est une tôle en acier revêtus (revêtement métallique de zinc) en continu par immersion a chaud pour formage à froid ou aciers galvanises à chaud et emboutissage profond selon la norme NF EN 10364 DX54D+Z [9].

##### a- Caractéristiques chimiques

**Tableau V.1** : caractéristiques chimiques de la tôle

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Ti (%)
≤ 0.12	≤ 0.6	≤ 0.1	≤ 0.045	≤ 0.5	≤ 0.3

##### b- Caractéristiques mécaniques

**Tableau V.2** : caractéristiques mécaniques de la tôle

NF EN 10364	Epaisseur (Mm)	Rp (MPa)	A80 (%)
DX54D +Z	0,2 -0,5	260 -350	≥ 32
	0,5 -0,7		≥ 34
	0,7 -1,5		≥ 36

##### c- Caractéristiques du revêtement

**Tableau V.3** : caractéristiques du revêtement de la tôle

Dénomination EN 10326	Poids du revêtement - deux faces (g/m2)	Epaisseur du revêtement (µm par face)
Z200	200	14

### V.4.2- Fiches techniques de l'outil

Il est composé des éléments suivants :

**a- Semelle inférieure et supérieure :** elles sont composées de la fonte FT30 selon la norme européenne EN-GJL-300 ou Allemagne DIN : GG-30[10].

**Tableau V.4 :** caractéristique de la semelle inférieure et supérieure

C (%)	Si (%)	Mn (%)		
3.05	1.75	0.95		
$R_p$ ( $N/mm^2$ )	$R_p$ 0.1% ( $N/mm^2$ )	A (%)	Dureté Brinell HB 30	Module de Young E ( $KN/mm^2$ )
300/400	195/260	0.3/0.8	200/275	108/137

**b- Contre poinçon et poinçon :** elles sont en XC 48 SELON AFNORE EN 10277-2 [8].

**Tableau V.5 :** caractéristique de l'empreinte inférieure et supérieure

C (%)	S (%)	Mn (%)	P (%)	Si (%)
0.5/0.52	$\leq 0.035$	0.5/0.8	$\leq 0.035$	0.4 Max
$R_p$ ( $N/mm^2$ )		A (%)		
560/620		14/16		

**c- Les goujons et les goupilles** selon AFNOR 102Cr6 elle sert à positionner les empreintes sur les semelles avec précision.

**d- Les axes et les bagues de guidage :** ils servent à guider le poinçon et le cotre poinçons d'un côté pour un bon accouplement et pour un autre côté, il sert à guider le serre flan

- ❖ **Les axes :** Selon la norme NF E 63-121 est un Acier allié cémenté trempé à cœur dureté Rockwell HRC  $\geq 60$  (Résistance à la traction à cœur :  $\geq 900 N/mm^2$ ). [13]
- ❖ **Les bagues supérieures :** Selon la norme NF E 63-122 est en bronze
- ❖ **Les bagues inférieures :** acier allier trempé 60/64 HRC [13]

**e- Serre flan** : il serre à empêcher la formation des plis et le décrochage de la pièce lorsque le poinçon remonte ainsi il assure le positionnement de flan, selon la norme EN 10277-2 il est en Acier non allié fin **C45 (XC48) [8]** :

**Tableau V.6** : caractéristiques du serre flan

COMPOSITION CHIMIQUE : (analyse de coulée)								
%	C	Si	Mn%	P	S	Cr	Ni	Mo
De	0.42	-	0.5	-	-	-	-	-
à	0.5	0.4	0.8	0.045	0.045	0.4	0.4	0.1
CARACTERISTIQUES MECANIQUES								
Laminé + écrouîté gâleté (+SH)				Etiré à froid (+C)				
Dureté (HB)	R <sub>p</sub> (MPa)		R <sub>p0,2</sub> valeurs minimales (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)		A <sub>5</sub> % valeurs minimales		
172 - 242	580 - 820		310 580	580- 850		8		

**f- Butés de positionnement du flan** : il assure le bon positionnement du flan, selon la norme EN 10277-2 il est en Acier non allié pour emplois généraux **C15 (XC 18)**.

**g- Butés de fin de cours** : elles sont fixées sur la semelle inférieure. Elles consistent à faire stopper la course du coulisseau supérieur lorsqu'il descend pour emboutir la pièce, ainsi il limite la profondeur de l'emboutissage ; il est en **C45 (XC48)**.

**h- Les éléments de fixation** : vis CHC (M24, M10, M8)

## V.5- Calculs

### V.5.1- Dimensions de la développée

A partir de logiciel Solid Works [7] :

1. Choisir un plan ;
2. Créer une esquisse ;
3. Sélectionner les arrêtes puis les convertir avec la fonction convertir les entités ;
4. Avec l'option " Evaluer " puis fonction " mesurer " on prend la mesure.

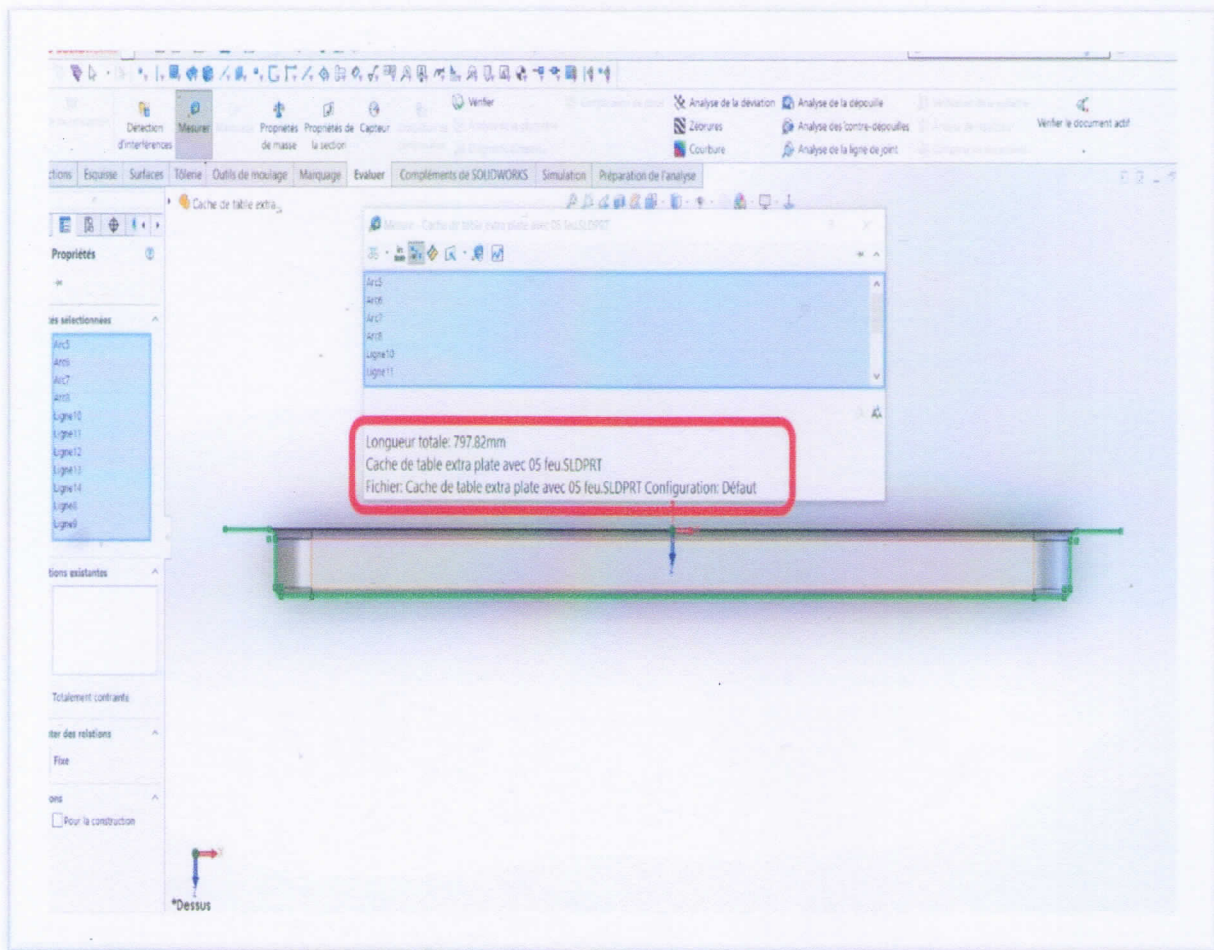


Figure V.2 : mesure de la longueur de la développée

- Longueur  $L_1 = 797.82\text{mm}$

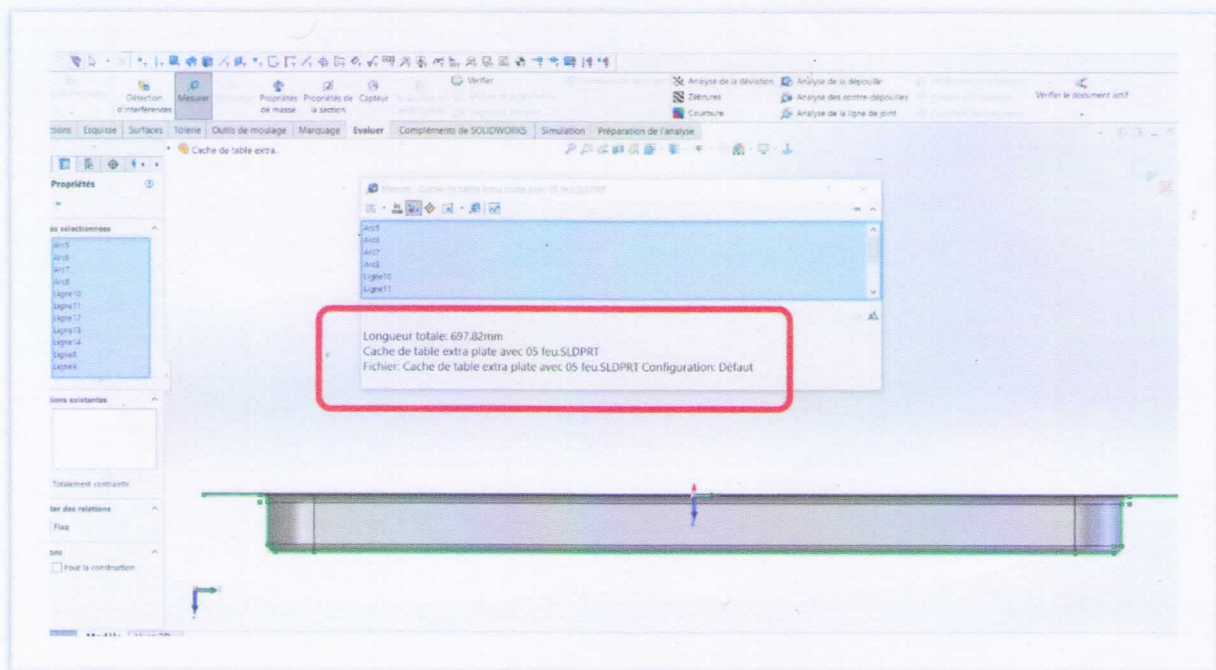


Figure V.3 : mesure de la largeur de la développée

- La largeur  $L_2 = 697.82$  mm

### V.5.2- Calcul de l'effort du découpage de flan

Notre flan est d'une épaisseur  $e = 1$  mm. C'est un rectangulaire de dimensions suivantes :

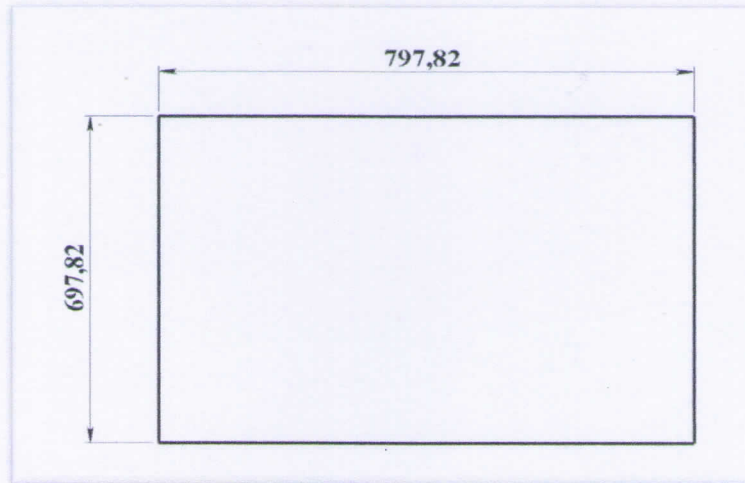


Figure V.4 : les côtes de flan

Le jeu de coupe pour les aciers est :  $J = \frac{1}{14} e$  (V.1)

Donc  $J = 0.071$  mm

On a  $F_d = P \cdot e \cdot R_c$  (V.2)

Avec :

- $F_d$  : effort de découpe ;
- $P$  : périmètre à découper qui égale à  $(797.82 + 697.82) \cdot 2$   
 $P = 2991.28$  mm
- $e$  : épaisseur de la tôle ;
- $R_c$  : résistance de la tôle au cisaillement (en fabrication pour compenser les frottement et l'usure des partie actives on a :  $R_c = 0.8 R_p$ ) (V.3)
- $R_p = 350$  N/mm<sup>2</sup>

$$F_d = 2991.28 \times 1 \times 0.8 \times 350$$

$$F_d = 837558.4 \text{ N}$$

### V.6- Calcul de l'effort d'emboutissage

Pour calculer l'effort d'emboutissage, on utilise la table 3 du chapitre IV.

Dans notre cas, on distingue deux types d'effort :

- Effort d'emboutissage cylindrique  $F_c$  :

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} + F_{c4} + F_{c5} + F_{c6} + F_{c7}$$

- Effort d'emboutissage rectangulaire  $F_r$

$$F_r = F_{r1} + F_{r2}$$

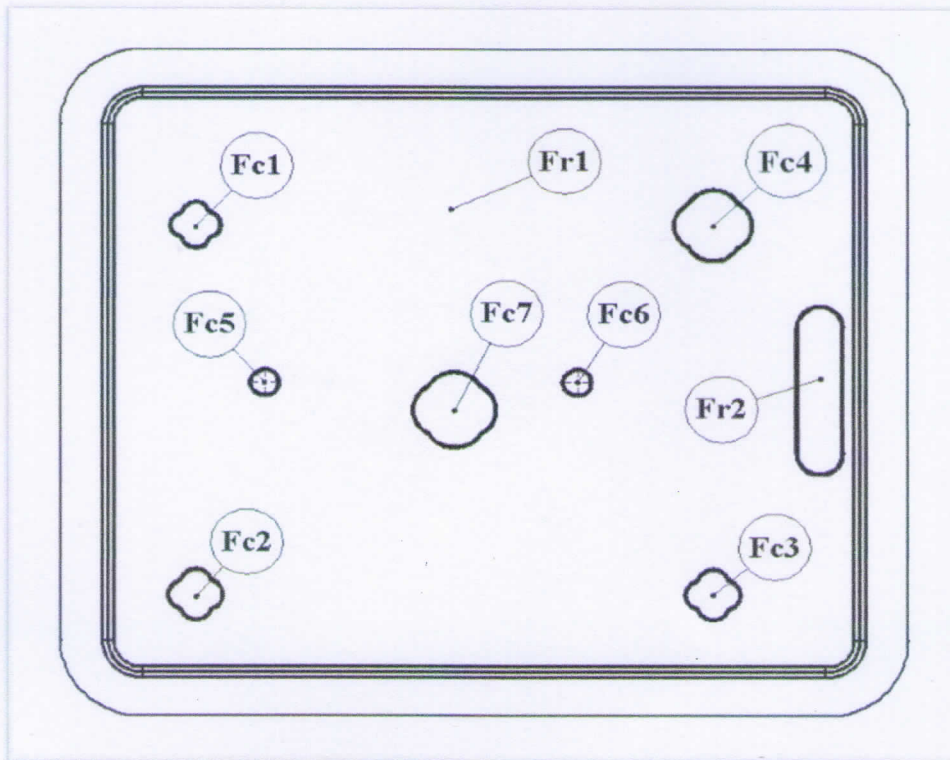


Figure V.5 : répartition des efforts d'emboutissage

Donc l'effort total  $F_e$  se calcule comme suit :

$$F_e = F_c + F_r \quad (V.4)$$

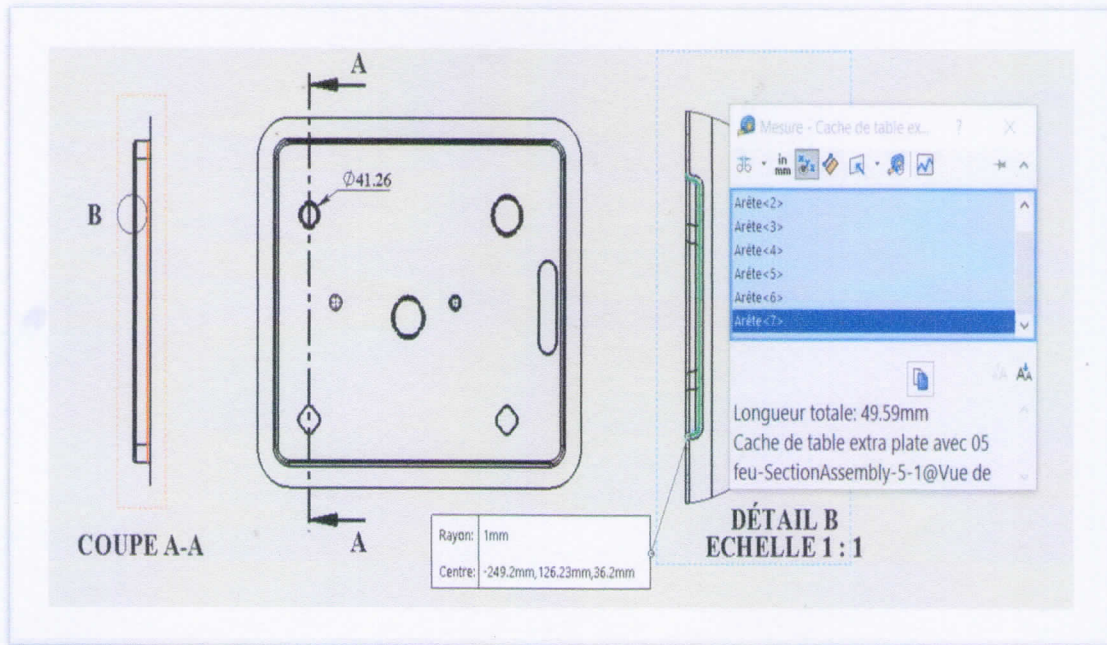
#### V.6.1- Effort d'emboutissage cylindrique $F_c$ :

$$F_{cn} = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_p \cdot K ; n = 1,2,3,4,5,6 \quad (V.5)$$

- $e$  : épaisseur  $e = 1\text{mm}$
- $R_p$  : résistance à la traction  $350\text{ N/mm}^2$
- $d$  : diamètre du chaque partie cylindrique
- $K$  : Coefficient en fonction du rapport  $d/D$

**a- Pour les formes F<sub>c1</sub>, F<sub>c2</sub>, F<sub>c3</sub> :**

Les diamètres d et les flans D sont mesurés avec le logiciel 'SolidWorks' par la fonction « mesurer » sur la planche (mis en plan) après la coupe et une vue détaillée :



**Figure V.6 : mesure de diamètre d et de flan D**

Pour chaque mesure du flan D, on rajoute 2 à 3 mm de chaque côté.

$$D_{1,2,3} = 55.59 \text{ mm} ; d_{1,2,3} = 41.26 \text{ mm}$$

$$\frac{d_{1,2,3}}{D_{1,2,3}} = 0.74 \quad \Leftrightarrow \quad K = 0.5 \text{ voir Tableau IV.3}$$

$$F_{c1,2,3} = \pi \cdot d_{1,2,3} \cdot e \cdot R_p \cdot K$$

$$F_{c1,2,3} = 3.14 \times 41.26 \times 1 \times 350 \times 0.5$$

$$F_{c1,2,3} = 22672.37 \text{ N}$$

**b- Pour la forme F<sub>c4</sub> :**

$$D_4 = 79.59 \text{ mm} ; d_4 = 65.26 \text{ mm}$$

$$\frac{d_4}{D_4} = 0.8 \quad \Leftrightarrow \quad K = 0.4 \text{ voir Tableau IV.3}$$

$$F_{c4} = \pi \cdot d_{1,2,3} \cdot e \cdot R_p \cdot K$$

$$F_{c4} = 3.14 \times 65.26 \times 1 \times 350 \times 0.4$$

$$F_{c4} = 28688.3 \text{ N}$$

c- Pour les formes  $F_{c5}$ ,  $F_{c6}$  :

$$D_{5,6} = 36.59 \text{ mm} ; d_4 = 22.26 \text{ mm}$$

$$\frac{d_{5,6}}{D_{5,6}} = 0.6 \quad \Leftrightarrow \quad K = 0.86 \text{ voir Tableau IV.3}$$

$$F_{c5,6} = \pi \cdot d_{5,6} \cdot e \cdot R_P \cdot K$$

$$F_{c5,6} = 3.14 \times 22.26 \times 1 \times 350 \times 0.86$$

$$F_{c5,6} = 21038.17 \text{ N}$$

d- Pour la forme  $F_{c7}$  :

$$D_7 = 83.59 \text{ mm} ; d_4 = 69.26 \text{ mm}$$

$$\frac{d_7}{D_7} = 0.8 \quad \Leftrightarrow \quad K = 0.4 \text{ voir Tableau IV.3}$$

$$F_{c7} = \pi \cdot d_7 \cdot e \cdot R_P \cdot K$$

$$F_{c7} = 3.14 \times 69.26 \times 1 \times 350 \times 0.4$$

$$F_{c7} = 30446.70 \text{ N}$$

e- Pour Effort d'emboutissage cylindrique  $F_c$  :

$$F_c = 3 \cdot F_{c1,2,3} + F_{c4} + 2 \cdot F_{c5,6} + F_{c7}$$

$$F_c = 169228.45 \text{ N}$$

## V.6.2 - Effort d'emboutissage rectangulaire $F_r$

a- Pour la forme  $F_{r1}$  :

$$F_{r1} = e \cdot R_P \cdot (2 \cdot K_A \cdot \pi \cdot r + K_B \cdot L)$$

- $F_{r1}$  : effort d'emboutissage (N)
- $e$  : épaisseur = 1 mm
- $R_P$  : résistance à la traction 350 N/mm<sup>2</sup>
- $r$  : rayon de la matrice  $r = 5$  mm
- $L = 2(a + b) = 2312.05$  mm

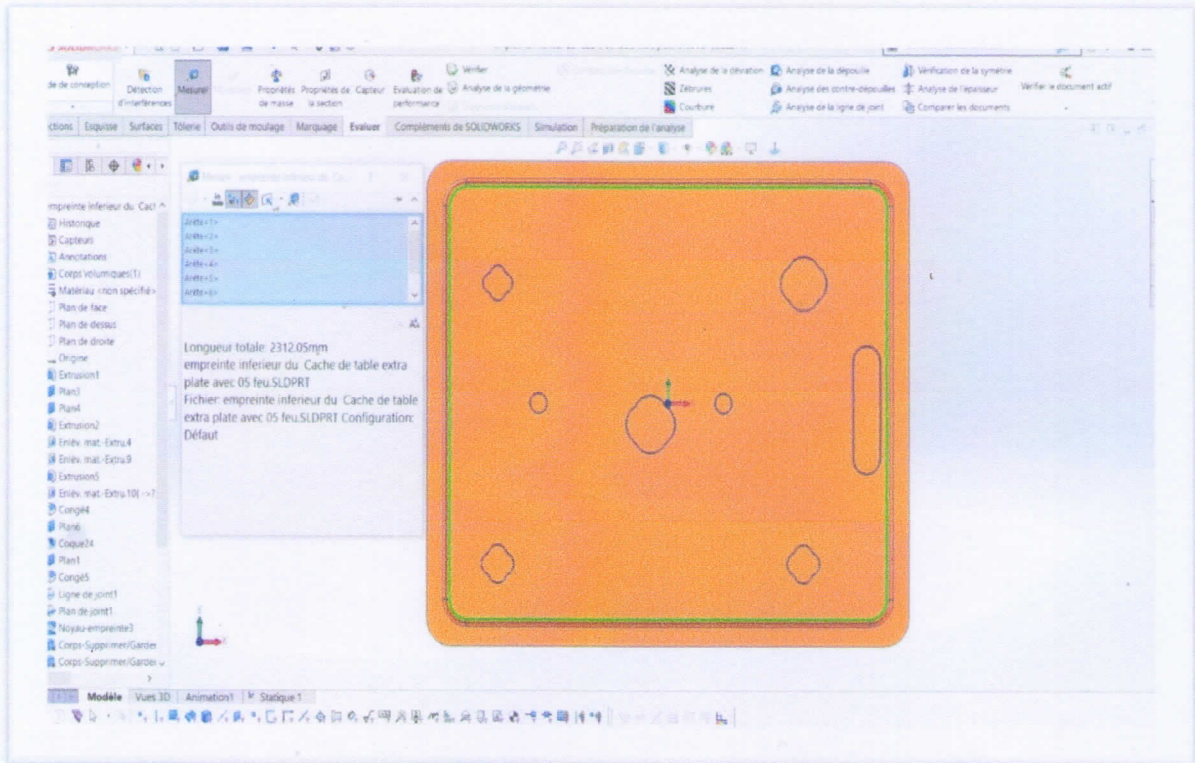


Figure V.7 : mesure du périmètre du contre poinçon  $F_{r1}$

- $K_A = 2$  car  $h = 37.2$  et  $K_B = 0.3$  (Tableau III.3)

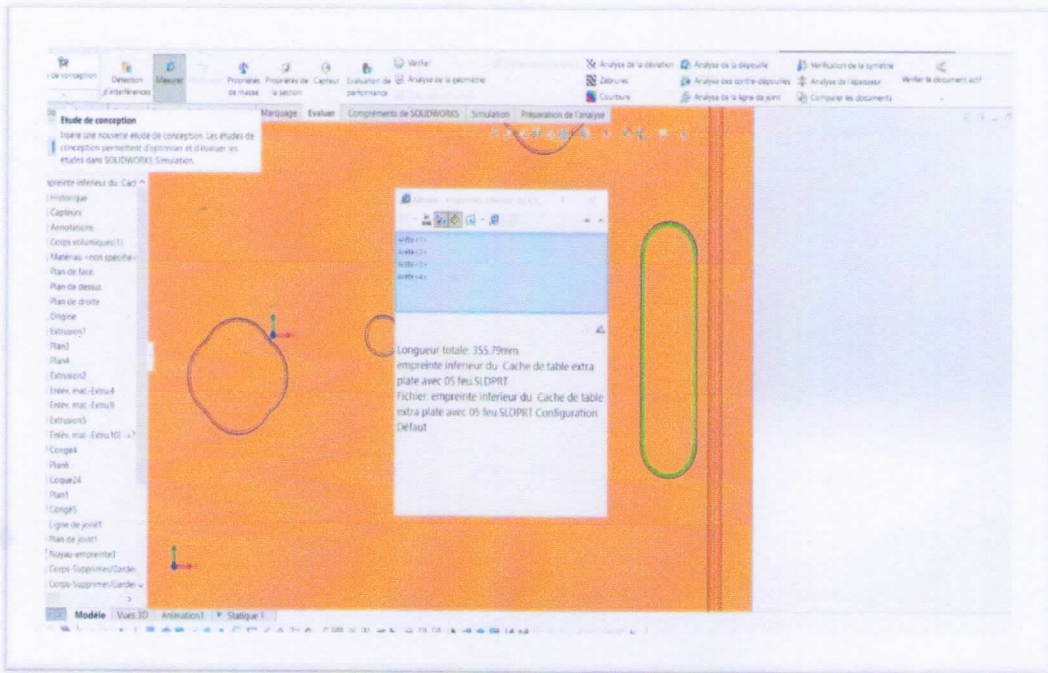
$$F_{r1} = 1 \times 350 \times (2 \times 2 \times \pi \times 5 + 0.3 \times 2312.05)$$

$$F_{r1} = 264745.25 \text{ N}$$

**b- Pour la forme  $F_{r2}$  :**

$$F_{r2} = e \cdot R_p \cdot (2 \cdot K_A \cdot \pi \cdot r + K_B \cdot L)$$

- $F_{r1}$  : effort d'emboutissage (N)
- $e$  : épaisseur = 1 mm
- $R_p$  : résistance à la traction 350 N/mm<sup>2</sup>
- $r$  : rayon de la matrice  $r = 1.8$  mm
- $L = 2(a + b) = 355.79$  mm (fonction mesure SolidWorks)



**Figure V.8 :** mesure du périmètre emplacement de la génératrice  $F_{r2}$

- $K_A = 0.5$  car  $h = 3$  et  $K_B = 0.3$  (Tableau IV.3)

$$F_{r2} = 1 \times 350 \times (2 \times 0.5 \times \pi \times 1.8 + 0.3 \times 355.79)$$

$$F_{r2} = 39336.15 \text{ N}$$

**c- Effort d'emboutissage rectangulaire  $F_r$  :**

$$F_r = F_{r1} + F_{r2}$$

$$F_r = 264745.25 + 39336.15$$

$$F_r = 304081.4$$

**V.6.3- Effort d'emboutissage total  $F_{et}$  :**

$$F_{et} = F_C + F_r$$

$$F_{et} = 169228.45 + 304081.4$$

$$F_{et} = 473309.45 \text{ N}$$

$$F_{et} = 48.26 \text{ Tonne-force}$$

**V.7- Calcul de l'effort de serrage du serre flan sur le flan :**

**a- Vérification de la condition**

La présence du serre-flan ne s'impose que si :  $d < 0,95D$

- $D = 797.82 \text{ mm}$  ;  $d = 680 \text{ mm}$  ;
- $0.95D = 757.929$

$$\text{Donc } 680 < 759.929$$

La condition est vérifiée pour la présence de serre flan

## b) Calcul de la surface sous le serre flan :

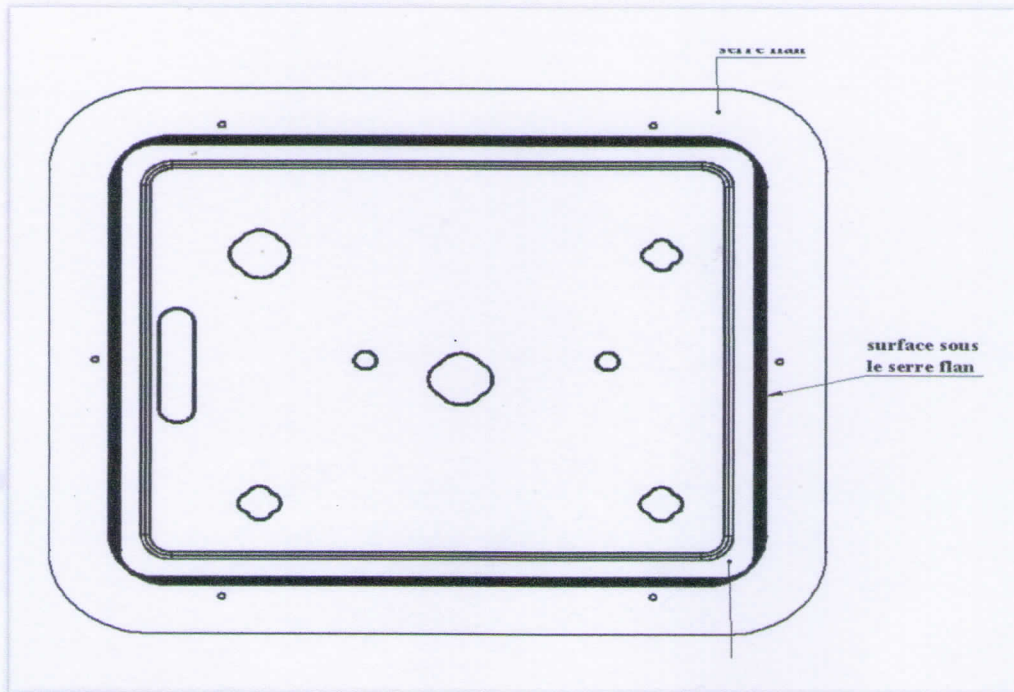


Figure V.9 : surface sous le serre flan

- La surface de serre flan plein :  $651507.29 \text{ mm}^2$  (mesuré SolidWorks) ;
- La surface de serre flan crus :  $224829.99 \text{ mm}^2$  (mesuré SolidWorks) ;
- La différence entre plein et crus et la surface de cache :  
 $X = 426677.3 \text{ mm}^2$  ;
- La surface du flan est  $556734.75 \text{ mm}^2$  ;
- La surface sous la serre flan est la différence entre le flan et la surface calculée X qui est égale à  $130057.45 \text{ mm}^2$ .

## c- Calcul de l'effort de serrage de serre flan :

$$F_s = P \times S$$

- P : La pression spécifique sur le serre flan est égale à  $2,5 \text{ N/mm}^2$   
(Voir le Tableau IV.2)
- S : la surface de flan sous le serre flan de serre-flan

$$F_s = 2.5 \times 130057$$

$F_s = 325142.5 \text{ N}$ $F_s = 33.16 \text{ Tonne - Force}$
---

### V.8- Choix de la presse à utiliser

- Pour choisir une presse qui convient à notre travail, on doit respecter quelques conditions suivantes :
- La force produite provient de la presse à utiliser. Elle doit produire un effort supérieur à la somme des efforts d'emboutissage.  $F_t < F_{pr}$

Avec :

- ❖  $F_{pr}$  : Effort de la presse, **Tonnes - Force**
- ❖  $F_t = F_{et} + F_s = 81.42$  **Tonne - Force**
- ❖  $F_{pr} > 81.42$  **Tonnes - Force**
- Les dimensions d'outil (1120 x 1220) sont inférieures aux dimensions :
  - ❖ Dimension de la table
  - ❖ Dimension de coulisseau
- La course du coulisseau doit être supérieure à la profondeur d'emboutissage (37.2mm)
- Le réglage de l'effort de serrage du flan va être synchronisé automatiquement avec l'effort nécessaire pour l'opération d'emboutissage sur cette presse.

Le tableau ci-dessous montre la presse disponible au niveau de l'atelier ENIEM cuisson, donc la presse qui va répondre à nos exigences c'est la **T29 hydraulique** avec une capacité de 650 tonnes force et qui possède un automate qui synchronise entre l'effort de l'emboutissage et de serre flan :

**Tableau V.7** : caractéristiques mécaniques de la presse hydraulique T29 (ENIEM-CUISSON)

Désignation de la presse	Tonnage (T)	Encombrement		Cours de coulisseau
		Table (mm)	Coulisseau (mm)	
T29 Hydraulique	650	2000X1500	2000X1500	300

### V.9- Les aspects opératoires des paramètres pour une bonne qualité de cache :

#### V.9.1- Calcul du jeu entre le poinçon et la matrice :

Pour l'acier :  $J = e + 0.07(10e)^{1/2}$

$$J = 1 + 0.07 (10)^{0.5}$$

$J = 1.22 \text{ mm}$
-----------------------

### V.9.2- Rayon sur la matrice:

- Pour  $r = 0$  on a un déchirement du flan
- Pour  $r = \frac{D-d}{2}$  on a la formation de plis

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation concernant la première passe. Pour l'acier :

$$r = 0.8 [(D - d_1) e]^{1/2}$$

$$r = 0.8 [(797.82 - 650) 1]^{1/2}$$

$r = 13.5 \text{ mm}$
-----------------------

### V.9.3- Arrondi sur le poinçon

Le rayon de poinçon est limité entre  $5e$  et  $10e$  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.

En prend  $r_p = 5\text{mm}$ .

### V.9.4- Vitesse d'emboutissage

A partir du Tableau III.1 (vitesses d'emboutissage pour différent matériaux) choisi la vitesse égale à  $200\text{mm/s}$

### V.9.5- La résistance des empreintes à la compression

Le matériau utilisé pour les poinçons et la matrice est le **XC48** et sa Limite d'élasticité

$$Re = 275 \text{ à } 340 \text{ N/mm}^2$$

La condition à la résistance :

$$\sigma_{com} = F_{et}/S < Re$$

- $F_{et}$  = l'effort total d'emboutissage.
- $S$  = La surface de contact de l'empreinte avec la pièce.
- 

#### a - Poinçons

- $S_1$  = la surface sur le poinçon qui est en contact avec la pièce.
- $\sigma_{Poinçon}$  : la compression sur le poinçon.

Mesure de la surface  $S_1$  pour le poinçon droit avec le logiciel 'SolidWorks' par la fonction « mesurer »  $S_1 = 640853.08\text{mm}^2$

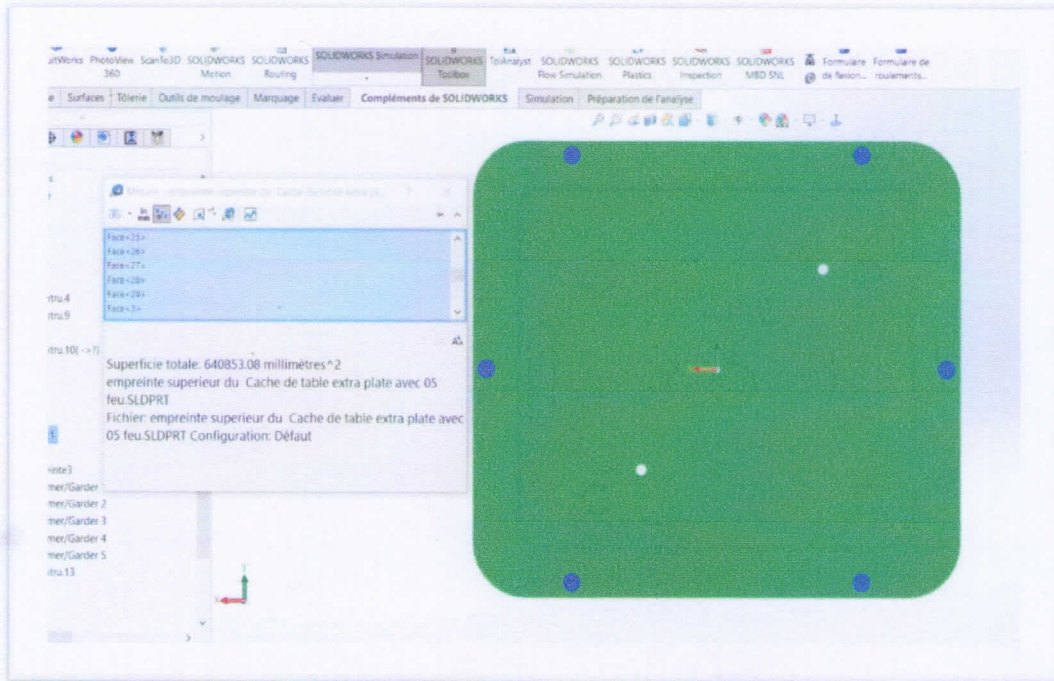


Figure V.10 : Mesure de la surface  $S_1$

- $S_1 = 640853.08 \text{ mm}^2$
- $F_{et} = 473309.45 \text{ N}$

$$\sigma_P = \frac{F_{et}}{S_1}$$

$$\sigma_P = \frac{473309.45}{640853.08}$$

$$\sigma_{\text{Poinçon}} = 0.74 \text{ N/mm}^2 \Leftrightarrow \sigma_{\text{Poinçon}} < R_p$$

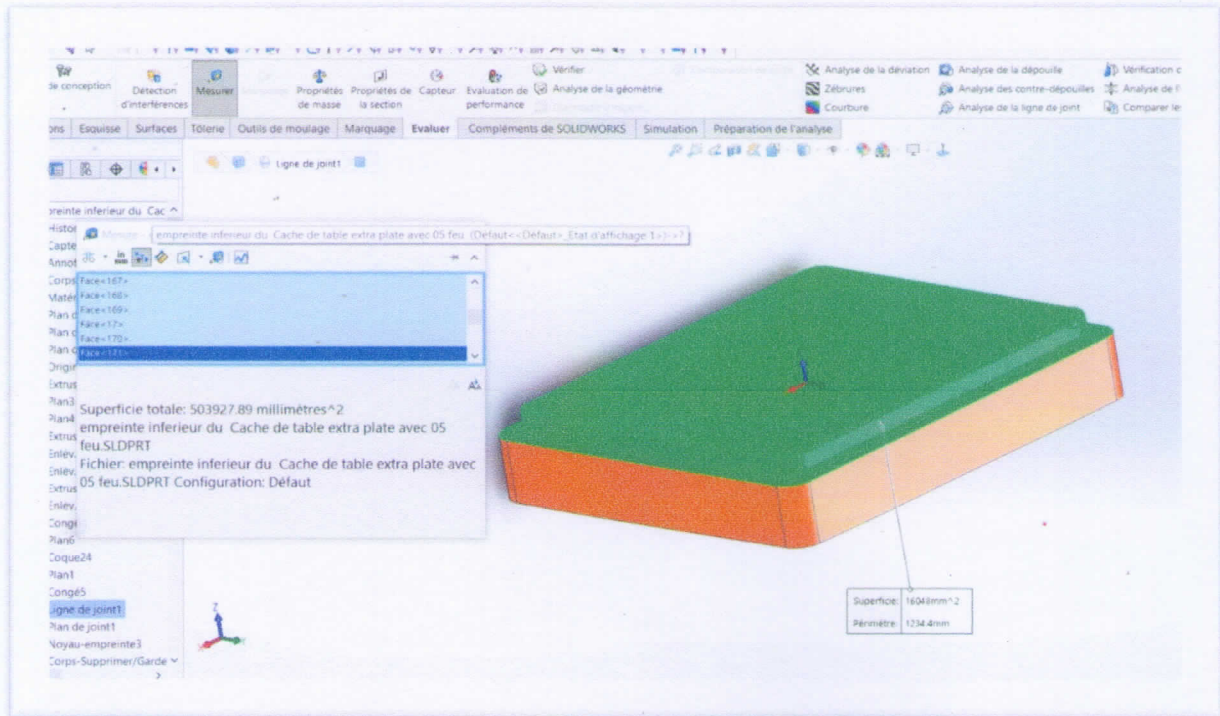
**Le poinçon va résister à l'effort d'emboutissage**

### b - Contre poinçon

**S2** : la surface sur la matrice qui est en contact avec la pièce.

$\sigma_m$  : la compression sur la matrice.

Mesure de la surface **S2** pour la matrice droite avec le logiciel 'SolidWorks' par la fonction « mesurer ».

Figure V.11: Mesure de la surface  $S_2$ 

- $S_1 = 640853.08\text{mm}^2$
- $F_{et} = 473309.45\text{N}$

$$\sigma_p = \frac{F_{et}}{S_2}$$

$$\sigma_{\text{contre poinçon}} = \frac{473309.45}{503927.89}$$

$$\sigma_{\text{contre poinçon}} = 0.94 \text{ N/mm}^2 \Leftrightarrow \sigma_p < R_p$$

**Le contre poinçon va résister à l'effort d'emboutissage**

## V.10- Conclusion

Logiciel SolidWorks nous a permis d'avoir les dimensions du flan et les surfaces d'emboutissage sans recours aux essais expérimentaux, ce qui représente un gain de temps, de précision et une économie ;

Nous avons conçu notre outil économique avec :

- ❖ Le choix de matériaux fiables ;
- ❖ Évitations du surdimensionnement des éléments ;
- ❖ La grande cadence de fabrication de ce cache ;



CONCLUSION GÉNÉRALE

The image shows a 3D exploded view of a mechanical assembly. The main components are colored: a large green base, a blue top plate, a purple vertical support, and an orange horizontal support. Numerous screws and bolts are shown in their respective positions around the assembly, indicating it is an exploded view. The text 'CONCLUSION GÉNÉRALE' is superimposed in a large, bold, black serif font across the center of the image.

## **Conclusion générale**

Les notions pratiques acquises au niveau de l'unité cuisson de l'entreprise de fabrication de l'électroménager ENIEM dans le cadre de réalisation de notre projet de fin d'étude, nous ont permis de développer notre esprit de recherche, ainsi que de concrétiser et de mettre en application les connaissances acquises durant la formation master en génie mécanique.

L'emboutissage est une technique de formage la plus répandue dans l'industrie. Cette étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans ce procédé qui ne cesse de se développer au fil des dernières années car c'est la plus utilisée dans le processus de la transformation des tôles.

Les connaissances acquises dans les recherches lors de l'étude des différentes caractéristiques des matériaux telle que l'acier ont servi de base pour la conception de notre outil. Ces métaux sont choisis pour faciliter la réalisation des pièces et avoir un coût de revient le plus bas possible avec une bonne qualité de fabrication.

Le logiciel de conception assisté par ordinateur Solid Works nous a permis de définir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différentes pièces. La puissance de ce logiciel nous a aidé à concevoir un outil précis, fiable et rentable.

Enfin, nous souhaitons que ce travail va servir comme support pédagogique pour les promotions à venir.

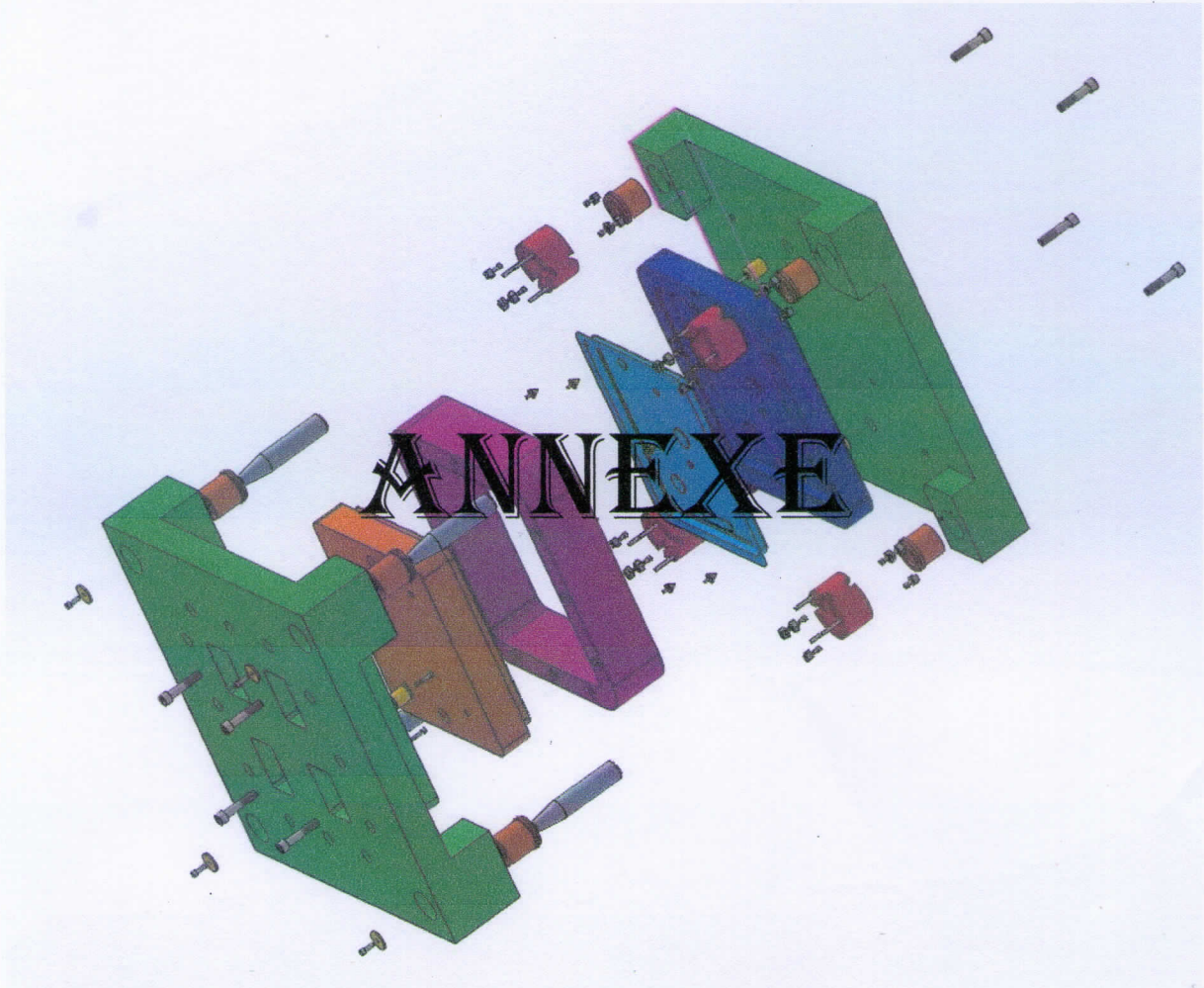


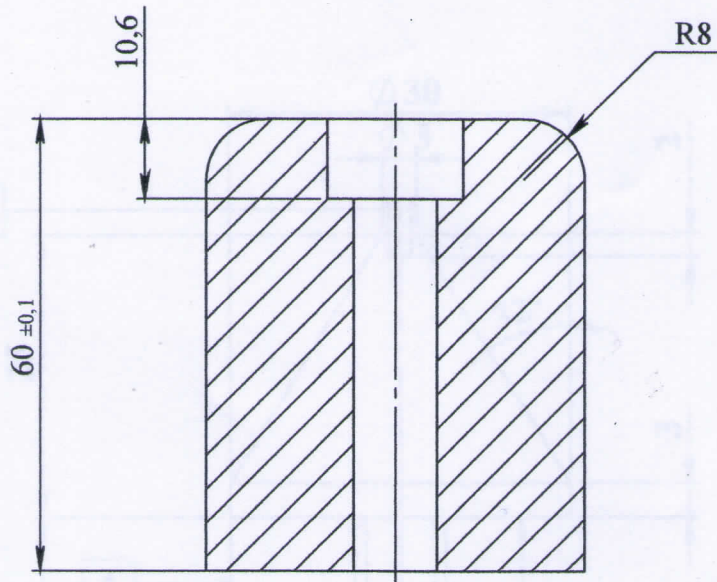
The image shows a 3D exploded view of a mechanical assembly. The main components are colored: two large green parts, one blue part, one purple part, one orange part, and one red part. Numerous screws and bolts are shown floating around the assembly, indicating they are used to secure the parts together. The word "BIBLIOGRAPHIQUE" is written in a large, black, serif font across the center of the image, overlapping the mechanical parts.

# BIBLIOGRAPHIQUE

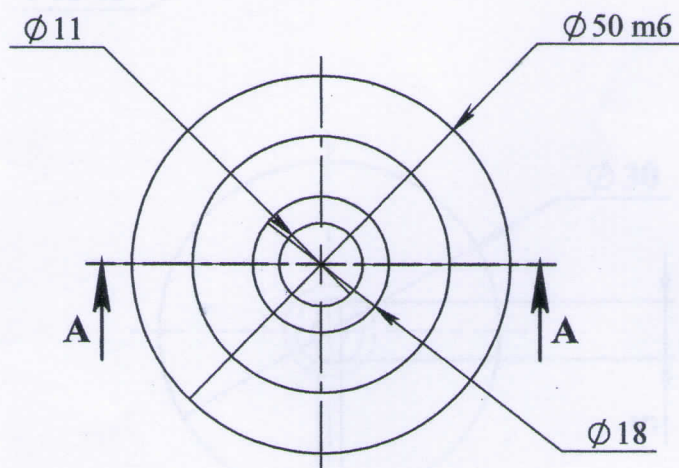
## Bibliographique

- [1] **Classifications des aciers et des fontes pages 34**  
**Professeur BEN SAADA.S université de BISKRA**
- [2] Guide traitement thermique / COMITE PERFORM  
<http://www.comiteperform.ca>
- [3] Cours découpage des tôles professeurs Zerouki.M  
IST institut des sciences et de la technologie
- [4] Support de cours Génie Mécanique Niveau 1 Procédés de mise en forme Préparé  
Par : Mourad JERBI A.U 2017/2018 Institution supérieur des études technologique  
de NABEUL.
- [5] Cours pliage des tôles professeurs Zerouki.M  
IST institut des sciences et de la technologie
- [6] Mémoire Master Académique Etude Et Réalisation D'une Emboutisseuse Des  
Tôles de Faible Epaisseur FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE  
MECANIQUE par : Djabri Rezkalla Mihoubi Ishak Année universitaire : 2017  
/2018.
- [7] DASSAULT Systèmes SOLID WORKS 2020
- [8] NORME AFNOR 35-552 AF65C45
- [9] Documentation offerte par l'entreprise ENIEM.
- [10] GUIDE DES NORME FONTE  
[www.loiselet.com](http://www.loiselet.com)
- [11] ZIED BELKACEM, HOCINE CHABANE étude et conception d'un outil  
poinçonnage et détournage d'un bandeau bombe en inox d'une cuisinière ENIEM,  
mémoire de master, Université MOULOU MAAMRI TIZI OUZOU, année  
2017/2018
- [12] Dridi Mohamed Salah ; Guendouzi Abdelghani Conception d'une presse  
mécanique pour emboutissage de 40 tonnes Promotion juin 2019
- [13] Guide de guidage des élément RABOURDIN RG.

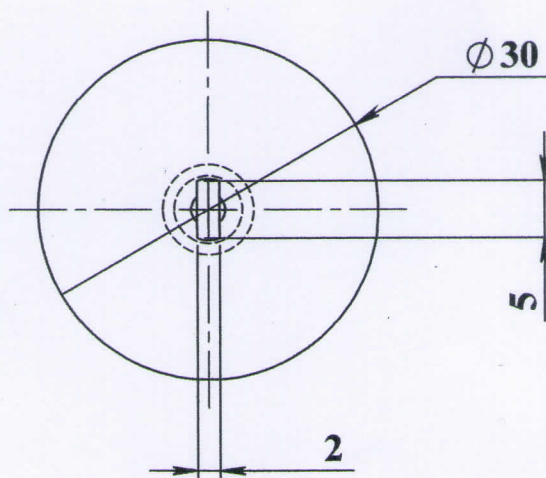
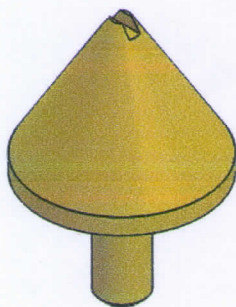
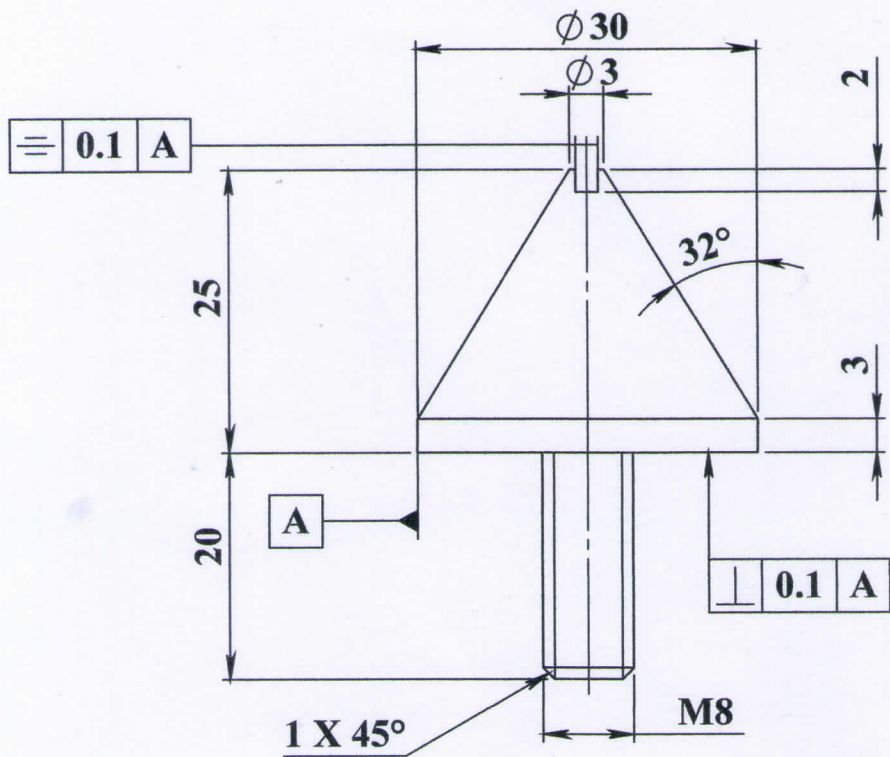




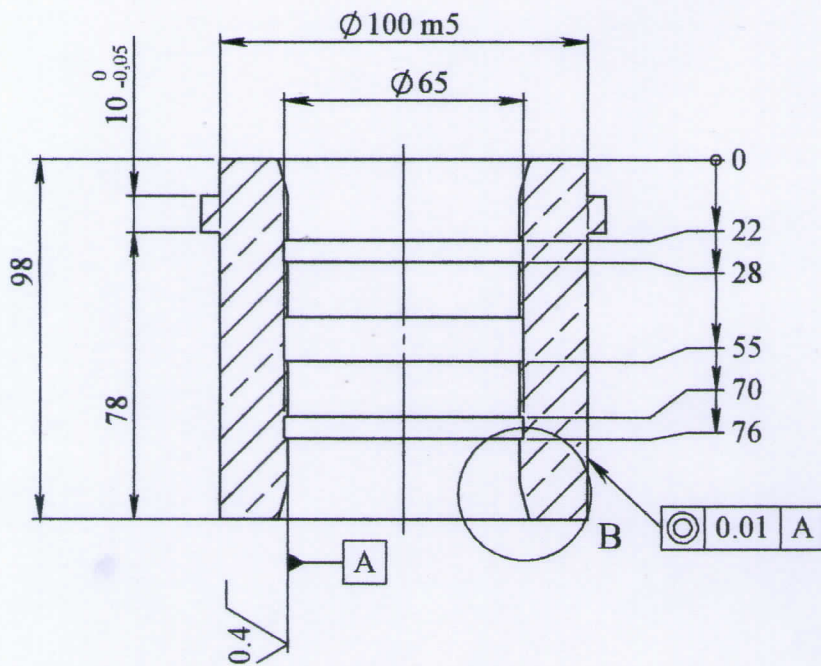
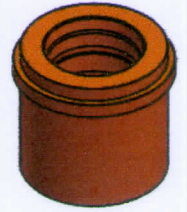
COUPE A-A



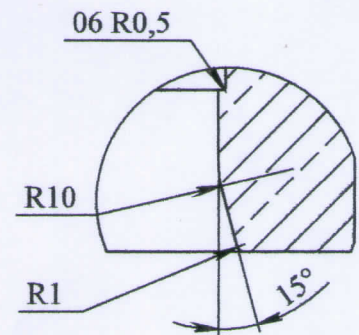
11	06	Goujon	Acier a outils	Tr + Rv 58/64 HRC
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 1		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat	Etat de surface	
Planche N°: 11			Ra = 1.6	
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo : 2020/2021	
A4		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



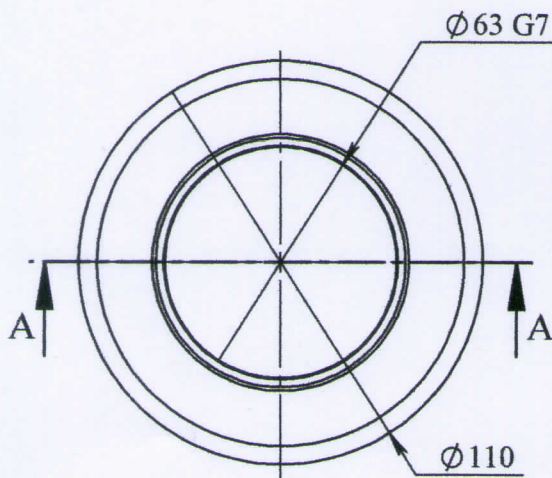
12	06	Butée de position de flan	XC 18	Norme EN 10277-2
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 3 : 2		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat	Etat de surface $Ra = 3.2$	
Planche N°: 12				
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo : 2020/2021	
A4		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



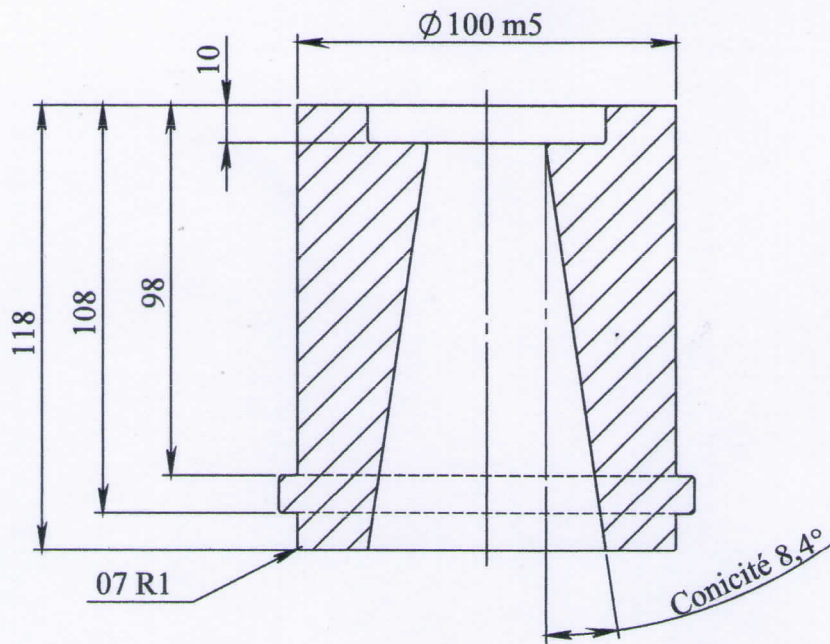
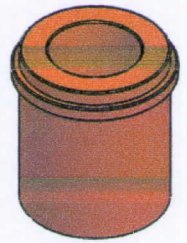
COUPE A-A



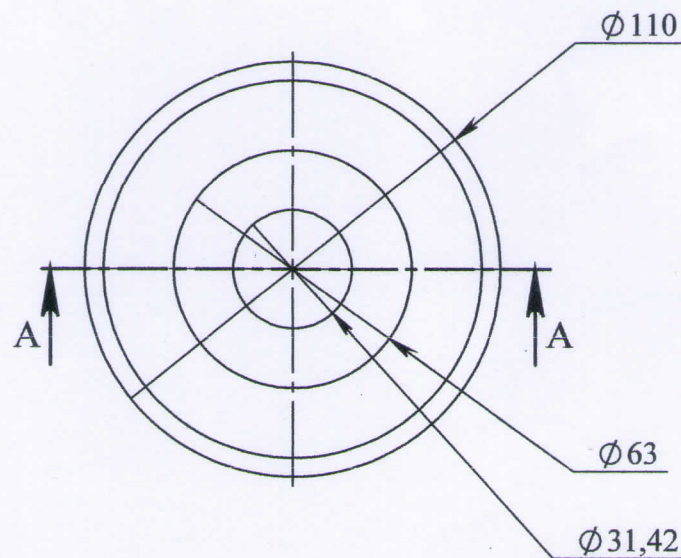
DÉTAIL B  
ECHELLE 1 : 1



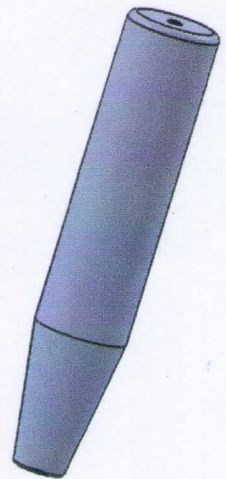
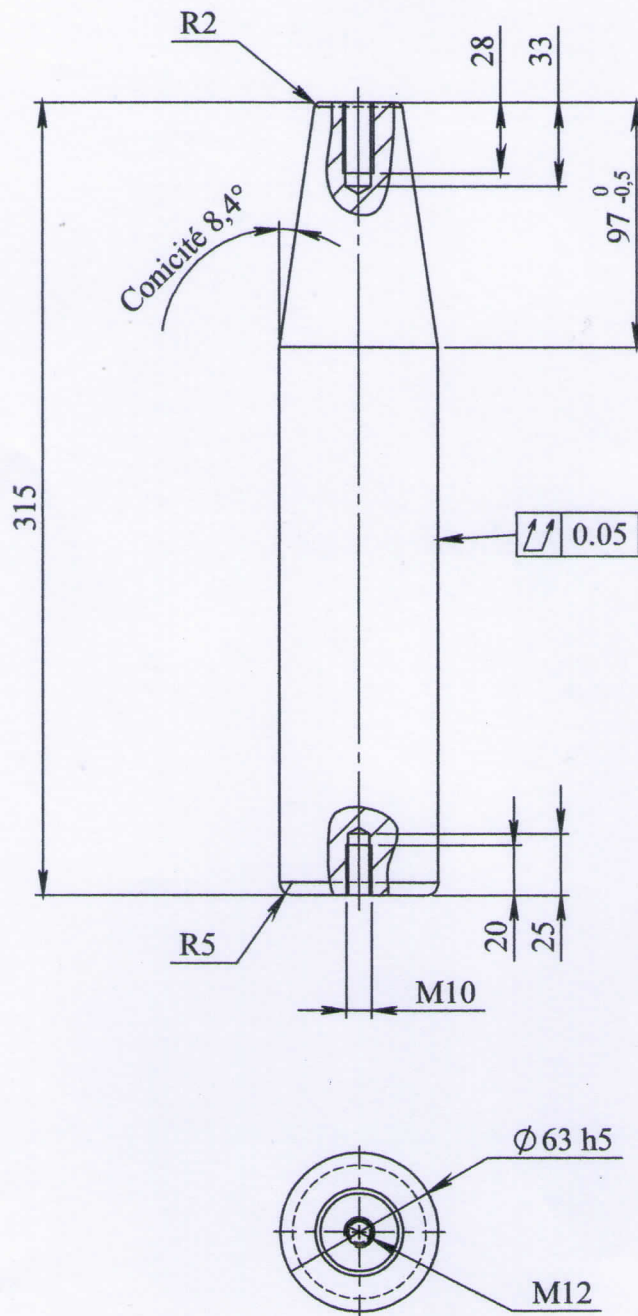
13	04	Bague superieure	Bronze	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 2		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat		Etat de surface
Planche N°: 13				$Ra = 3.2$
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo : 2020/2021
A4				MASTER II



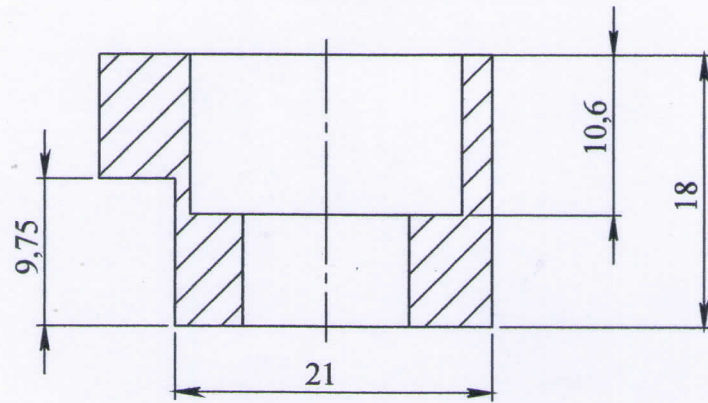
COUPE A-A



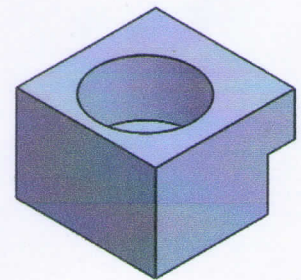
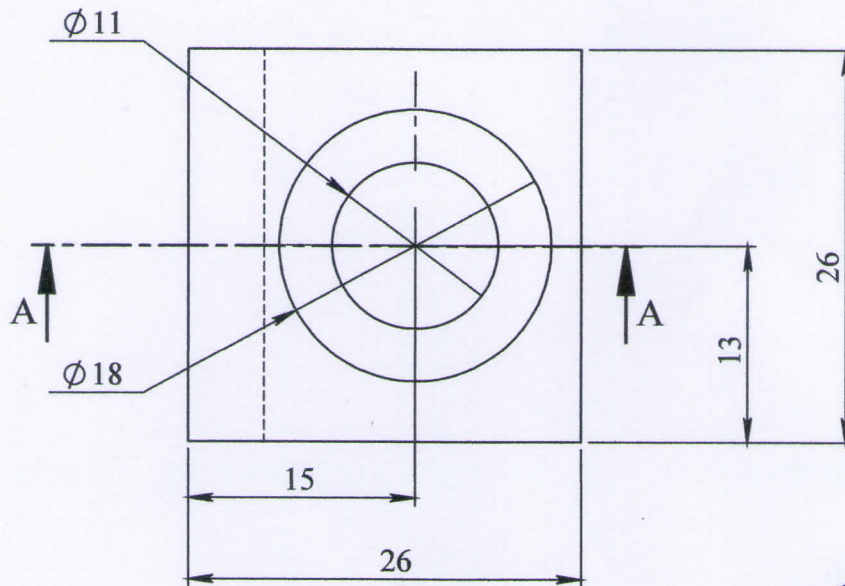
14	04	Bague inferieure	Acier allié	Tr+Rv 60/64 HRC
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 2		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat	Etat de surface	
Planche N° 14			Ra = 3.2	
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo : 2020/2021	
A4		FGC DGM UMMTO	MASTER II	





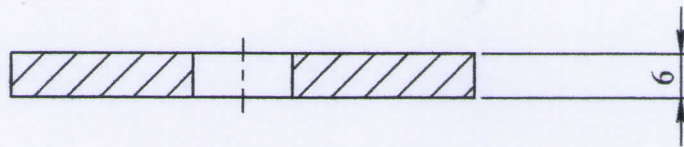
15	04	Axe de guidage	acier allié	trempe a coeur 60/62 HRC
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 3		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat		Etat de surface
Planche N°: 15				Ra = 0.4
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo : 2020/2021
A4		FGC DGM UMMTO		MASTER II



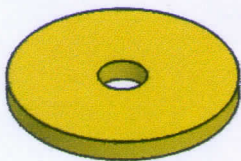
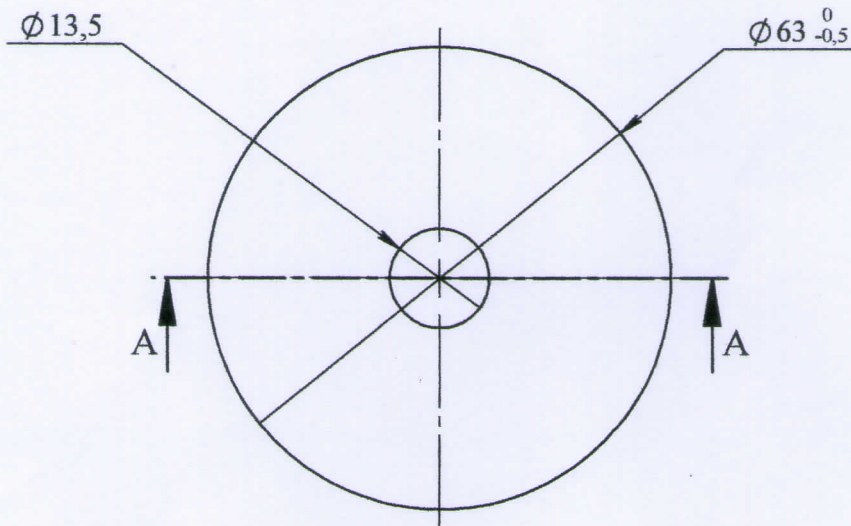
COUPE A-A



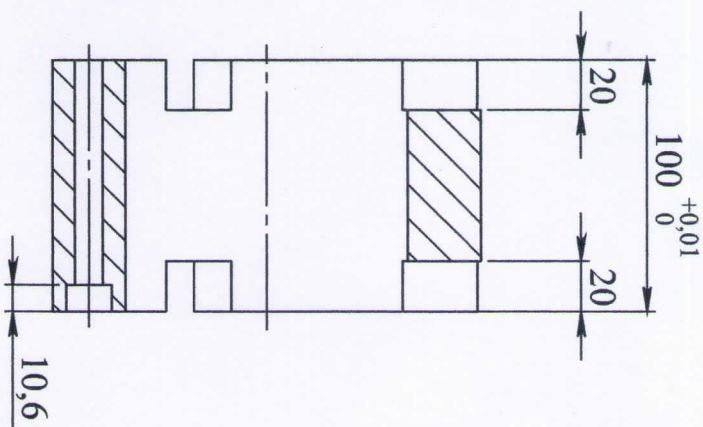
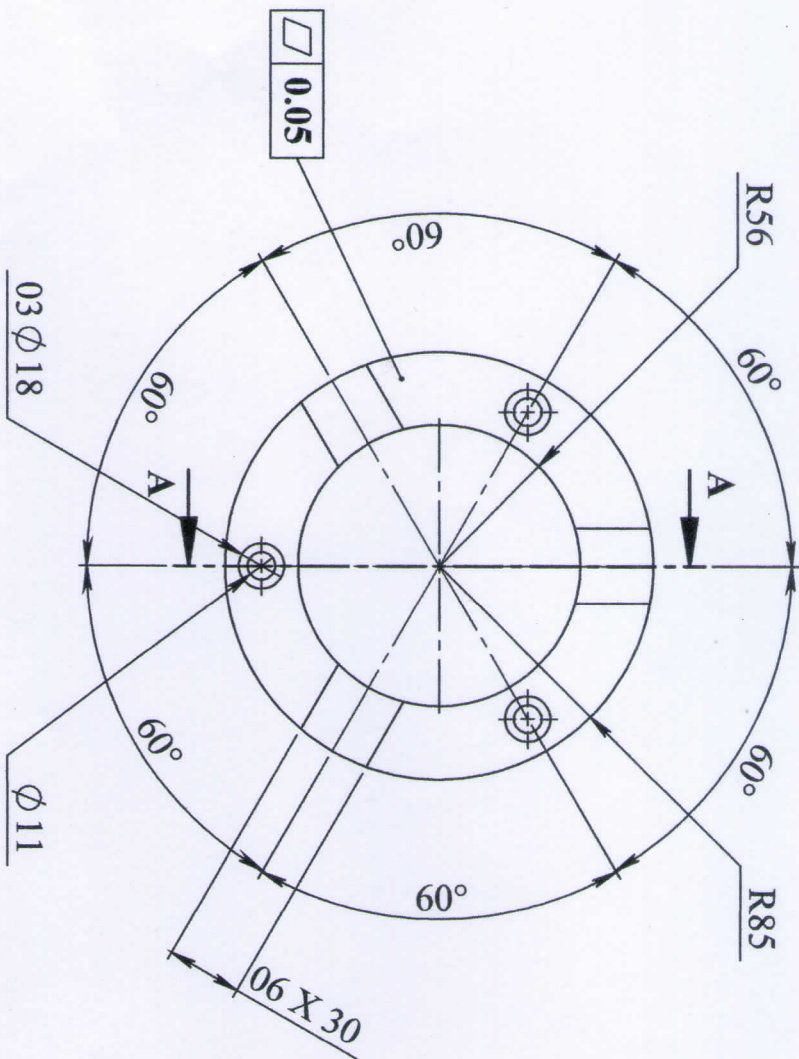
16	24	Bride	Acier	NF E 63-125
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 2 : 1		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat	Etat de surface	
Planche N°: 16			Ra = 3.2 $\sqrt{\quad}$	
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo : 2020/2021	
A4		 FGC DGM UMMTO	MASTER II	



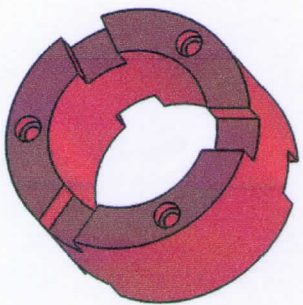
COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 1



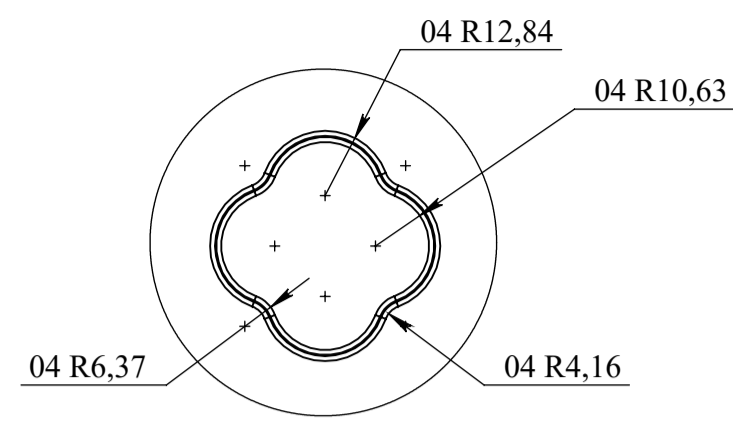
17	04	Rendelle de fixation axe de guidage	Acier	DIN 9825/ISO 9182-4
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1 : 1		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat		Etat de surface
Planche N°:17				Ra = 3.2/
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo : 2020/2021
A4			FGC DGM UMMTO	MASTER II



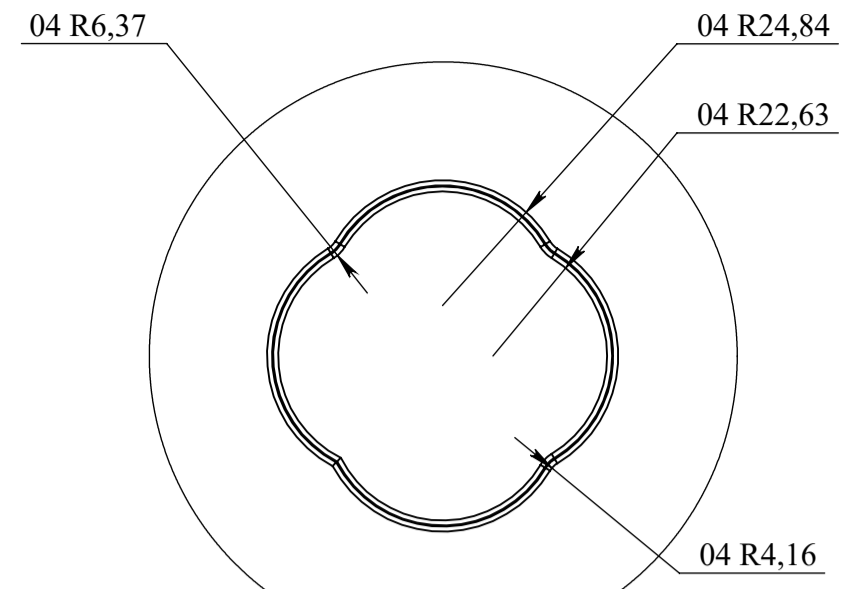
COUPE A-A  
Echelle 1 : 3



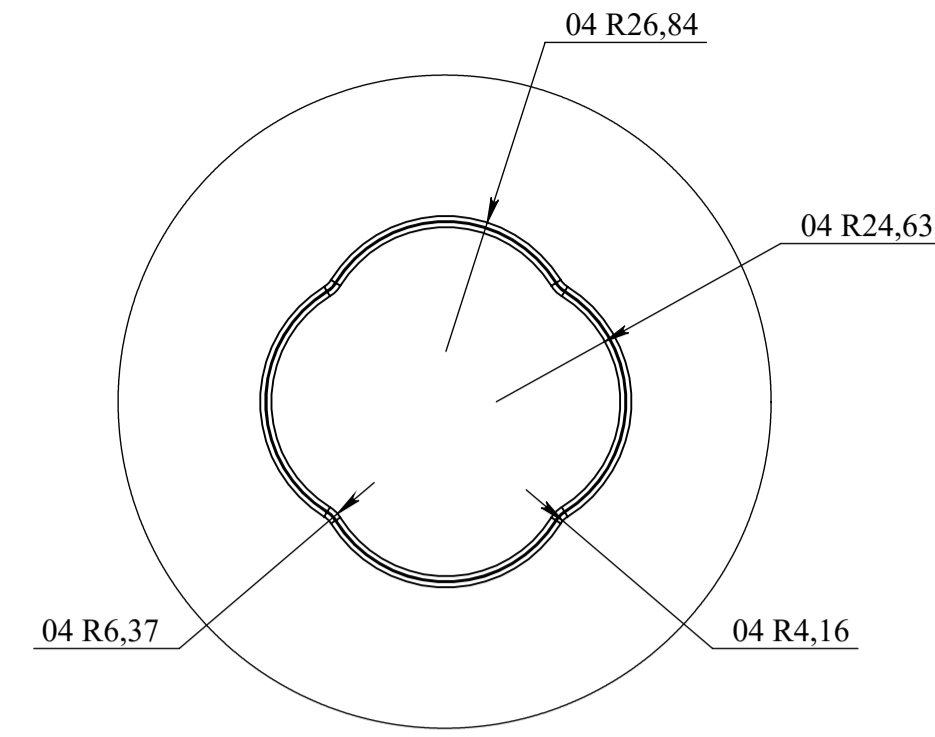
18	04	Butée de fin de course	XC 48	Tr + Rv 45/50 HRC
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 3		Outil d'emboutissage		
Planche N° : 18		Cache de table extra plat		
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		
A4		Promo 2020/2021		
		Master II		
		Etat de surface Ra=3.2		



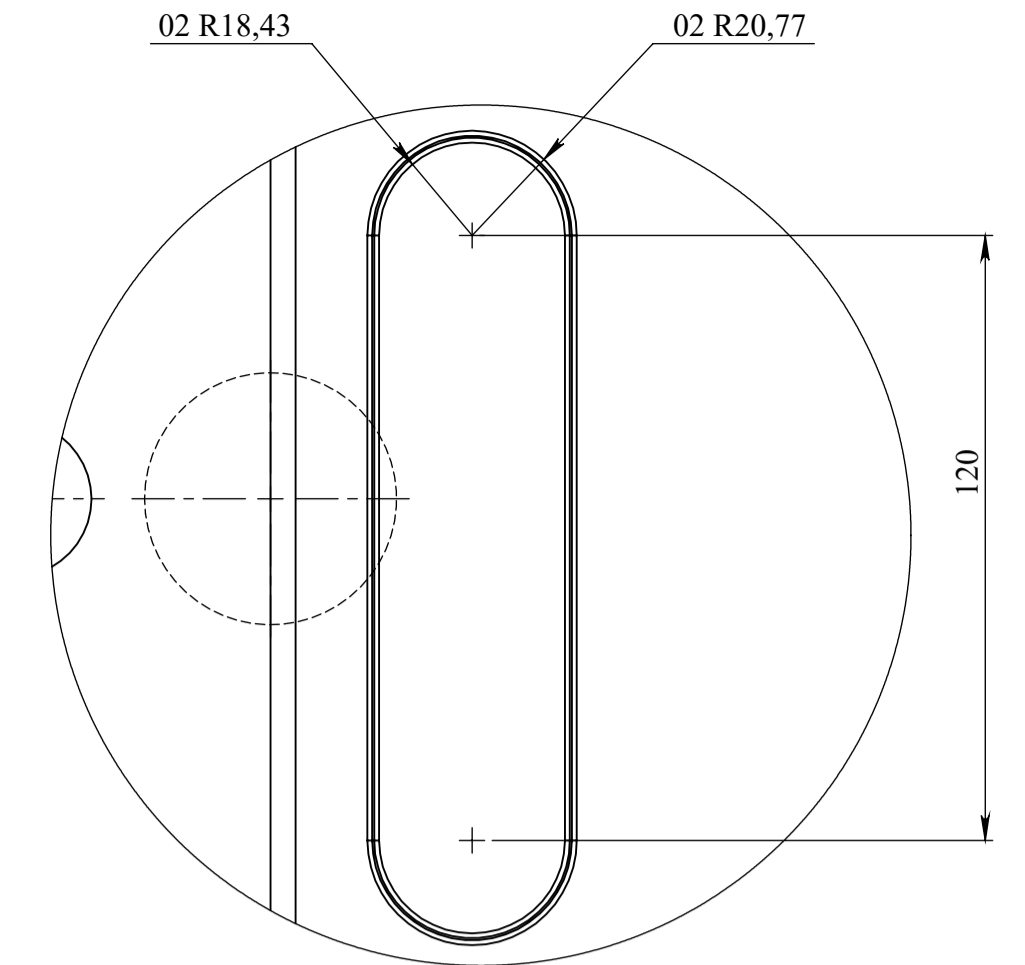
DÉTAIL E  
ECHELLE 2 : 3



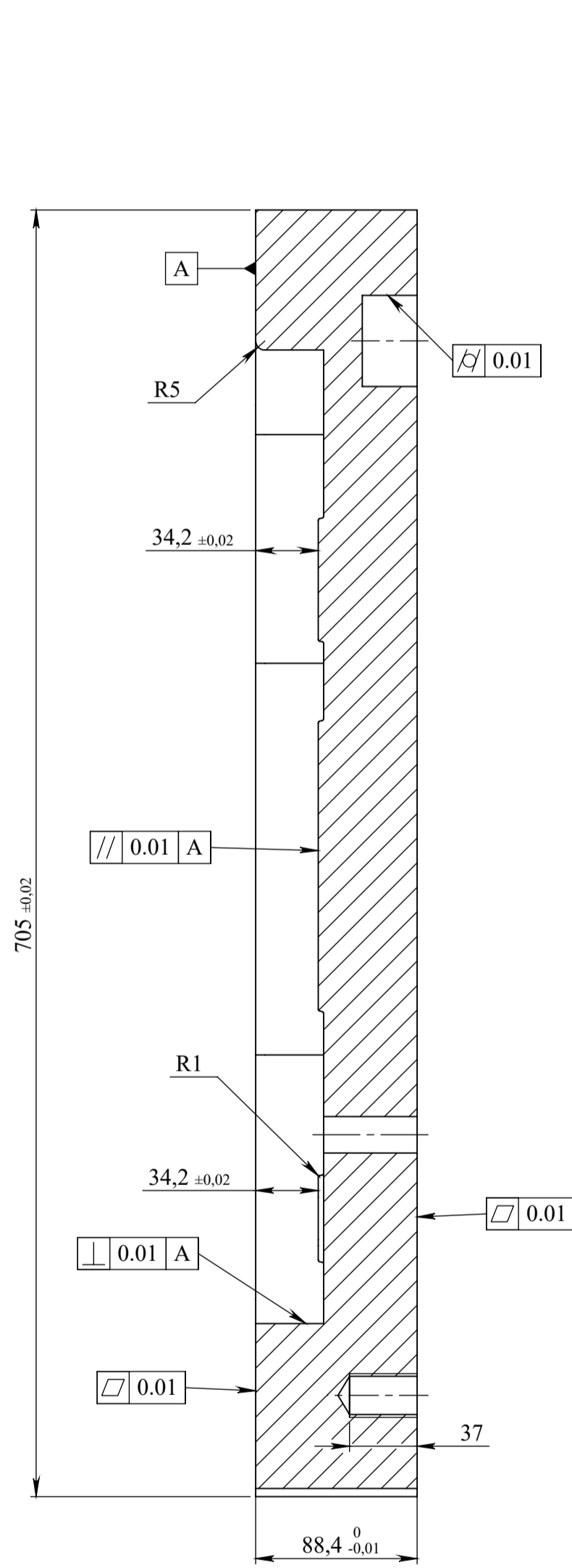
DÉTAIL F  
ECHELLE 2 : 3



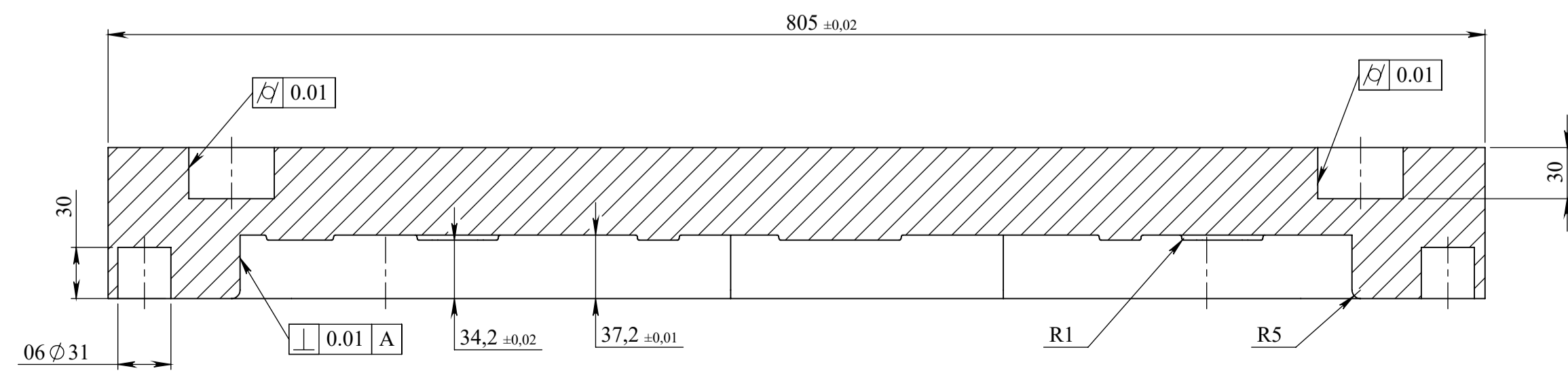
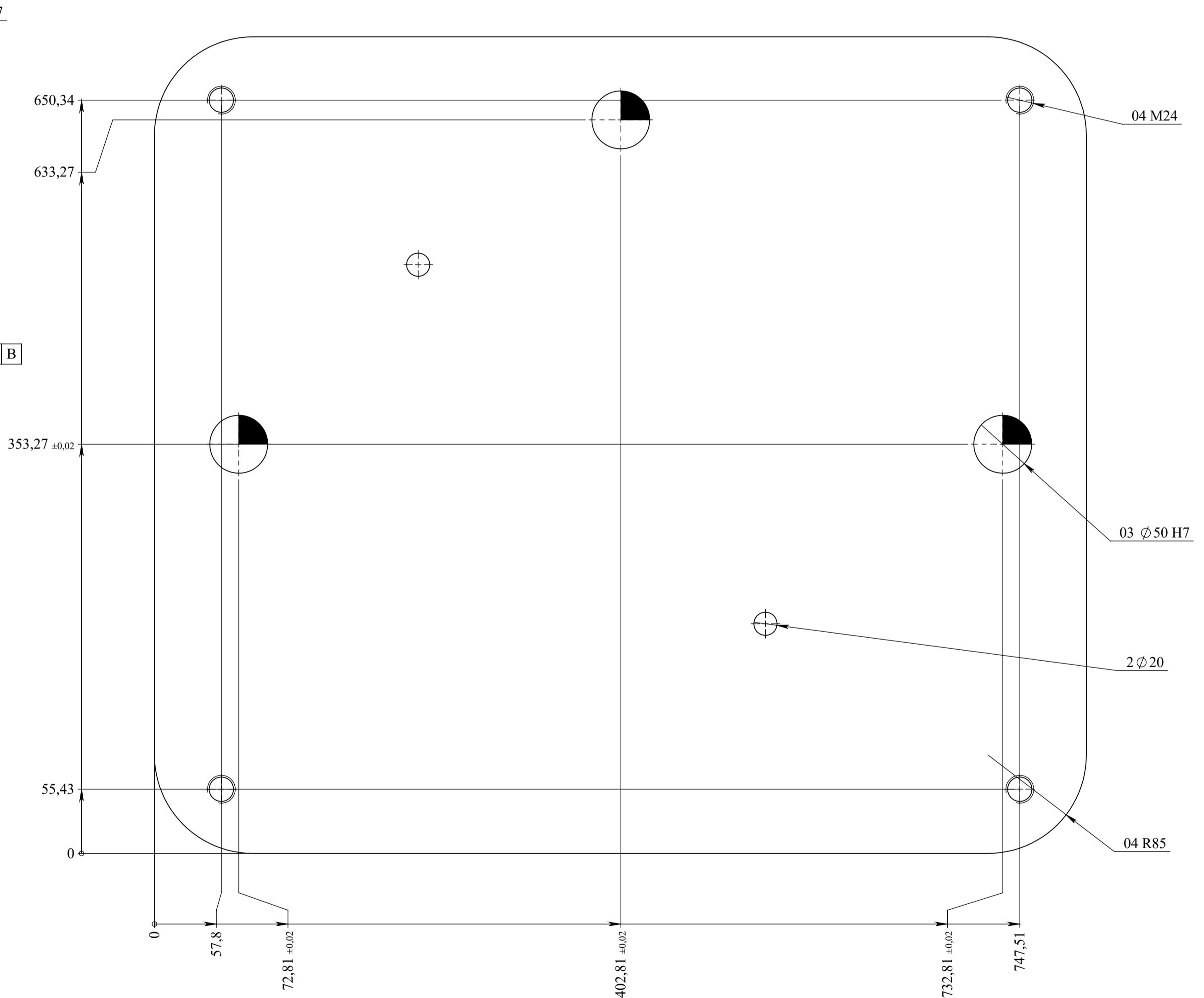
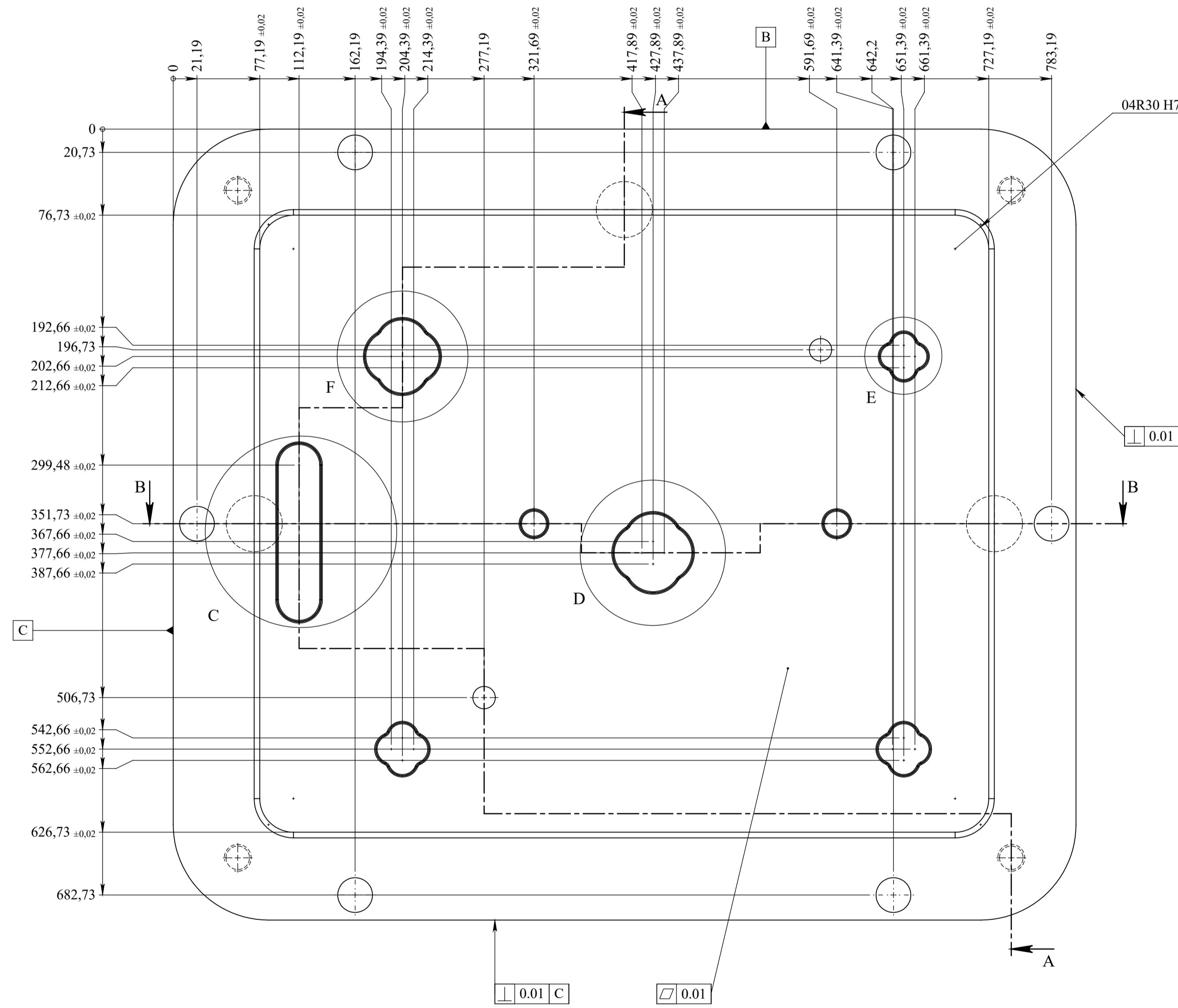
DÉTAIL D  
ECHELLE 2 : 3



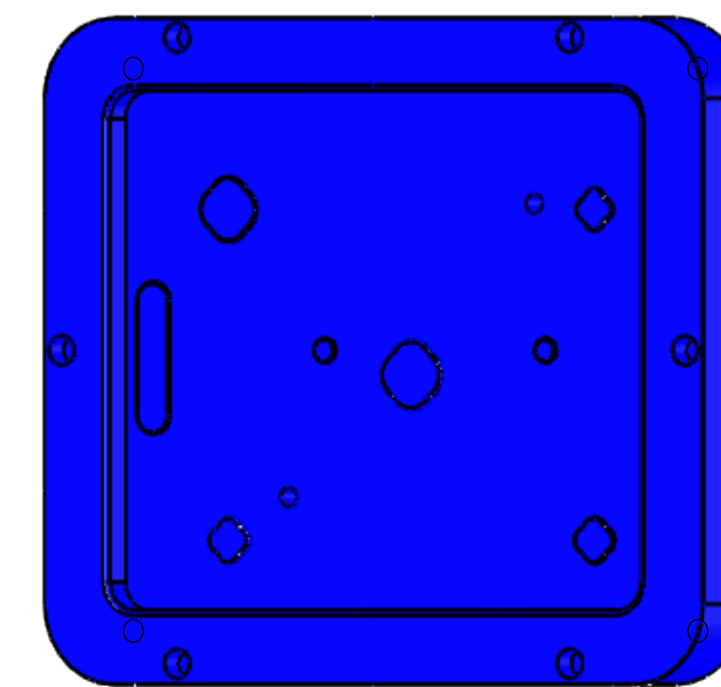
DÉTAIL C  
ECHELLE 2 : 3



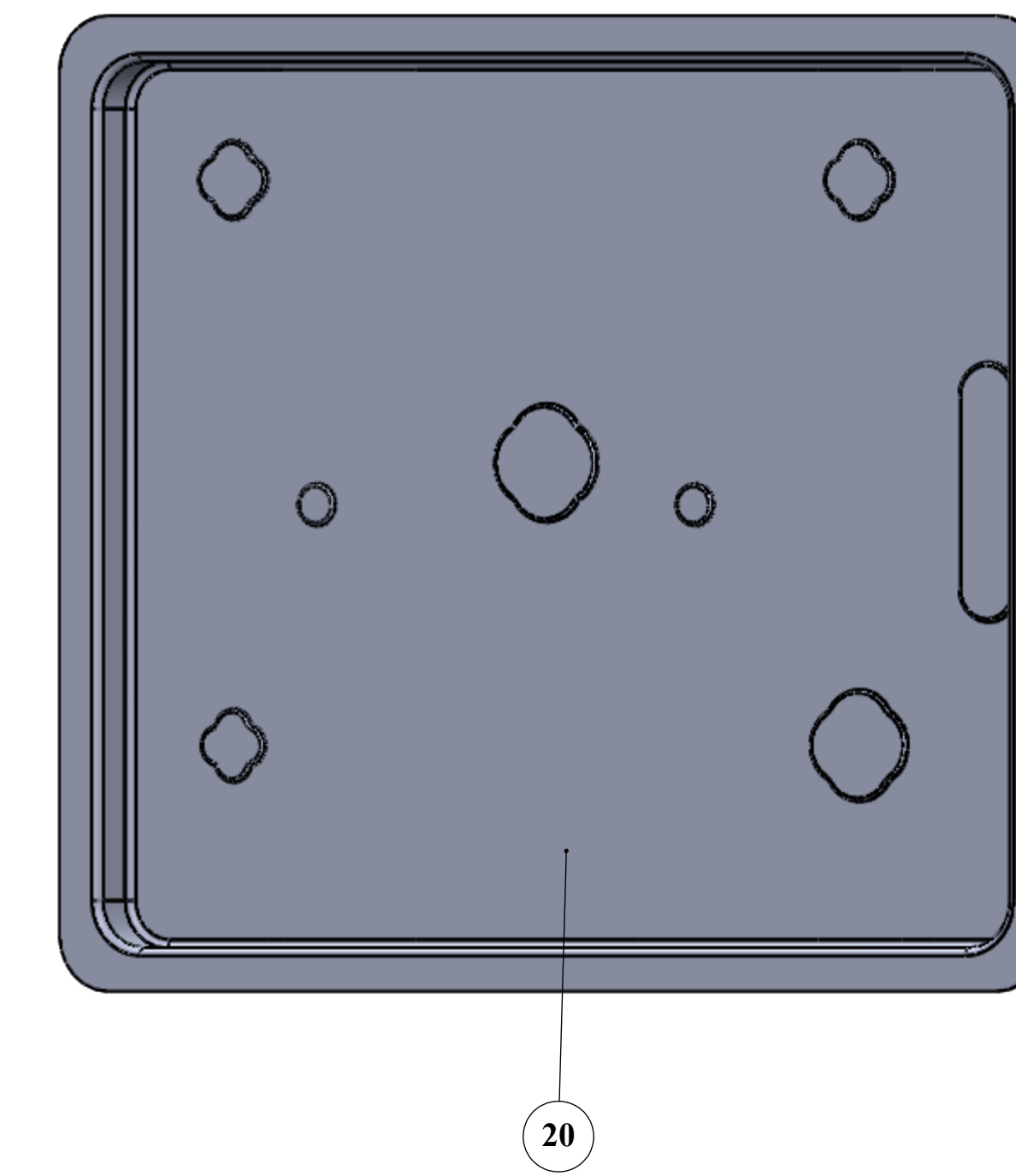
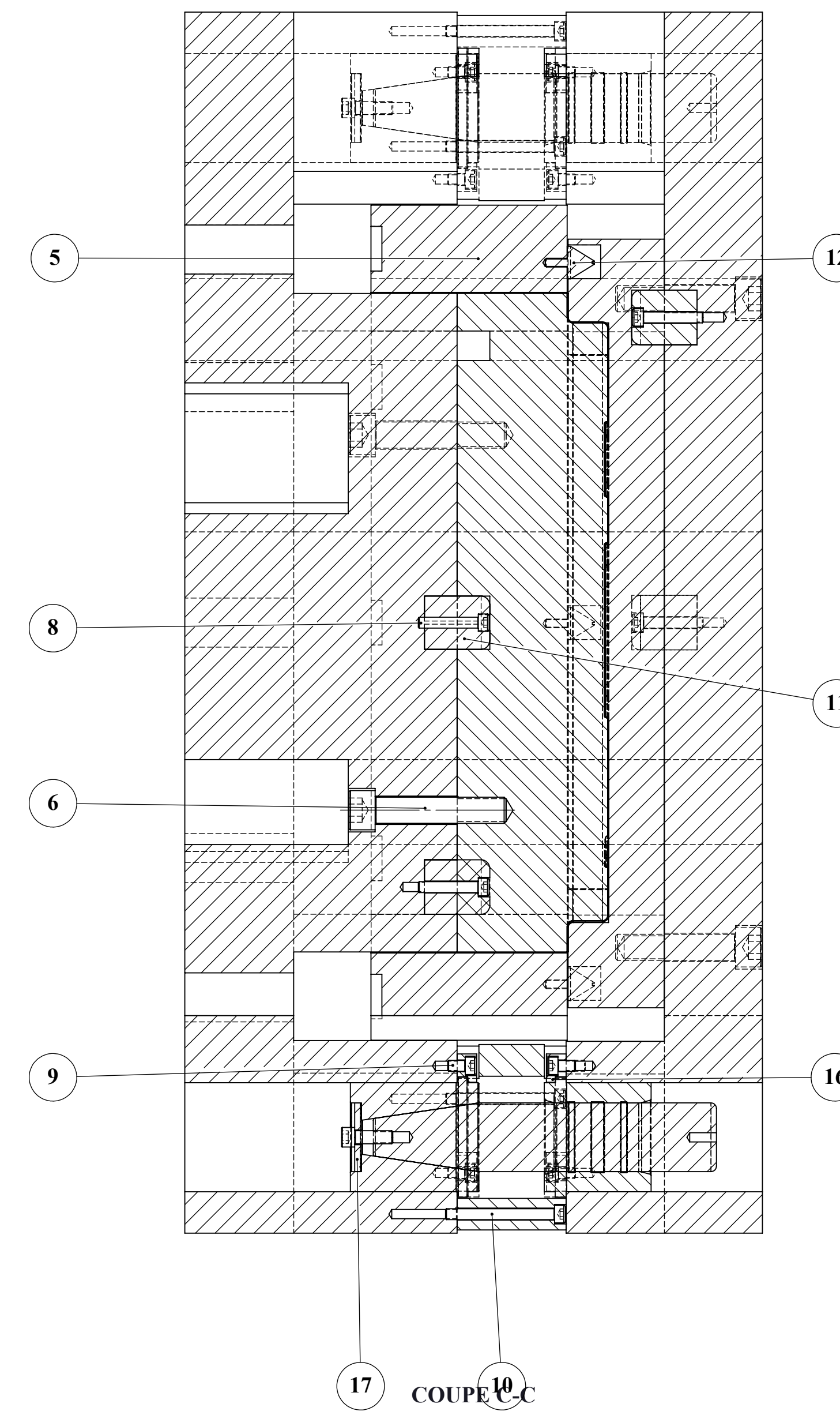
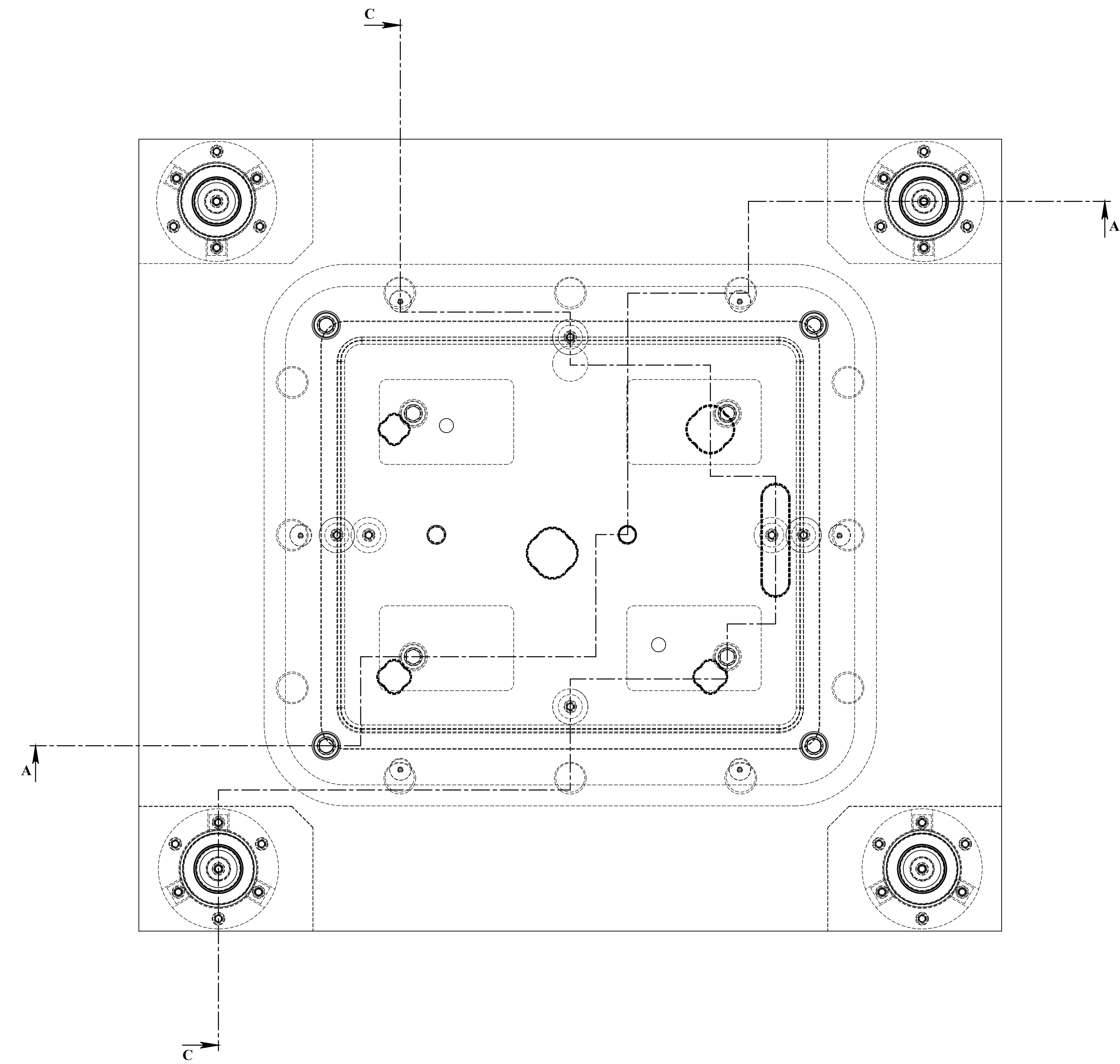
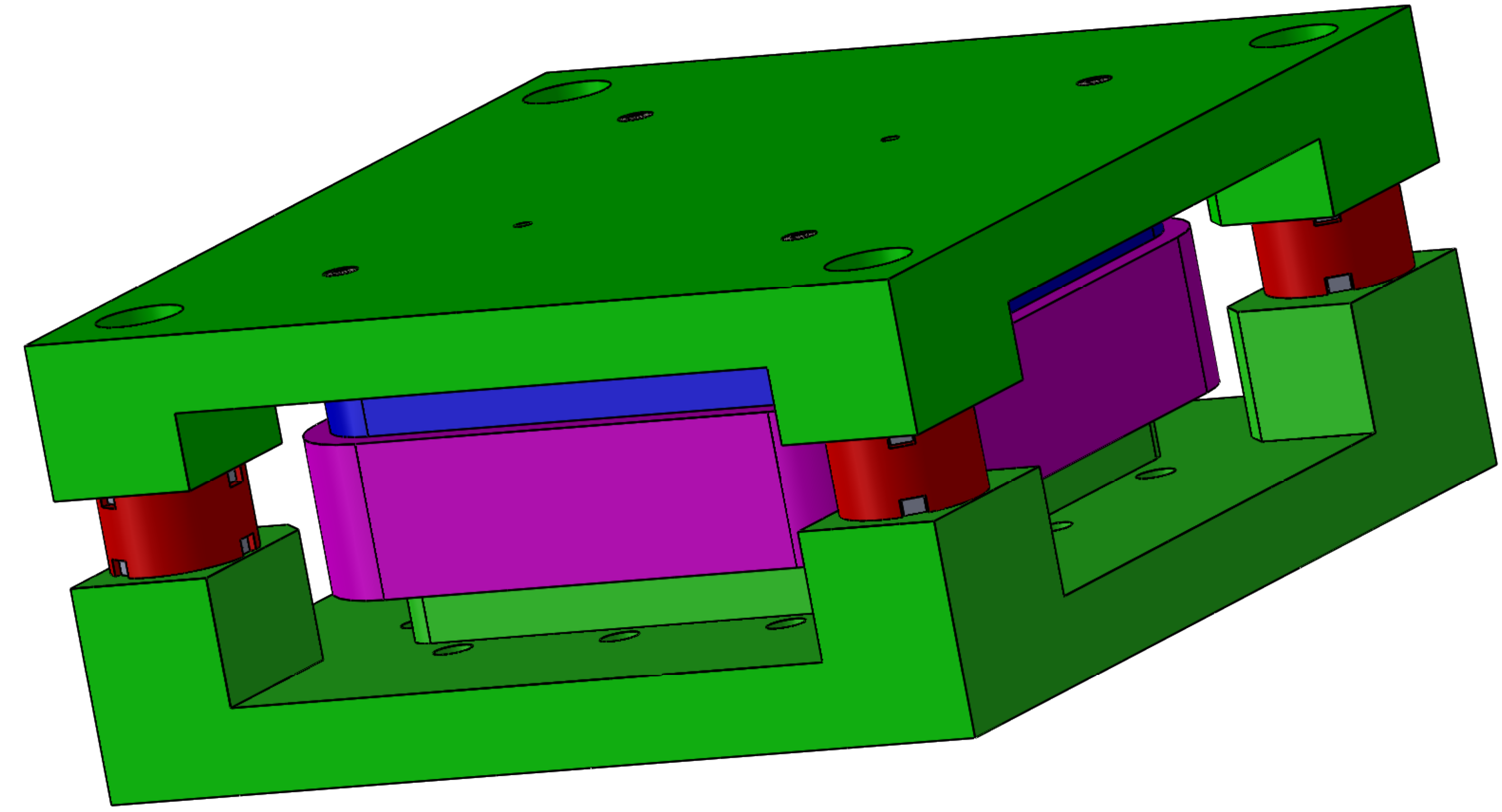
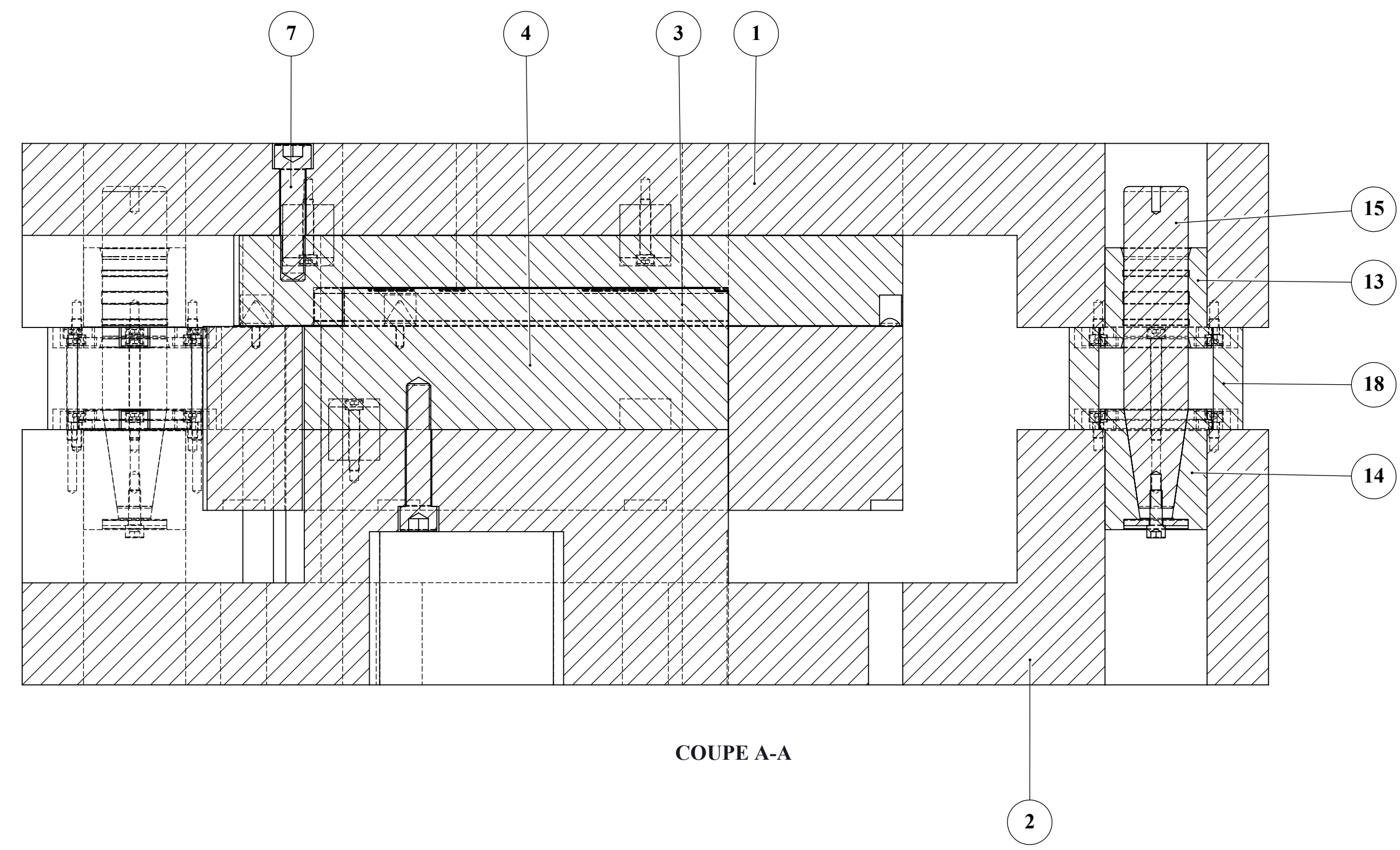
COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 3



COUPE B-B  
ECHELLE 1 : 3

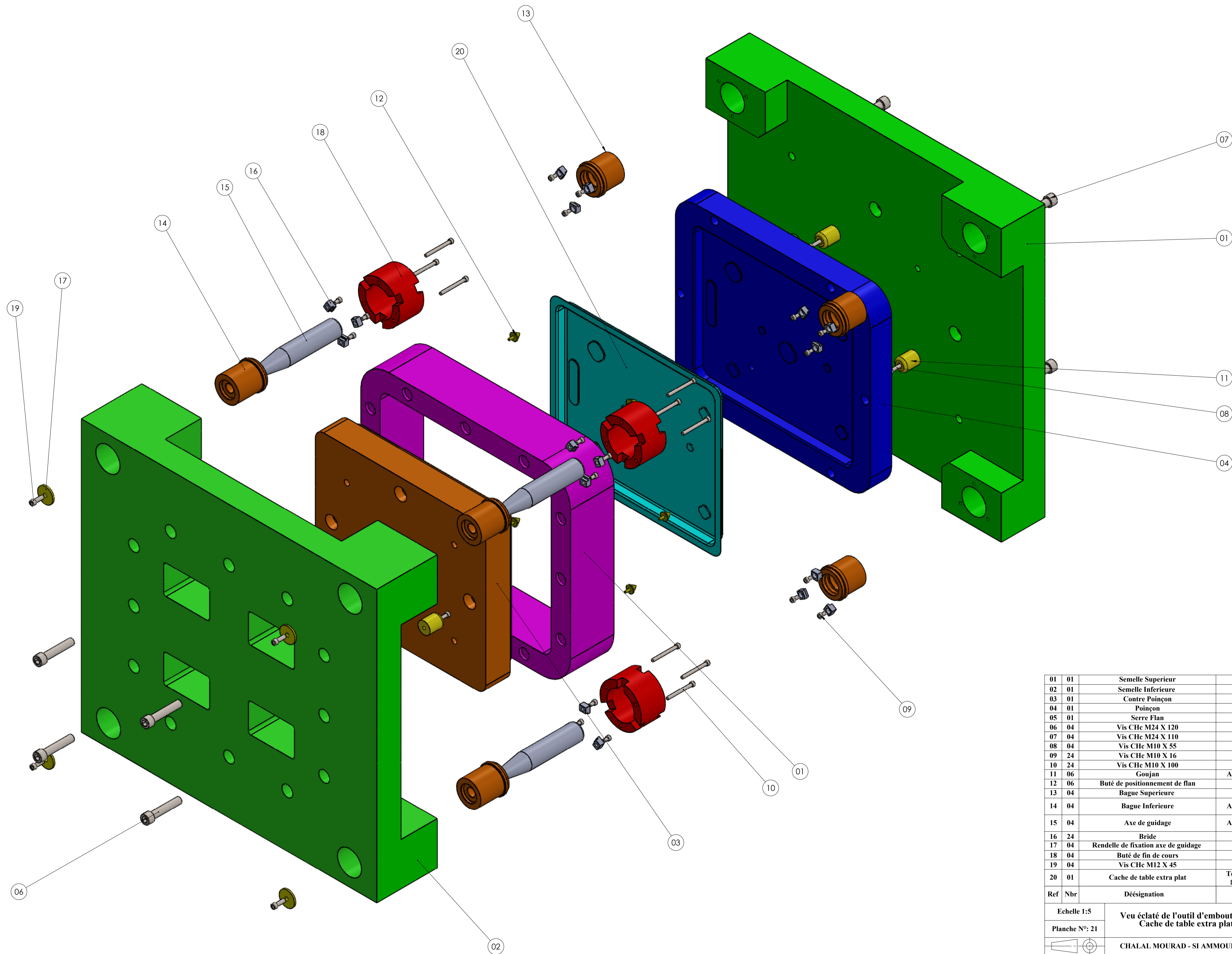


03	01	Contre Poinçon	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
Ref	Nbr	Désignation	Matériau	Observations
Echelle 1:3		Outil d'emboutissage cache de table extra plas	Etat de surface Ra = 1.6	
Planche N°: 03			Promo: 2020/2021	
A2		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Master II	
		FGC - DGM - UMMTO		

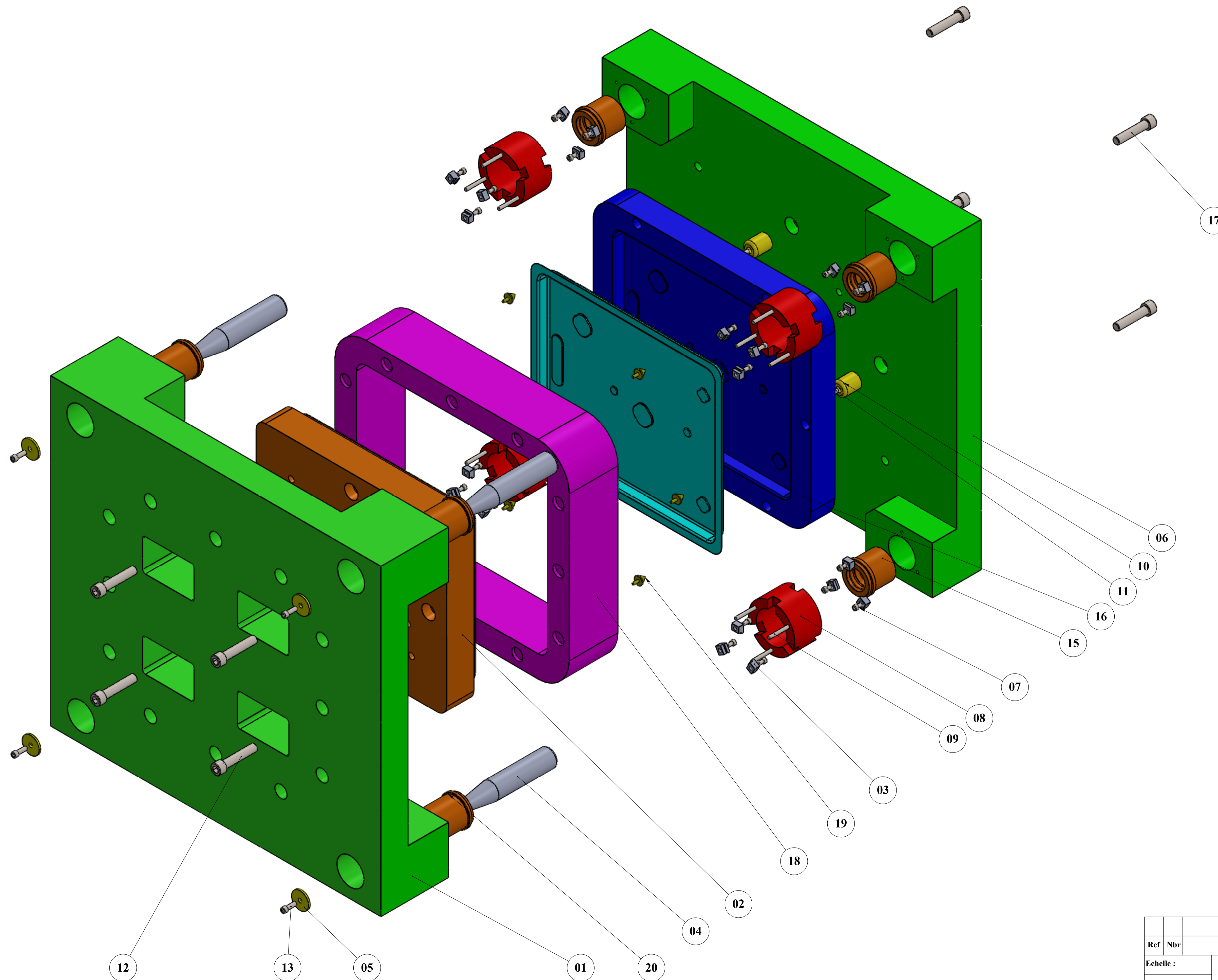


Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
01	01	Semelle supérieure	Ft 30	-
02	01	Semelle inférieure	Ft 30	-
03	01	Contre poinçon	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
04	01	Poinçon	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
05	01	Serre flan	XC 48	Cémenté
06	04	Vis CHc M24 x 120	Acier	-
07	04	Vis CHc M24 x 110	Acier	-
08	06	Vis CHc M10 x 55	Acier	-
09	24	Vis CHc M10 x 16	Acier	-
10	24	Vis CHc M10 x 100	Acier	-
11	06	Goujan	Acie à outil	Tr + Rv 58/64 HRC
12	06	Buté de positionnement de flan	XC 18	-
13	04	Bague supérieure	Bronze	-
14	04	Bague inférieure	Acier allié	Tr + Rv 60/64 HRC
15	04	Axe de guidage	Acier allié	Trempe à coeur 60/62 HRC
16	24	Bride	Acier	-
17	04	Rendelle de fixation axe de guidage	Acier	-
18	04	Buté fin de cours	XC 48	Tr + Rv 45/50 HRC
19	04	Vis CHc M12 X 45	Acier	-
20	01	cache de table extra plat	tôle en aciers galvanisés	-

Echelle 1 : 4	Outil d'emboutissage Cache de table extra plat	Etat de surface
Planche N°: 20		-
	CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo: 2020/2021
A0	FGC - DGM - UMMTO	Master II

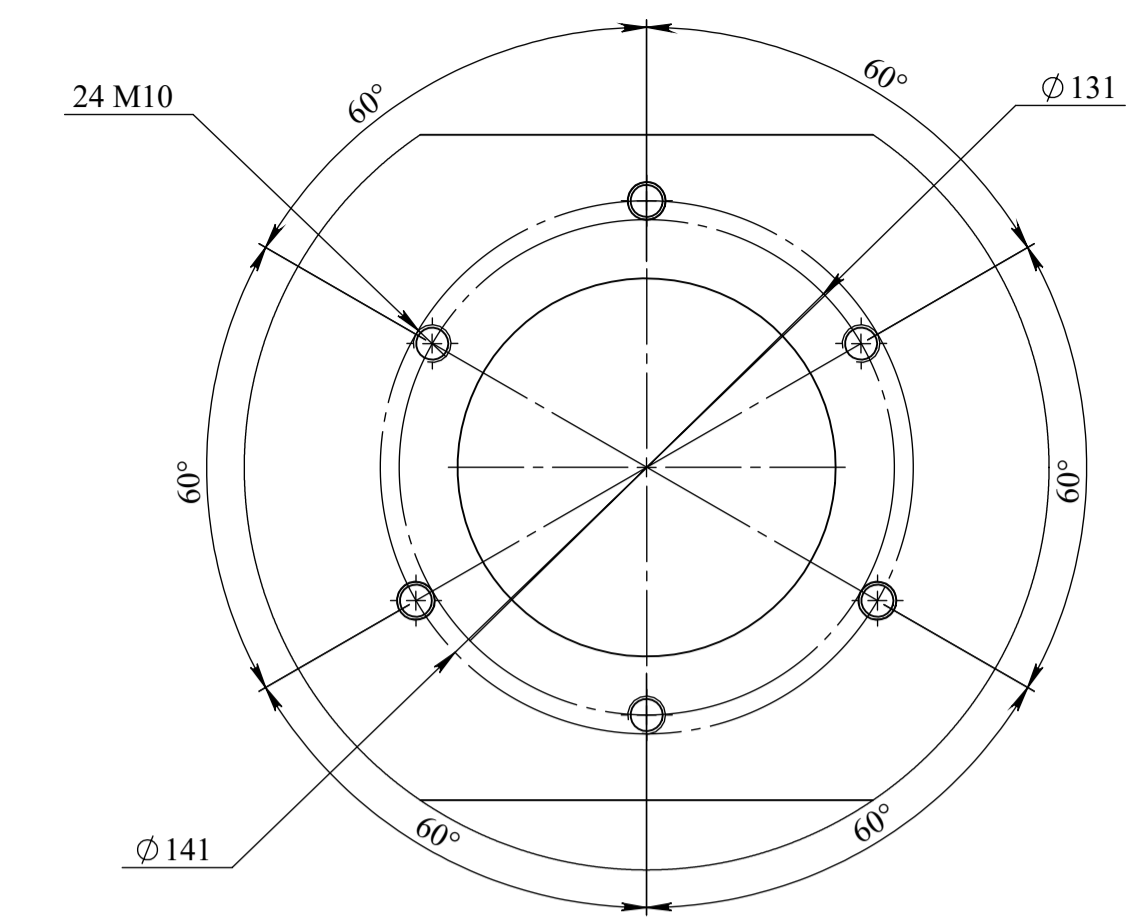
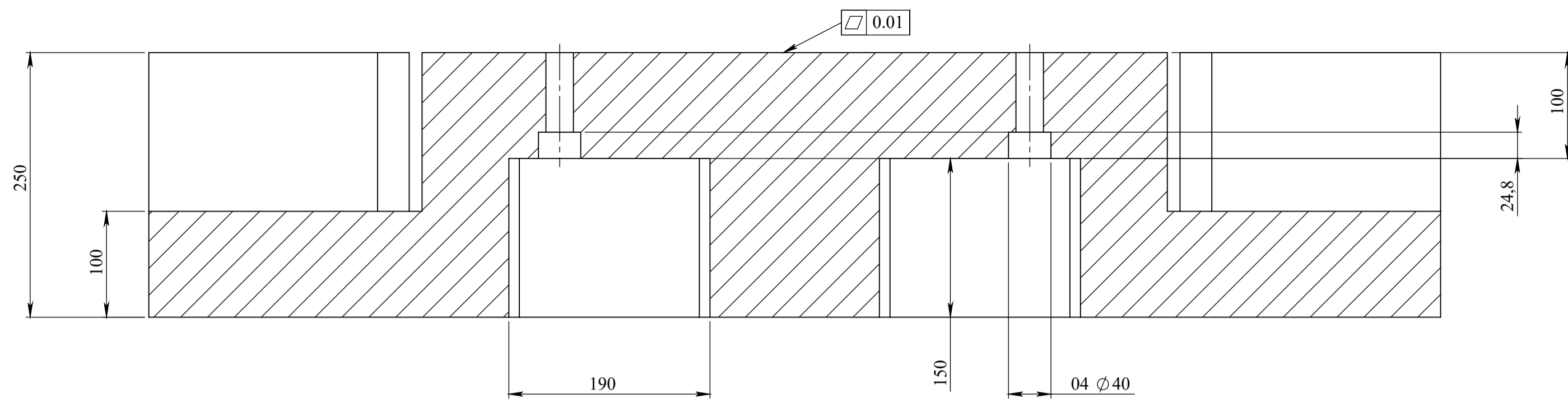


01	01	Semelle Superieur	Ft 30	-
02	01	Semelle Inferieure	Ft 30	-
03	01	Contre Poinçon	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
04	01	Poinçon	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
05	01	Serre Flan	XC 48	cémenté
06	04	Vis CHc M24 X 120	Acier	-
07	04	Vis CHc M24 X 110	Acier	-
08	04	Vis CHc M10 X 55	Acier	-
09	24	Vis CHc M10 X 16	Acier	-
10	24	Vis CHc M10 X 100	Acier	-
11	06	Goujan	Acier à outil	Tr + Rv 58/64 HRC
12	06	Buté de positionnement de flan	XC 18	-
13	04	Bague Superieure	Bronze	-
14	04	Bague Inferieure	Acier à outil	Trempe à coeur 60/64 HRC
15	04	Axe de guidage	Acier à outil	Trempe à coeur 60/64 HRC
16	24	Bride	Acier	-
17	04	Rendelle de fixation axe de guidage	Acier	-
18	04	Buté de fin de cours	XC 48	Tr + Rv 50/55 HRC
19	04	Vis CHc M12 X 45	Acier	-
20	01	Cache de table extra plat	Tôle en acier galvanisés	-
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1:5		Veu éclaté de l'outil d'emboutissage		Etat de surface
Planche N°: 21		Cache de table extra plat		
A1		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo: 2020/2021
		FGC - DGM - UMMTO		Master II



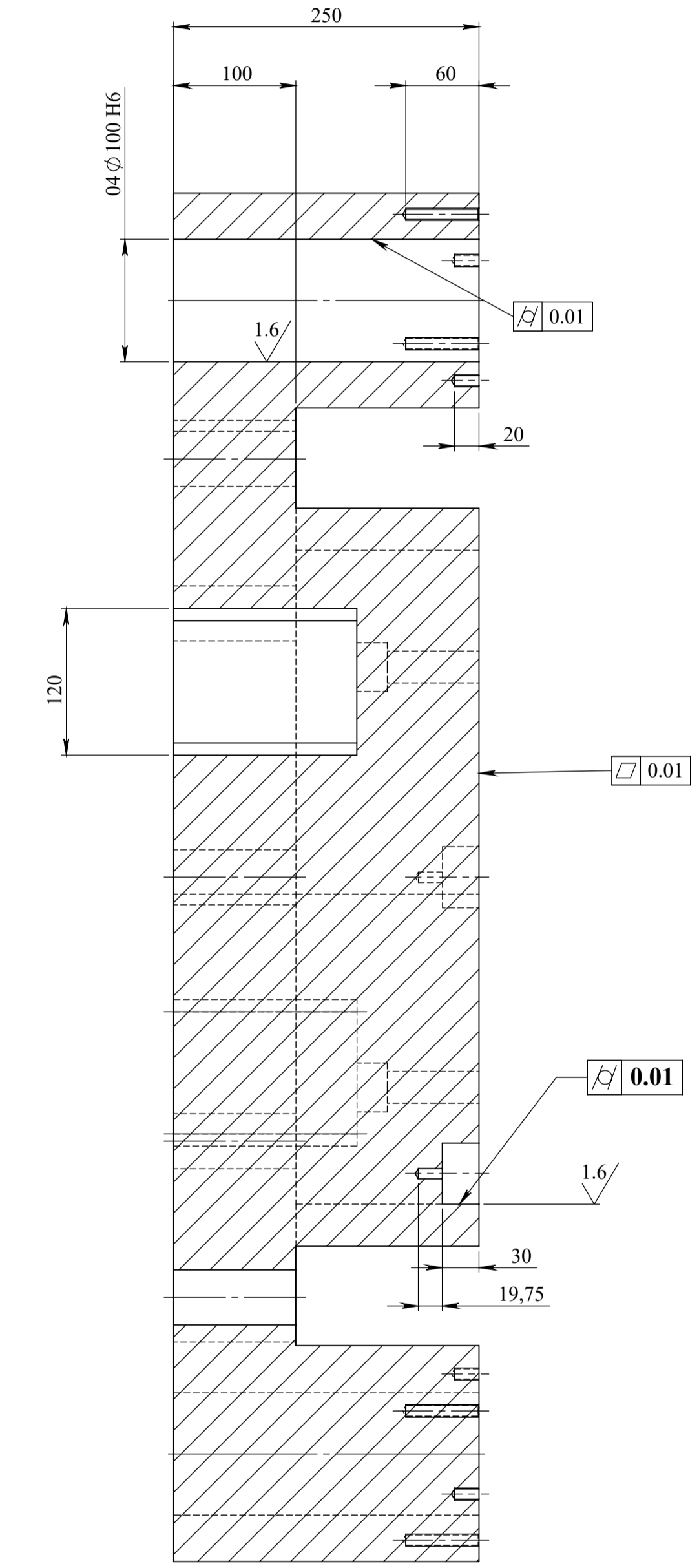
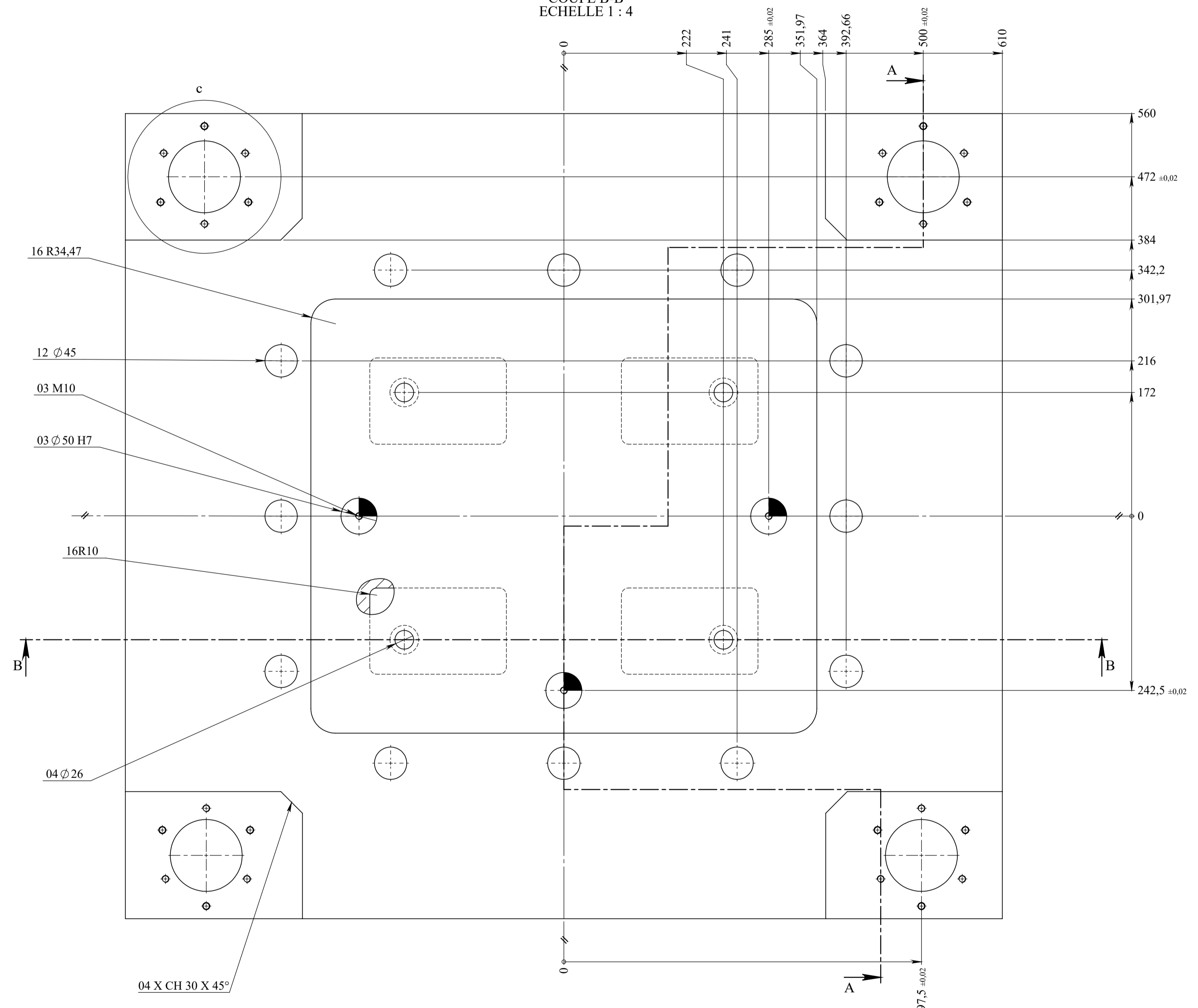
Ref	Désignation	Nbr
01	semalle inférieur	01
02	poinçon	01
03	Bride	24
04	Axe de guidage	04
05	Rendelle de fixation axe de guidage	04
06	semalle supérieur	01
07	M10 x 16	24
08	buté de fin de cours	04
09	M10 x 100	24
10	Goujan	06
11	M10 x 55	06
12	M24 x 120	04
13	ISO 4762 M12 x 35 - 35N	04
14	Cache de table extra plat	01
15	Bague supérieur	04
16	ISO 4762 M10 x 55 - 32N	01
17	M24 x 110	04
18	Serre flan	01
19	Buté de position de flan	06
20	Bague inférieur	04

Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle :				Etat de surface
Planche N°:				Ra = $\sqrt{\quad}$
A2		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo: 2020/2021
		FGC - DGM - UMMTO		Master II

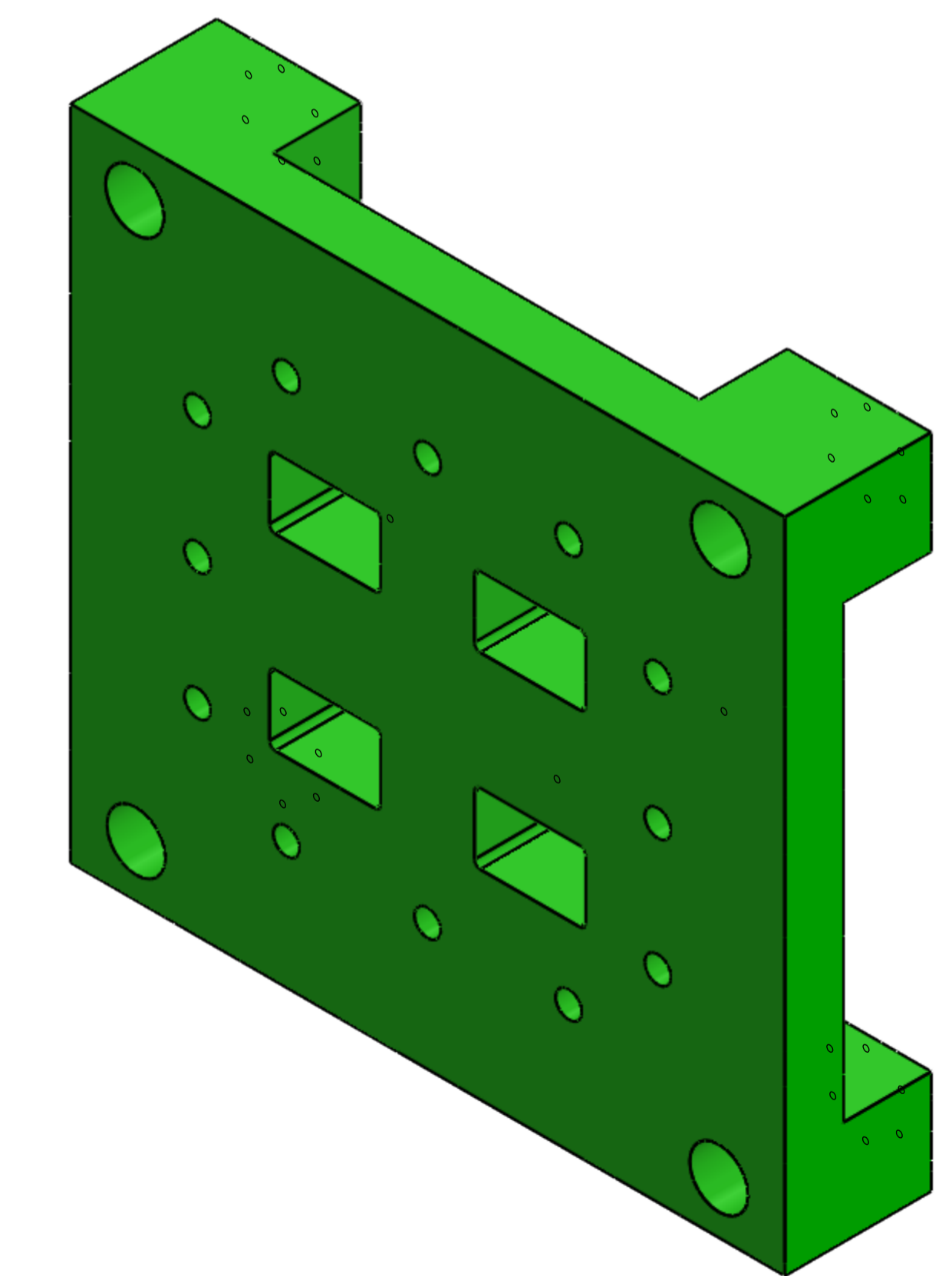


DÉTAIL c  
ECHELLE 1 : 2

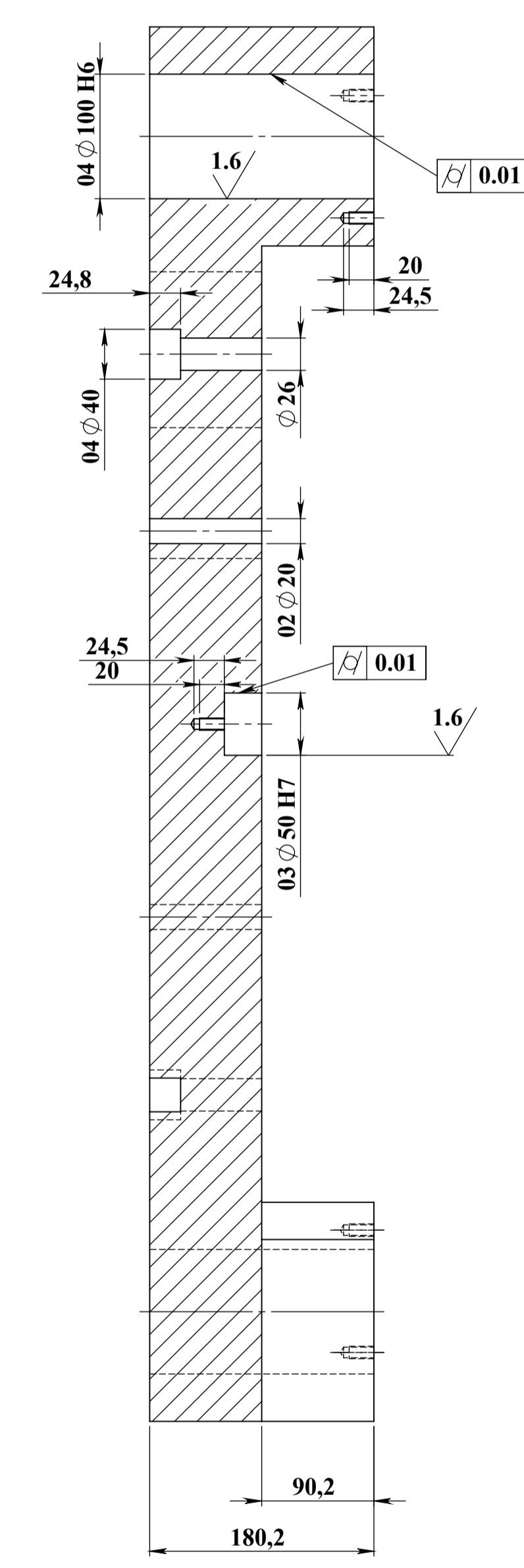
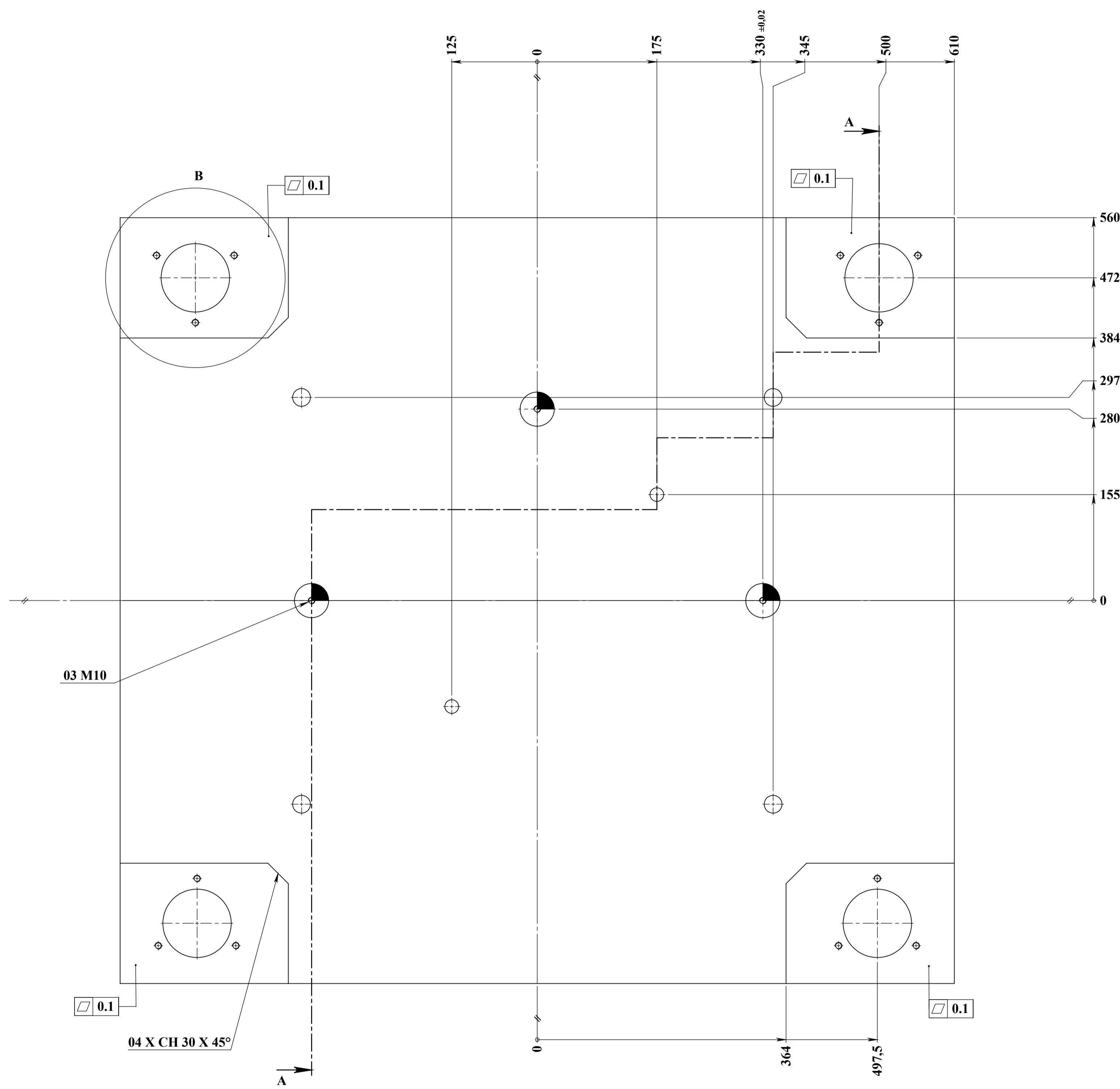
COUPE B-B  
ECHELLE 1 : 4



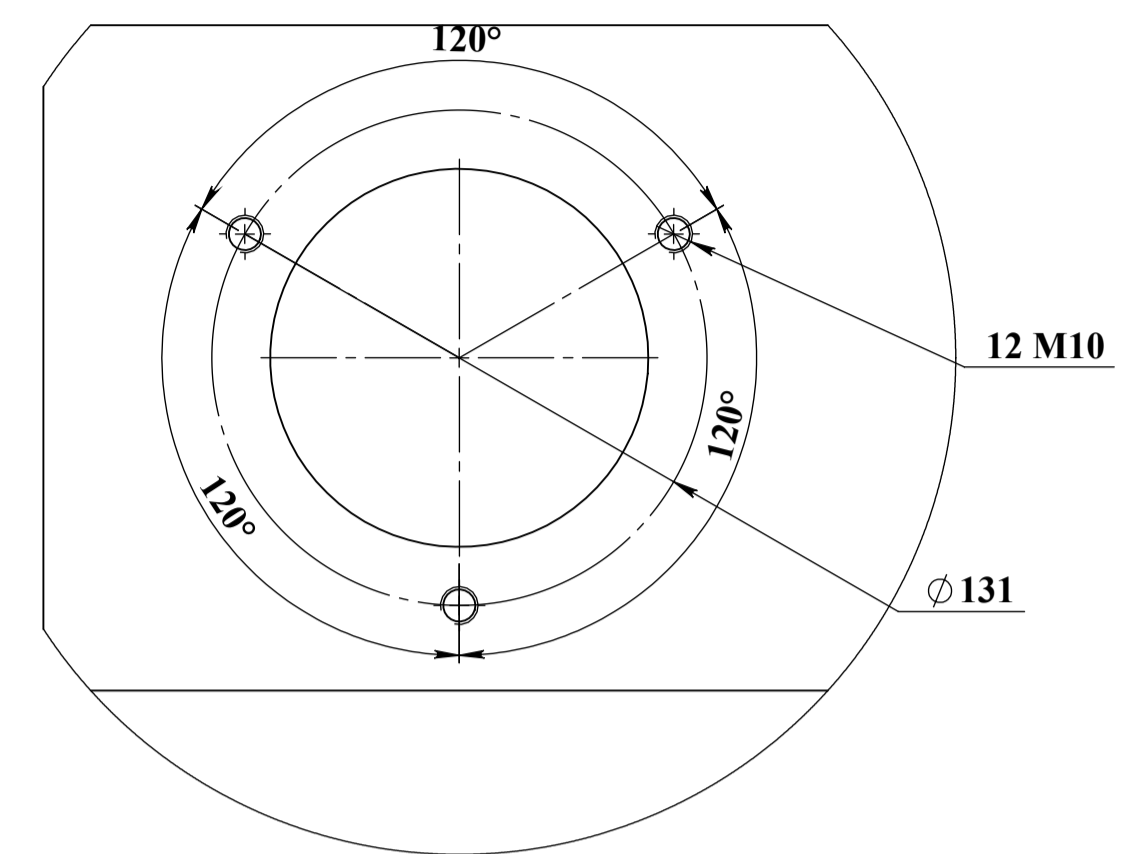
COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 4



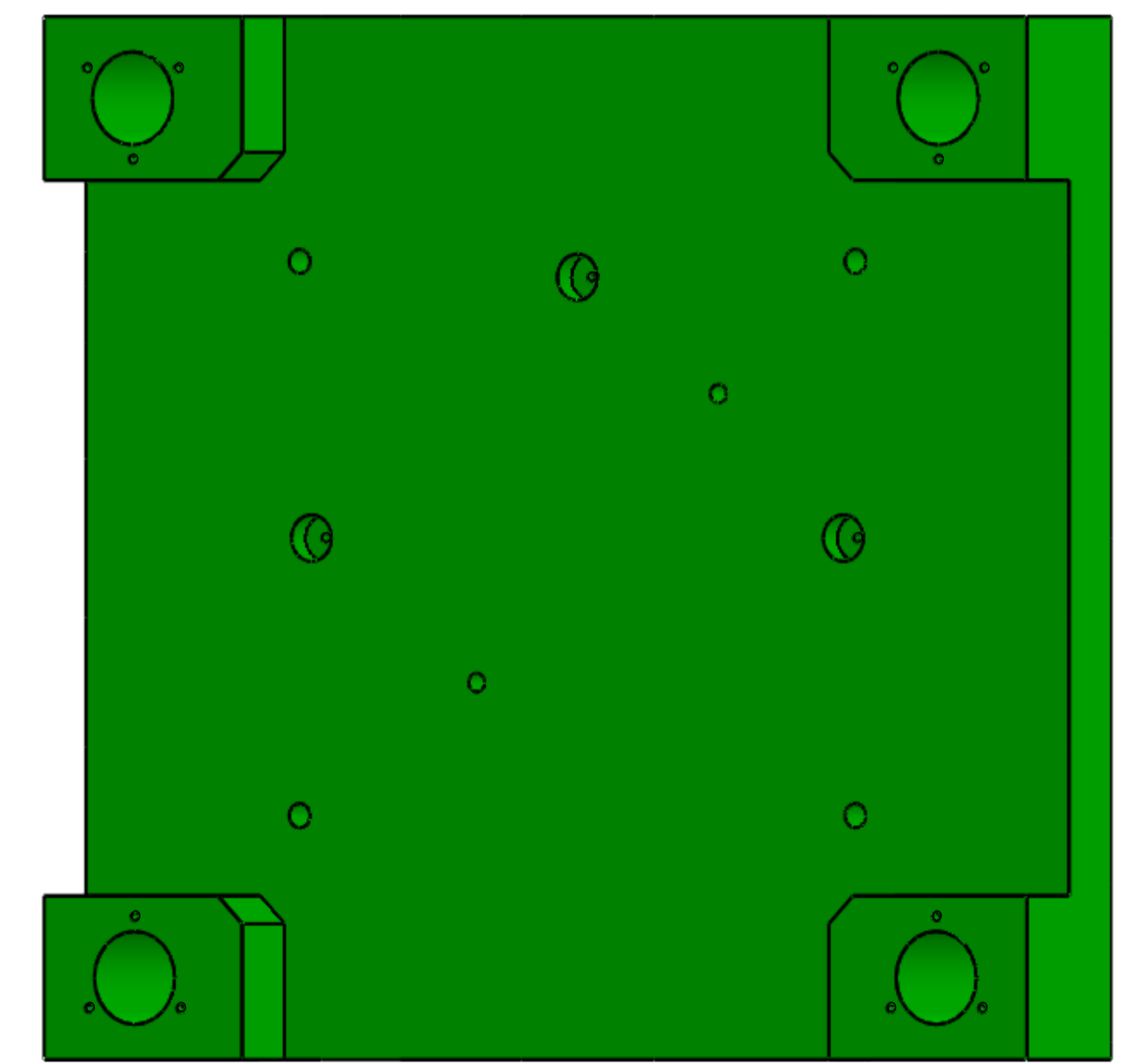
02	01	Semelle Inferieure	Ft 30	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Echelle 1 : 4		Outil d'emboutissage cache table extra plat	CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Etat de surface
Planche N°: 02				Ra = 6.3
A2		FGC - DGM - UMMTO		Promo: 2020/2021 Master II



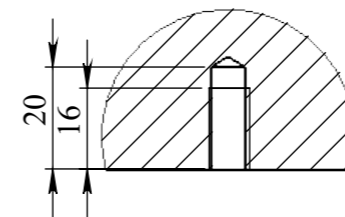
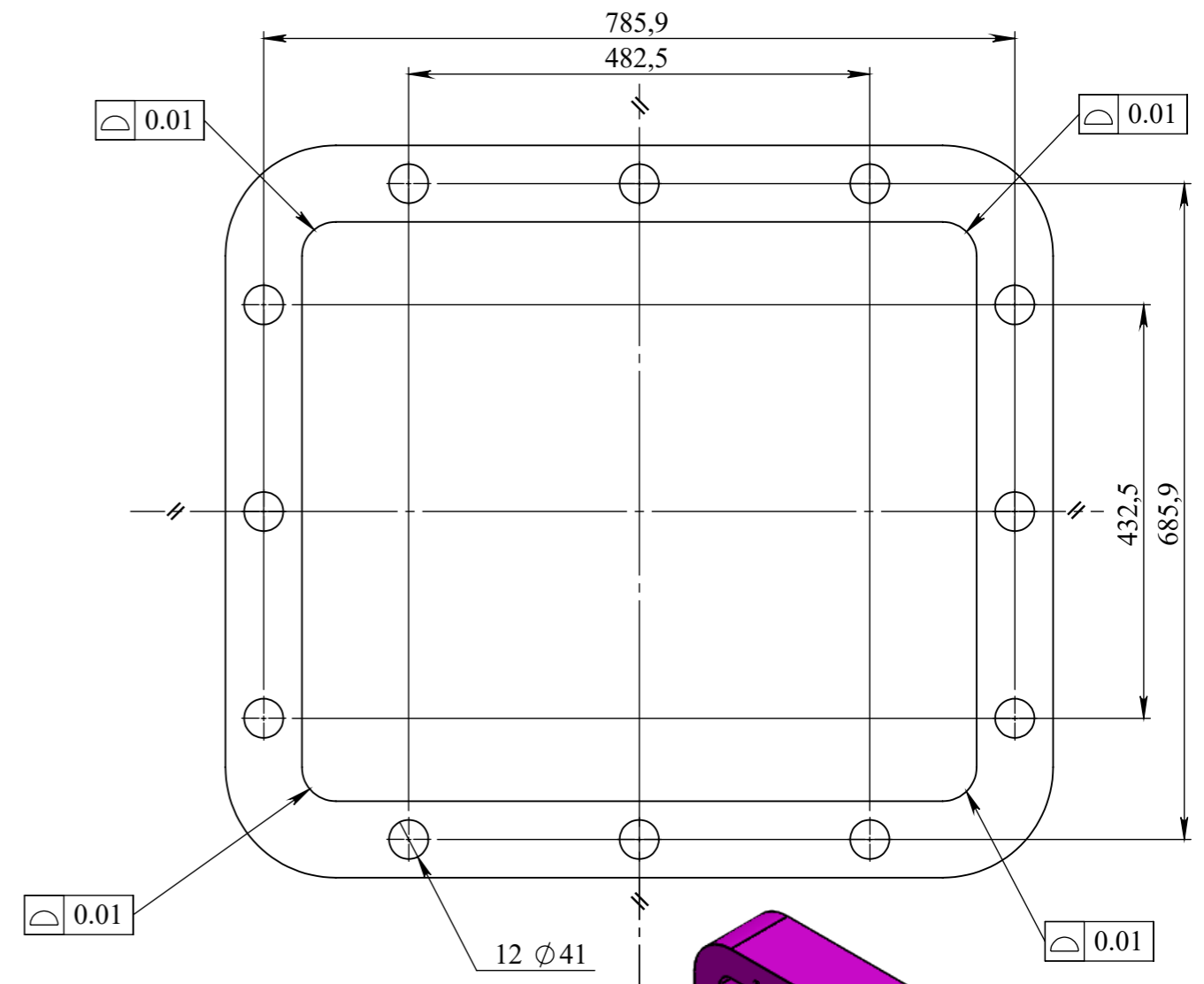
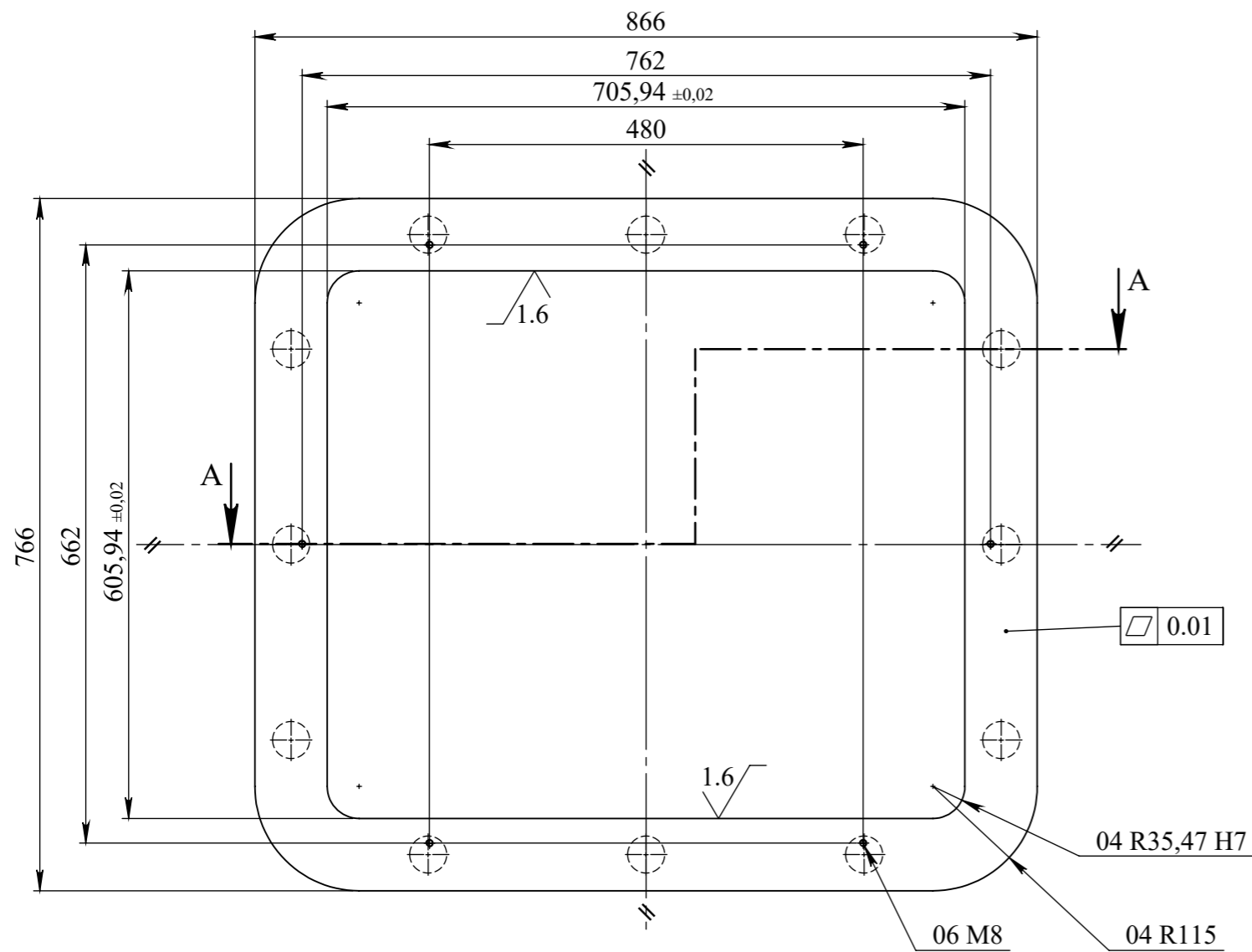
COUPE A-A



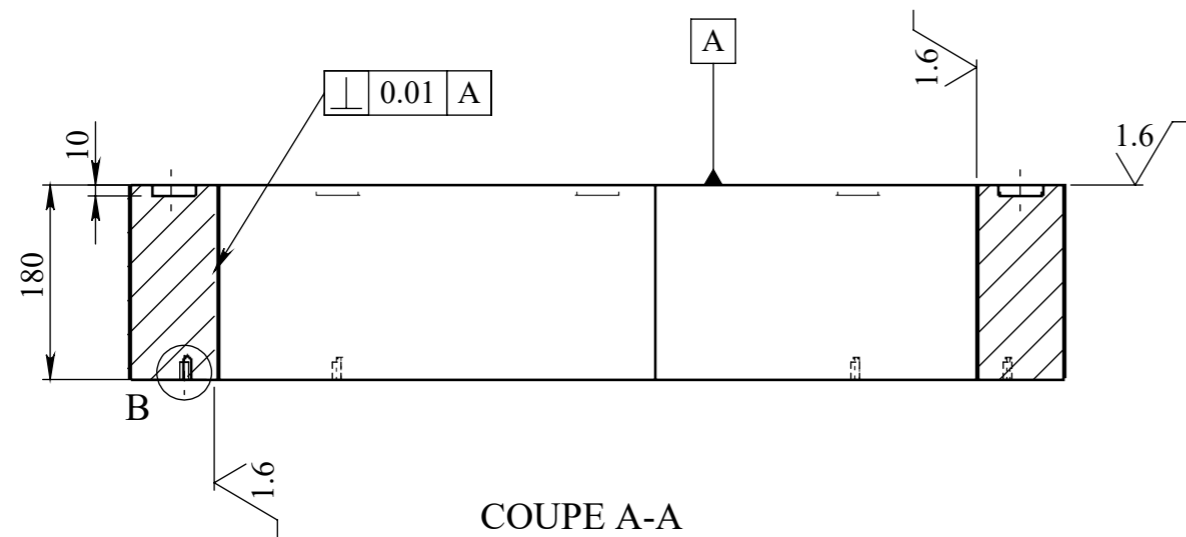
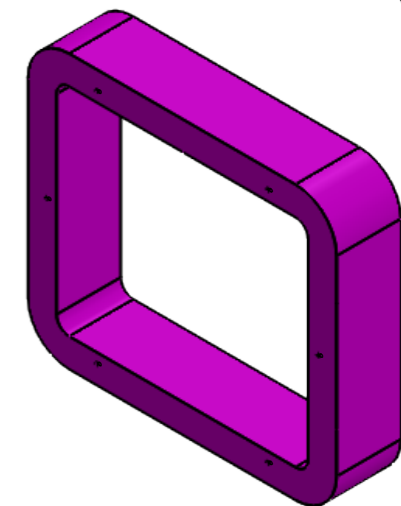
DÉTAIL B  
ECHELLE 1 : 2



Ref	Nbr	Désignation	Matériau	Observations
01	01	Semelle Supérieure	Ft 30	
Echelle 1: 4		outil d'emboutissage cache table extra plat	CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Etat de Surface
Planche N°: 01				Ra = 6,3
A2		FGC - DGM - UMMTO		Promo: 2020/2021
				Master II

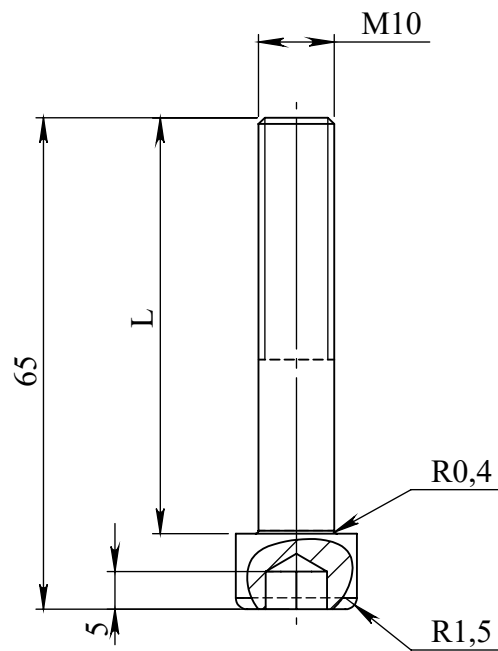
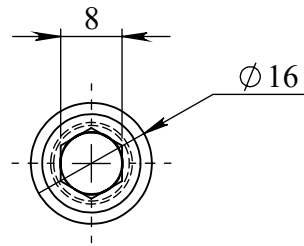


DÉTAIL B  
ECHELLE 2 : 3





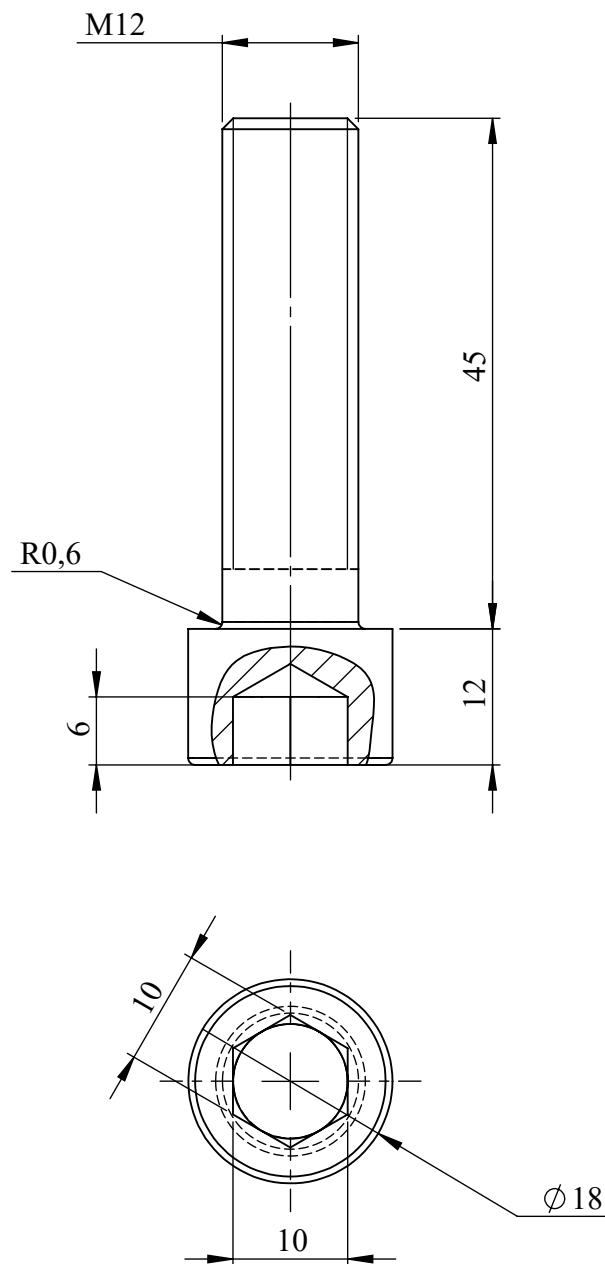
COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 7



Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observations
05	01	Serre flan	XC 48	Cémenté
Echelle 1 : 7		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat		Etat de surface
Planche N°: 05				Ra = 6.3
A3		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS	Promo: 2020/2021	
		FGC - DGM - UMMTO	Master II	

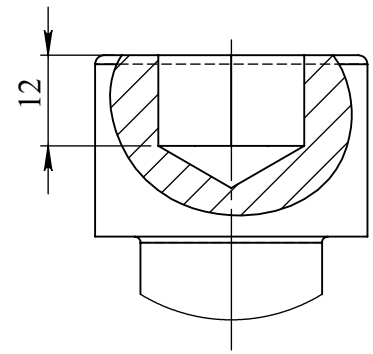
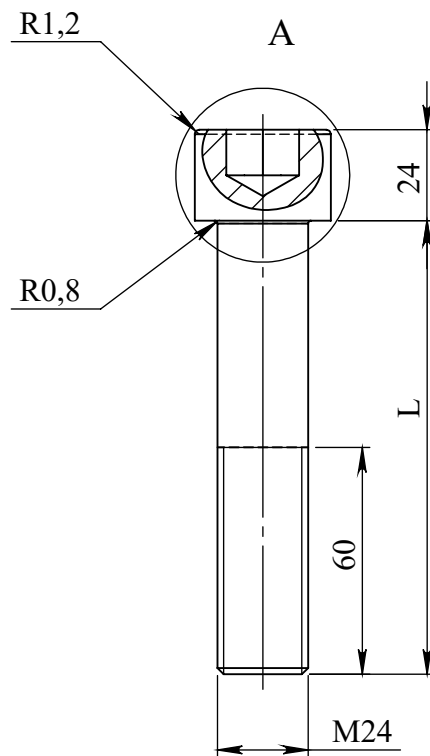


	Pour Goujons	Pour Brides	Pour Butée de fin de courses
<b>Ref</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>
<b>Nbr</b>	<b>06</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
<b>L</b>	<b>55</b>	<b>16</b>	<b>100</b>

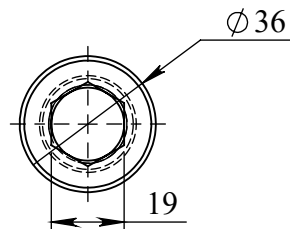
-	-	Vis CHc M10	Acier	ISO 4762
<b>Ref</b>	<b>Nbr</b>	<b>Désignation</b>	<b>Matière</b>	<b>Observation</b>
<b>Echelle 1:1</b>	<b>Outil d'emboutissage</b>			<b>Classe de qualité</b> <b>8.8</b>
<b>Planche N°: 07</b>	<b>Cache de table extra plat</b>			
	<b>CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS</b>			<b>Promo : 2020/2021</b>
<b>A4</b>		<b>FGC DGM UMMTO</b>		<b>MASTER II</b>



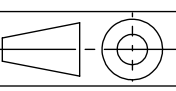

19	04	Vis CHc M12 X 45	Acier	ISO 4762
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 3 : 2		Outil d'emboutissage Cache de table extra plat		Classe de qualité 8.8
Planche N°: 19				
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo : 2020/2021
A4		 <b>FGC DGM UMMTO</b>		MASTER II



DÉTAIL A  
ECHELLE 1 : 1



	<b>Poinçon</b>	<b>Contre poinçon</b>
<b>Ref</b>	<b>06</b>	<b>07</b>
<b>Nbr</b>	<b>04</b>	<b>04</b>
<b>L</b>	<b>120</b>	<b>110</b>

-	-	<b>Vis CHc M24</b>	<b>Acier</b>	<b>ISO 4762</b>
<b>Ref</b>	<b>Nbr</b>	<b>Désignation</b>	<b>Matière</b>	<b>Observation</b>
<b>Echelle 1 : 2</b>	<b>Outil d'emboutissage</b>			<b>Etat de surface</b>
<b>Planche N°: 06</b>	<b>Cache de table extra plat</b>			
	<b>CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS</b>			<b>Promo : 2020/2021</b>
<b>A4</b>		<b>FGC DGM UMMTO</b>		<b>MASTER II</b>

DOCUMENT  
CREATED  
WITH



**PDF**  
**COMBINER**

PDF Combiner is a free application that you can use to combine multiple PDF documents into one.

Three simple steps are needed to merge several PDF documents. First, we must add files to the program. This can be done using the Add files button or by dragging files to the list via the Drag and Drop mechanism. Then you need to adjust the order of files if list order is not suitable. The last step is joining files. To do this, click button Combine PDFs.

Main features:

**secure PDF merging** - everything is done on your computer and documents are not sent anywhere

**simplicity** - you need to follow three steps to merge documents

**possibility to rearrange document** - change the order of merged documents and page selection

**reliability** - application is not modifying a content of merged documents.

Visit the homepage to download the application:

[www.jankowskimichal.pl/pdf-combiner](http://www.jankowskimichal.pl/pdf-combiner)

To remove this page from your document, please donate a project.