

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

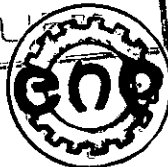
SUJET

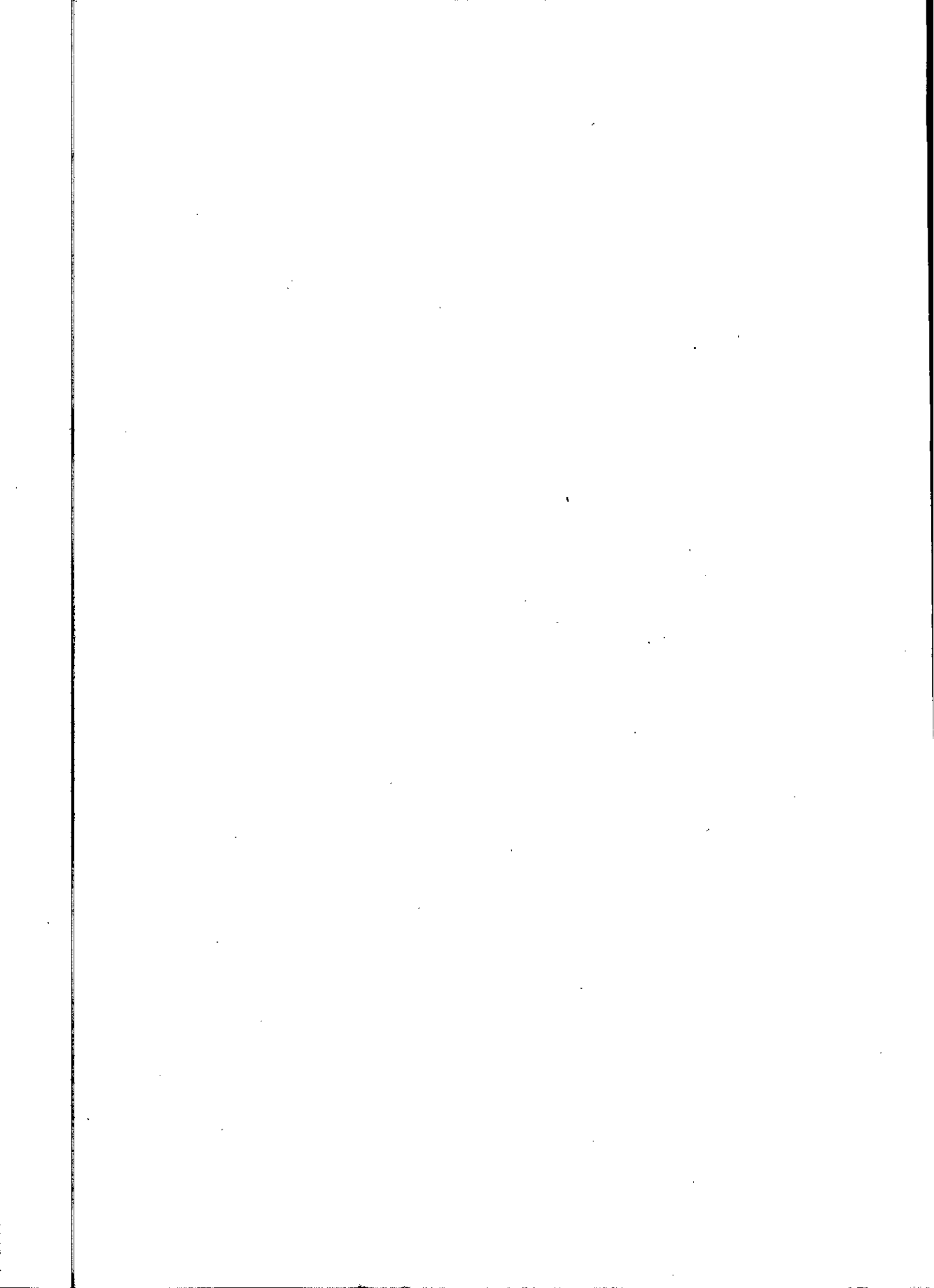
FABRICATION D'UNE TUBULURE
NON SYMETRIQUE EN FEUILLE
METALLIQUE PAR DEFORMATION
PLASTIQUE A CHAUD

4 PLANS

Proposé par: المرشد الهادي
Etudié par: المرشد الهادي
ELEÖD Andras المرشد الهادي LITIM Mohammed
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

Dirigé par:



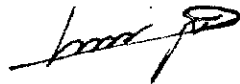


DÉDICACES

- A mes très chers parents
- A mes frères Lamri, Farouk, Lotfi (Toufik) et à mes sœurs.
- A mes grands-parents qui ont consacré leur vie afin que je puisse arriver à ce stade et réaliser mon rêve d'enfance.
- A mes oncles, tantes, cousins et cousines d'Alger et de Sétif.
- A ma future femme.
- A tous mes amis
- A la mémoire de mon Ami Benzid Lakhemissi dit Rachid mort en Juin 81 que Dieu ait son âme "رحمة الله"
- A tous mes collègues de la promotion et plus particulièrement ceux du Génie-Mécanique.

Je dédie Ce Modeste Travail

Mohammed LITIM



Nom : LITIM Prénom : MOHAMMED
Département : GENIE MECANIQUE
Promoteur : ELEOD ANDRAS

ملخص

الموضوع: إن هذا المشروع يتضمن دراسة وتحديد دائرة صنع ثقب حديث إنطلاقاً من ورقة حديدية سمكية بواسطة تسليخ من تحت حرارة مرتفعة. لقد قمنا كذلك بتصميم أداتي الصناعة الخاصتين بالعمليتين الأساسيتين من مراحل الصنع وكذلك حساب مقاومة أهم عناصر الأدوات كما قمنا برسم حاتين الأدوات.

RESUME

Sujet: Ce présent travail a fait l'objet de l'étude de la gamme de fabrication d'une nouvelle tubulure à partir d'une feuille en métal par déformation plastique à chaud. Nous avons réalisé également la conception de l'outillage des deux opérations principales et le calcul de résistance des principaux éléments des deux outillages ainsi que la réalisation des dessins des deux outillages.

SUMMARY

Subject: This project is concerned by the study of the gamut for manufacture a new tubulure starting from a metal leaf by plastic hot deformation. We have realized the design of tools for the two principal operations, and calculated the essential elements of tools, of resistance, and we have realized the designs drawing also.

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance et ma gratitude s'adressent après
ALLAH :

- A M^r ELEÛD Andras pour son suivi rigoureux et pour ses conseils bénéfiques qu'il m'a cessé de me prodiguer durant toute la période de préparation de mon projet de FIN D'ETUDES.
- A Tous les professeurs et en particulier ceux du département de GENIE-MECANIQUE, qui ont contribué à ma formation d'Ingénieur.
- Enfin que Tous ceux qui, Professeurs, collègues, Amis m'ont aidé de près ou de loin, matériellement ou moralement trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mohammed

MECANIQUE
Ecole
LITIM

TABLE des MATIERES

Page

Chapitre I INTRODUCTION

I.1	Généralités	1
I.2	Description de L'Autoclave	4
I.3	La tubulure	4
I.4	Présentation du sujet	6
I.5	Choix de L'acier.	8

Chapitre II PROCESSUS de REALISATION de La TUBULURE

II.1	1 ^{ère} Opération . Découpage	10
II.2	2 ^{ème} Opération	12
2.1	1 ^{ère} Passe d'emboutissage	12
2.2	Détermination du plan	16
2.3	Calcul du degré de déformation	19
2.4	Calcul de la force	20
2.5	Poinçonnage	30
II.3	3 ^{ème} Opération . Deuxième Passe d'emboutissage	36
II.4	4 ^{ème} Opération Usinage	39
4.1	Par usinage	39
4.2	Par oxycoupage.	41

Chapitre III Protection de la pièce contre la corrosion

III.1	Causes de la corrosion	42
1.1	Corrosion sèche	42
1.2	Corrosion humide	42
III.2	Moyens de La Protection	43
III.3	Préparation des pièces à Protéger contre la corrosion	44
3.1	Polissage	44
3.2	Nettoyage des surfaces	45
III.4	Protection des pièces	49
4.1	Protection au moyen d'enduits	49
4.2	Protection par recouvrement métallique	51
4.3	Protection par modification superficielle de la composition du métal	52
III.5	Choix du procédé	52
5.1	Polissage	53
5.2	Nettoyage	54
5.3	Protection de la pièce	54

Chapitre IX OUTILLAGE de la PREMIERE OPERATION

Page

IX.1	Choix du matériau	56
1.1	La matrice d'embardissage	56
1.2	L'outil et la matrice de poinçonnage	57
IX.2	Fonctionnement de l'outillage	59
IX.3.1	COURSE du poinçon	60
IX.3.2	COURSE du serre-flan	60
IX.4	Dimensionnement du draquoir	62
IX.5	Vérification du poinçon	63
5.1	Vérification du poinçon à la compression	63
5.2	Vérification du poinçon au flambage	64
IX.6	Vérification de la plaque support-poinçon	68
IX.7	Vérification des colonnes du serre-flan	69
7.1	Contrôle du diamètre de la colonne à la compression	69
7.2	Contrôle de la colonne au flambage	69
7.3	Vérification de la contrainte de compression au contact de la colonne et serre-flan	70
IX.8	Vérification du serre-flan	72
IX.9	Détermination de la pression de serrage des colonnes principales et des bagues en bronze	73
9.1	Les colonnes principales	73
9.2	Les bagues	75

Chapitre X OUTILLAGE de la DEUXIEME OPERATION

X.1	Fonctionnement de l'outillage	78
X.2	COURSE du poinçon	78
X.3	Dimensionnement de la matrice	80
X.4	Vérification du diamètre de la colonne	81
X.5	Vérification de la plaque support-poinçon	82

- ESTIMATION de la PRODUCTION THEORIQUE	83
---	----

- CONCLUSION	84
--------------	----

Chapitre I INTRODUCTION

I.1. Généralités

Le façonnage des métaux à l'état plastique a pris une importance considérable au cours du développement des technologies industrielles.

Le travail par déformation pure ne cesse de gagner du terrain par rapport au travail par enlèvement de matière.

Le façonnage sans production de copeaux utilise beaucoup plus rationnellement la matière première dont on dispose et permet d'obtenir des formes qui par usinage demanderaient des opérations longues et compliquées.

Au formage les fibres ne sont pas coupées, mais déviées de sorte qu'elles épousent sans discontinuité la forme extérieure de la pièce.

L'Industrie utilise très largement les produits métallurgiques déformés plastiquement soit par forgeage, estampage, laminage, filage, étirage, emboutissage, etc... Ces opérations, dont certaines peuvent être exécutées soit à chaud soit à froid, permettent d'obtenir économiquement des produits de dimensions très régulières, possédant des caractéristiques mécaniques élevées et généralement exempts de défauts internes, ce qui les destine tout naturellement à l'exécution des pièces de sécurité.

Le travail des métaux en feuilles est encore aujourd'hui plus un art qu'une science. Les lois régissant les mouvements de la matière sont imparfaitement connues et l'intuition en est toujours à la base.

Le façonnage par déformation plastique remonte à de nombreux siècles en arrière. Très tôt dans l'histoire de l'humanité, il a été appliqué à la fabrication des armes et des pièces ornementales, et l'art du forgeage était déjà très développé de nombreux siècles avant notre ère. Au moyen âge il était appliqué seulement à la fabrication des armes. Mais le besoin de grosses pièces forgées ne se faisait pas encore sentir.

Le développement de la navigation maritime au cours du 16^e et 17^e siècles est à la base de la fabrication des lourdes ancres, qui sont les premières grosses pièces de forge que les techniciens de l'époque eurent à fabriquer. Ce n'est que beaucoup plus tard que se développèrent toute une série de nouveaux procédés de façonnage par déformation plastique tel que le travail de la tôle par emboutissage vers la milieu du siècle dernier.

L'Emboutissage est une déformation plastique qui consiste à transformer une tôle plane convenablement découpée, appelée "flan", en une surface non développable.

La déformation totale peut nécessiter une ou plusieurs opérations partielles appelées "passes". Elle s'effectue à l'aide de presses équipées d'un outillage constitué essentiellement par une partie mâle (appelée poinçon), et, une partie femelle (appelée matrice) ; Parfois pour éviter la formation de plis on fait usage d'une pièce, (appelée serre-plan), qui entoure le poinçon, et appuie les bords de la tôle sur la matrice.

L'emboutissage à chaud est utilisé lorsque l'épaisseur de la tôle dépasse généralement 12 mm, ainsi que pour éviter l'écroutissage mécanique puisque la capacité de déformation des métaux est d'une façon générale plus élevée à chaud qu'à froid.

I.2. Description de l'Autoclave

L'Autoclave est un grand récipient métallique à parois épaisses et à fermeture hermétique, utilisé dans l'industrie chimique pour réaliser des réactions sous fortes pressions.

Leur utilisation accroît avec le besoin du stockage et la préparation de grandes quantités de produits chimiques utilisés à grande échelle dans l'industrie.

L'Autoclave est chauffé par des résistances électriques. L'intérieur du récipient est isolé thermiquement de l'environnement extérieur afin d'éviter les pertes de chaleur.

Le mélange chimique est remué continuellement par un mélangeur mécanique (hélice), une ouverture est prévue pour l'introduction du mélangeur.

I.3. La Tubulure

C'est une ouverture aménagée pour recevoir un tube. La forme de la tubulure varie selon le besoin. Par exemple dans les radiateurs, les tubulures sont en général exécutées en demi-coquilles pivotant deux génératrices opposées.

Tandis que dans le cas de l'autoclave la tubulure a une forme particulière qui se caractérise par la non symétrie. (voir fig 1)

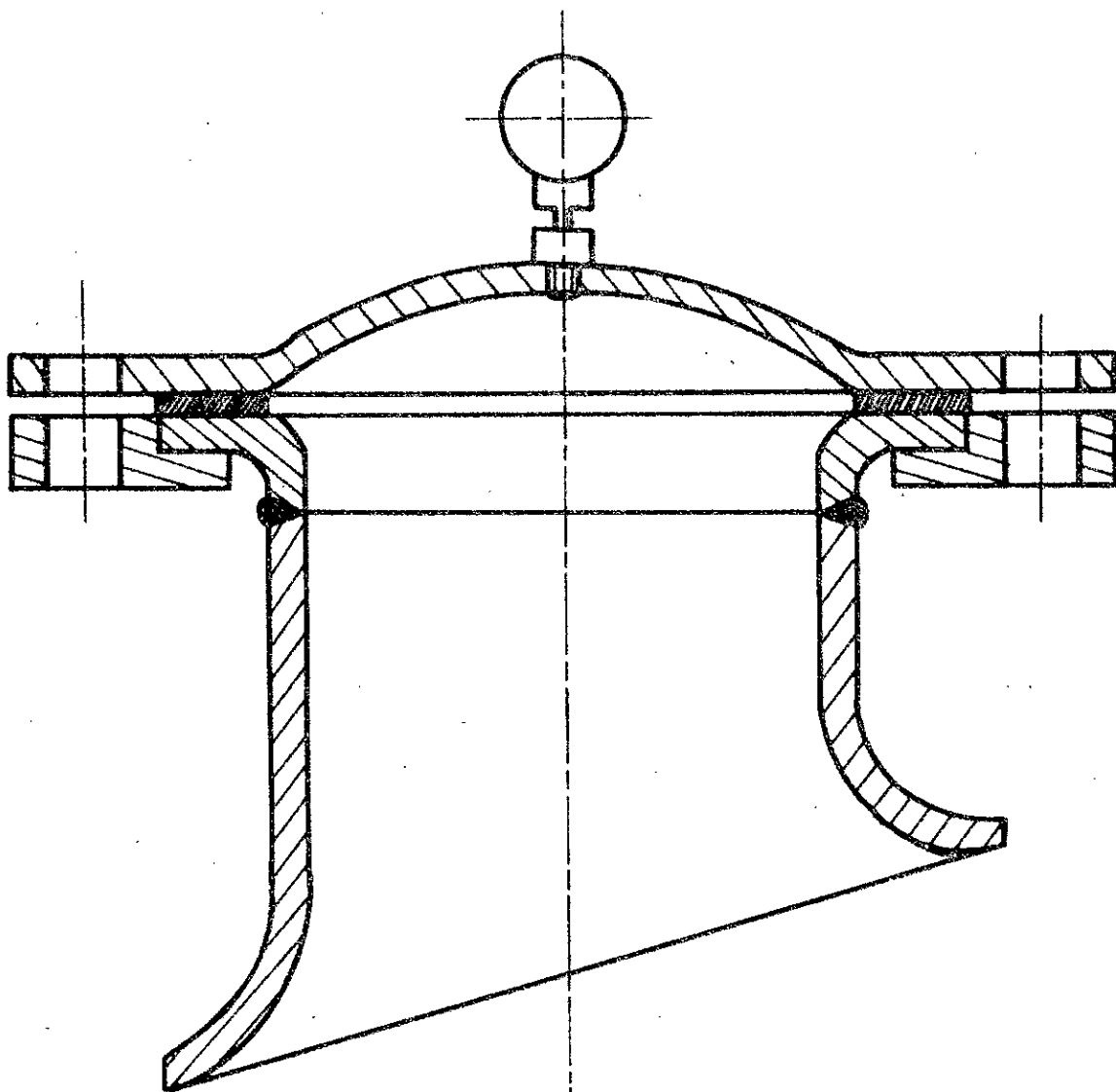


FIG. 1.

tubulure
ancienne construction

I.4 - Présentation du Sujet

Ce sujet de projet de fin d'Etudes porte sur l'étude de la réalisation d'une tubulure (production en série) qui sera ajustée sur une calotte sphérique. Cette dernière est le couvercle de l'Autoclave dont la capacité est de 12500 litres.

L'Autoclave en question est utilisé dans l'industrie chimique pour la préparation d'un produit chimique, d'où l'utilité d'avoir des tubulures pour l'arrivée et le départ des fluides chimiques.

Jusqu'à présent les tubulures pour autoclaves sont réalisées en deux parties puis assemblées par soudure.

- La première partie est un cylindre creux dont on donne à l'une de ses bases la forme appropriée qui permet son ajustement sur la partie sphérique du récipient.
- La deuxième partie est un cylindre à rebord réalisé par usinage.

L'assemblage des deux parties se fait par soudure.

Voir planche (" PL 01 " qui montre l'ancienne construction)

Pour diminuer les frais d'usinage, de main d'œuvre, économiser la matière première et augmenter la production, on se propose alors de réaliser la tubulure à partir d'une feuille en métal (production en grande série); ce qui est plus économique du point de vue temps, dépenses, etc ...

La pièce sera réalisée par déformation plastique.

Comme l'épaisseur de la pièce est assez importante (20 mm) on se propose d'utiliser une déformation plastique à chaud (Emboutissage à chaud).

Les modifications apportées à la nouvelle pièce, fabriquée en grande série, par rapport à l'ancienne sont:

- La bride ne joue aucun rôle puisque l'assemblage tubulure - tuyauterie sera fait par soudure alors la nouvelle tubulure qu'on envisage la construction sera dépourvue de bride.
- Le rayon de R12 voir "PL.01" n'est pas nécessaire
- Le rayon de $R = 2145 \approx \infty$ c'est à dire le fond courbé se trouve dans un plan.

Nota:

A cause de l'usinage, prévu à la fin du processus de fabrication de la pièce, toutes les dimensions (diamètres, longueurs, hauteur) seront ajoutées de 10 mm.

I.5 Choix de l'Acier

Bien qu'il soit possible, en principe, en choisissant correctement, la nuance et le traitement thermique d'un acier au carbone, d'obtenir toutes les combinaisons de propriétés mécaniques ; Ces propriétés disparaissent lors de l'utilisation d'un procédé de formage à chaud, c'est pourquoi les aciers alliés sont très utilisés dans la Construction Mécanique.

Les propriétés spécifiques qui justifient l'emploi des aciers alliés sont :

- résistance à l'usure
- résistance à l'oxydation et aux attaques chimiques.
- résistance mécanique aux températures élevées.
- résilience à basse température (L'acier au carbone est fragile)
- soudabilité.

Aciers mangano-siliceux.

- L'effet combiné des propriétés introduites par le manganèse et le silicium donne à l'acier une grande résistance à la rupture et une contrainte de limite élastique élevées.

De ce fait l'acier choisi pour la fabrication de la tubulure sera un acier faiblement allié à base de manganèse et de silicium.)

Désignation Hongroise ZOM 10

* Composition chimique de ZOM 10

C %	Mn %	Si %	S %	P %
0,13	0,55	0,35	0,045	0,045

* Caractéristiques Mécaniques de l'acier ZOM 10

- Limite d'élasticité:

$$R_{eH} = 186 \text{ N/mm}^2$$

- Résistance à la traction:

$$R_m = 333 - 431 \text{ N/mm}^2$$

- L'Allongement %

$$\delta = 23$$

Chapitre II PROCESSUS de REALISATION de la TUBULURE

Le processus de réalisation de la pièce comportera quatre étapes principales.

1. Découpage.
2. Premier emboutissage et poinçonnage.
3. Emboutissage (2^e passe)
4. Usinage.

Le chauffage de la pièce se fait après le découpage c'est à dire avant la première passe, ainsi qu'avant la deuxième passe.

La température de chauffe est de 860°C afin de parer aux pertes lors de la manutention de la pièce du four à la presse ce qui permettra d'avoir la température de la pièce aux environs de 800°C pendant l'emboutissage selon les estimations.

II.1 - 1^{re} Opération - Découpage

Le découpage, du flan (forme initiale de la pièce) sera fait par oxy coupage. Ce dernier présente un intérêt

considérable pour le découpage des tôles d'acier dont l'épaisseur est supérieure à 7 à 8 mm.

Principe de l'oxycoupage

Le jet d'oxygène sous pression qui accompagne la flamme de chauffe est dirigé sur le métal à couper. Celui-ci est attaqué par le jet d'oxygène, et l'oxyde formé s'élimine immédiatement dégageant ainsi une nouvelle couche de métal offerte à l'attaque. Le chalumeau est déplacé suivant un parcours correspondant à la géométrie du découpage désiré.

On a opté pour l'oxycoupage car :

- Il peut être réalisé soit manuellement (ouvrier) soit à l'aide d'une machine. Dans les deux cas l'oxycoupage ordinaire correctement appliqué peut assurer une précision de coupe de 0,5 mm sur de grandes longueurs rectilignes ou curvilignes.
- La vitesse de découpage est réglable selon le débit du gaz combustible et de l'oxygène.
- L'oxycoupage est plus intéressant pour les aciers car il évite l'écaillage qui résulte du découpage mécanique.
- Pour notre cas où l'épaisseur est de 20 mm, le diamètre de l'ordre de 550 mm, les cisailles deviennent

considérable pour le découpage des tôles d'acier dont l'épaisseur est supérieure à 7 à 8 mm.

Principe de l'oxycoupage

Le jet d'oxygène sous pression qui accompagne la flamme de chauffe est dirigé sur le métal à couper. Celui-ci est attaqué par le jet d'oxygène, et l'oxyde formé s'élimine immédiatement dégageant ainsi une nouvelle couche de métal offerte à l'attaque. Le chalumeau est déplacé suivant un parcours correspondant à la géométrie du découpage désiré.

On a opté pour l'oxycoupage car :

- Il peut être réalisé soit manuellement (ouvrier) soit à l'aide d'une machine. Dans les deux cas l'oxycoupage ordinaire correctement appliqué peut assurer une précision de coupe de 0,5 mm sur de grandes longueurs rectilignes ou curvilignes.
- La vitesse de découpage est réglable selon le débit du gaz combustible et de l'oxygène.
- L'oxycoupage est plus intéressant pour les aciers car il évite l'écaillage qui résulte du découpage mécanique.
- Pour notre cas où l'épaisseur est de 20 mm, le diamètre de l'ordre de 550 mm, les cisailles deviennent

très coûteuses, d'autre part les temps passés en manutentions pour la mise en place de la tôle sur la machine, pour suivre le tracé de découpage augmentent.

- la machine d'oxycoupage est un matériel peu coûteux, la mise en place des pièces à découper est, aussi simple que possible, les manutentions réduites au minimum puisqu'il n'y a qu'à placer sans grande précision la tôle à découper sur la table de la machine.

Dans l'emploi de chariots automatiques, qui suivent le tracé, c'est l'outil (chalumeau) que l'on déplace et non la tôle.

II.2 - 2^{ème} Opération

II.2.1 - 1^{ère} Passe d'Emboutissage

Etant donné la complexité du problème de passage à partir d'une feuille en métal (tôle) à une tubulure, ainsi que la détermination mathématique du diamètre, de l'embouti de la première passe, à poinçonner pour pouvoir faire la deuxième passe qui est l'élargissement de l'embouti poinçonné pour avoir la tubulure; Alors on détermine graphiquement les dimensions de la pièce à la fin de la première passe d'emboutissage.

Partant de la pièce semi-finie (avant l'usinage) on détermine graphiquement le diamètre qu'on doit poinçonner à la fin de la première passe.

La condition qu'on doit vérifier pour pouvoir réaliser le poinçonnage est que le fond de l'embouti (partie à poinçonner) soit parallèle à la colorette (haut de l'embouti).

On trace les tangentes en faisant varier les angles α et β de 5 à 5° (voir fig 2)

$$\text{avec } \alpha \in [0^\circ \div (90 - 23)^\circ] \Leftrightarrow \alpha \in [0^\circ \div 67^\circ]$$

$$\beta \in [0^\circ \div (90 + 23)^\circ] \Leftrightarrow \beta \in [0^\circ \div 113^\circ]$$

Nota:

les tangentes sont tracées sur les diamètres moyens.

$$\text{soient : } H' = H + 10 \text{ mm} = 226 + 10 = 236 \text{ mm}$$

$$h' = h + 10 \text{ mm} = 55 + 10 = 65 \text{ mm}$$

où:

H, h correspondent à la pièce finie.

H', h' " " " semi-finie.

$$H'' = H' + R' \alpha$$

$$h'' = h' + r' \beta$$

α, β en radian

$$\text{où : } R' = R + \frac{e}{2} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$$

$$r' = r + \frac{e}{2} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

e : épaisseur de la pièce.

• Valeurs de H'' et h'' en fonction de α et β
(voir tableau I)

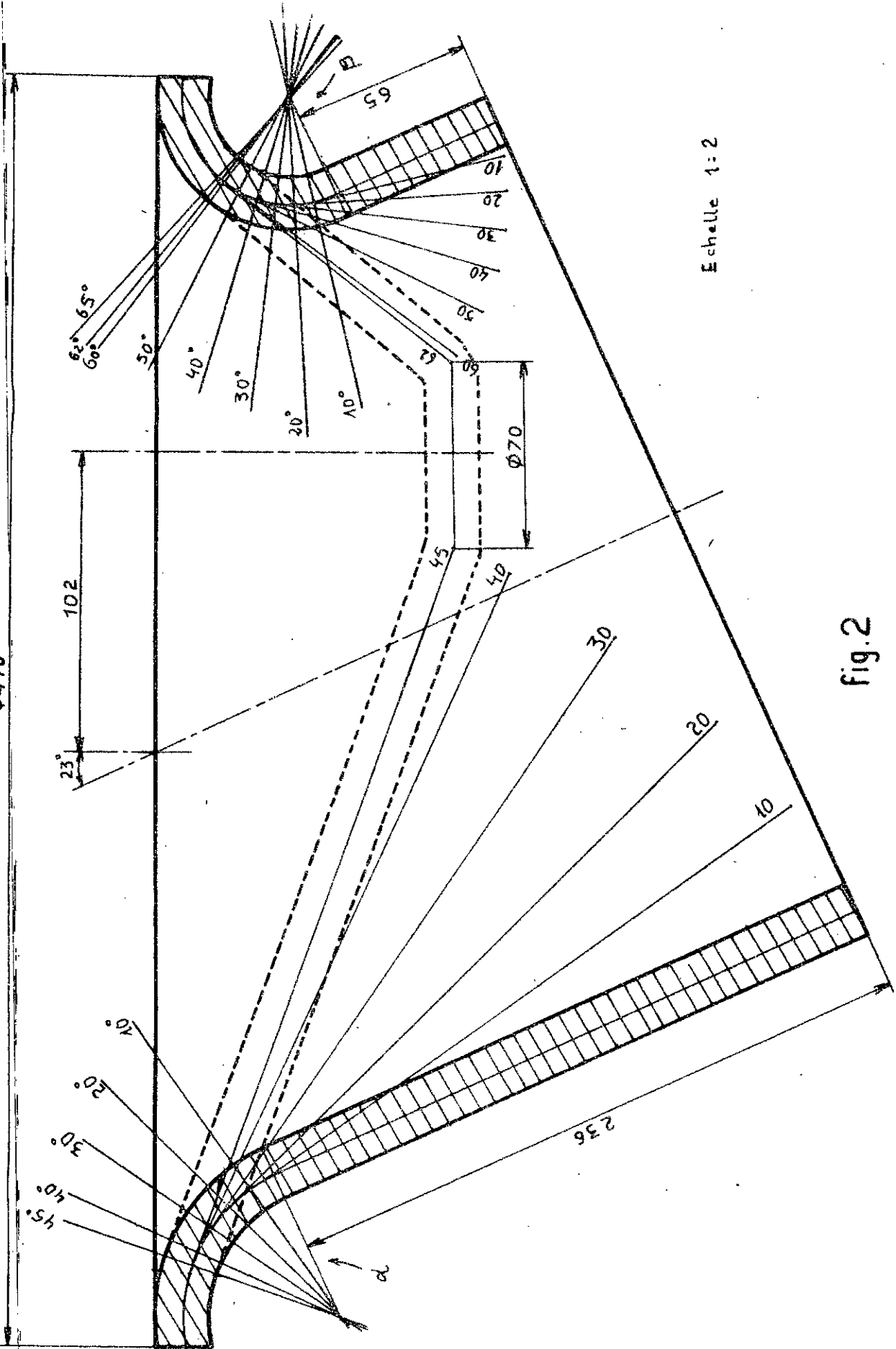
Tableau I

α°	H" mm		β°	h" mm
5	241,2		5	68,5
10	246,5		10	72
15	251,7		15	75,5
20	257		20	79
25	262,2		25	82,5
30	267,4		30	86
35	272,7		35	89,4
40	278		40	93
45	283		45	96,4
50	288,4		50	100
55	293,6		55	103,4
60	299		60	107
65	304		65	110,4

Ø470

Echelle 1:2

fig.2



On constate et par tâtonnement que pour :

$\alpha = 45^\circ$ et $\beta = 62^\circ$; le fond de la pièce est parallèle à son haut, d'où les dimensions de la première passe seront :

- diamètre du flan à poinçonner $d' = 70$ mm

$$- H'' = H' + R' \alpha = 236 + 60 \cdot \frac{45}{180} \pi = 283 \text{ mm.}$$

$$- h'' = h' + r' \beta = 65 + 40 \cdot \frac{62}{180} \pi = 108 \text{ mm.}$$

- l'excentricité : $a = 102$ mm.

- Profondeur de passe $k = 112 - \frac{e}{2} = 112 - 10 = 102$ mm

II 2 Détermination du flan

Il est pratiquement impossible dans l'emboutissage à chaud d'opérer en flan juste, on se contente en général d'opérer en flan approché.

Pour le calcul on se sert de l'hypothèse de la conservation du volume de la tôle, approximation suffisante en pratique. Notamment il est recommandé de faire les calculs sur les diamètres moyens.

On suppose que l'épaisseur de la tôle ne varie pas après l'emboutissage ($e = c \frac{r}{R}$) ce qui est pratiquement vrai.

Comme la pièce n'est pas symétrique et n'a pas une forme géométrique simple on simplifie le problème en admettant que :

- Le rayon $R = 2145 \text{ mm}$ (rayon de la calotte sphérique) étant suffisamment grand alors on peut considérer l'arc AB comme une droite.

- ensuite on développe la surface.

Le calcul du volume de la pièce sera fait sur la pièce après la 2^{me} passe d'emboutissage avant l'usinage (pièce semi-finie).

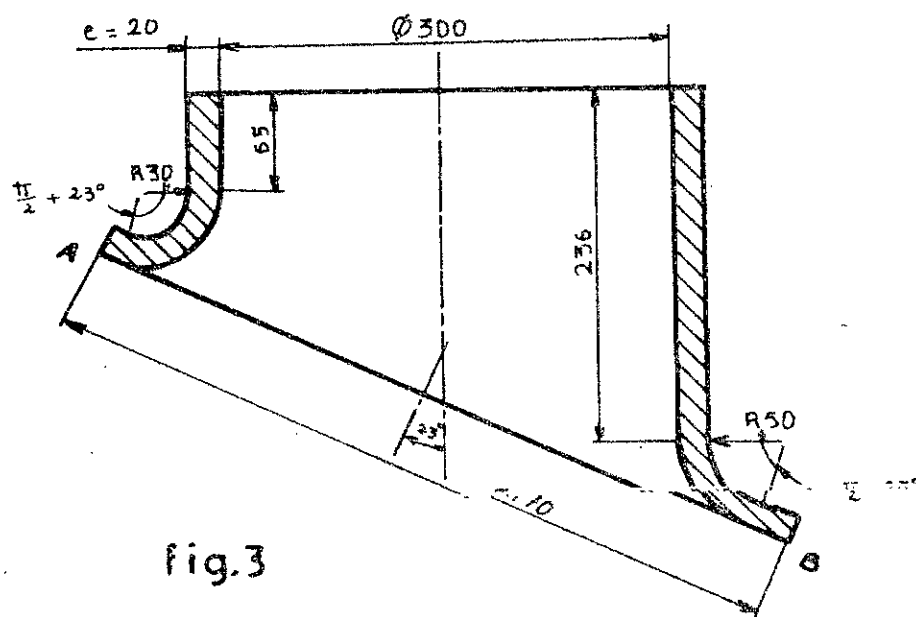


fig.3

$$H'' = H + 10 + R' \alpha + 10$$

$$H'' = H' + R' \alpha + 10 = 236 + 60 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{23}{180} \cdot \pi \right) + 10$$

$$H'' = 316,2 \text{ mm}$$

$$h'' = h + 10 + r' \beta + 10 = h' + r' \beta + 10$$

$$h'' = 65 + 40 \left(\frac{\pi}{2} + \frac{23}{180} \cdot \pi \right) + 10$$

$$h'' = 153,9 \text{ mm}$$

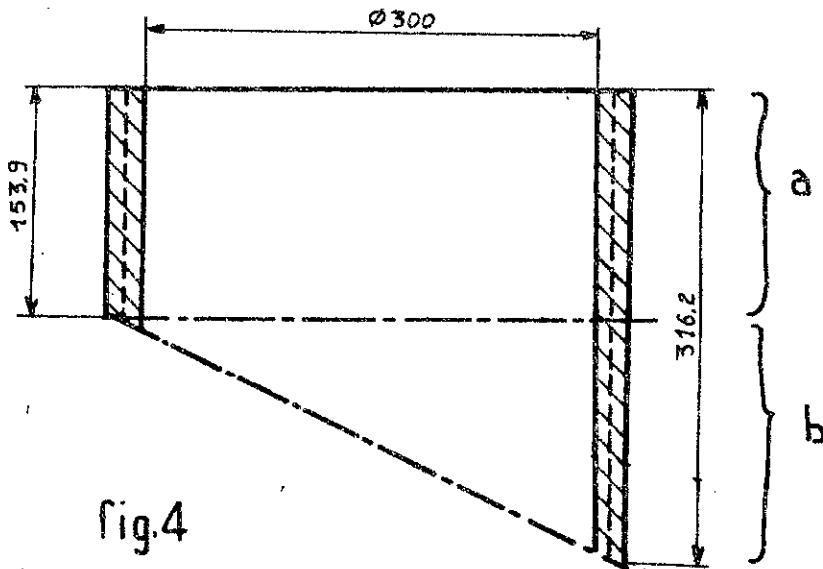


fig.4

Volume de "a"

$$V_a = (d+e) \cdot \pi \cdot h'' \cdot e$$

$$V_a = (300+20) \cdot \pi \cdot 153,9 \cdot 20 = 3094343,1 \text{ mm}^3$$

Volume de "b"

$$V_b = (d+e) \cdot \pi \cdot (H''-h'') \cdot e \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_b = (300+20) \cdot \pi \cdot (316,2 - 153,9) \cdot 20 \cdot \frac{1}{2} = 1631617,6 \text{ mm}^3$$

Volume de la pièce semi-finie V'

$$v = V_a + V_b$$

$$V' = 3094343,1 + 1631617,6 = 4725960,7 \text{ mm}^3$$

Au volume de la pièce semi-finie on doit ajouter le volume du métal enlevé par poinçonnage à la fin de la première passe V_c .

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot e = \frac{\pi \cdot 70^2}{4} \cdot 20 = 76969,02 \text{ mm}^3$$

Volume total du flan

$$V = V' + V_c$$

$$V = 4725960,7 + 76969,02 = 4802929,7 \text{ mm}^3$$

A présent on transforme ce volume en un flan circulaire de 20 mm d'épaisseur.

Diamètre du flan :

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot e \quad \Rightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot e}}$$

A. N

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 4802929,7}{\pi \times 20}} = 552,96 \text{ mm}$$

$$D = 553 \text{ mm}$$

II.2.3 - Calcul du degré de déformation

Pour l'emboutissage le degré de déformation est donné par la formule suivante.

$$\rho = \frac{D - d}{D} \cdot 100$$

où :

D : diamètre du flan

d : diamètre de la pièce emboutie (1^{ère} passe)

A. N

$$\rho = \frac{553 - 470}{553} \times 100 = 15,7$$

II.2.4 - Calcul de la force

On doit en premier lieu déterminer la force nécessaire pour la première passe (ouvrage [1])

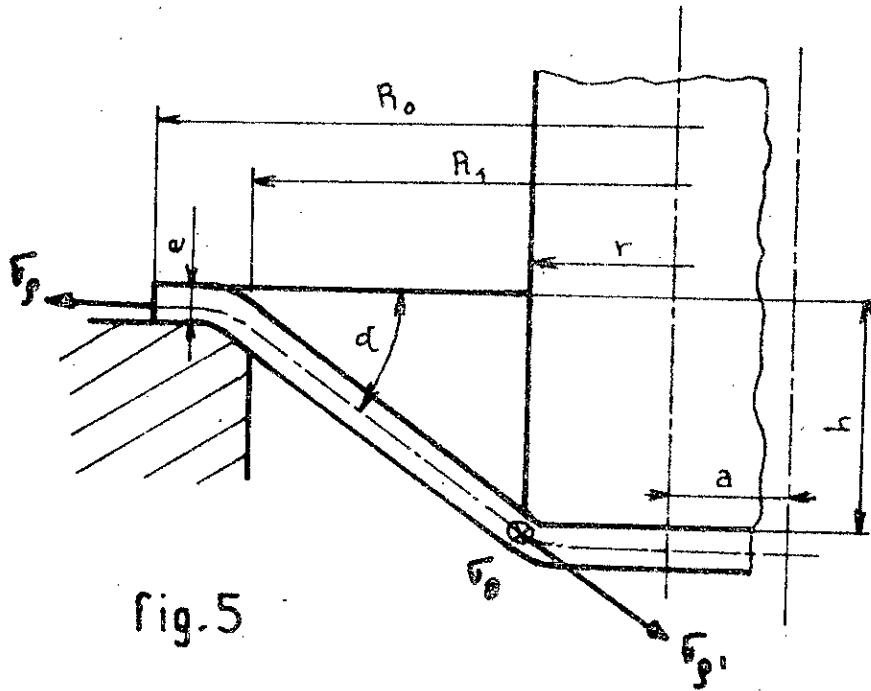


fig.5

où :

R_0 : rayon du flan

R_0 : variable

R_1 : rayon de la matrice

R_1 : variable

e : épaisseur

$e = c \frac{b}{\dots}$

r : rayon du poinçon

$r = c \frac{b}{\dots}$

a : entraxe

$a = c \frac{h}{\dots}$

D'après la figure 5 on a l'équation d'équilibre suivante:

$$\frac{dF_p}{ds} + \frac{F_p - F_0}{s} = 0 \quad (1)$$

Le critère de plasticité nous donne.

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \beta k_f \quad (2)$$

où :

k_f : La résistance unitaire du corps à la déformation

β : coefficient

$\beta = 1$ pour les pièces cylindriques

$\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}$ " " " planes.

Condition à la Limite :

$$\text{Pour } r = R_0 \Rightarrow \sigma_r = 0$$

$\sigma_r = 0 \Leftrightarrow$ Au bord extérieur du flan la tension radiale est nulle.

R_0 : rayon extérieur

r : rayon extérieur à un instant quelconque.

Alors,

$$(2) \Rightarrow -\sigma_\theta = \beta k_f$$

on remplace dans (1)

$$\Rightarrow \frac{d\sigma_r}{dr} - \frac{\sigma_r}{r} = 0 \Rightarrow \frac{d\sigma_r}{dr} = -\beta k_f \cdot \frac{1}{r}$$

$$\Rightarrow \sigma_r = -\beta k_f \int_{R_0}^r \frac{dr}{r}$$

$$\Rightarrow \sigma_r = \beta k_f \cdot \ln \frac{R_0}{r} \quad (3)$$

On remplace (3) dans (2)

$$\Rightarrow \beta k_f \ln \frac{R_0}{r} - \sigma_\theta = \beta k_f$$

$$\Rightarrow \sigma_{\theta} = -\beta k_f \left(1 - \ln \frac{R_2}{r}\right) \quad \text{avec } f(\theta) = R_1(\theta)$$

toujours d'après (Fig 5)

$$\cos \alpha = \frac{R_2}{\sigma'_s} = \frac{R_2 - r}{\left[(R_1 - r)^2 + h^2\right]^{1/2}}$$

$$\Rightarrow \sigma'_s = \sigma_s \cdot \sqrt{\frac{(R_1 - r)^2 + h^2}{R_1 - r}}$$

$$\sigma'_s = \sigma_s \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{R_1 - r}\right)^2} \quad (4)$$

La force d'emboutissage : $F = \text{section} \times \text{contrainte}$

$$dF = e \cdot r d\theta \sigma'_s \sin \alpha$$

$$dF = e \cdot r \sin \alpha \sigma'_s d\theta = e \cdot r \sqrt{\frac{h^2}{(R_1 - r)^2 + h^2}} \sigma'_s \cdot d\theta$$

donc F est fonction de θ et de h . (profondeur de passe)

La force totale sera :

$$F = 2 \cdot e \cdot r \int_0^{\pi} \sqrt{\frac{h^2}{(R_1 - r)^2 + h^2}} \sigma'_s d\theta \quad (5)$$

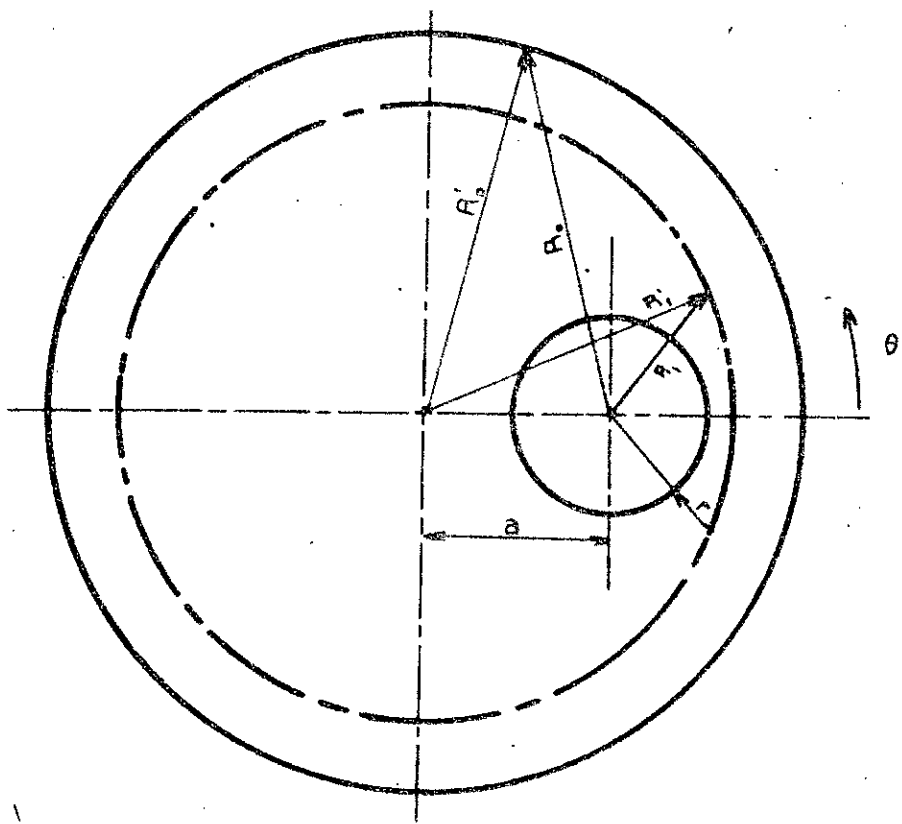


fig.6

R'_0 : rayon initial du flan

R'_1 : rayon de la matrice

r : rayon du poinçon

$$R'_0 = C_0^b$$

$$R'_1 = C_1^r$$

$$r = C_2^b$$

II.2.4 - Calcul de la force

On doit en premier lieu déterminer la force nécessaire pour la première passe (ouvrage [1])

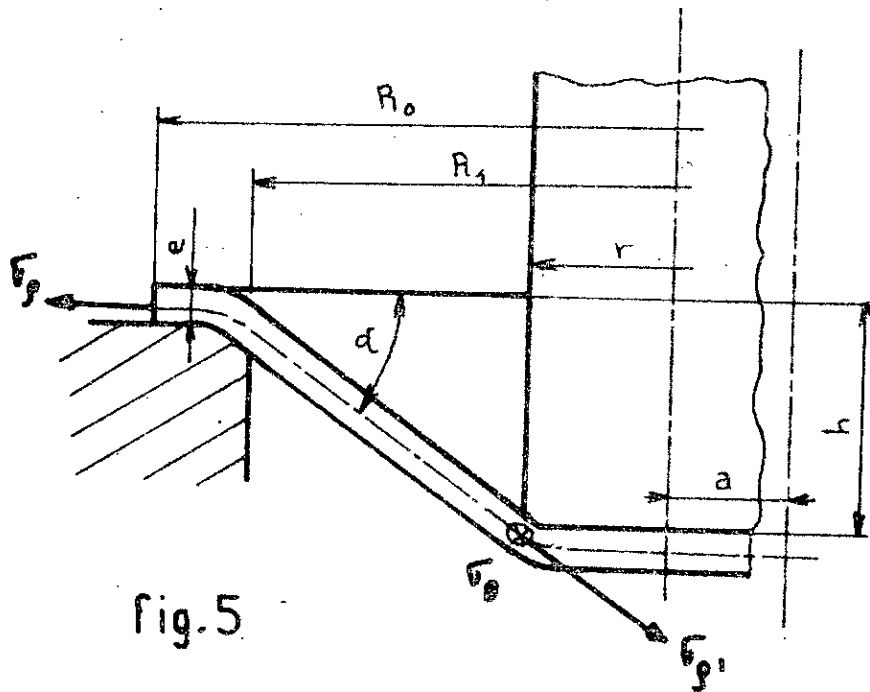


fig.5

où :

R_0 : rayon du flzn

R_0 : variable

R_1 : rayon de la matrice

R_1 : variable

e : épaisseur

$e = c \frac{b}{e}$

r : rayon du poinçon

$r = c \frac{b}{e}$

a : entraxe

$a = c \frac{b}{e}$

D'après la figure 5 on a l'équation d'équilibre suivante:

$$\frac{dF_p}{d\beta} + \frac{F_p - F_0}{\beta} = 0 \quad (1)$$

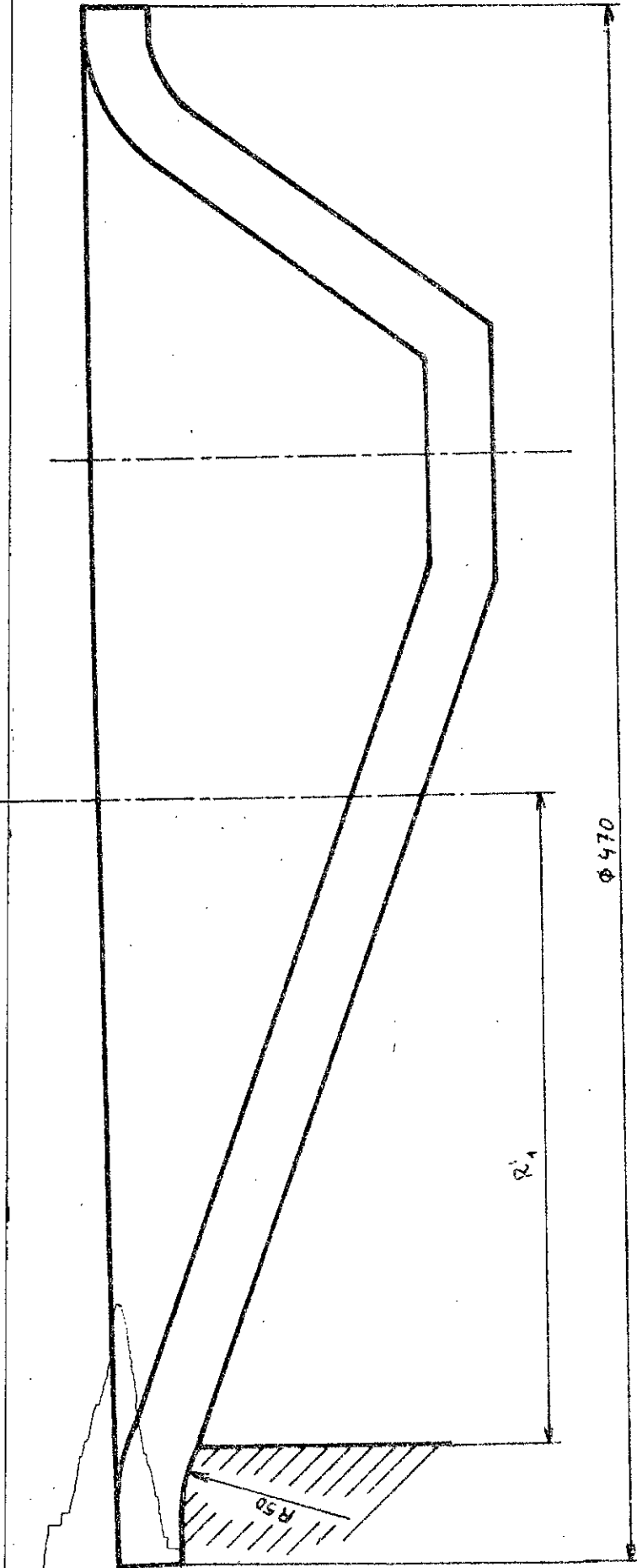


fig.7

$r = 35 \text{ mm}$

$e = 20 \text{ mm}$

$a = 102 \text{ mm}$

$k_p = 147 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ pour une température de 800°C

$\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}$

A.N :

$$F = 2 \times 20 \times 35 \int_0^{180} \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} \times 147 \times h}{102 \times \cos(180-\theta) + \sqrt{102^2 \times \cos^2(180-\theta) - 102^2 + 205^2} - 35} \times \ln \frac{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) - 1 + 276^2/102^2}}{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) - 1 + 205^2/102^2}} \cdot d\theta$$

$$F = 237637,4 \times h \int_0^{180} \frac{1}{102 \times \cos(180-\theta) + \sqrt{(102)^2 \times \cos^2(180-\theta) + 31621} - 35} \times \ln \frac{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) + 6,322}}{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) + 3,04}} \cdot d\theta$$

Le calcul de cette intégrale sera fait numériquement

on prendra $\Delta h = 6 \text{ mm}$ avec $h: 0 \rightarrow 102 \text{ mm}$

$\Delta \theta = 3^\circ$ avec $\theta: 0^\circ \rightarrow 180^\circ$

Calcul numérique de l'intégrale

$$I = 237637,4 \int_0^{180} \frac{1}{102 \times \cos(180-\theta) + \sqrt{(102)^2 \times \cos^2(180-\theta) + 31621} - 35} \times \ln \frac{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) + 6,322}}{\cos(180-\theta) + \sqrt{\cos^2(180-\theta) + 3,04}} \cdot d\theta$$

Par l'Approximation de SIMPSON (continue) on calcule cette intégrale (I) sur calculatrice programmable.

Pour $\Delta\theta = 3^\circ$

$$I = \int_0^{18^\circ} f(\theta) \cdot d\theta = 32890,5735 \frac{N}{mm}$$

mais la force varie avec la profondeur de passe.

On détermine dans ce qui suit la valeur de la force pour chaque Δh ($\Delta h = 6mm$)

Les valeurs de F en fonction de Δh sont données dans le tableau II :

$$F = I \cdot \Delta h = \frac{N}{mm} \cdot m = N$$

tableau II

h(mm)	F (Newton)
1	32690,5375
6	197343,441
12	394686,882
18	592030,3235
24	789373,765
30	986717,206
36	1 184 060,647
42	1 381 404,088
48	1 578 747,529
54	1 776 090,971
60	1 973 434,412
66	2 170 777,853
72	2 368 121,294
78	2 565 464,735
84	2 762 808,176
90	2 960 151,618
96	3 157 495,059
102	3 354 838,5

Du tableau II, La force maximale sera pour h maximal

$$\Rightarrow F_{\max} = 3\,354\,838,5 \text{ N} = 341,9815 \text{ tonnes.}$$

* Calcul du moment :

Étant donné que l'axe de l'outillage ne coïncide pas avec l'axe de la pièce (pièce non symétrique), alors la force exercée par le serre-plan introduit un moment de flexion.

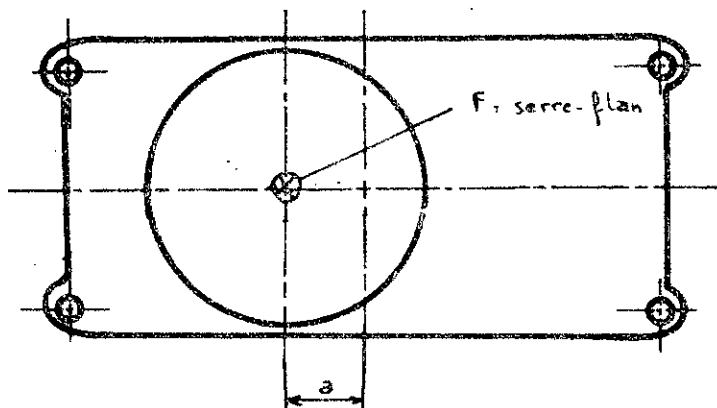


fig. 8

$$M_f = F_m \cdot a$$

où : M_f : moment de flexion

F_m : force exercée par le serre plan (voir § II.2.5)

a : entraxe.

A.N :

$$M_f = 166718,4 \times 102 \cdot 10^3$$

$$M_f = 17\,005\,277 \text{ N.m} = 17,01 \cdot 10^3 \text{ N.m}$$

II.2.5 - Poinçonnage

Le poinçonnage est un découpage intérieur réalisé dans la pièce.

La première passe d'emboutissage est suivie directement par le poinçonnage du fond sans extraire la pièce de la matrice.

L'outillage utilisé est un outillage combiné emboutissage - poinçonnage.

* Jeu entre poinçon et matrice

Un effort latéral se transmettrait sur les parois de la matrice si un jeu n'était prévu entre le poinçon et celle-ci. Dans le poinçonnage le jeu est toujours pris sur la matrice.

La qualité de la surface découpée dépend du jeu Z .

Z a une valeur optimale, qui est donnée par la formule empirique suivante:

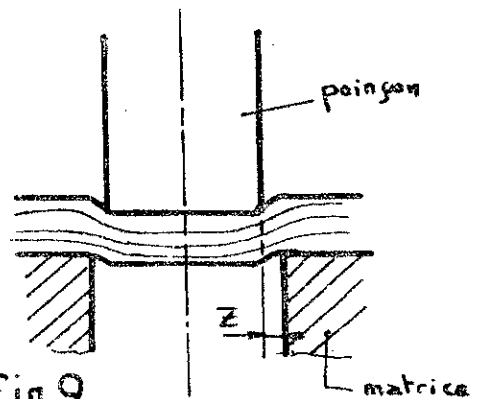


fig.9

$$Z_{opt} = c.e.\sqrt{Z_m} \quad \text{si } e < 3 \text{ mm.}$$

$$Z_{opt} = (4,5.c.e. \div 0,015.c.e)\sqrt{Z_m} \quad \text{si } e > 3 \text{ mm}$$

où:

Z_m : résistance au cisaillement du matériau

$$c = c_0$$

$$c_0 = 0,035$$

* valeur de Z_m

Les pertes de chaleur au cours de l'emboutissage sont estimées à une diminution de température de 100°C .

lors du poinçonnage la température du métal est de 700°C

La résistance au cisaillement du matériau sera :

$$Z_m = 108 \text{ N/mm}^2$$

Alors :

$$Z_{opt} = 0,15 \times 0,35 \times 20 \sqrt{108} = 7,09 \text{ mm}$$

$$Z_{opt} = 7 \text{ mm}$$

* Calcul de la force de poinçonnage

La force nécessaire pour le poinçonnage sera calculée

par la formule :

F_p : Section \times résistance au cisaillement du matériau.

$$F_p = A \cdot Z_m$$

$$A = \pi \cdot d' \cdot e \quad \text{mm}^2 \quad \text{où :}$$

d' diamètre à poinçonner.

$$Z_m = 108 \text{ N/mm}^2 \quad \text{à } 700^\circ\text{C}$$

$$F_p = \pi \cdot d' \cdot e \cdot Z_m$$

A.N

$$F_p = \pi \cdot 70 \cdot 20 \cdot 108 = 4,75 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$= 48,421 \text{ tonnes.}$$

* Rôle du dévêtisseur

En général le dévêtisseur sert de guide du

mouvement de translation du poinçon et évite le glissement de la tôle.

On verra un peu plus loin que dans notre cas, où on emploie la combinaison d'emboutissage - poinçonnage, le serre-flan pour l'emboutissage joue le rôle de dévêtisseur dans le poinçonnage.

La force que doit exercer le dévêtisseur est d'après [2]

$$F_d \approx 0,05 \cdot F_p = 0,05 \times 4,75 \cdot 10^5 = 2,375 \cdot 10^4 \text{ N} \\ = 2,421 \text{ tonnes.}$$

* Le Serre-flan

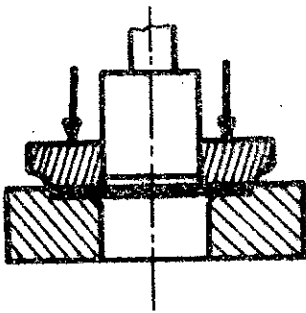
Le serre-flan est une bague qui exerce une pression sur la tôle et dans laquelle coulisse le poinçon. Son action qui commence avant celle du poinçon, s'exerce pendant l'emboutissage et subsiste lors de la remontée de l'outil.

La tôle se trouvant pressée, glisse lentement pendant l'opération d'emboutissage et les plis ne peuvent se former. D'autre part, le serre-flan demeure en place pendant la remontée du poinçon ; aussi l'embouti reste-t-il dans la matrice au lieu d'être entraîné par le poinçon.

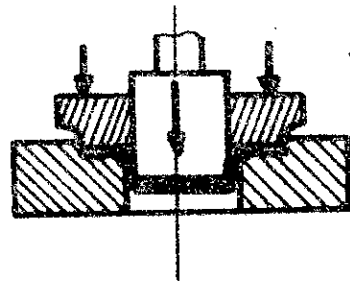
La pression du serre-flan F_m ne doit pas être quelconque trop faible, son action serait inefficace.

Trop élevée, son effet serait nuisible et peut même entraîner la rupture.

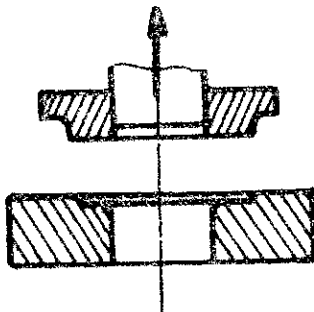
La non utilisation du serre-flan au cours de l'embouissage d'un flan même assez épais sur une matrice non débouchante, (pièce non évacuée par la partie inférieure de la matrice) ; on observe la formation de plis.



a. Action du serre-flan



b. Action du serre-flan pendant la passe.



c. remontée de l'outil et ensuite du serre-flan.

fig.10

* Condition d'utilisation du serre-flan

Le rapport du diamètre du flan sur l'épaisseur de la tôle nous indiquerait s'il est nécessaire d'utiliser un serre-flan.

Règle Générale :

- si $\frac{D}{e} \leq 40$ on n'utilise pas de serre-flan.
 si $\frac{D}{e} > 40$ Le serre-flan est nécessaire.

A.N

$$\frac{D}{e} = \frac{553}{20} = 27,65 < 40$$

A première vue le serre-flan n'est pas nécessaire dans notre cas, mais cela serait juste dans le cas où l'emboutissage est symétrique, avec évacuation de la pièce par le fond de la matrice. Comme la pièce est asymétrique avec utilisation d'une déformation combinée : emboutissage et poinçonnage, on utilise le serre-flan : d'un côté pour l'emboutissage et de l'autre côté pour le poinçonnage où le serre-flan joue le rôle de dévetisseur.

* Calcul de la pression exercée par le serre-flan

Cette force est donnée par la formule empirique [3]

$$F_m = \sigma \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad \text{dans}$$

où :

D : diamètre du flan.

d : diamètre du premier embouti.

u : coefficient.

$$u = 0,25 \text{ daN/mm}^2 \text{ pour l'acier.}$$

A.N :

$$F_m = 0,25 \cdot \frac{\pi}{4} (553^2 - 470^2) = 16671,84 \text{ daN}$$

$$= 16,7 \text{ tonnes.}$$

Commentaire :

La pression exercée par le serre-flan est de l'ordre de 16,7 tonnes, tandis que la pression que devrait exercer le dévêtisseur lors du poinçonnage est de 2,421 tonnes, de ce fait, le dévêtisseur ne sera pas utilisé par contre le serre-flan sera utilisé en tant que serre-flan et dévêtisseur, sa pression de 16,7 tonnes sera maintenue pendant l'emboutissage et le poinçonnage.

* La Force totale

La force totale mise en jeu au cours de cette opération sera la somme des forces d'emboutissage, de serre-flan et de poinçonnage.

$$F_t = F + F_m + F_p$$

A.N

$$F_t = 341,982 + 16,7 + 48,421 = 407,103 \text{ tonnes.}$$

II.3 - 3^{ème} Opération

2^{ème} Passe d'Emboutissage

La pièce arrivant de la presse après la deuxième opération (1^{ère} passe d'emboutissage et poinçonnage du fond), est chauffée à la température de 860°C. Elle arrive à la table de travail de la presse à 800°C comme indiqué au début de ce chapitre.

Cette deuxième passe consiste à donner à la pièce la forme finale (avant l'usinage) en partant de l'embouti sans fond de la deuxième opération.

La force exercée par l'outil lors de cette deuxième passe est donnée par la relation suivante [4]

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot e \cdot \sigma_{pmax} \cdot \sin \alpha$$

où :

$$\sigma_{pmax} = k_p \left(1 - \frac{r_0}{R} + \frac{e}{2r_0 + e} \right) (1 + \mu \alpha)$$

avec - $\alpha = 90^\circ - 23^\circ = 67^\circ$

$\alpha = 90^\circ + 23^\circ = 113^\circ$

$$\Rightarrow \alpha = 113^\circ \rightarrow \sigma_{pmax}$$

- μ : coefficient de frottement $\mu = 0,1$

- r_0 : rayon du fond de la pièce poinçonnée.

$$r_0 = \frac{d'}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ mm.}$$

- $R = \frac{d_k}{2}$

où :

$$d_k = 2R'_1 - 2e = 2(R'_1 - e)$$

$$\Rightarrow R = R_1 - e = 205 - 20 = 185 \text{ mm}$$

$$- R_g = 147 \text{ N/mm}^2$$

R.N

$$\sigma_{\text{max}} = 147 \left(1 - \frac{35}{185} + \frac{20}{2 \times 35 + 20} \right) \left(1 + 0,1 \times \frac{113}{180} \pi \right)$$

$$\sigma_{\text{max}} = 181,81 \text{ N/mm}^2$$

* La force

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot e \cdot \sigma_{\text{max}} \cdot \sin \alpha$$

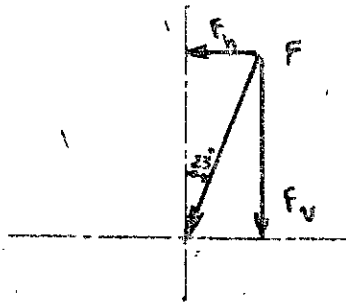
R.N

$$F = 2 \cdot \pi \cdot 185 \cdot 20 \cdot 181,81 \cdot \sin(113^\circ) = 3890679,368 \text{ N}$$

$$= 3,891 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F = 396,6 \text{ tonnes.}$$

Pour obtenir la forme de la pièce désirée, dans cette troisième opération qui concerne la deuxième passe de déformation plastique l'outil agit dans les directions horizontales et verticales afin de pouvoir passer de $\phi 70 \text{ mm}$ à $\phi 300 \text{ mm}$ et d'une hauteur de 102 mm à une hauteur de 200 mm .



Les composantes de F :

- La force verticale :

$$F_v = F \cdot \cos 23^\circ = 3,891 \cdot 10^6 \cos 23^\circ = 3,581 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F_v \approx 365,07 \text{ tonnes}$$

- La force horizontale :

$$F_h = F \cdot \sin 23^\circ = 3,891 \cdot 10^6 \sin 23^\circ = 1,52 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F_h \approx 154,96 \text{ tonnes}$$

II.4 - 4^{me} Opération Usinage

Cette quatrième opération consiste à enlever l'excédent de métal et préparer le chanfrein pour faciliter l'assemblage de la tubulure à l'autoclave par soudure.

On a estimé que l'excédent de matériau est de 10 mm, cette valeur peut varier car il n'y a pas de règles précises dans la méthode de déformation plastique à chaud qui indiquent exactement le volume de matériau nécessaire à la fabrication de la pièce et l'excédent de matériau.

Contrairement à l'ancienne construction où la soudure se fait de l'intérieur, on prévoit un chanfrein extérieur ce qui permettrait la soudure de l'extérieur du récipient.

* Dimension du chanfrein.

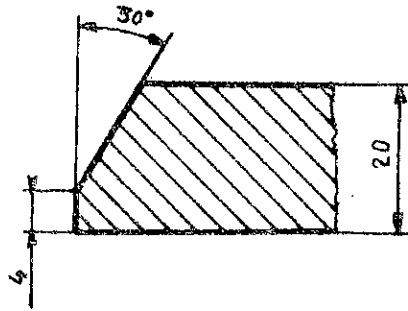


fig.11

L'enlèvement de l'excédent de métal et le chanfreinage peuvent être réalisés soit :

II.4.1 - Par Usinage

L'usinage proprement dit a pour objet la réalisation de pièces métalliques par enlèvement de matière à froid au moyen d'outils produisant des copeaux.

Les machines qui peuvent être utilisées pour l'usinage de la tubulure sont des machines qui ont connu un grand développement et une large utilisation dans l'histoire de l'usinage. Le Tour et la fraiseuse.

Montage de la pièce sur le tour.

(voir fig. 12)

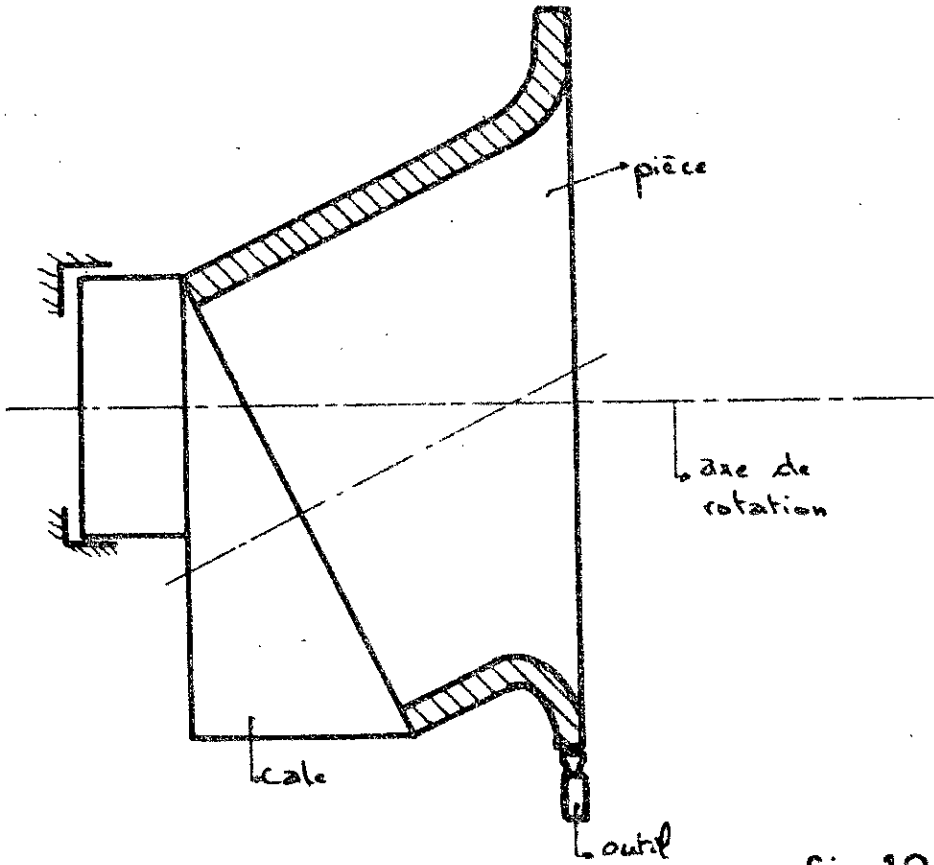
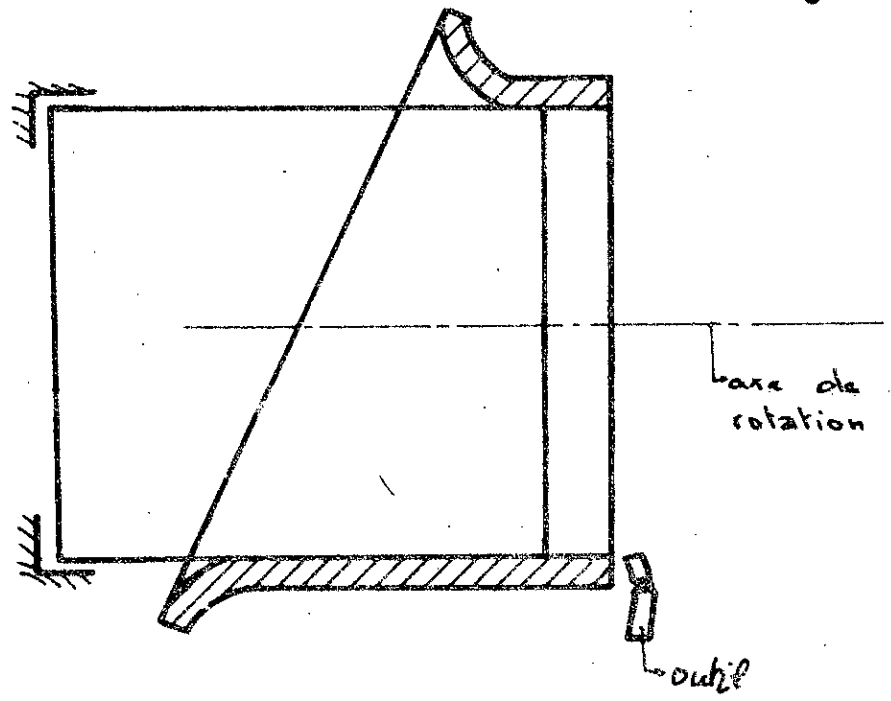


fig.12



Notamment la pièce peut être usinée sur une fraiseuse, d'ailleurs le montage sur fraiseuse est plus facile à réaliser de même la tête de la fraiseuse universelle est orientable.

II.4.2 - Par oxycoupage

L'oxycoupage permettrait d'éliminer rapidement l'excédent de métal ainsi que le chanfreinage en une seule opération.

chalumeau utilisé :

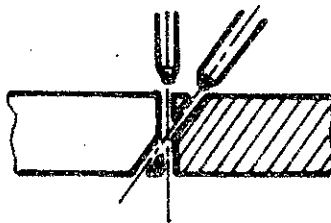


fig.13

Chapitre III PROTECTION de la PIECE contre la CORROSION

La protection des métaux contre la corrosion a, de tout temps préoccupé utilisateurs et producteurs d'objets métalliques.

III.1. Causes de la corrosion

La corrosion est l'attaque d'un métal provenant de la réaction chimique, ou électro-chimique.

Il y a deux genres principaux de corrosion.

- Par voie sèche.
- Par voie humide.

III.1.1 - La corrosion sèche

Elle se produit par l'attaque d'un métal par seule réaction chimique avec le milieu ambiant, sans intervention de courant électrique.

III.1.2 - La corrosion humide

Elle est de nature électro-chimique, et caractérisée par l'apparition de courant électrique, en dehors de toute source extérieure. Les courants galvaniques qui favorisent la corrosion résultent de l'existence de petites piles élémentaires

or pour qu'il y ait pile il faut qu'il y ait en présence deux métaux de nature différentes et un électrolyte.

- L'électrolyte est le mélange chimique

- Les deux métaux qui constituent les pôles des piles résultent de l'hétérogénéité du métal.

- L'hétérogénéité de constitution.

- L'hétérogénéité de structure et de l'état de surface.

(Plus la structure est fine, plus l'aptitude à la corrosion est faible)

III.2 - Moyens de protections

La pièce étant en acier, elle sera recouverte d'une gaine isolant le métal du milieu ambiant.

Cette gaine isolante peut être obtenue :

1 - Par recouvrement de la pièce au moyen d'enduits :

peinture, vernis, laques, émaux.

2 - Par recouvrement de la pièce au moyen d'un métal dont la rouille compacte constitue la couche imperméable protectrice

Ce métal peut être déposé par

a - trempage dans un métal en fusion : galvanisation, étamage, plombage.

b - projection d'un métal fondu, métallisation au pistolet.

c - électrolyse : Cuivrage, nickelage, chromage, cadmiage.

3 - Par modification superficielle de composition du métal

- Création d'un alliage : Cémentation au zinc, à l'Aluminium.

III.3 - Préparation des pièces à protéger contre la corrosion

L'application des enduits ou dépôts métalliques suppose une surface de pièce lisse et le métal mis à nu.

Deux traitements distincts sont prévus dans la majorité des cas.

- Polissage.

- Nettoyage.

III.3.1 - Polissage

1. Polissage mécanique

est réalisé à l'aide d'abrasifs de plus en plus fin, le polissage mécanique peut être obtenu en utilisant des machines rotatives ou des machines à bande abrasives.

2. Polissage chimique ou électrolytique

Le polissage chimique ou électrolytique consiste dans la dissolution sélective des aspérités du métal.

* Brillantage et polissage chimiques sont obtenus sans avoir recours au passage d'un courant électrique, l'opération est faite à haute température en présence d'oxydants et d'un sel d'un métal lourd.

* Dans le polissage électrolytique, une source de courant est indispensable. Les pièces à traiter servent d'anode.

Procédé électrolytique pour tous métaux :
mélange d'acide perchlorique et d'anhydride acétique (brevet français JACQUET). En raison de l'instabilité de l'acide perchlorique et afin d'éviter tout danger d'explosion, il faut opérer à froid et en l'absence d'impuretés réductrices.

III.3.2 - Nettoyage des surfaces

Le nettoyage a pour objet l'enlèvement des souillures existant à la surface de la pièce. Il comprend deux opérations distinctes :

- Dégraissage.

- Décapage.

1 - Dégraissage

a - Le dégraissage sert à éliminer les corps gras.

La saponification consiste dans la décomposition du corps gras sous l'action d'une base alcaline (soude). On obtient un savon et de la glycérine, ces produits étant solubles s'éliminent facilement par lavage. Les graisses minérales ne sont pas saponifiables, ils sont éliminés alors par l'emploi de dissolvants tel que l'essence et plus particulièrement le trichloréthylène (C_2HCl_3) et perchloréthylène (C_2Cl_4). Les solvants sont récupérés par distillation.

Composition de la solution de dégraissage.

La soude, les sels alcalins d'acides faibles et un produit

tensio-actif (ou mouillant).

- phosphate trisodique 25 g/l
- Métasilicate de soude 30 g/l
- Carbonate de soude 25 g/l
- Agent mouillant (tel que l'alkylaryl sulfonate de soude) 3g/l

Température d'utilisation 80°

b. Dégraissage électrolytique : Le passage du courant dans un électrolyte alcalin provoque un violent dégagement gazeux sur la surface des pièces, ce qui facilite l'élimination des souillures solides.

deux méthodes peuvent être utilisées.

* A chaud :

soude 70 g/l

cyanure de soude 25 g/l

Carbonate de soude 30 g/l

phosphate trisodique 30 g/l

Agent mouillant (Alkylaryl sulfonate de soude) 3 g/l

I : 10 à 15 A/cm²

* A Froid :

Soude 70 g/l

Cyanure de soude 15 g/l

Cyanure cuivreux 8 g/l

Carbonate de soude 30 g/l

un mouillant 3 g/l

l'anode de cuivre, la pièce en cathode.

I : 8 à 10 A/dm².

Nota:

Un rinçage ou deux à eau chaude et eau froide complètent le traitement de dégraissage.

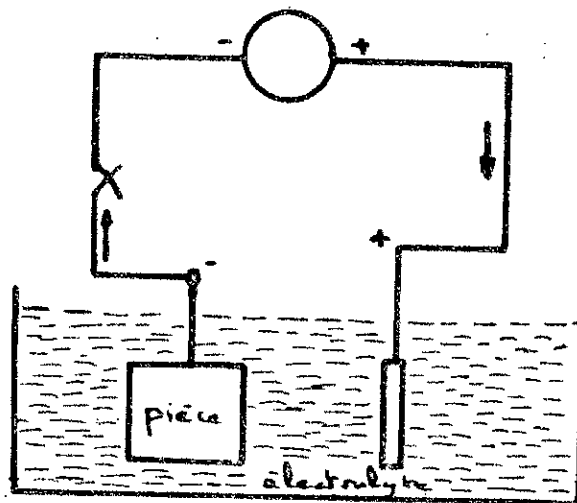


fig.14

2 - Décapage

Le décapage sert à éliminer les oxydes et les produits d'origine métallique qui adhèrent à la surface des pièces.

On distingue trois types de décapage.

a. Décapage Mécanique

Des grains de silice, de granit broyé ou de grenaille d'acier trempé, sont envoyés à l'aide d'un jet d'air comprimé (0,1 à 0,4 mégapascal) sur la pièce.

L'opération se fait à l'intérieur d'un coffre étanche.

b. Décapage Chimique

Il est réalisé par immersion des pièces dans des acides tel que HCl , H_2SO_4 , notamment on peut réaliser le décapage alcalin, en effet l'addition de gluconate de soude par exemple en solution sodique élimine l'oxyde et les graisses.

c. Décapage Electrolytique.

Dans un bain d'eau et d'acide sulfurique, la pièce à décaper forme l'anode (+) et une plaque de plomb sert de cathode (-)

voir fig. 15

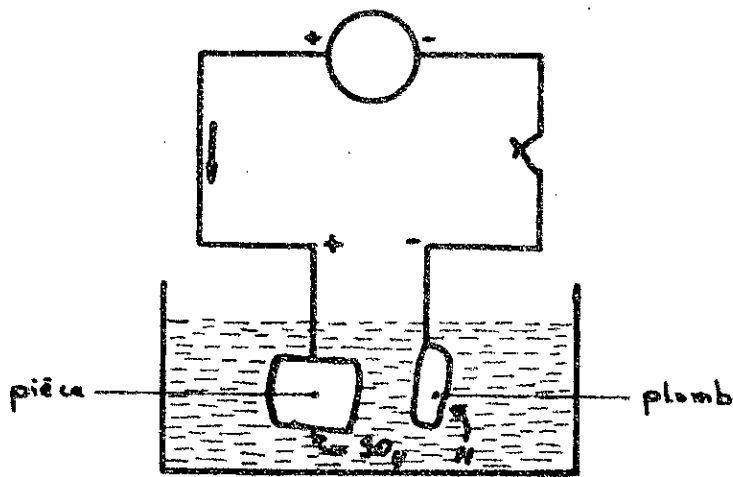


fig.15

d. Rinçage

Les opérations de décapage doivent être suivies d'un ou plusieurs rinçages à l'eau froide.

L'immersion des pièces dans un bain basique destiné à neutraliser toute trace d'acide peut suivre les rinçages à l'eau pure.

III.4. Protection des pièces

Les moyens de protection des pièces sont très variés, dans ce qui suit on donnera les principaux moyens, de protection des pièces, qui sont très utilisés dans l'industrie.

III.4.1. Protection au moyen d'enduits

1°_ les peintures

les peintures sont constituées par :

- Une huile siccative (huile de lin, d'œillette, de soja)
- Un pigment coloré, composé d'oxydes ou de sels métalliques, oxyde de Zinc (blanc), oxyde de fer hydraté (ocre jaune).
- Un fluidifiant, destiné à rendre plus fluide la peinture.
- Un siccatif (mélange d'huile de lin cuite avec des sels de manganèse ou de plomb), destiné à accélérer la résinification de l'huile siccative et le séchage de la peinture.

Avant l'application de la peinture il est indispensable de recouvrir le métal d'une couche de [huile de lin et oxyde de plomb].

2° - les émaux

L'application comprend :

- Une couche de produits peu fusibles : feldspath, quartz de borax.
- La couche d'émail, constituée par du kaolin et de l'oxyde d'étain, de plomb, de titane.
- Ensuite la pièce est portée au four, la Température est de 500°C à 1000°C , la vitrification se produit, l'émail se solidifie et constitue une couche imperméable qui assure une protection très efficace contre l'oxydation et l'attaque par la plupart des acides.

III.4.2. Protection par recouvrement métallique

1. trempage des pièces dans un métal en fusion.

L'opération comporte deux immersions successives dans le bain du métal en fusion.

2. Projection au pistolet d'un métal fondu.

Les principaux métaux ou alliages que l'on peut projeter sont : l'étain, le zinc, le plomb, le cuivre, le bronze, les laitons, l'Aluminium, le cadmium, les ferronickels, etc...

La volatilisation et la projection du métal sont obtenues en utilisant un pistolet à chalumeau oxyacétylénique et à air comprimé. Le métal est introduit dans la majorité des cas sous forme de poudre et rarement sous forme de fil.

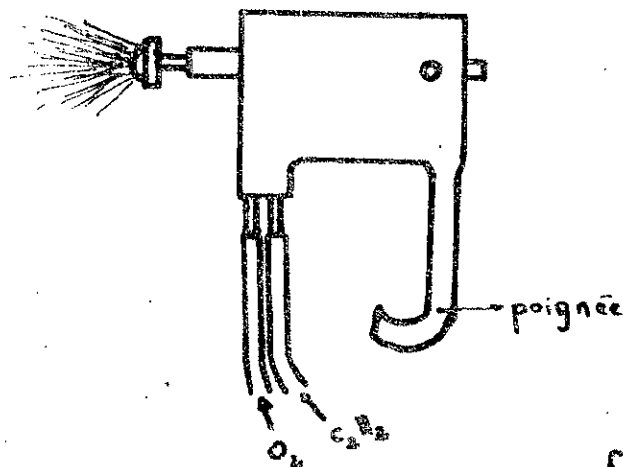


fig.16

3 - Recouvrement métallique obtenu par électrolyse

L'électrolyte est constitué par un sel du métal à déposer en solution dans l'eau, l'anode est constituée aussi par le métal à déposer tandis que la pièce forme la cathode.

Comme on désire un dépôt intérieur, il est indispensable de prévoir une anode pénétrant dans la pièce.

Constitution du bain d'électrolyse.

Les électrolytes industriels contiennent:

- Des sels du métal à déposer.
- Des sels, bases, acides pour augmenter la conductivité du bain
- Des agents d'addition pour améliorer les qualités physiques du dépôt: finesse de cristallisation, ductilité, dureté, absence de porosité et brillance.
- Un produit mouillant, appelé agent antipiquures ou abaisseur de tension superficielle. Il facilite l'évacuation de l'hydrogène au niveau de la cathode et évite ainsi la formation de piqures dans le dépôt.

III A.3 - Protection par modification superficielle de la composition du métal

Cette méthode de protection consiste à créer un

alliage superficielle. Différents procédés sont utilisés, parmi les procédés les plus utilisés on distingue:

a - Cémentation au Zinc.

Ce procédé est appelé shérardisation ou thermonisation. La cémentation au Zinc, qui donne une couleur grise, constitue une excellente protection contre la corrosion.

Les pièces placées dans des caisses métalliques avec un mélange de sable très fin, de corps réducteurs et de poudre de Zinc, sont chauffées à 420° pendant une à deux heures.

b. Cémentation à l'Aluminium.

Ce procédé est appelé calorisation, il constitue une protection efficace pour les pièces en acier qui doivent supporter des températures élevées.

Les pièces sont placées dans des caisses métalliques et entourées d'un mélange de poudre d'Aluminium et de fer. Le traitement s'effectue à 1000 ou 1100° . La couche protectrice peut avoir une profondeur de 1 mm.

III.5 - Choix du procédé

De cette brève étude sur la protection des pièces contre la corrosion, le procédé adopté pour la protection de la tubulure contre la corrosion sera le suivant:

III.5.1 - Polissage

Le polissage électrolytique est favorable pour sa rapidité d'exécution, sa réalisation à froid, ce qui a pour effet de réduire le prix de revient.

III.5.2 - Nettoyage

Le nettoyage de la surface est réalisé par deux opérations distinctes.

a. Dégraissage.

Afin de pouvoir éliminer les corps gras, ainsi que les souillures solides en une seule opération, on prévoit un dégraissage électrolytique à froid.

Deux rinçages à eau froide doivent suivre l'opération de dégraissage électrolytique.

b. Décapage

Un décapage chimique dans un milieu acide serait efficace pour éliminer les oxydes, ainsi que l'élimination des graisses qui peuvent rester à la suite du dégraissage.

Deux rinçages à eau froide sont prévues ainsi qu'une immersion de la pièce dans un bain basique pour éliminer toute trace d'acide.

III.5.3_ Protection de la pièce.

L'émaillage sera retenu pour son efficacité, le beau aspect de la pièce finie, le moindre prix de revient et la disponibilité des fours dans l'atelier.

L'émail est très efficace contre l'attaque de la plupart des produits chimiques.

Chapitre IV OUTILLAGE de la PREMIERE OPERATION

Les conditions que doit satisfaire l'outillage de presse sont :

- Supporter sans rupture ni déformation appréciable les efforts d'emboutissage et de poinçonnage
- Ne doit présenter en service qu'une faible usure compatible avec le nombre de pièces à effectuer.
- Doit pouvoir être monté et démonté facilement.
- Doit être facile à exécuter : du point de vue usinage, traitement thermique et polissage.
- La résultante des efforts transmis par l'outillage à la presse (coulisseau ou piston) doit être autant que possible verticale afin de ne pas causer aux glissières d'usure prématurée.
- Assurer la précision nécessaire.

IV.1. Choix du matériau

IV.1.1. La matrice d'emboutissage

Elle est en fonte Ft 30 qui se caractérise par sa facilité à couler (moulage), à usiner et à polir.

La fonte Ft 30 résiste bien à l'usure et se prête bien au glissement de la tôle sans lubrification.

La matrice d'emboutissage travaille à la pression moyenne à haute température ce qui nécessite l'emploi de la fonte, puisque dans cette dernière il n'y a pas de transformation structurelle sous l'effet de la chaleur.

IV.1.2. L'outil et la matrice de poinçonnage

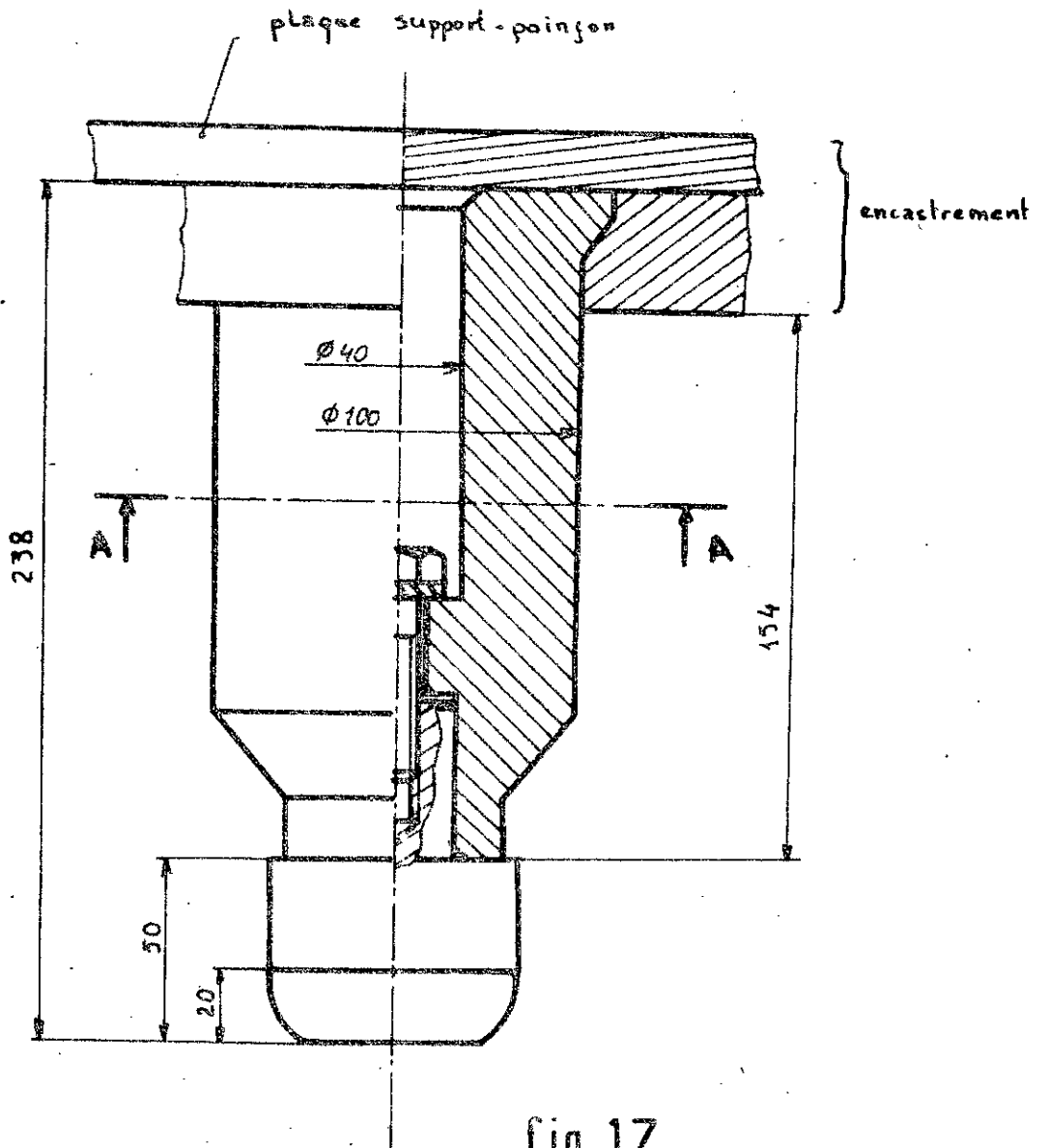
L'opération combinée emboutissage suivie de poinçonnage nécessite un outillage résistant à la fatigue, à l'usure et à la déformation.

On prévoit un outil constitué de deux parties (voir fig 17), la partie active qu'on a appelé outil de travail doit résister à la chaleur. Le matériau constituant l'outil de travail ainsi que la matrice de poinçonnage est un acier fortement allié (travail à chaud) à base de Tungstène (4 + 6%), de chrome (2 + 3%), de Vanadium (0,2 + 0,4%) et de carbone (0,25 + 0,35%).

Désignation normalisée Z 30 WCV 6.3

L'autre partie n'est d'autre qu'un élément de guidage et de fixation.

L'avantage d'avoir un outil en deux parties se résume dans le fait qu'on peut changer la partie active chaque fois qu'il est nécessaire et non changer le poinçon en entier.



IV.2 - Fonctionnement de l'outillage

L'outillage nécessaire pour réaliser la première opération d'emboîtement se compose principalement de : (voir Fig 18)

1. Piston solidaire de la presse.
2. table de la presse.
3. Anneau pour la fixation des colonnes du serre-flan à la table de la presse.
4. Porte poinçon
5. Poinçon d'emboîtement et poinçonnage.
6. Colonnes du serre-flan.
7. Serre-flan
8. pièce (flan)
9. bâti à colonnes.
10. Colonnes de guidage de l'outillage.

En position ouverte le serre-flan se trouve en haut ainsi que le poinçon. L'espace entre la matrice et le poinçon est nécessaire pour le dégagement de la pièce après l'opération (emboîtement - poinçonnage). Cette distance est égale à k avec $k = 172 \text{ mm}$.

Le flan est posé dans le drageoir, sur ce dernier on prévoit un jeu diamétral de 2 mm pour permettre le bon ajustement du flan.

Le serre-flan descend le premier, il est actionné par les colonnes solidaires de la table de la presse (semelle).

La pièce étant maintenue par le serre-flan, le poinçon amorce sa descente, il est actionné par le porte-poinçon qui est fixé au piston de la machine.

Une fois la pièce emboutie et poinçonnée, l'outil (poinçon) remonte, ensuite le serre-flan remonte à son tour.

L'opérateur intervient alors pour dégager les déchets, enlever la pièce et mettre en place un nouveau flan.

IV.3.1 - Course du poinçon

La course du poinçon est fixée à 312 mm.

D'après [7] la course minimale de la presse est :

$$\text{Course} \geq 2 \text{ pièces finies} + 10 \text{ mm}$$

$$\text{Course} \geq 2 \cdot 120 + 10 = 250 \text{ mm.}$$

IV.3.2 - Course du serre-flan

La course du serre-flan est fixée à 184 mm.

On constate que $C_{\text{serre-flan}} > l_2$ ce qui permettra le dégagement de la pièce emboutie-poinçonnée.

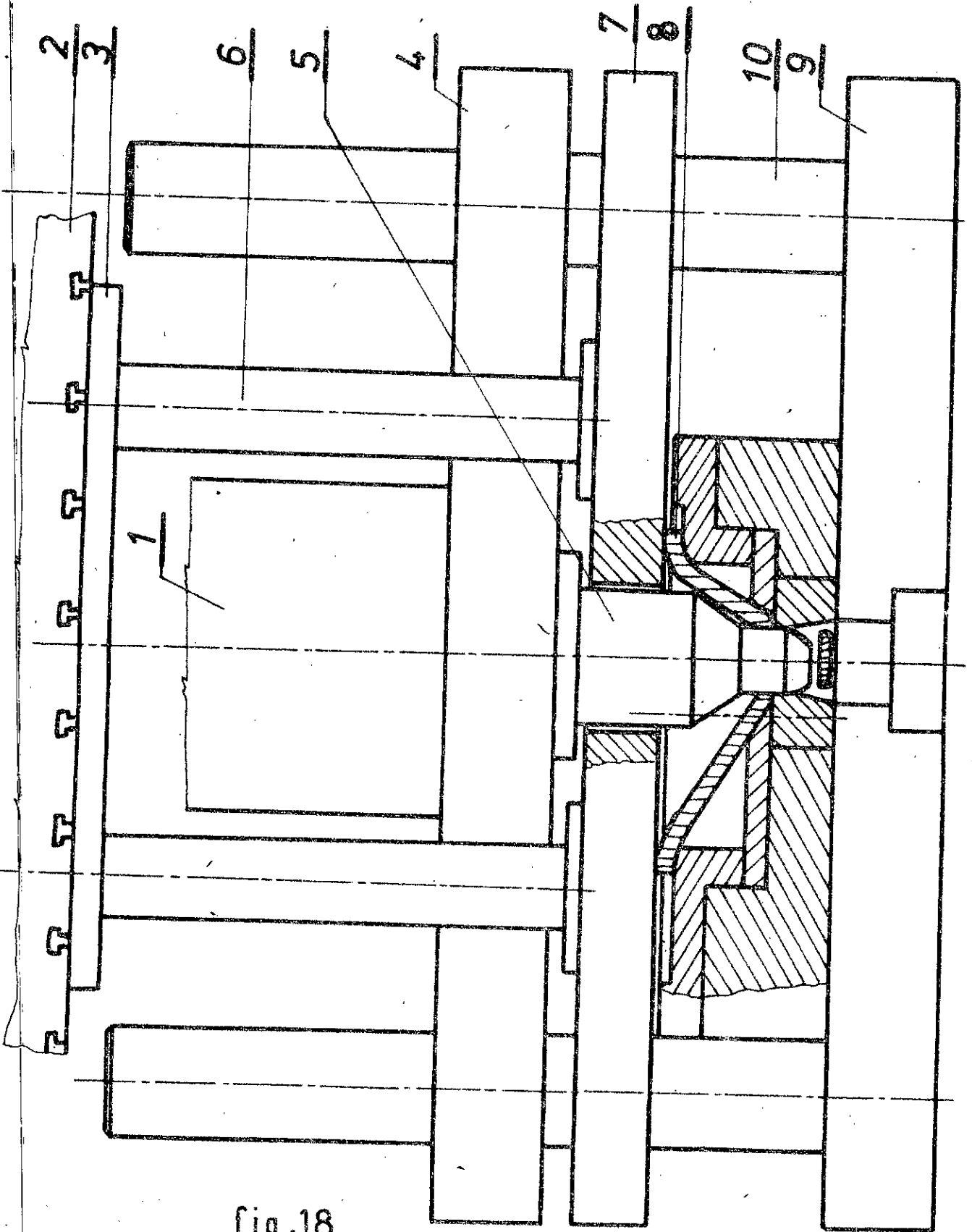


fig. 18

IV.4 - Dimensionnement du drageoir

Sur le drageoir, on prévoit un jeu diamétral de 2 mm pour faciliter la mise en place du flan.

Le travail est réalisé à chaud alors, on doit tenir compte de la dilatation qui se produit sur le flan sous l'effet de l'augmentation de la température.

La propriété de dilatation des matériaux est donnée par la loi $v = v_0 (1 + \lambda \Delta T)$ où :

$$v_0 = 4802929,7 \text{ mm}^3 \quad (\text{§ II.2.2})$$

$$\lambda : \text{coef de dilatation} \quad \lambda = 2,3 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta T = t - t_0 \quad \text{avec} \quad t = 800^\circ\text{C} \quad t_0 = 20^\circ\text{C}$$

A.N

$$v = 4802929,7 (1 + 2,3 \cdot 10^{-5} (800 - 20)) = 4889094,3 \text{ mm}^3$$

Le diamètre du flan à 800°C sera tout en supposant que l'épaisseur reste constante, c'est à dire la dilatation se fera sur le diamètre.

$$v = \frac{\pi D'^2}{4} \cdot e \quad \Rightarrow \quad D' = \sqrt{\frac{4 \cdot v}{\pi \cdot e}}$$

A.N

$$D' = \sqrt{\frac{4 \times 4889094,3}{\pi \cdot 20}} = 552,807 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow D' = 558 \text{ mm}$$

⇒ le diamètre du drageoir sera $D'' = D' + 2 = 560 \text{ mm}$

Calcul de l'erreur.

$$\Delta D = \frac{D' - D}{D'} \cdot 100 = \frac{558 - 553}{558} \cdot 100 = 0,9\%$$

L'erreur est inférieure à 1% d'où on peut négliger dans les calculs l'effet de la dilatation sur les dimensions de la pièce.

IV.5_Vérification du poinçon

IV.5.1_Vérification du poinçon à la compression

Le poinçon se trouve encastré à sa partie supérieure, il est composé d'un ensemble : outil de travail et corps.

La section dangereuse est située dans le corps (section A-A).

Diamètre extérieur du poinçon est $d_1 = 100 \text{ mm}$

Diamètre intérieur du poinçon est $d_2 = 40 \text{ mm}$.

La contrainte de compression due à la force d'emboutissage est (force d'emboutissage $\gg \gg$ force de poinçonnage)

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)} = \frac{4 \times 3354838,5}{\pi \cdot (100^2 - 40^2)} = 508,513 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Cette contrainte doit être inférieure à la résistance pratique F_{adm} du matériau constituant le poinçon.

On choisit alors un acier allié trempé et revenu dont la limite d'élasticité $R_{eH} = 950 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

La résistance pratique de cet acier à la compression est :

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{n} \quad \text{où } n : \text{coef. de sécurité.}$$

$$n > 1 \quad \text{pratiquement } n \in 1,5 \dots 2$$

$$\text{Soit } n = 1,7$$

$$\sigma_{adm} = \frac{950}{1,7} = 558,824 \frac{N}{mm^2}$$

σ_c est inférieure à σ_{adm} d'où la construction est acceptable.

* Constitution chimique de l'acier

$$C = 0,3 \div 0,37\% \quad Cr = 1,6 \dots 2\%$$

$$Mn = 0,25 \div 0,45\% \quad Ni = 3,7 \dots 4,2\%$$

Désignation selon la norme AFNOR.

35 NCD 16.8

IV.5.2 - Vérification du poinçon au flambage

Le flambage est la déformation finie qui apparaît et se poursuit spontanément dans le système avant que la limite de rupture du solide ne soit atteinte.

EULER a donné une formule pour vérifier les barres longues au flambage. Cette formule est basée sur la charge critique N_c

$$N_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_0^2} \quad \text{en Newtons}$$



où :

E : module d'élasticité longitudinal.

J : moment d'inertie de la section par rapport à un axe passant par son centre de gravité.

l_0 : longueur libre de flambage.

$l_0 \neq$ de la longueur réelle de la barre.

HODGKINSON et LAMARLE constatèrent l'existence d'une limite d'élanement λ_c au dessus de laquelle la formule d'Euler qui est basée sur la charge critique est applicable.

* Elancement du poinçon

La longueur du poinçon (hors encastrement) est de $l = 204 \text{ mm}$.

D'après le mode de travail, le poinçon se trouve :
lors de l'emboutissage encastéré et l'autre extrémité libre.
lors du poinçonnage encastéré et guidé.

A. Extrémité Libre.

Dans cette partie $l_0 = 2l$.

- Calcul du rayon de giration ρ

$$\rho = \sqrt{\frac{J_{ox}}{s}}$$

avec

$$J_{ox} = \frac{\pi (d_1^4 - d_2^4)}{64} ; \quad s = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\pi (d_1^4 - d_2^4) \times 4}{64 \cdot \pi (d_1^2 - d_2^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$

A.N

$$\beta = \frac{1}{4} \sqrt{100^2 + 40^2} = 26,926$$

$$\lambda = \frac{L_0}{\beta} = \frac{2 \times 204}{26,926} = 15,153$$

Or la formule d'EULER est applicable dans le cas de l'acier seulement si $\lambda > \lambda_c$

pour l'acier $\lambda_c = 110$

Ce qui n'est pas le cas pour nous.

RANKINE a proposé une formule applicable dans le cas où $\lambda < \lambda_c$; La formule de RANKINE est basée sur la contrainte pratique σ_{adm}

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{adm}}{1 + \beta \left(\frac{L_0}{\beta}\right)^2} \quad \frac{L_0}{\beta} = \lambda$$

où

β : est un coefficient qui ne dépend que de la nature du matériau considéré.

$\beta = 0,0001$ pour le fer et l'acier.

A : section

F : force

A.N

$$\frac{F}{A} \cdot (1 + \beta \lambda^2) \leq \sigma_{adm}$$

$$\frac{3.354.838,5}{\frac{\pi}{4} (100^2 - 40^2)} \cdot (1 + 1 \cdot 10^{-4} (15,153)^2) = 520,19 \frac{N}{mm^2}$$

$520,19 \frac{N}{mm^2} < \sigma_{adm} = 558,824 \frac{N}{mm^2}$
 d'où le poinçon est stable au flambage.

B. Extrémité guidée

Dans cette partie $l_0 = 2l$

• l'élanement λ

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{97,204}{26,926} = 5,303.$$

$\lambda < 110$; alors on applique la formule de Rankine

$$\frac{F_p}{A} (1 + \beta \lambda^2) \leq \sigma_{adm}$$

où F_p : force de poinçonnage.

A.N

$$\frac{4,75 \cdot 10^5}{\frac{\pi}{4} (100^2 - 40^2)} \cdot (1 + 1 \cdot 10^{-4} (5,303)^2) = 72,20 \frac{N}{mm^2}$$

$$72,2 \frac{N}{mm^2} < \sigma_{adm} = 558,824 \frac{N}{mm^2}$$

de A et B on conclue que le poinçon est largement vérifié au flambage.

IV.6 - Vérification de la plaque support-poinçon

La plaque support-poinçon est circulaire mais la section qui reçoit la charge est annulaire (même dimension que le poinçon)

- Diamètre extérieur de la section travaillante.

$$d_1 = 120 \text{ mm}$$

- Diamètre intérieur de la section travaillante

$$d_2 = 48 \text{ mm}$$

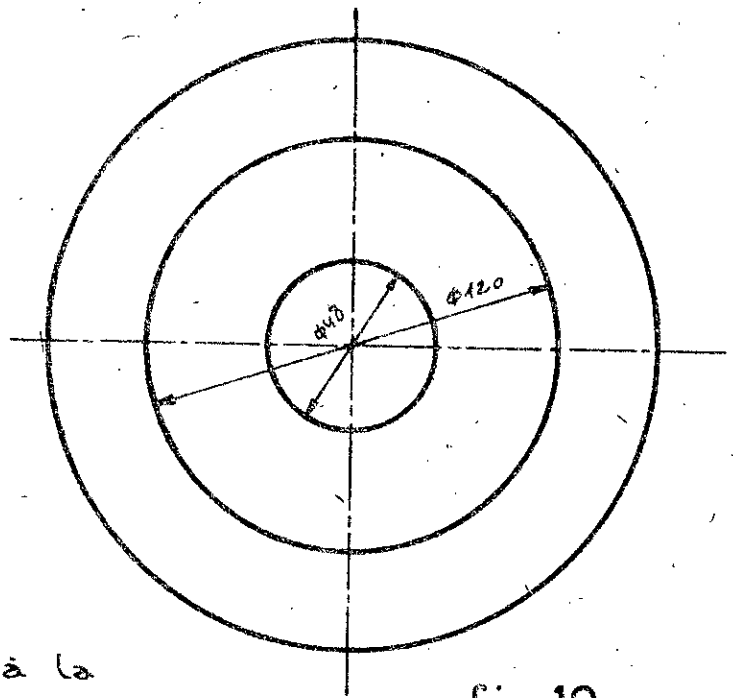


fig.19

La plaque travaille à la compression d'air $\sigma_c = \frac{F}{A}$ (FLA)

A.N

$$\sigma_c = \frac{3354838,5}{\frac{\pi}{4} (120^2 - 48^2)} = 353,134 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L'acier constituant la plaque est un acier faiblement allié trempé et revenu dont la limite d'élasticité $R_{eH} = 700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

La contrainte admissible sera

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{n} = \frac{R_{eH}}{1,7} = \frac{700}{1,7} = 411,765 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_c < \sigma_{adm} \Rightarrow \text{Construction acceptable}$$

Constitution chimique de l'Acier

$$C = 0,46 \dots 0,55 \% ; Cr = 0,8 \dots 1,1 \% ; V = 0,1 \dots 0,2 \%$$

Désignation selon AFNOR

55 CV 4.2

IV.7. Vérification des colonnes du serre-flan

Les colonnes sont fabriquées en Acier XC 48 f trempé et revenu, sa limite élastique est $R_{eH} = 650 \frac{N}{mm^2}$

Un traitement superficiel est prévu pour le corps de la colonne.

IV.7.1. Contrôle du diamètre de la colonne à la compression

Le serre-flan est actionné par 4 colonnes. La force totale du serre-flan est $F_m = 166718,4 \text{ N}$

La force transmise par une colonne est $\frac{F_m}{4}$

La contrainte admissible du matériau σ_{adm}

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{n} = \frac{650}{2} = 325 \frac{N}{mm^2}$$

La contrainte de compression σ_c

$$\sigma_c = \frac{F_m/4}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{F_m}{\pi D^2} = \frac{166718,4}{\pi \cdot (60)^2} = 14,741 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_c < \sigma_{adm} \Rightarrow \text{Construction acceptable}$$

IV.7.2. Contrôle de la colonne au flambage

La colonne se trouve encastree à ses deux extrémités.

La longueur réelle de la colonne est $l = 316 \text{ mm} \Rightarrow$

la longueur libre au flambage est $l_0 = \frac{l}{2}$

* Elancement de la colonne λ

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho}$$

rayon de giration ρ

$$\rho = \sqrt{\frac{I_{\text{ax}}}{S}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^4 / 64}{\pi D^2 / 4}} = \frac{D^2}{16} = \frac{D}{4}$$

A.N

$$\rho = \frac{60}{4} = 15 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{l}{2\rho} = \frac{316}{2 \times 15} = 10,53$$

$\lambda < 110$; On peut pas appliquer la formule d'Euler, alors on applique la formule de RANKINE.

$$\frac{F_m / 4}{A} (1 + \beta \lambda^2) \leq \sigma_{\text{adm}}$$

$$\frac{F_m / 4}{A} (1 + \beta \lambda^2) = \frac{F_m}{4 \cdot \frac{\pi D^2}{4}} (1 + \beta \lambda^2)$$

A.N

$$\frac{166\,718,4}{\pi \cdot 60^2} (1 + 1 \cdot 10^{-4} (10,53)^2) \approx 15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{\text{adm}}$$

On conclut que la colonne est insuffisamment vérifiée au flambage et à la compression.

IV.7.3 Vérification de la contrainte de compression au contact de la colonne et serre-flan

Le pied de la colonne se compose d'une calotte.

sphérique de rayon $r = 144 \text{ mm}$. La liaison colonne serre-flan est réalisée par bride

Le matériau constituant le serre-flan est un acier XC 48 f trempé à 825°C et revenu à 550°C , dont la limite

élastique $R_{eH} = 650 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ [8]

$$\Rightarrow \sigma_{\text{adm}} = \frac{R_{eH}}{1,7} = 382,353 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

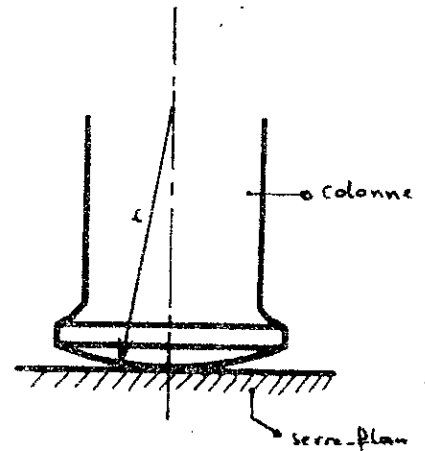


fig.20

La contrainte maximale de compression est donnée par la formule de Hertz. [9]

$$\sigma_{\text{max}} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{P E^2}{r^2}}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{F_m/4 \cdot E^2}{r^2}} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

A.N

$$\sigma_{\text{max}} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{166\,718,4 \times (2,1 \cdot 10^5)^2}{4 \cdot (144)^2}} = 1738,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \sigma_{\text{adm}}$$

\Rightarrow Cette solution de liaison est inacceptable.

Alors, on prévoit une plaque en Acier XC 48 f dont $R_{eH} = 650 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ avec un logement sphérique pour le pied de la colonne.

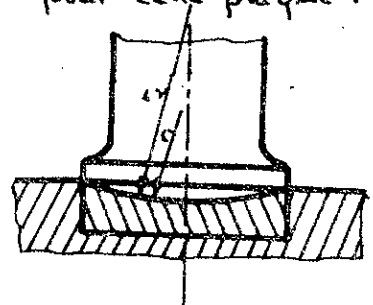
Un logement est prévu sur le serre-flan pour cette plaque.

Le rayon r_1 est maintenu $r_1 = 144 \text{ mm}$

Le rayon du logement sphérique est

$r_2 = 160 \text{ mm}$

fig.21



$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{n} = \frac{650}{1,7} = 382,353 \text{ N/mm}^2$$

La contrainte maximale de compression est :

$$\sigma_{max} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{PE^2}{r^2}}$$

où

$$P = \frac{F'_{ms}}{4}$$

r est tel que $\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}$

$$\Rightarrow \sigma_{max} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{F'_{ms}}{4} E^2 \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}\right)^2}$$

A.N

$$\sigma_{max} = 0,39 \sqrt[3]{\frac{166718,4}{4} (2,1 \cdot 10^5)^2 \left(\frac{160 - 144}{160 \cdot 144}\right)^2}$$

$$\sigma_{max} = 374,64 \frac{N}{mm^2} < \sigma_{adm}$$

d'où construction acceptable.

IV.8 - Vérification du serre-flan

Le serre-flan exerce sa force sur la pièce. Le point où s'applique la force du serre-flan se trouve excentré par rapport à l'axe principal de la machine d'une distance $a = 102 \text{ mm}$. Par conséquent on doit vérifier le serre-flan à la flexion.

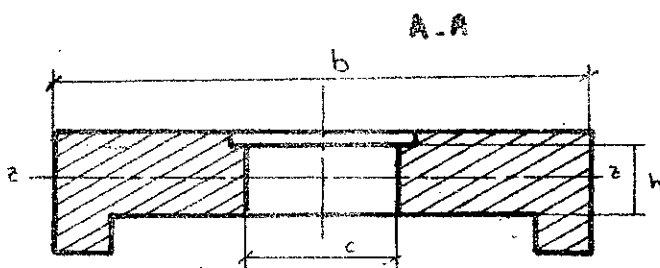
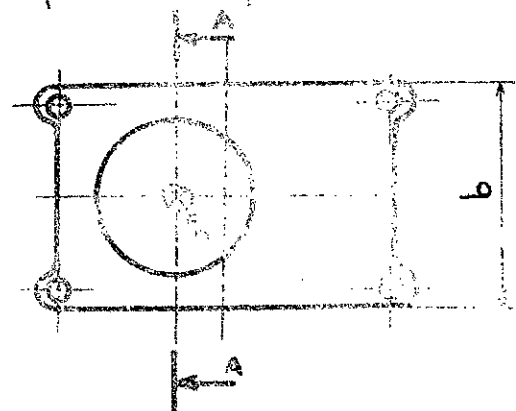


fig.22



h : hauteur minimale de la section. $h = 34 \text{ mm}$

$$c = 112 \text{ mm}$$

$$b = 852 \text{ mm}$$

La contrainte de flexion σ_f

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} = \frac{F_m \times a}{W}$$

où :

W : moment résistant à la flexion de la section.

$$W = \frac{J_{zz}}{r} = \frac{bh^3/12 - ch^3/12}{h/2} = \frac{h^2}{6} (b-c)$$

A.N

$$W = \frac{(34)^2 \times (852 - 112)}{6} = 142573,33 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_f = \frac{166718,4 \times 102}{142573,33} = 119,274 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{adm}$$

avec

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{2} = \frac{650}{2} = 325 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IV.9 - Détermination de la pression de serrage des colonnes principales et des bagues en bronze

IV.9.1 - Les colonnes principales

Les colonnes de guidage sont montées par force (à la presse) dans le bloc ; Leur démontage est impossible.

A partir des formules de Lamé, la pression de serrage unitaire est donnée par la relation suivante (d'après cours

CM2 M^e TROITSKI)

$$P = \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}$$

avec :

δ : serrage en μm

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d_2^2 - d_1^2} \cdot r_1$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} \cdot r_2$$

où :

$r_1 = 0,3$ pour l'acier

$r_2 = 0,25$ pour la fonte et le bronze.

$E_1 = 2,1 \cdot 10^5$ pour l'acier.

$E_2 = \begin{cases} 1 \cdot 10^5 & \text{pour la fonte} \\ 1,06 \cdot 10^5 & \text{pour le bronze.} \end{cases}$

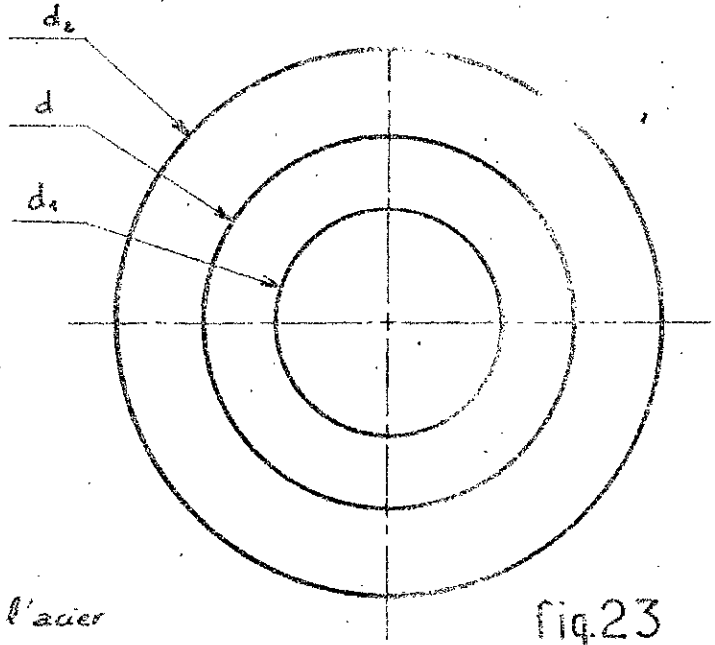


fig.23

L'Alésage : $\phi 88 \text{ H7} = \phi 88 \begin{smallmatrix} +35 \\ 0 \end{smallmatrix}$

bloc en fonte

La colonne : $\phi 88 \text{ p6} = \phi 88 \begin{smallmatrix} +59 \\ +37 \end{smallmatrix}$

colonne en acier.

le serrage δ

Serrage min = $37 - 35 = 2 \mu\text{m}$

Serrage max = $59 - 0 = 59 \mu\text{m}$

* La pression unitaire avec δ_{min}

$d_1 = 0$

$d = 88 \text{ mm}$

$d_2 = 200 \text{ mm}$

$$P_{\text{min}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{88 \left(\frac{1 - 0,3}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{(200^2 + 88^2) / (200^2 - 88^2)}{1 \cdot 10^5} + 0,25 \right)} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

L'effort d'arrachement pour δ_{min} sera :

$$F_{min} = P_{min} \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot f$$

où $d = 88 \text{ mm}$

h : hauteur d'embranchement $h = 80 \text{ mm}$

f : coefficient de frottement $f = 0,08$ montage à la presse.

A.N

$$F_{min} = 1,1 \cdot \pi \cdot 88 \cdot 80 \cdot 0,08 = 1948,05 \text{ N}$$

* La pression unitaire avec δ_{max}

A.N

$$P_{max} = \frac{59 \cdot 10^{-3}}{88 \left(\frac{1 - 0,3}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{(200^2 + 88^2) / (200^2 - 88^2) + 0,25}{1 \cdot 10^5} \right)} = 32,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L'effort d'arrachement pour δ_{max} sera :

$$F_{max} = P_{max} \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot f$$

A.N

$$F_{max} = 32,49 \cdot \pi \cdot 88 \cdot 80 \cdot 0,08 = 57486,028 \text{ N}$$

Les colonnes de guidage ne sont soumises à aucun effort alors le serrage calculé est suffisant.

IV.9.2 - Les bagues

Les bagues en bronze sont montées à la presse sur le serre-plan et le porte-poinçon. Les bagues sont détériorées lors de leur démontage pour un éventuel changement.

L'alésage $\phi 126 \text{ H7} = \phi 126 \begin{matrix} +40 \\ 0 \end{matrix}$

serre-plan
porte-poinçon } en acier

La bague $\phi 126 p6 = \phi 126 \begin{smallmatrix} +68 \\ +43 \end{smallmatrix}$ bague en bronze.

Le serrage δ

$$\delta_{\min} = 43 - 40 = 3 \mu\text{m}$$

$$\delta_{\max} = 68 - 0 = 68 \mu\text{m}$$

* La pression unitaire avec δ_{\min}

$$d_1 = 80 \text{ mm} \quad d = 126 \text{ mm} \quad d_2 = 200 \text{ mm}$$

$$P_{\min} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{126 \cdot \left(\frac{\frac{126^2 + 80^2}{126^2 - 80^2} - 0,3}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{\frac{200^2 + 126^2}{200^2 - 126^2} + 0,25}{1,06 \cdot 10^5} \right)} = 0,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L'effort d'arrachement pour δ_{\min}

$$F_{\min} = P_{\min} \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot f$$

- Pour le perre-flan. $h = 60 \text{ mm}$

$$F_{\min} = 0,7 \cdot \pi \cdot 126 \cdot 60 \cdot 0,08 = 1330,025 \text{ N}$$

- Pour le porte-pignon. $h = 80 \text{ mm}$

$$F_{\min} = 0,7 \cdot \pi \cdot 126 \cdot 80 \cdot 0,08 = 1773,37 \text{ N}$$

* La pression unitaire avec δ_{\max}

$$P_{\max} = \frac{68 \cdot 10^{-3}}{126 \cdot \left(\frac{\frac{126^2 + 80^2}{126^2 - 80^2} - 0,3}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{\frac{200^2 + 126^2}{200^2 - 126^2} + 0,25}{1,06 \cdot 10^5} \right)} = 15,885 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L'effort d'arrachement pour δ_{max}

$$F_{max} = P_{max} \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot f$$

Pour le serre-plan

$$F_{max} = 15,885 \cdot \pi \cdot 426 \cdot 60 \cdot 0,08 = 30182,06 \text{ N}$$

Pour le porte-poinçon

$$F_{max} = 15,885 \cdot \pi \cdot 426 \cdot 80 \cdot 0,08 = 40242,75 \text{ N}$$

Chapitre V OUTILLAGE de la DEUXIEME OPERATION

La deuxième opération de déformation donne à la tubulure la forme finale. L'outillage se compose essentiellement de :

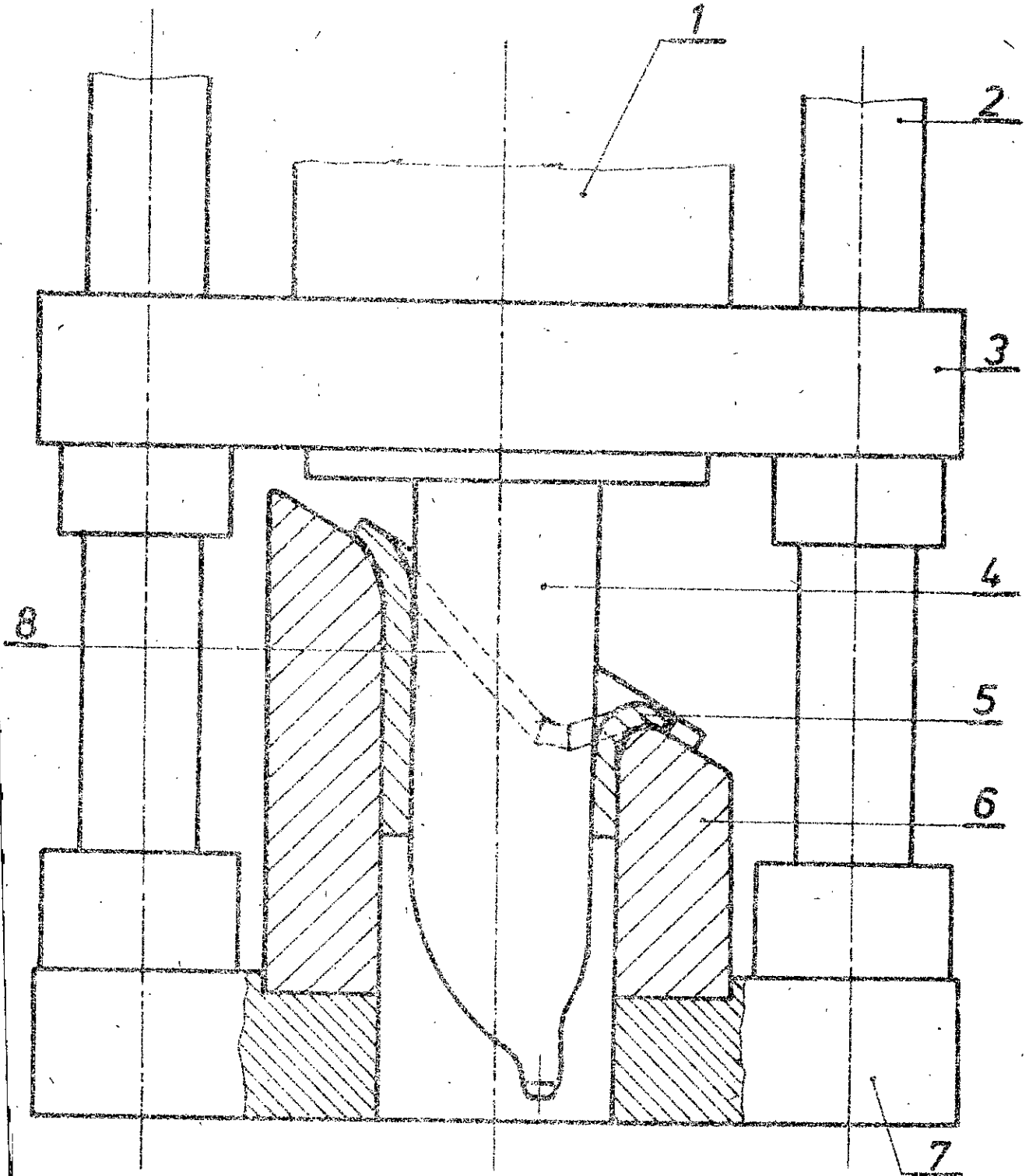
- 1 - Piston de la machine
- 2 - Colonnes de guidage
- 3 - Porte - poinçon.
- 4 - Poinçon
- 5 - Pièce.
- 6 - Matrice
- 7 - Bloc
- 8 - Pièce initiale.

V.1 - Fonctionnement de l'outillage

L'opérateur met en place la pièce (5) arrivant du four. Le poinçon (4) fixé sur le porte poinçon (3) amorce sa course de travail. Le porte poinçon est guidé par les colonnes (2) qui sont encastrées dans le bâti (7). Arrivé à la fin de course le poinçon remonte, la pièce (5) est évacuée et une nouvelle pièce est mise en place.

V.2 - Course du poinçon

La course du poinçon est fixée à 844 mm, pour permettre le dégagement de la pièce à la fin de l'opération.



V.3. Dimensionnement de la matrice

La matrice correspondante à la réalisation de la deuxième opération qui n'est d'autre que le passage du diamètre du feu de $\varnothing 70 \text{ mm}$ à $\varnothing 300 \text{ mm}$ et l'augmentation par conséquent de la hauteur de la pièce, doit supporter un effort transversal assez important de l'ordre de $1,52 \cdot 10^6 \text{ N}$.

La matrice est fabriquée en fonte Fc 30.

Vérification au cisaillement.

$$\frac{T}{A} \leq R_{ps}$$

où : T, F_s effort tranchant

A : section

R_{ps} : Résistance pratique

au cisaillement de la fonte

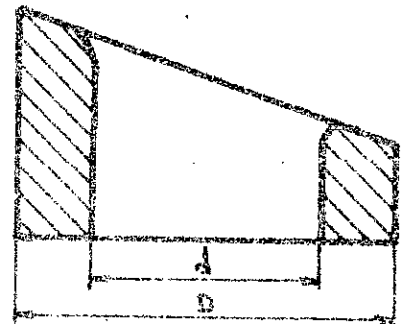


fig.25

La fonte est un matériau à structure granuleuse, ce qui fait que la résistance pratique au cisaillement est sensiblement égale à la résistance pratique à la traction.

Pour la fonte Fc 30 $R_m = 300 \text{ N/mm}^2$, où R_m est la résistance à la rupture par traction.

D'après [9] il est conseillé de prendre R_{ps} la résistance pratique au cisaillement de 10 à 20 N/mm^2 .

le diamètre extérieur D de la matrice sera

$$\frac{F_h}{A} \leq R_{pg} \Rightarrow \frac{F_h}{\pi \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right)} \leq R_{pg}$$

$$\Rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 F_h}{R_{pg} \cdot \pi} + d^2}$$

A.N

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \times 3,52 \cdot 10^6}{10 \cdot \pi} + 340^2} = 556 \text{ mm}$$

d'où le diamètre adopté est $D = 600 \text{ mm}$

V.4 - Vérification du diamètre de la colonne

Le cas défavorable se présente lorsque la force horizontale s'exerce sur les colonnes par conséquent on doit vérifier la colonne au cisaillement.

$$\frac{F_h/4}{A} \leq R_{pg}$$

où :

$\frac{F_h}{4}$: force horizontale s'exerçant sur une colonne.

A : Section de cisaillement.

R_{pg} : Résistance pratique au cisaillement.

$$R_{pg} = \frac{F_{adm}}{2} \quad \text{pour les métaux fibreux (acier) [9]}$$

Le matériau constituant la colonne est un acier fortement allié 2200 C12 dont la limite d'élasticité $R_{ek} = 1000 \frac{N}{mm^2}$

$$F_{adm} = \frac{R_{ek}}{n} \quad \text{avec} \quad n = 2$$

$$\Rightarrow R_{pg} = \frac{R_{ek}}{4} = 250 \frac{N}{mm^2}$$

$$A.N \quad \frac{F_{h14}}{A} = \frac{F_n}{A \cdot \frac{\pi D^2}{4}} = \frac{F_n}{\pi D^2} = \frac{1,52 \cdot 10^6}{\pi \cdot 10^3} = 75,6 \text{ N/mm}^2$$

$$75,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < R_{p0,2} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

d'où la construction est acceptable.

V.5. Vérification de la plaque support-poinçon

La plaque support-poinçon est circulaire, elle travaille à la compression. Cette plaque est constituée d'un acier XC35 trempé et revenu dont la limite d'élasticité $R_{eH} = 320 \text{ MPa}$ ($1 \text{ MPa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{mm}^2}$)

$$\frac{F_v}{A} \leq \sigma_{adm} \quad \text{ou}$$

F_v : force verticale.

A : section annulaire qui travaille à la compression

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

D : Diamètre extérieur

d : " intérieur.

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{n} = R_{eH} / 2 = 160 \text{ N/mm}^2$$

A.N

$$\frac{F_v}{A} = \frac{3,581 \cdot 10^6}{\frac{\pi}{4} (332^2 - 192^2)} = 62,152 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$62,152 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{adm} = 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

d'où la construction est acceptable.

Estimation de la production théorique

On se fixe une vitesse de travail de 3 mm/s, compatible avec la vitesse de déformation du matériau et une vitesse de déplacement à vide de 6 mm/s

Première machine.

- temps de mise en place et de dégagement de la pièce = 60 s
- temps de descente et remontée du ponce-flan = 61,34 s
- temps de descente du poinçon à vide = 16 s
- temps de travail du poinçon = 51,33 s
- temps de remontée du poinçon = 41,67 s

Temps total = 230,31 s \approx 15,6 pièce/heure

Deuxième machine.

- temps de mise en place et dégagement de la pièce = 60 s
- temps de descente à vide du poinçon = 102,33 s
- temps de travail = 75,67 s
- temps de remontée = 140,67 s

Temps total = 379,67 s/pièce \approx 3,5 pièce/heure

CONCLUSION

En achevant cette étude sur la déformation plastique dont le but a été de déterminer la gamme de fabrication de la tubulure ainsi que la conception de l'outillage nécessaire à sa réalisation, il est opportun de dégager les avantages spécifiques de l'emboutissage.

L'emboutissage et en général la déformation plastique possède des avantages parmi ceux-ci on peut énumérer:

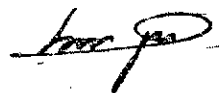
- Haute productivité. L'outillage d'exécution une fois réalisé et mis au point, il suffit d'une main d'œuvre de qualité ordinaire pour assurer le fonctionnement et l'alimentation des presses, celles-ci peuvent être pourvues de dispositifs d'alimentation automatique ou semi-automatique.
- L'interchangeabilité des pièces.
- Sécurité d'emploi des pièces fabriquées par déformation. En raison des contraintes imposées à la tôle, elle devient un métal corroyé donc homogène.
- Présentation agréable. La clientèle est sensible à l'aspect lisse et agréable à l'œil des constructions embouties et leur excellent état de surface.

Avant de terminer, je souhaite que d'autres étudiants reprendront ce travail et se penchent sur l'étude d'automatisation de la gamme de fabrication de la pièce et même essayer d'apporter des améliorations si possible.

Je souhaite aussi que cette thèse viendra en aide à tous ceux qui se penchent et s'intéressent au domaine de la déformation plastique des métaux à chaud.

Enfin je termine cette étude en réitérant mes remerciements à M^r ELEÖD Andreas. Promoteur que j'ai eu l'honneur et le plaisir de côtoyer durant la période du projet et lui exprimer mes sincères remerciements pour tout ce dont j'ai pu par son aide apprendre et approfondir mes connaissances sur la déformation plastique des métaux.

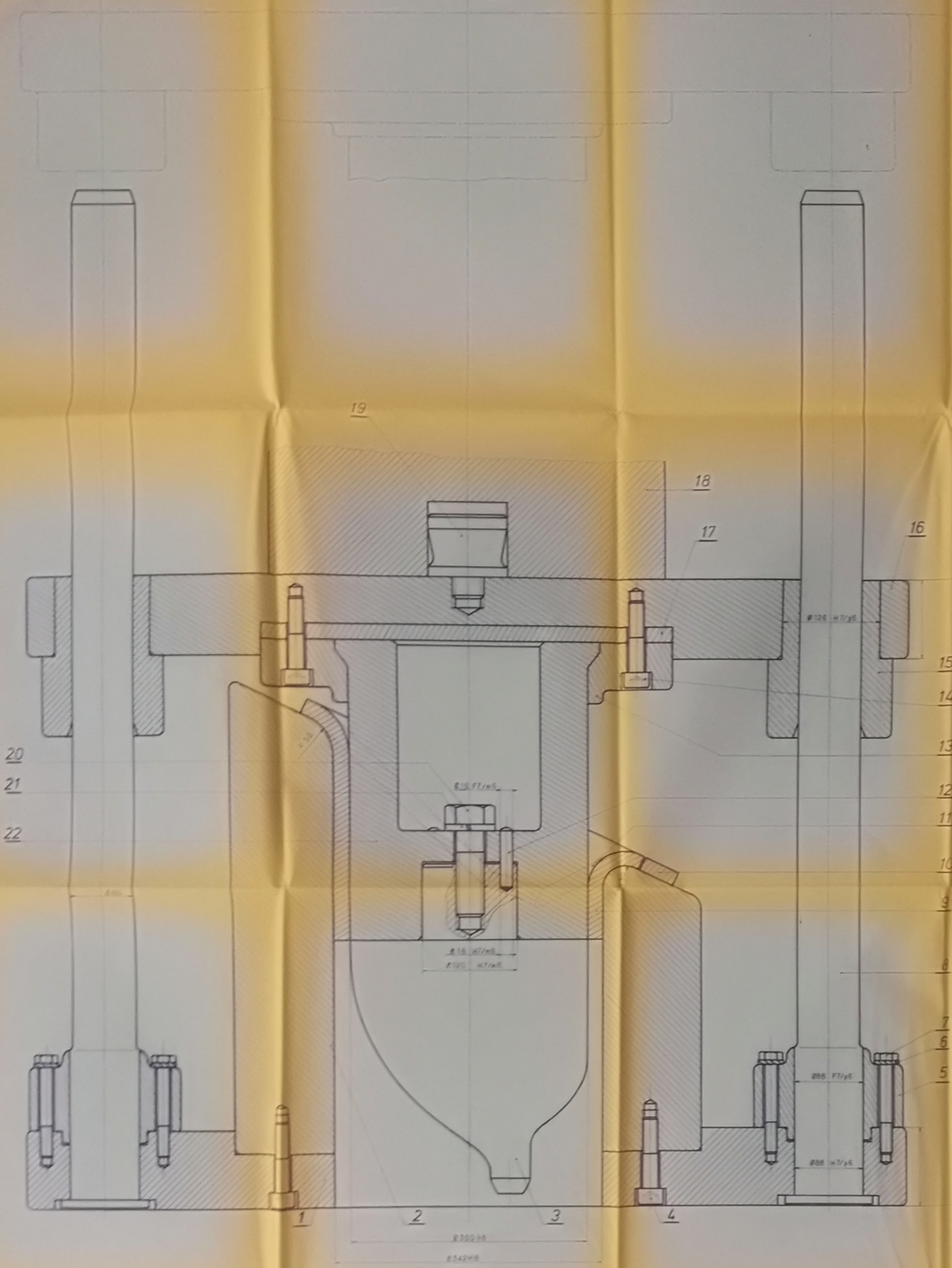
Mohammed LITIM



BIBLIOGRAPHIE

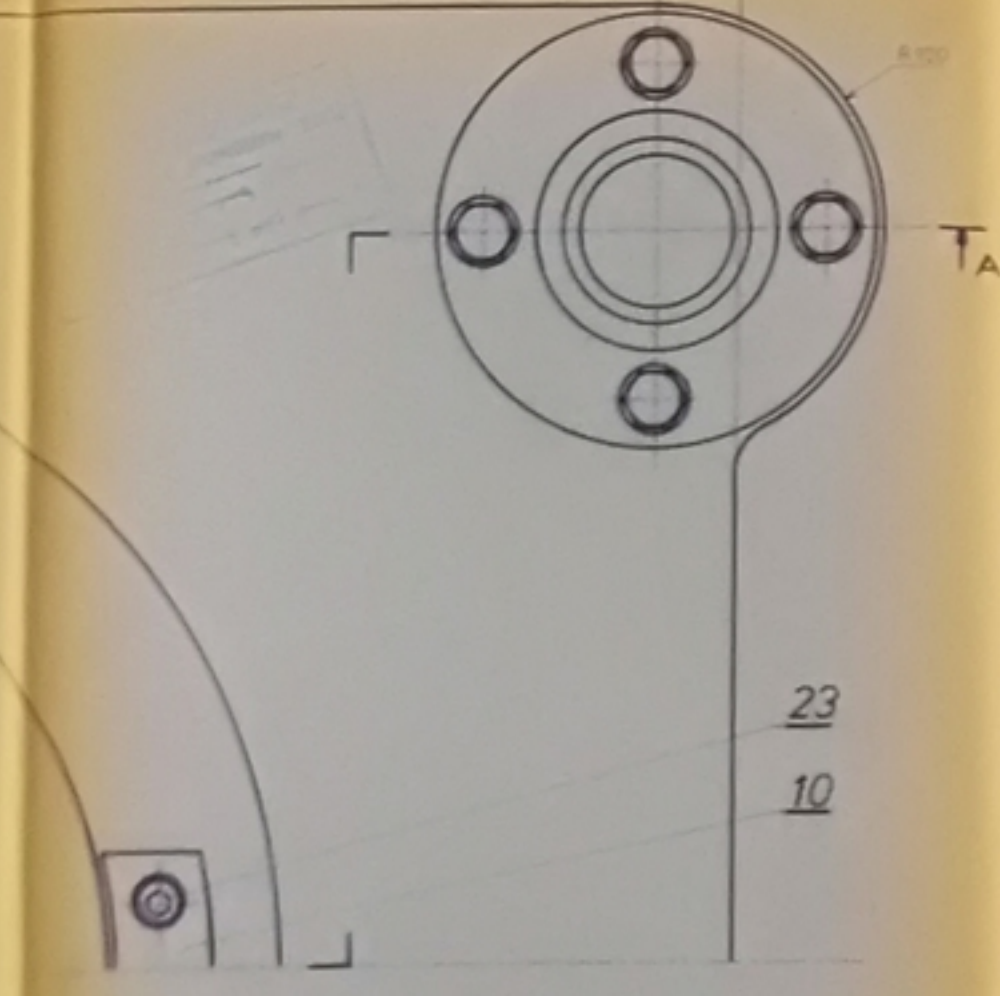
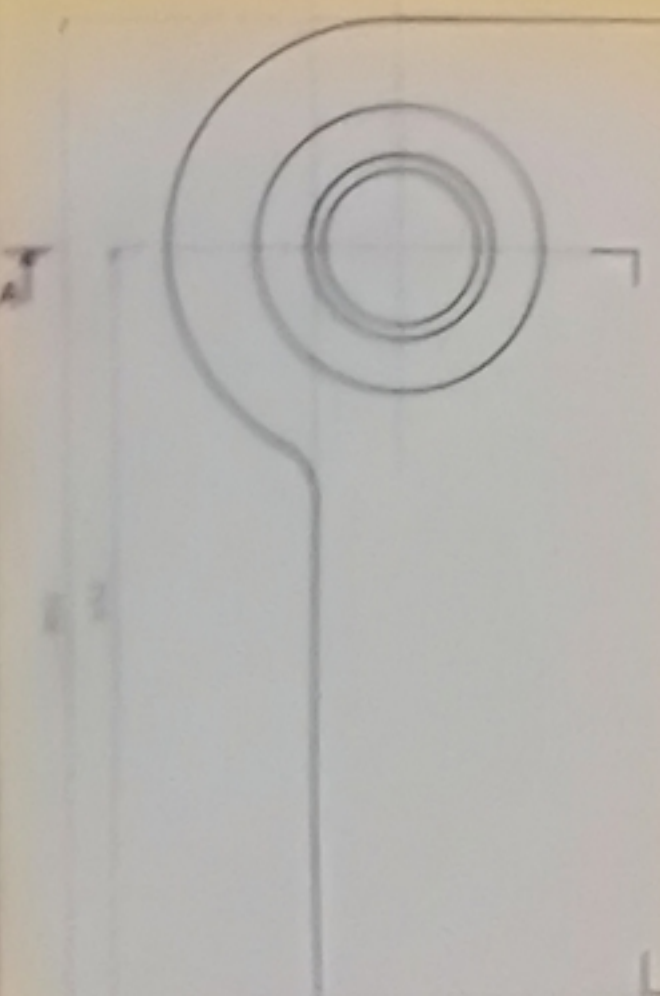
- 1 - Fémek Képlékeny Alkötése
Dr. GILLEMOT L. , Dr. ZLAJA Gy Budapest 1980
- 2 - Technologie Professionnelle Générale pour Les Mécaniciens
Tome 1 et 2 A. CAMPA Foucher Paris 1971
- 3 - Découpage , Cambrage , Emboutissage
DUPAS . R Dunod Paris 1971
- 4 - Osznovü teorüi liz ta vüh stampovki . Ma sinosztroenie
POPOV . E.A Leningrad 1979
- 5 - La machine outil tome VII
A.R. METRAL Dunod Paris 1959
- 6 - Façonnage des métaux par déformation Plastique.
SIEBEL Paris 1936
- 7 - Déformation Plastique des tôles. Aide Mémoire Technor.
R. QUATREMER Delagrave 1962
- 8 - Encyclopédie des sciences industrielles
OUILLET 1974
- 9 - Résistance des Matériaux.
R. BASQUIN et G. LEMASSON Delagrave 1977
- 10 - Flambage et Stabilité
ROBERT L'HERMITE Eyrolles 1974
- 11 - Guide du dessinateur industriel
A. CHEVALIER Hachette 1969
- 12 - Comment vaincre la corrosion métallique
ORLOWSKI . P Eyrolles 1973
- 13 - Protection contre la corrosion.
Louis . LACOURCELLE Presse Universitaire
de France 1976

A.A



20
21
22

16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5

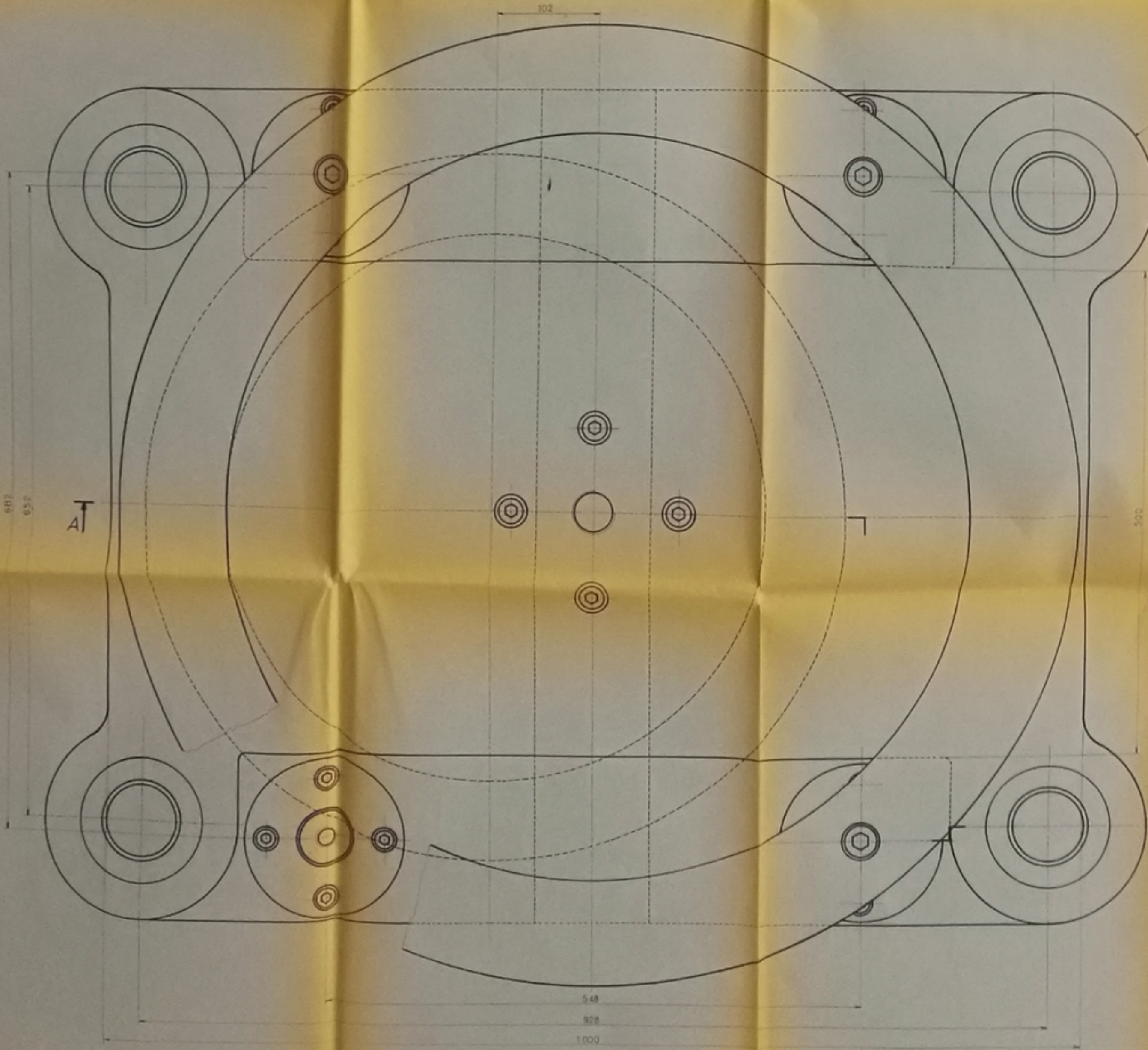
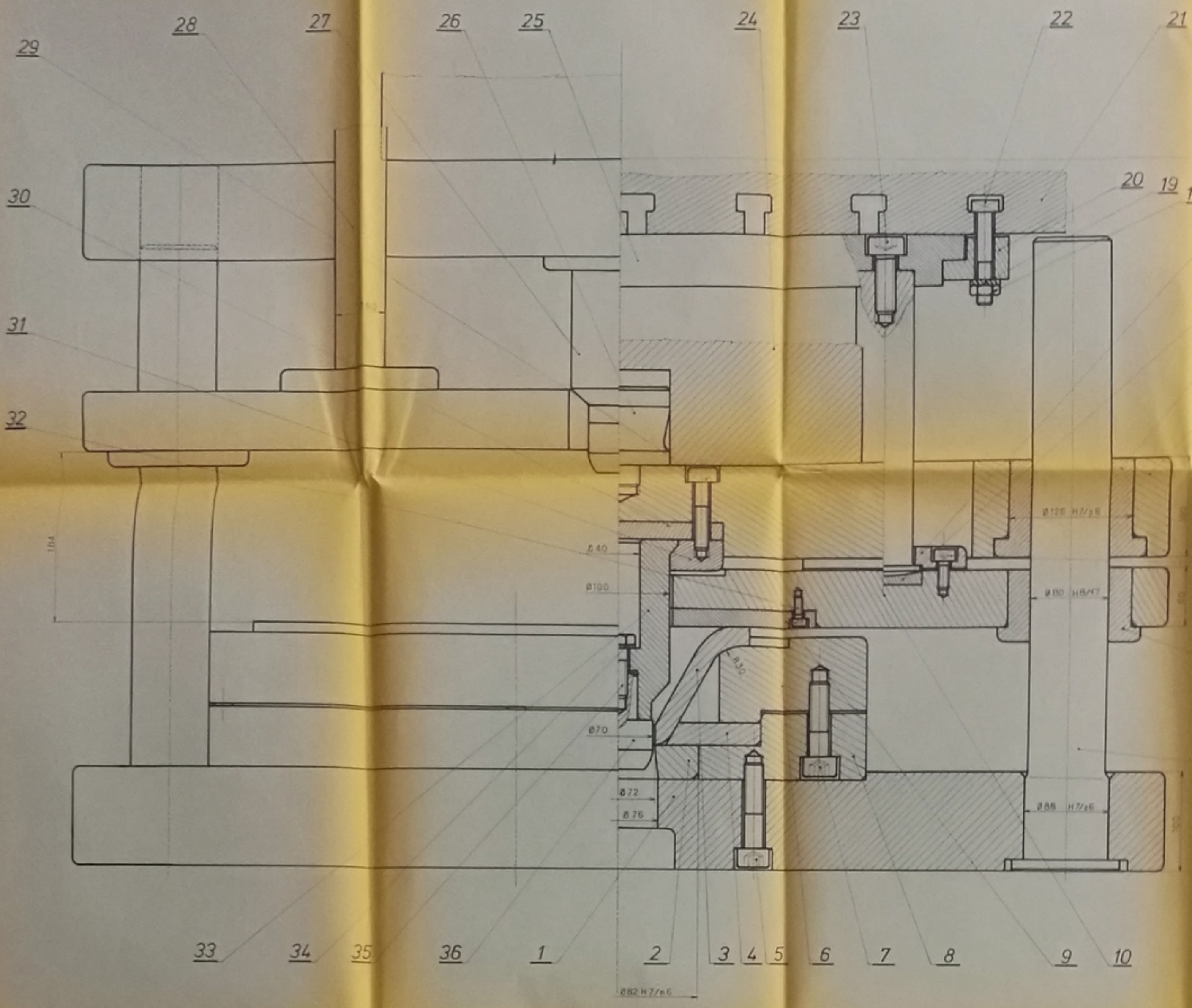


DM03785
Annexe A

N°	Designation	Qté	Mat	Observ
23	Vis CHC M12 - 40	2	Class 8.8	
22	Loupes de Dunlop	1	55 502	
21	Rondelle W 36	1	45 334	
20	Vis HM 30 420	1	Class 8.8	
19	Nœud de fixation	1	SC 35	
18	Piston de la Presse	1		
17	Support piston	1	ML 35	
16	Épave piston	1	ML 35	
15	Support	1	SC 35	
14	Vis CHC M10 30	8	Class 8.8	
13	Support piston	1	SC 35	
12	Support piston	1	SC 35	
11	Support piston	1	SC 35	
10	Support piston	1	SC 35	
9	Support piston	1	SC 35	
8	Support piston	1	SC 35	
7	Support piston	1	SC 35	
6	Support piston	1	SC 35	
5	Support piston	1	SC 35	
4	Support piston	1	SC 35	
3	Support piston	1	SC 35	
2	Support piston	1	SC 35	
1	Support piston	1	SC 35	

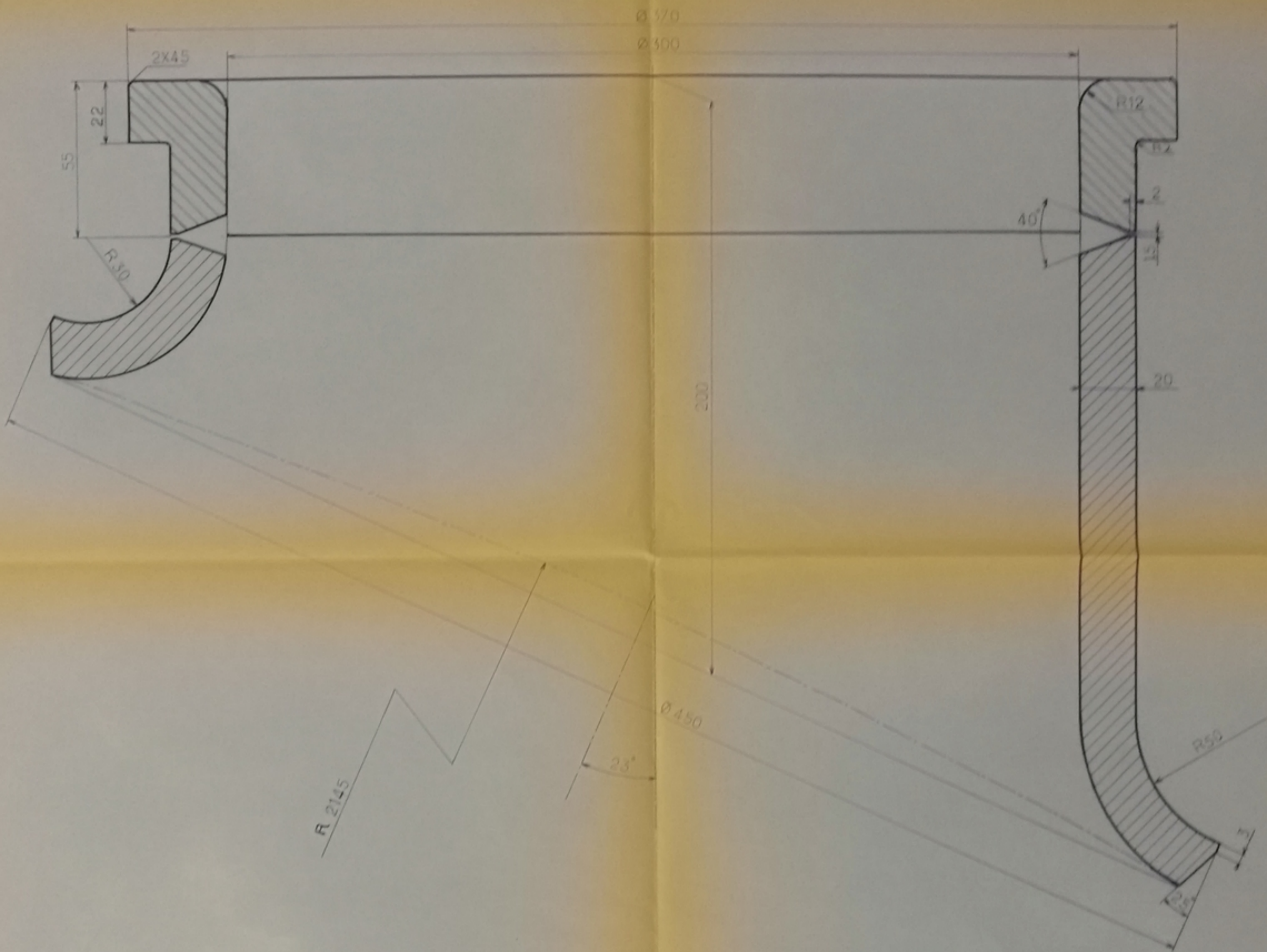
Pp N° dessin Designation Nb Mat Observ
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 OUTILLAGE
 2^{me}
 OPERATION
 ENPA
 EP 02 00

A.A



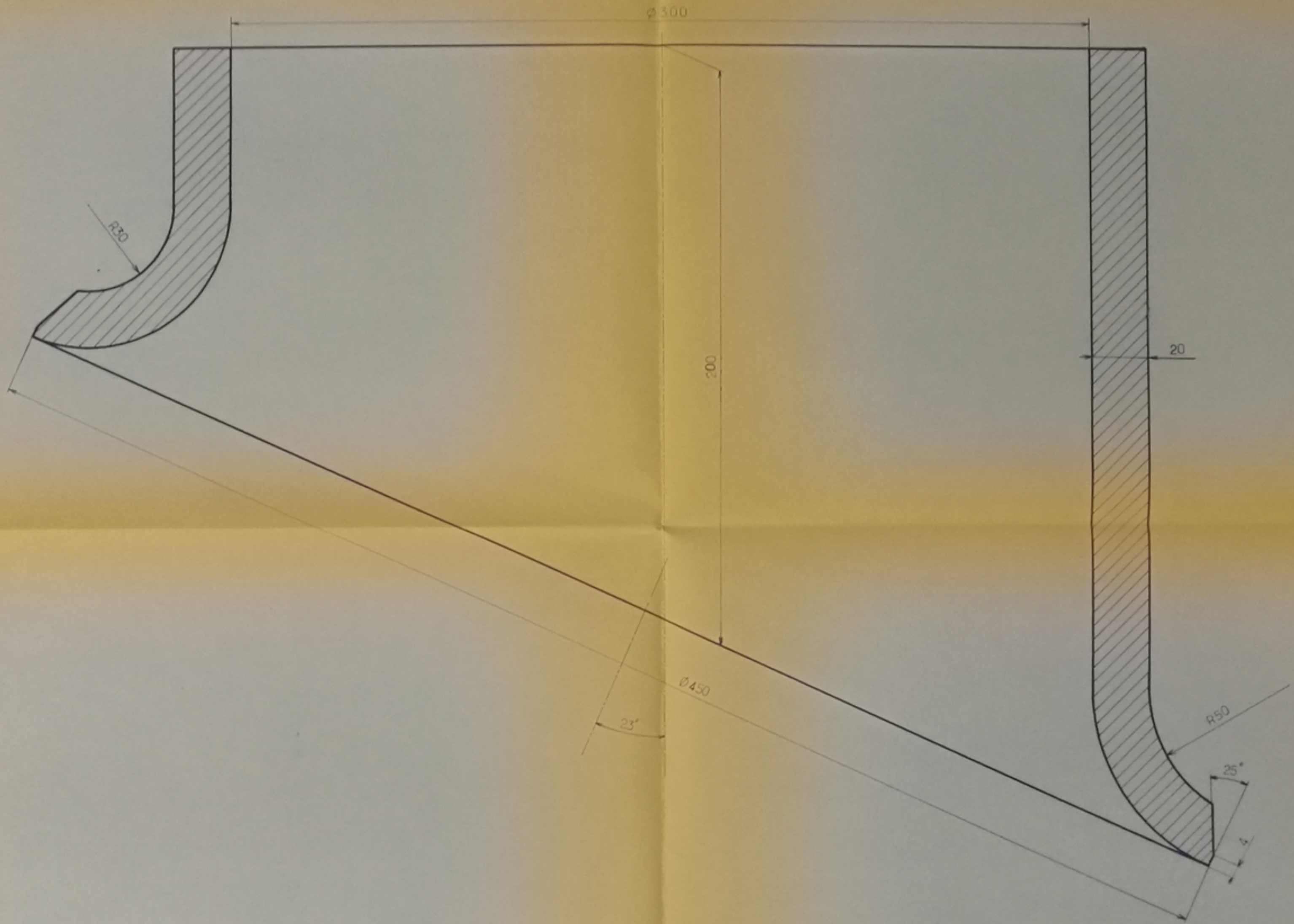
PM031 B5
Annexe 2

Rd	N°dessin	Désignation	Nb	Mat	Observ.
36	EP 01 21	Outil de travail	1	Ø 30mm	
35	NFE 27 311	Vis M8 18 30	1	Class 8.8	
34	NFE 27 618	Rondelle dents DE 20	1	AC 605	
33	EP 01 20	Corps du piston	1	Ø 100	
32	NFE 27 141	Vis CHC M8 25	6	Class 8.8	
31	EP 01 19	Support piston	1	Ø 100	
30	EP 01 18	Support piston	1	Ø 100	
29	NFE 27 311	Vis CHC M8 25	6	Class 8.8	
28	EP 01 17	Colonne Ø 60 516	1	Ø 100	
27	EP 01 16	Piston	1	Ø 100	
26	EP 01 15	Nœud de fixation	1	Ø 100	
25	EP 01 14	Annexe de fixation	1	Ø 100	
24		Piston de la presse	1	Ø 100	
23	NFE 27 141	Vis CHC M20 60	4	Class 8.8	
22	NFE 27 311	Vis Ø M16 100	4	Class 8.8	
21		Semelle de la presse	1	Ø 100	
20	EP 01 13	Brûle	1	Ø 100	
19	NFE 27 518	Rondelle à dents DE 16	1	AC 605	
18	NFE 27 511	Écrou M16	1	Class 8	
17	EP 01 12	Bande annulaire	1	Ø 100	
16	EP 01 11	Plaque supportée	1	Ø 100	
15		Bague	1	Ø 100	
14	EP 01 10	Porte-piston	1	Ø 100	
13	NFE 27 141	Vis CHC M12 30	16	Class 8.8	
12		Bague	1	Ø 100	
11	EP 01 09	Colonne Ø 80 548	1	Ø 100	
10	EP 01 08	Serre-flan	1	Ø 100	
9	EP 01 07	Plaque de serrage	1	Ø 100	
8	EP 01 06	Support matrice	1	Ø 100	
7	NFE 27 141	Vis CHC M20 80	4	Class 8.8	
6	EP 01 05	Matrice d'emboutissage	1	Ø 100	
5	NFE 27 141	Vis CHC M20 80	4	Class 8.8	
4	EP 01 04	Plaque de guidage	1	Ø 100	
3	EP 01 03	Pièce	1	Ø 100	
2	EP 01 02	Matrice de poinçonnage	1	Ø 100	
1	EP 01 01	Pl. de 2 colonnes	1	Ø 100	



PM03785
Annexe - 3 -

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse		TUBULURE	ENPA
1				
Etudiant	Litim		Dip MECANIQUE	PL_01
Promoteur	Elead			
Chef Dip!				
Prés jury				



PM03785
Annexe - 4 -

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse	☐ ⊙	TUBULURE	ENPA
1	~ 38 kg			
Etudiant	Litim. M ⁰⁸			Dép. MECANIQUE
Promoteur	Eled			
Chef Dép.				
Prés. Jury				EP 02 05

