

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



2ex

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

**REALISATION D'UNE INSTALLATION
POUR LA TREMPABILITE DES
ACIERS ET PENETRATION
DE LA TREMPE**

1 PLANCHE

Proposé par :

M. PAVLOV

Etudié par :

H. EL-BESSEGI

Dirigé par :

M. PAVLOV

PROMOTION : JANVIER 1987

Handwritten text, possibly a signature or date, located in the upper center of the page. The text is faint and difficult to decipher.

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

المكتبة - المكتبة
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

**REALISATION D'UNE INSTALLATION
POUR LA TREMPABILITE DES
ACIERS ET PENETRATION
DE LA TREMPE**

Proposé par :

M. PAVLOV

Etudié par :

H. EL-BESSEGI

Dirigé par :

M. PAVLOV

PROMOTION : JANVIER 1987

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الطبعة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

مكتبة جامعة الجزائر
جامعة الجزائر
مكتبة جامعة الجزائر

فان يكون لخير من عبادك

الاحمد
ما ان يعبدوا ولا يذبحوا

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

وزارة التعليم العالي

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

فرع : الهندسة الميكانيكية

PROMOTEUR : PAVLOV

الموجه : بفلوف

ELEVE INGENIEUR : EL BESSEGI

الطالب المهندس : البسفي

الموضوع : انجاز منظومة من أجل قياس التصليد و عمته لدى الفولاذ
الملخص : ان قابلية التصليد و عمته يلعبان دورا هاما في الانشاء
الميكانيكي . و لذلك انجزنا في مشروعنا هذا منظومة لاجراء تجارب
حول عمق التصليد لدى الفولاذ ، و يمكن استخدام هذه المنظومة
في الأعمال التطبيقية لطلاب الهندسة الميكانيكية و هندسة
التعدين .

Sujet : Réalisation d'une installation pour la trempabilité des aciers et
pénétration de la trempe.

Résumé : la trempabilité et la pénétration de la trempe jouent un rôle très
important dans la construction mécanique. Dans notre projet, nous avons réalisé
en métal une installation pour effectuer les essais de la pénétration de la trempe
des aciers. Cette installation peut être utilisé pendant les travaux pratiques
des étudiants de génies mécanique et métallurgique.

Subject : Construction building for tempe of steel and tempe pénétration.

Abstract : Tempe and penetration play a major role in the méchanical construction.
In our project we have made a construction made of métal tomake trials of
pénétration of steel tempe. This construction canbe used during practical works
for students in mechanics and metallurgy.

— DEDICACES —

Je dédie ce modeste mémoire :

A mon père et ma mère , à qui je dois tout ,
ce faible témoignage d'affection et de
profonde reconnaissance .

A mon frère et mes sœurs en témoignage
de mon amour fraternel

A mes beaux frères

A tous mes parents

A tous mes amis

A ceux qui m'ont aidé d'achever mes études
dans de bonnes conditions de vie

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur PAVLOV pour son aide précieuse, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet, trouvent ici ma sincère gratitude.

TABLE DES MATIERES

المركز الوطني للتقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Pages

Introduction	1
Ch 1 : TREMPABILITE ET PENETRATION DE LA TREMPE	2
1. Trempabilité	2
2. Pénétration de la trempe	2
Ch 2 : ESSAI JOMINY	6
1. Définition	6
2. Description	6
Ch 3 : ANALYSE DE LA REALISATION	8
1. Dessin d'ensemble de l'installation	8
2. Dessins de définitions	
2.1 Dessin de définition de la buse	9
2.2 Dessin de définition du porte-échantillon	11
2.3 Dessin de définition de la bielle porte-échantillon	13
3. Réalisation du réservoir 1	18
4. Réalisation du réservoir 2	19
5. Réalisation du tube de vidange	20
6. Réalisation de la conduite de communication entre les réservoirs 1 et 2	21
7. Assemblage des différentes parties de l'installation	22
8. Exécution de la table	24
Ch 4 : CALCUL HYDRAULIQUE DE L'INSTALLATION	32
1. Calcul de la vitesse de sortie du deuxième réservoir	32

2. Calcul du débit de sortie du deuxième réservoir	34
3. Calcul de la hauteur du jet	34
Ch5: UTILISATION DE L'INSTALLATION	36
1. Dispositifs nécessaires pour les T.P de trémpabilité	36
2. Emplacement des différents dispositifs	36
3. Mode opératoire	36
4. Exploitation des résultats	37
Ch6: ESSAIS	39
1. Choix du matériau	39
CONCLUSION	46

INTRODUCTION

Notre étude porte sur la réalisation d'une installation hydraulique qui consiste à évaluer la trempabilité des aciers, et de faire un essai pratique (T.P) sur cette installation (essai Jominy). L'intérêt de cette méthode est de renseigner sur la pénétration de trempes de l'acier, sans avoir à tronçonner un cylindre et de procéder sur la section transversale à des empreintes Rockwell. Les données de base pour la réalisation de l'installation sont préconisées par le promoteur, ces données sont le schéma de l'installation avec les dimensions de base.

En utilisant le nomogramme connu après l'essai Jominy, on peut déterminer la vitesse de refroidissement et le diamètre critique de la trempes dans les milieux différents (eau, huile, air...) pour les pièces en acier avec la forme et dimensions variables.

Chapitre 1 : TREMPABILITE ET PENETRATION DE LA TREMPE

1. Trempabilité :

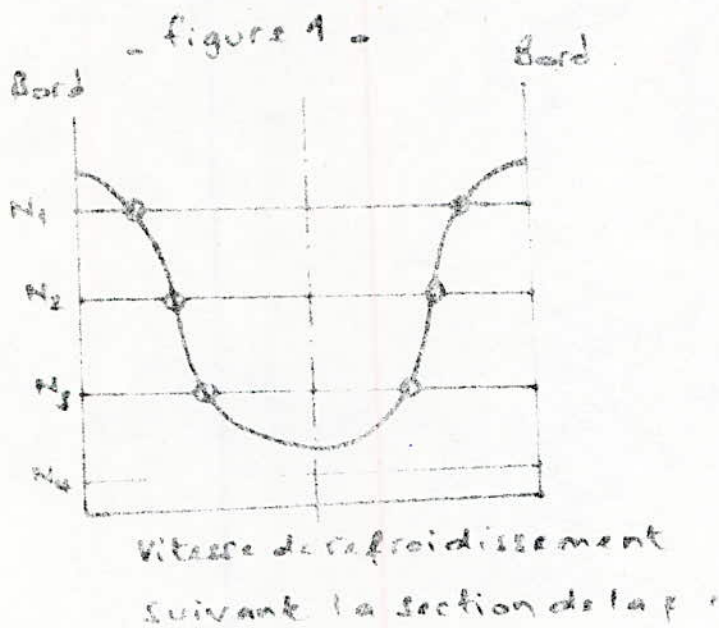
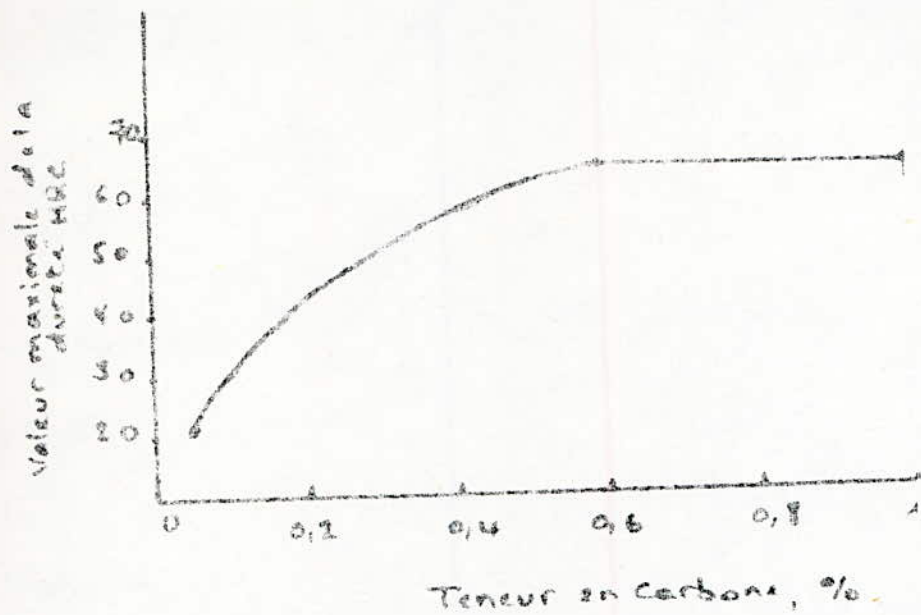
La trempabilité d'un acier est son aptitude à accroître sa dureté sous l'effet de la trempe. La trempabilité est définie essentiellement par la teneur de l'acier en carbone. Plus cette teneur dans la martensite est élevée, plus sa dureté est grande. Les éléments d'alliages influent relativement peu sur la trempabilité (fig 1 page 4).

2. Pénétration de la trempe :

Sous le terme pénétration de la trempe on comprend l'aptitude de l'acier à recevoir une couche trempée à structure martensitique ou troostite - martensite et une dureté élevée d'une profondeur plus ou moins grande. La pénétration de trempe est déterminée par la vitesse réelle de refroidissement au cœur de la pièce est supérieure à la vitesse critique de trempe, l'acier reçoit une structure martensitique sur toute la section et sa pénétration de trempe est totale. Si la vitesse réelle de refroidissement du cœur est inférieure à la vitesse critique

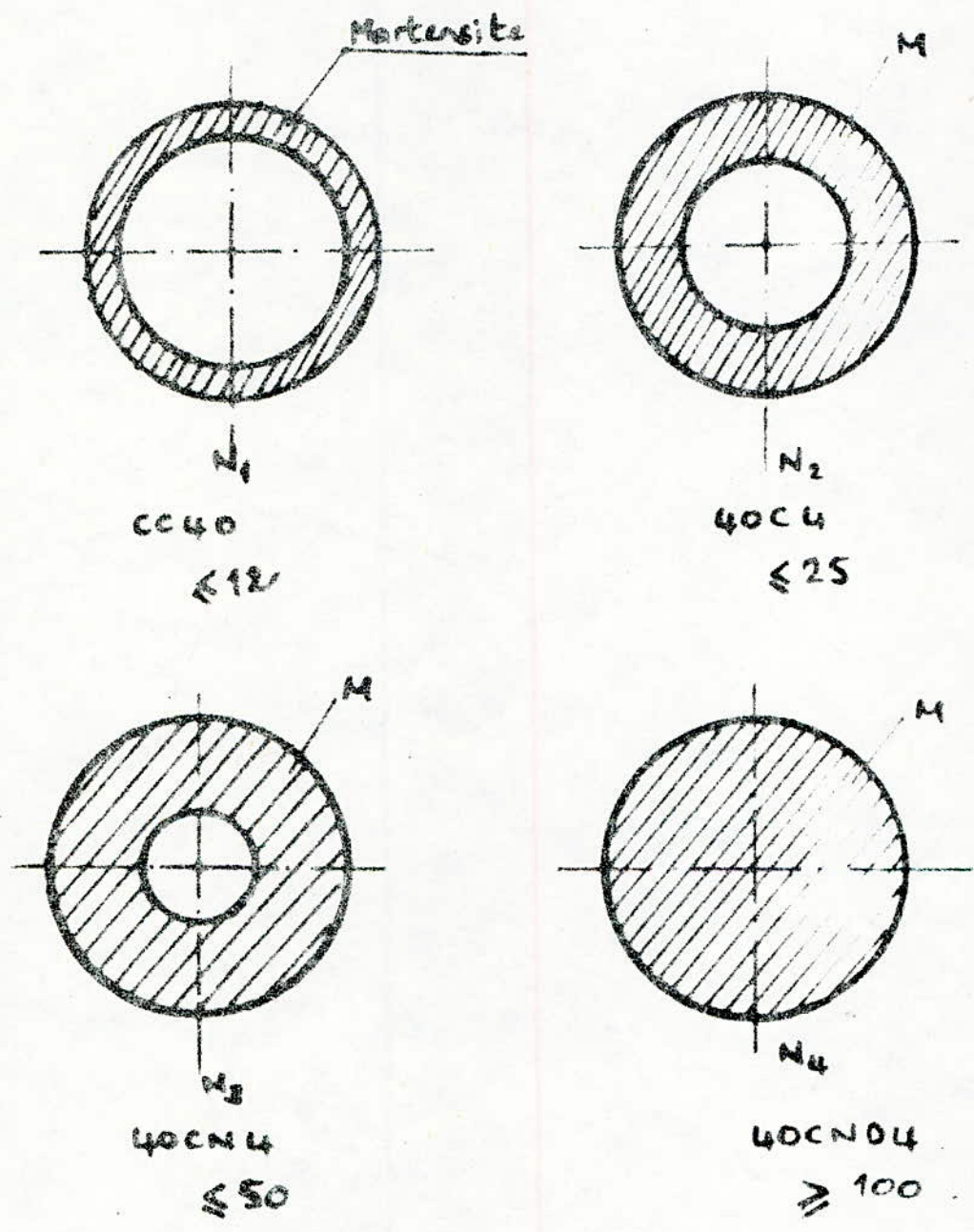
de trempe, la trempe ne pénètre dans la pièce qu'à une certaine profondeur, la pénétration est alors incomplète. Dans ce cas, le cœur sera le siège d'une décomposition d'austénite avec précipitation d'un agrégat ferrite + cémentite (troostite, sorbite ou perlite) (fig 2 page 4).

Ces éléments d'addition jouent un rôle très important sur l'augmentation de la pénétration de trempe (figure 3 page 5).



- figure 2 -

Pénétration de la trempe, en mm



- Figure 2 -

Chapitre 2: ESSAI JOMINY

1. Définition: L'essai Jominy normalisé aux Etats-Unis par l'ASTM et en France, par l'AFNOR C.A.E.M. 475-77, en URSS par GOST 5657-69

2. Description: L'éprouvette est un cylindre usiné au diamètre de 25 mm et d'une longueur de 100 mm, avec une calerette de 3 mm d'épaisseur et de 30 mm de diamètre

Après chauffage à la température de trempe fixée à la température du point de transformation $A_{c3} + 50^{\circ}C$, l'éprouvette est placée verticalement sur un support et reçoit en bout un jet d'eau

sous une pression donnée. Ce jet arrive par un orifice de 12,5 mm de diamètre distant de 12,5 mm de l'extrémité de l'éprouvette; la pression est telle que le jet d'eau arrive à 65 mm de l'orifice sans l'échantillon.

Après le refroidissement complet qui durera environ 10 minutes, on procédera à des essais de dureté Rockwell suivant une génératrice; les empreintes étant distantes de 1,5 mm.

D'après les résultats trouvés, on trace le diagramme Jominy, de la dureté Rockwell en fonction de la distance à l'extrémité trempée.

L'expérience a montré que deux aciers de même composition chimique peuvent donner des diagrammes Jominy différents. Cette différence est en relation avec la grosseur du grain. Il est donc nécessaire de procéder à l'essai de trempabilité pour qualifier les aciers du point de vue de leur aptitude aux traitements thermiques.

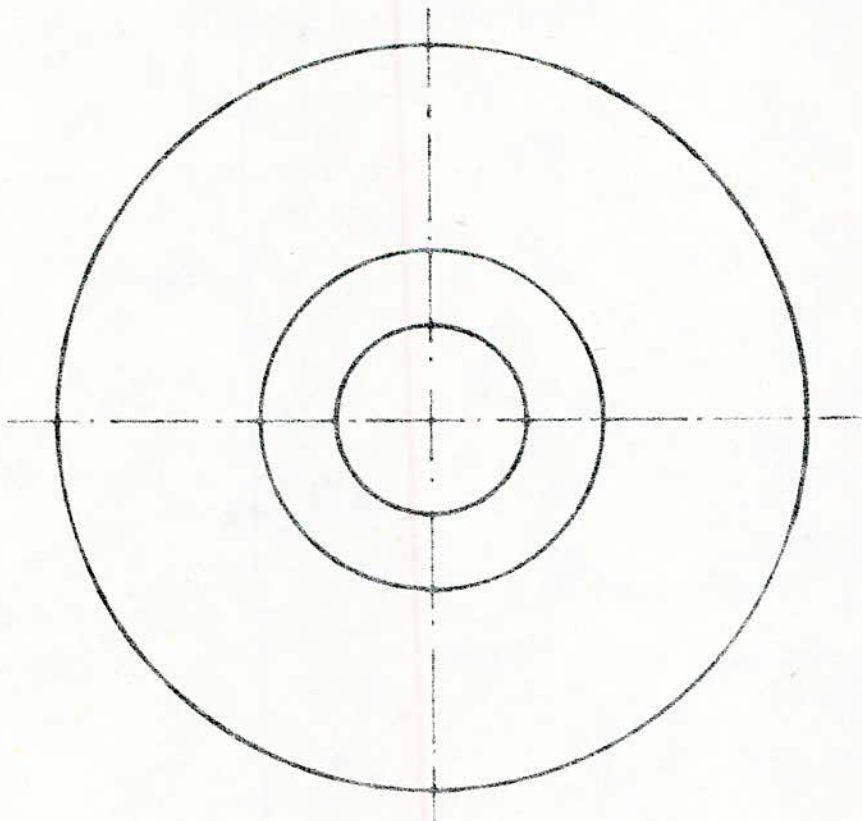
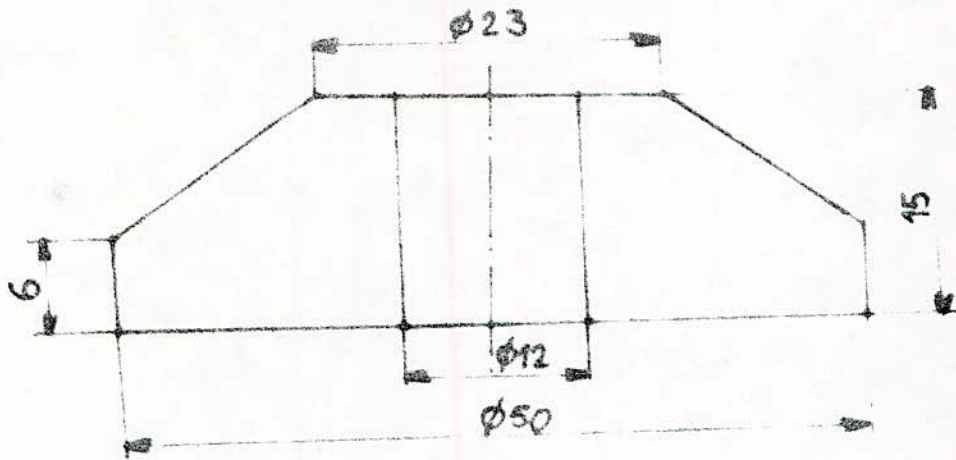
Chapitre 3: ANALYSE DE LA REALISATION

Dans ce chapitre, nous allons voir le côté réalisation, nous présenterons une vue d'ensemble de l'installation à réaliser. Chaque élément de cette dernière sera entièrement défini, nous ordonnerons les différentes étapes de notre travail, et nous élaborerons une gamme de fabrication de quelques éléments de notre installation.

1. Dessin d'ensemble de
l'installation : (voir planche)

2. Dessins de définitions:

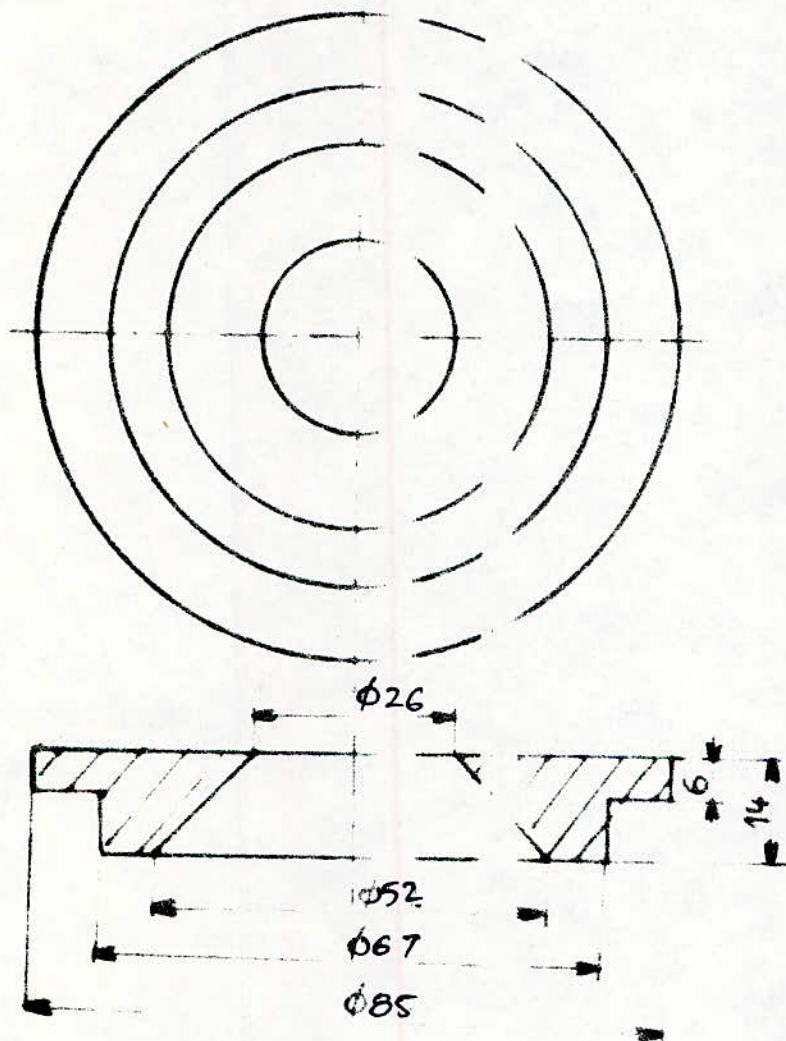
2.1 Dessin de définition de la buse:



Echelle : 2

Projet d'étude de fabrication		Bureau : ENP		Contrôle	
Ensemble : Installation pour trépanabilité		Brut : Profil rond	N° de Pièce	Atelier	
Element : Ruse		Matière : A60	Existence : Pièce Unique	ENP	
op	Designation	Moyen de travail	Croquis		Outil
	Débit de matière Outil rond φ50x18	Scie			
1	Dressage de (1) 1 passe				outil à dresser
2	Dressage de (2) 1 passe	Tour			outil à dresser
3	Centrage				foret à centrer
4	Percage φ 12mm	Tour			foret φ 12
5	Mise en forme du cône extérieur conicité : α = 56,31°	Tour			outil à charioter

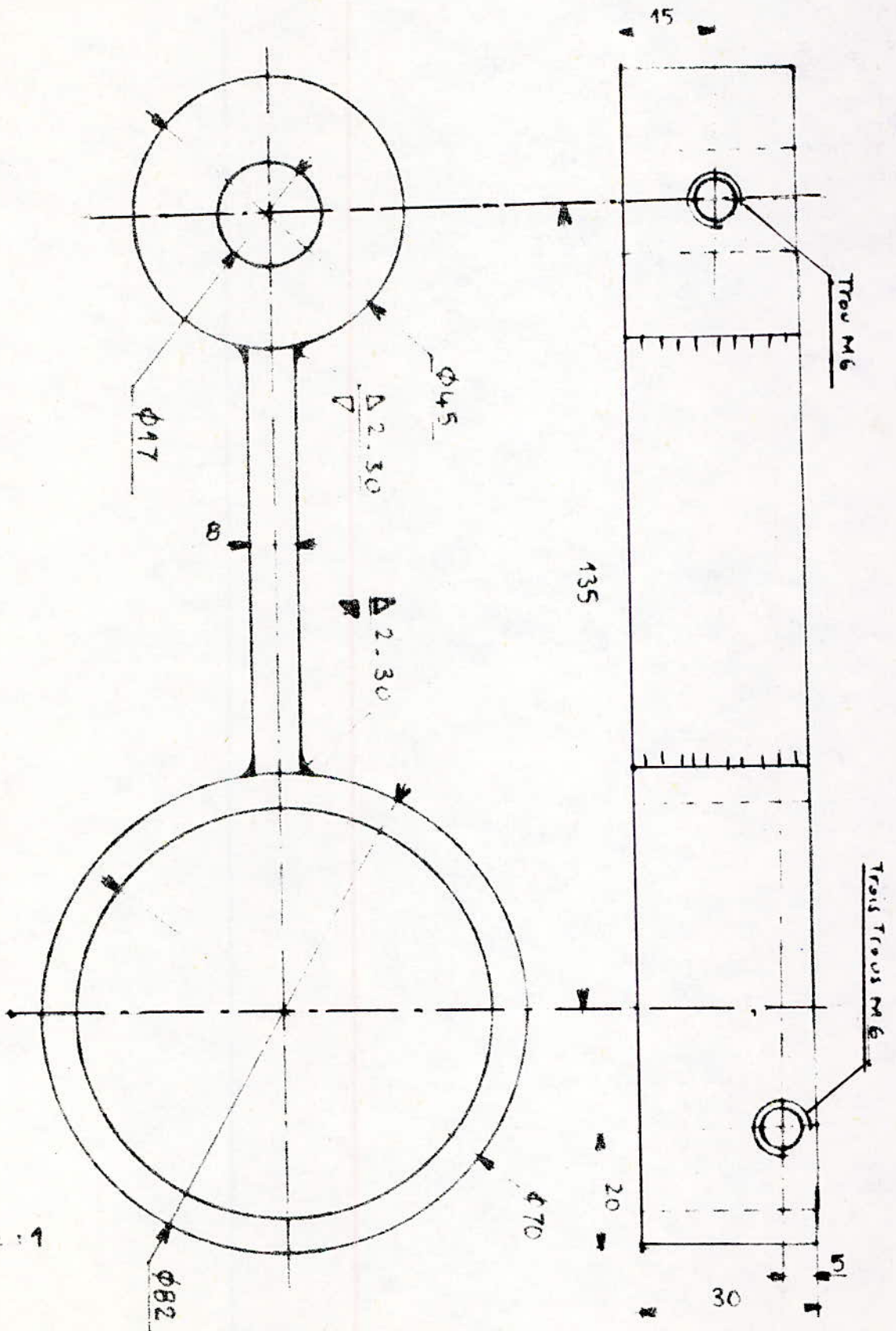
2.2 Dessin de définition du porte échantillons :



Echelle : 1

Projet d'étude de fabrication		Bureau : ENP		Contrôle
Ensemble : Installation pour trempabilité		Brut : Profil rond	Né Pièce	Atelier ENP
Elément : Porte échantillon		Matière : A60	Cadence : Pièce Unique	
Op	Désignation	Poste de travail	Croquis	outil
	Débit de matière Profil rond φ85 x 16	Scie		
1	Dressage de (1) 1 passe	Tour		outil à dresser
2	Dressage de (2) 1 passe			outil à dresser
3	Centrage			forêt à centrer
4	Percage φ23	Tour		forêt φ23
5	Allègement φ26 en 2 passe			outil à alléser
6	Ebauche et 1/2 finition finition de (3)			outil couteau
7	Mise en forme du cône intérieur conicité α = 42,16°	Tour		outil couteau

2.3 Dessin de définition de la bielle porte - porte
Echantillon :



Echelle : 1

Fabrication de la bielle :

Pour réaliser la bielle avec les dimensions qui figurent sur le dessin de définition, on a procédé à la solution qui consiste à diviser la bielle en trois parties indépendantes qui sont faciles à usiner et après on les assemble par soudure à l'arc électrique.


- Première partie :

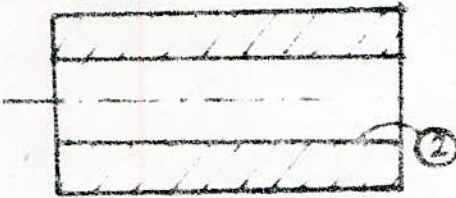
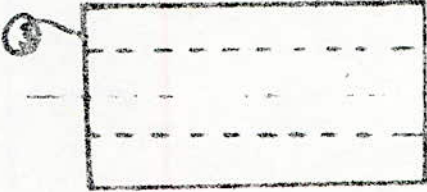

C'est une barre de fer plat d'épaisseur 8mm, de longueur 70mm, sa largeur étant de 30mm.

- Deuxième partie :

C'est un cylindre creux de diamètre extérieur 45mm, de diamètre intérieur 17mm et de hauteur 30mm.

Processus de fabrication de la deuxième partie :



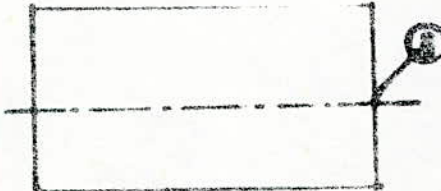
Projet d'Arde de fabrication			Bureau : ENP		Contrôle :
Ensemble : Installation pour la trépanabilité			Out. Profil rond	N° de Pièce :	Atelier :
Élément : 2 ^e partie de la bielle			Matière : A60	Cadence : Pièce unique	ENP
Op	Désignation	Page	Croquis		outil
1	Scie de matière Profil rond $\phi 45 \times 32$	Scie			
2	Dressage de (1) 4 passe de 1mm	Tour			outil à dresser
3	Centrage				forêt à centrer

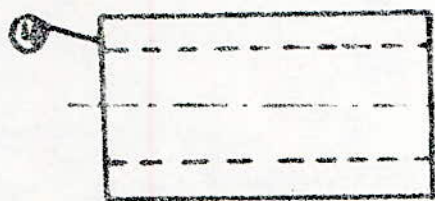
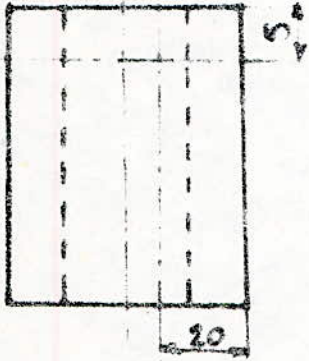
4	Perçage	Tour		forté $\phi 16$
5	Alésage de (2) 1 passe de 1mm			outil à alésé
6	Dressage de (3) une passe de 1mm	Tour		outil à dresser
7	Perçage de (4) de $\phi 5\text{mm}$	Perceuse		forté $\phi 5\text{mm}$
8	Taraudage de (6) M6	stau		Jeu de tarouds M6

- Troisième partie :

c'est un cylindre creux de diamètre extérieur 82mm, de diamètre intérieur 70mm et de hauteur 30mm. A partir de 5mm du haut du cylindre, on a procédé à l'exécution de trois trous M6 équidistants.

Game de fabrication de la troisième partie :

Projet d'étude de fabrication			Bureau : ENP		Contrôle :	
Ensemble : Installation pour la trempabilité			Brut : Profil rond		Atelier : ENP	
Elément : troisième partie de la bielle			Matière : A60		Cadenas : Pièce Unique	
Op	Désignation	Poste	Croquis			Outil
1	Débit de matière : Profil rond $\phi 85 \times 32$	Scie				
2	Dressage de (1) 1 passe de 4mm	Tour				outil à dresser
3	Centrage	Tour				brut à centrer
4	Chariotage de (2) 2 passes de 1mm 1/2 finition et finition	Tour				outil à charioter
5	Persage (des) $\phi 16$; $\phi 20$; $\phi 30$; $\phi 40$	Tour				forêts $\phi 16$ $\phi 20$ $\phi 30$ $\phi 40$
6	Alésage du trou $\phi 40$ jusqu'à $\phi 70$ en 15 passes	Tour				outil à aléser

7	Dressage de (4) 1 passe	Tour		outil à dresser
8	Exécution des 3 trous équidistants	Perceuse		Crêt $\phi 5mm$
9	Taraudage des 3 trous	Etau		Jeu de tarauds M6

3. Réalisation du réservoir. 1.

Pour la réalisation de ce réservoir nous avons procédé comme suit :

3.1 Choix de la tôle :

On a utilisé de la tôle de 3mm d'épaisseur de dimensions 725 x 445.

3.2 Traçage :

Sur cette tôle on a procédé au traçage représenté figure 4 page 26

3.3 Découpage :

On a découpé la tôle de façon à avoir deux tôles de dimensions 725 x 300 et 590 x 145 (figures 5 et 6 page 26)

3.4 Perçage :

Après le traçage des cercles au compas, on a percé les trois trous qui sont représentés par les figures 5 et 6 page 26. Pour le perçage des deux trous de figure 6 on a utilisé le foret de diamètre 26mm, pour le trou de la figure 5 on a utilisé le foret de diamètre 14mm.

3.5 Pliage :

On a utilisé la plieuse, et on a procédé au pliage suivant les schémas des figures 5 et 6 page 26

3.6 Soudage :

Après avoir assemblé les deux tôles pliées figure 7 page 27, on a procédé au soudage à l'arc électrique, en utilisant des baguettes de 3mm de diamètre, enrobées.

4. Réalisation du réservoir. 2.

Comme pour le premier réservoir on a procédé comme suit :

4.1 Choix de la tôle :

On a utilisé de la tôle de 3mm d'épaisseur de dimensions 885 x 405

4.2 Traçage :

On a procédé au traçage qui est représenté sur la figure 8 page 27

4.3 Découpage :

En suivant le traçage de la figure 8 page 27 on a pu avoir deux morceaux de tôle de dimensions 885 x 400 et 390 x 305. (figures 9 et 10 page 28)

4.4 Percage :

Après le traçage des cercles au compas (figure 10 page) on a percé les deux trous en utilisant le même forêt de diamètre 26mm.

4.5 Pliage :

On a utilisé la plieuse, et on a procédé au pliage suivant les figures 9 et 10 page 28.

4.6 Soudage :

Après avoir assemblé les deux tôles pliées (figure 11 page 28), on a procédé au soudage à l'arc électrique, en utilisant des baguettes enrobées de 3mm de diamètre.

5. Réalisation du tube de vidange

Pour la réalisation du tube de vidange on a procédé comme suit :

5.1 Choix du tube :

On a choisi le tube d'acier de diamètre intérieur 27mm et de diamètre extérieur 30mm, sa longueur totale est de 806mm.

5.2 Traçage :

Le traçage du tube est représenté par la figure 12 page 29

5.3 Découpage :

Après le traçage on a procédé au découpage en fixant le tube sur l'étau et à l'aide de la scie à métaux on a pu avoir les différents morceaux constituant le tube de vidange.

5.4 Percage :

On a percé le tube de longueur 346mm juste au milieu à l'aide du forêt de 26mm de diamètre.

5.5 Soudage :

Après l'assemblage des différents morceaux constituant le tube de vidange (figure 13 page 29) on a procédé au soudage à l'arc électrique en utilisant une baguette enrobée de 2mm de diamètre.

6. Réalisation de la conduite de communication entre les réservoirs 1. et 2.

6.1 Matériel utilisé :

On a utilisé : - Un tube d'acier de diamètre intérieur 26mm et de diamètre extérieur 34mm sa longueur étant de 220mm .

- Deux coudes droits 26.34 .

- Un robinet d'arrêt 26.34

6.2 Découpage du tube :

On a découpé le tube à l'aide de la scie à métaux selon la figure 14 page 29 .

6.3 Filetage :

On a fileté les quatre parties d'une seule extrémité à l'aide d'une filière de 30mm de diamètre intérieur .

6.4 Assemblage des différentes parties constituant la conduite :

On a fixé sur le robinet d'arrêt à son entrée et sa sortie , les deux parties 2 et 3 présentant aux extrémités le filetage . De même pour les parties 1 et 4 qu'on les a fixé respectivement sur le premier et le deuxième coude . On a utilisé la brasure pour assembler les parties 2 et 3 avec les deux coudes . On a utilisé la brasure car les parties de tube sont en acier et les coudes sont en fonte .

7. Assemblage des différentes parties de l'installation

7.1 Réservoirs 1. et 2. et le tube de vidange :

L'assemblage de ces trois parties et réaliser par soudure à l'arc électrique, en utilisant des baguettes enrobées de 3mm de diamètre (voir dessin d'ensemble)

7.2 Réservoirs 1 et 2 et la conduite de communication :

L'assemblage de ces trois parties et aussi réaliser par soudure à l'arc électrique, en utilisant toujours les même baguettes de 3mm de diamètre (voir dessin d'ensemble)

7.3 Fixation du robinet de l'alimentation d'eau sur le réservoir (1) :

Pour l'alimentation de l'installation en eau on a utilisé un robinet d'arrêt 15-21 où à sa sortie on a placé un tube d'acier de 15mm de diamètre intérieur et 21mm de diamètre extérieur, le diamètre intérieur étant tarodé. Pour assembler ce robinet avec le réservoir, on a procédé par soudage à l'arc électrique en utilisant des baguettes enrobées de 3mm de diamètre (voir dessin d'ensemble)

7.4 Fixation de la buse (4) sur le réservoir (2) :

La fixation de la buse sur le réservoir est réalisée aussi par soudure à l'arc électrique en utilisant toujours la même baguette enrobée c'est à dire de 3 mm de diamètre (voir dessin d'ensemble)

7.5 Fixation de la barre (6) sur le réservoir (2) :

La barre circulaire de 16 mm de diamètre et de longueur 240 mm est fixée sur le réservoir par soudure à l'arc électrique en utilisant une baguette enrobée de 3 mm de diamètre (voir dessin d'ensemble)

8. Exécution de la table :

8.1 Matière première :

Pour l'exécution de la table, on a utilisé la cornière d'acier de dimensions 30×30 , la longueur totale est de 1500 mm. Pour l'exécution des pieds de cette table on a utilisé un tube de dimension 20-27 et de longueur total 3600 mm. Pour renforcer les pieds, on a utilisé des barres de fer plat de longueur totale 1500 mm.

8.2 Traçage :

La figure 15 page 30, nous montre le traçage de la cornière 30×30 .

La figure 16 page 30, nous indique le traçage du tube 20.27.

La figure 17 page 30, nous montre le traçage du fer plat.

8.3 Découpage :

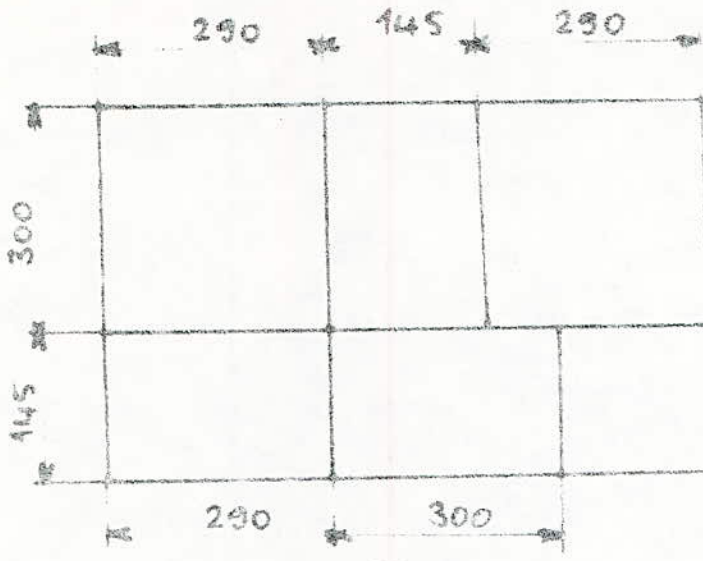
Après le traçage des différents éléments constituant la table, on procède au découpage à la tronçonneuse électrique, de chaque élément.

8.4 Soudage :

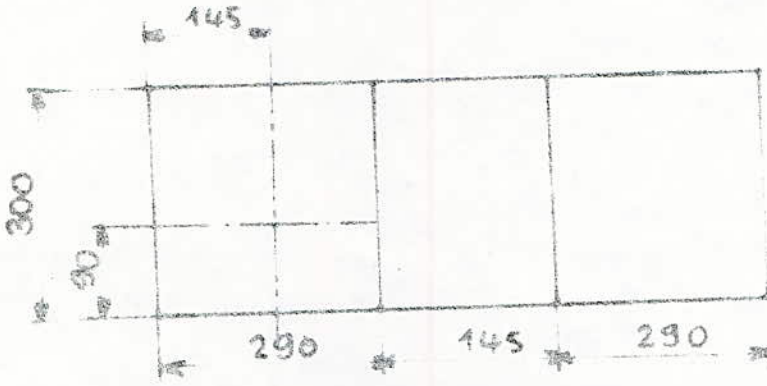
Après le découpage, on assemble les quatre parties de la cornière de la façon qui est indiquée sur la figure 18 page 30, après on procède au soudage à l'arc électrique en utilisant des baguettes enrobées de 3mm de diamètre.

Après avoir formé le cadre de la table, on procède au soudage des pieds sur les quatre coins de ce cadre figure 19 page 31. En dernier lieu et pour augmenter la rigidité de la table, on procède au soudage des quatre morceaux de fer plat, comme ci indiqué à la figure 19 page 31, En utilisant l'arc

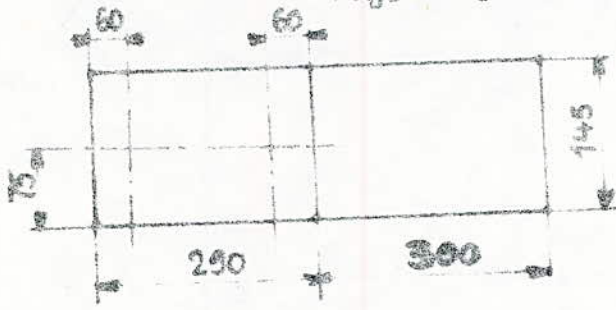
électrique avec des baguettes enrobées de
3mm de diamètre.



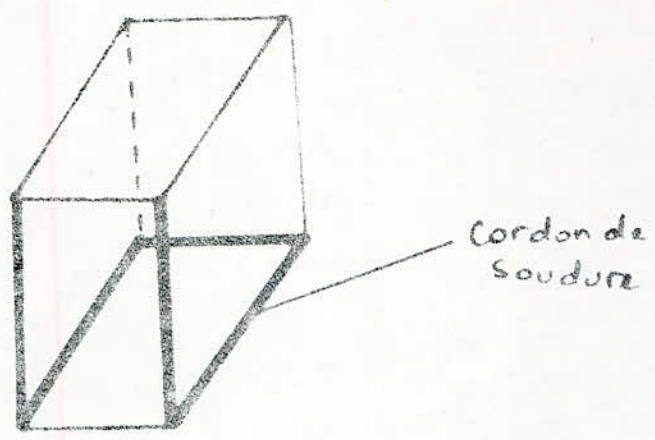
- Figure 4 -



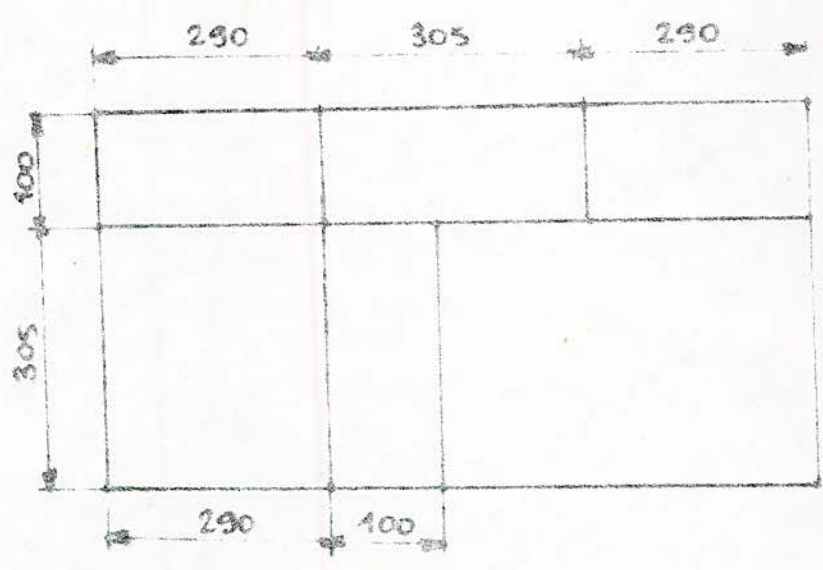
- Figure 5 -



- Figure 6 -



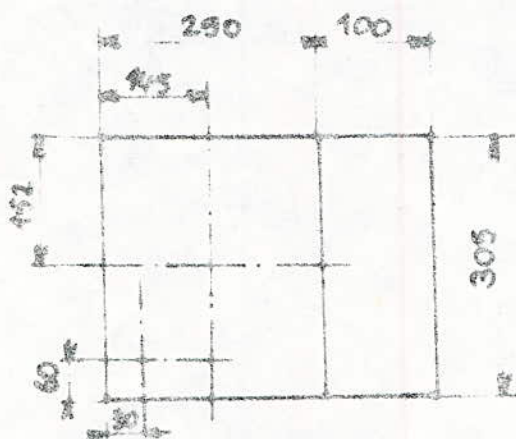
- Figure 7 -



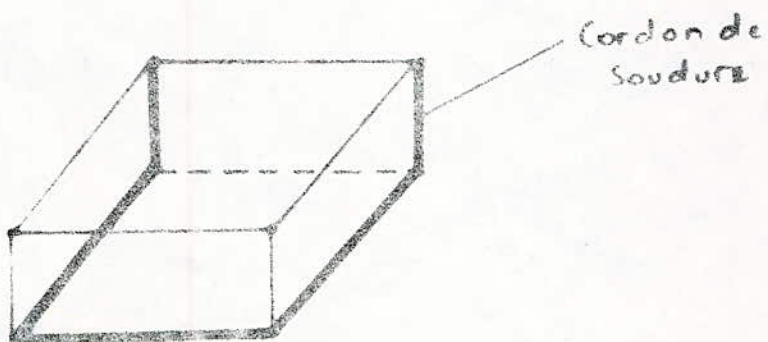
- Figure 8 -



- Figure 9 -

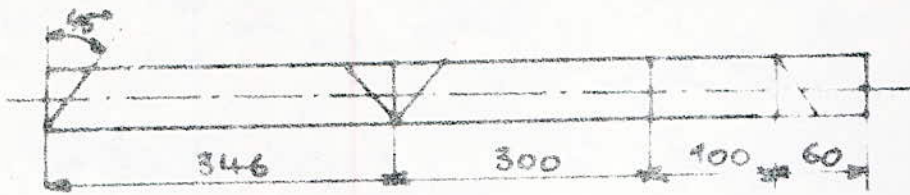


- Figure 10 -

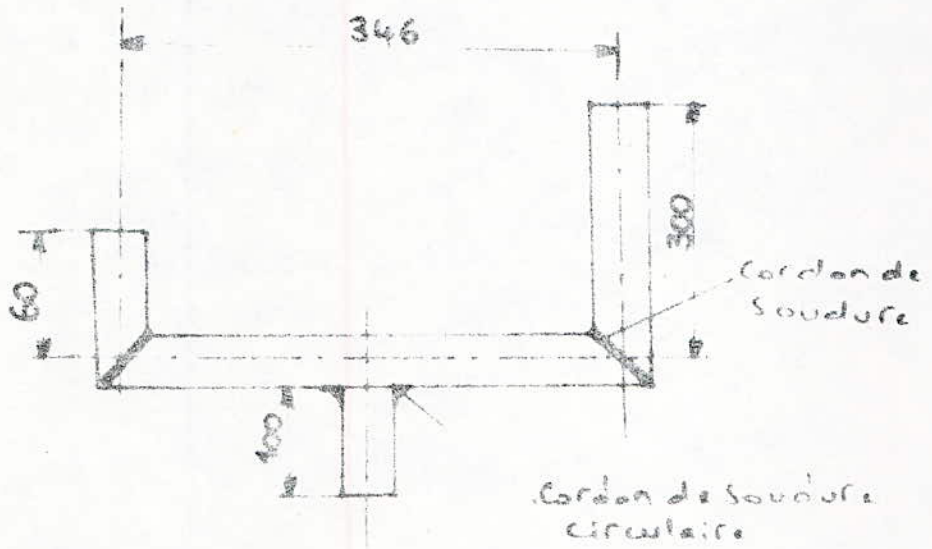


- Figure 11 -

Tube 27-30

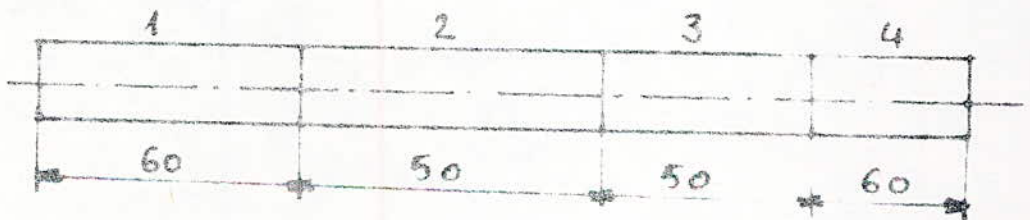


- Figure 12 -



- Figure 13 -

Tube 26-34



- Figure 14 -

vue de dessus.

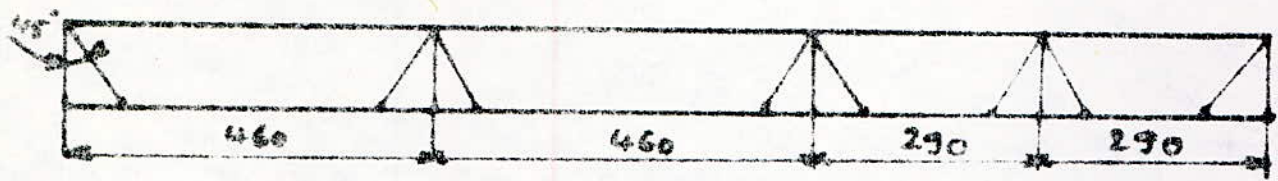


figure 15

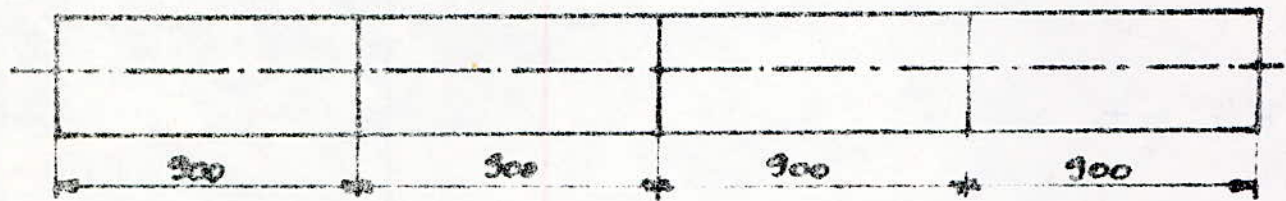


figure 16

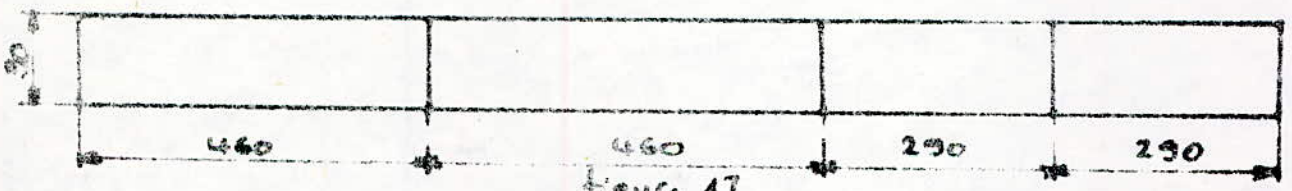


figure 17

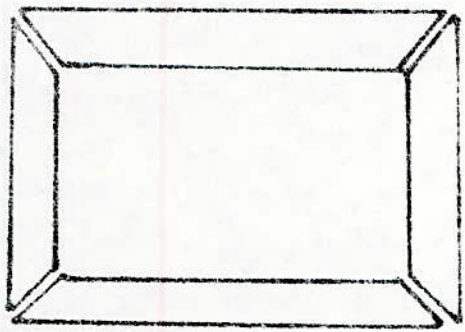


figure 18

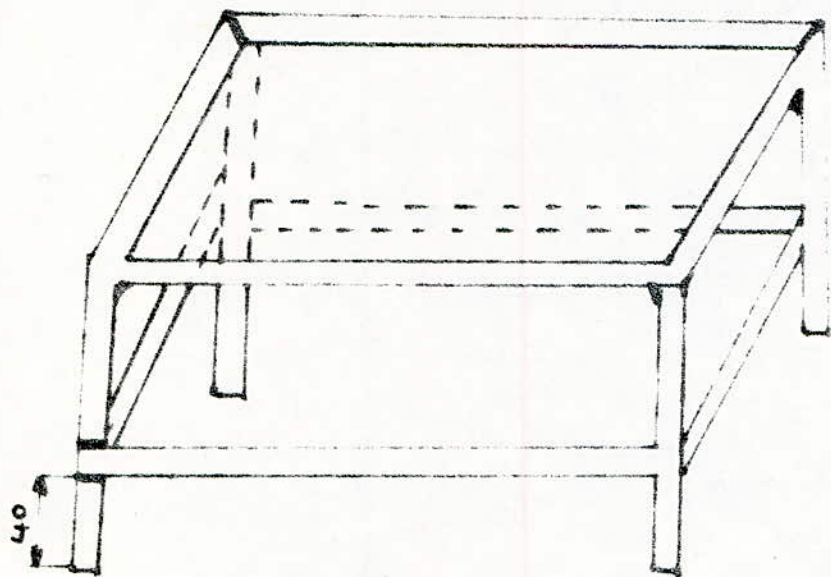
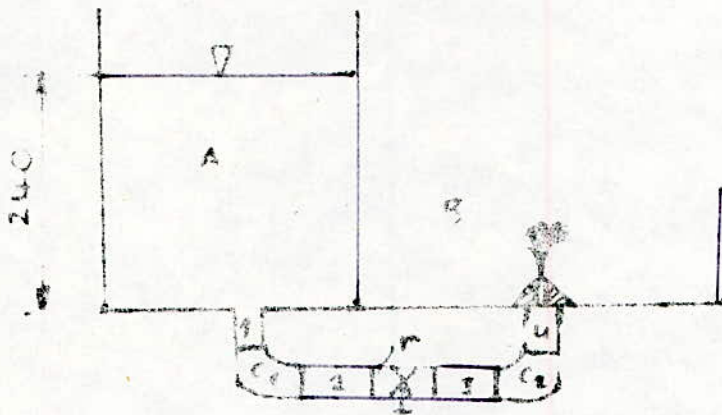


figura 19

CHAPITRE 4: CALCUL HYDRAULIQUE DE L'INSTALLATION

1. Calcul de la vitesse de sortie du deuxième réservoir



Pour calculer la vitesse de sortie du deuxième réservoir appliquons l'équation de Bernoulli.

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + \Delta H \quad (1)$$

avec V_A : vitesse d'écoulement du fluide du premier réservoir, $V_A \approx 0$ car il s'agit d'un réservoir de grandes dimensions.

P_A : Pression du premier réservoir, $P_A = P_{atm}$

Z_A : hauteur piézométrique, $Z_A = 240 \text{ mm}$.

P_B : Pression du deuxième réservoir

V_B : la vitesse de sortie du deuxième réservoir

Z_B : référentiel, $Z_B = 0$

ΔH : Les pertes de charge totales

$$\Delta H = \varphi_{r_1} \frac{V_A^2}{2g} + \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \cdot \frac{V_A^2}{2g} + \varphi_{c_1} \frac{V_A^2}{2g} + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \cdot \frac{V_B^2}{2g} + \varphi_v \frac{V_A^2}{2g} + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \cdot \frac{V_A^2}{2g} \\ + \varphi_{c_2} \frac{V_A^2}{2g} + \frac{\lambda_4 l_4}{d_4} \cdot \frac{V_B^2}{2g} + \varphi_{r_2} \frac{V_B^2}{2g}$$

φ_{r_i} : coefficients de perte de charge pour un rétrécissement brusque.

l_i : longueurs des différents tubes constituant la conduite.

d_i : diamètres des différents tubes constituant la conduite.

λ_i : coefficients de perte de charge linéaire.

φ_{c_i} : coefficients de perte de charge des coudes.

φ_v : coefficient de perte de charge du robinet d'arrêt.

comme $V_A = 0$ on aura :

$$\Delta H = \varphi_{r_2} \frac{V_B^2}{2g}$$

$$\text{or } \varphi_{r_2} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{S_B}{S_A} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{12,5}{26} \right) = 0,259$$

$$(1) \Rightarrow Z_A + \frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} = \frac{V_B^2}{2g} + 0,259 \cdot \frac{V_B^2}{2g} \quad (2)$$

$$\text{or } \frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} = 0 \text{ car } P_A = P_B = P_{\text{atm}}$$

$$(2) \Rightarrow Z_A = \frac{V_B^2}{2g} (1 + 0,259) \Leftrightarrow 2g Z_A = V_B^2 (1 + 0,259)$$

$$\Rightarrow V_B^2 = \frac{2g Z_A}{1,259} = \frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,240}{1,259} = 3,73 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{d'où } V_B = 1,93 \text{ m/s}$$

2. Calcul du débit de sortie du deuxième réservoir :

$$Q = V_B S_B = V_B \cdot \frac{\pi d_B^2}{4} = 1,93 \cdot \frac{\pi (0,015)^2}{4} = 0,236 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,236 \text{ l/s}$$

3. Calcul de la hauteur du jet :

L'équation de Bernouilli nous donne

$$z_c = \frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_c^2}{2g} \cdot 0,259$$

$$z_c = \frac{V_B^2}{2g} (1 - 0,259) = \frac{3,73}{2 \cdot 9,8} (1 - 0,259)$$

$$z_c = 0,140 \text{ m} = 140 \text{ mm}$$

On remarque que $z_c = 140 \text{ mm}$ donc elle est supérieure à 65 mm qui était recommandée, donc il faut diminuer le niveau d'eau du premier réservoir pour avoir $z_c = 65 \text{ mm}$. Pour cela on va faire un calcul en sens contraire c'est à dire on a comme donnée $z_c = 65 \text{ mm}$ et on va calculer z_A .

$$z_c = \frac{V_B^2}{2g} (1 - 0,259) = 0,065$$

$$V_B^2 = \frac{0,065}{(1 - 0,259)} \cdot 2 \cdot 9,8 = 1,719 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{or } z_A = \frac{V_B^2}{2g} (1 + 0,259) \Leftrightarrow 2g z_A = V_B^2 (1,259)$$

$$\text{d'où } z_A = \frac{1,259 \cdot V_0^2}{2 \cdot g} = \frac{1,259 \cdot 1,719}{2 \cdot 9,8} = 0,110 \text{ m}$$

donc pour avoir la hauteur du jet égale à 65mm il faut que le niveau d'eau du premier réservoir soit 110mm au lieu de 240mm. Mais en pratique on peut régler la hauteur du jet en jouant sur le robinet d'arrêt de la conduite de communication, d'une autre manière on procède au réglage du débit d'eau

Chapitre 5: UTILISATION DE L'INSTALLATION

1. Dispositifs nécessaires pour les T.P de trempabilité :

Sans tenir compte du dispositif essentiel qu'on vient de le mettre au point à savoir l'installation hydraulique, on a besoin d'un four électrique et d'un duromètre Rockwell.

2. Emplacement des différents dispositifs :

Pour avoir de bons résultats, on doit procéder comme suit :

En premier lieu nous disposons du four électrique à côté duquel nous allons placer notre installation et à côté de laquelle nous placerons le duromètre Rockwell (voir figure 20 page 38)

3. Mode opératoire :

Pour effectuer les T.P de la trempabilité, nous allons procéder de la façon suivante :

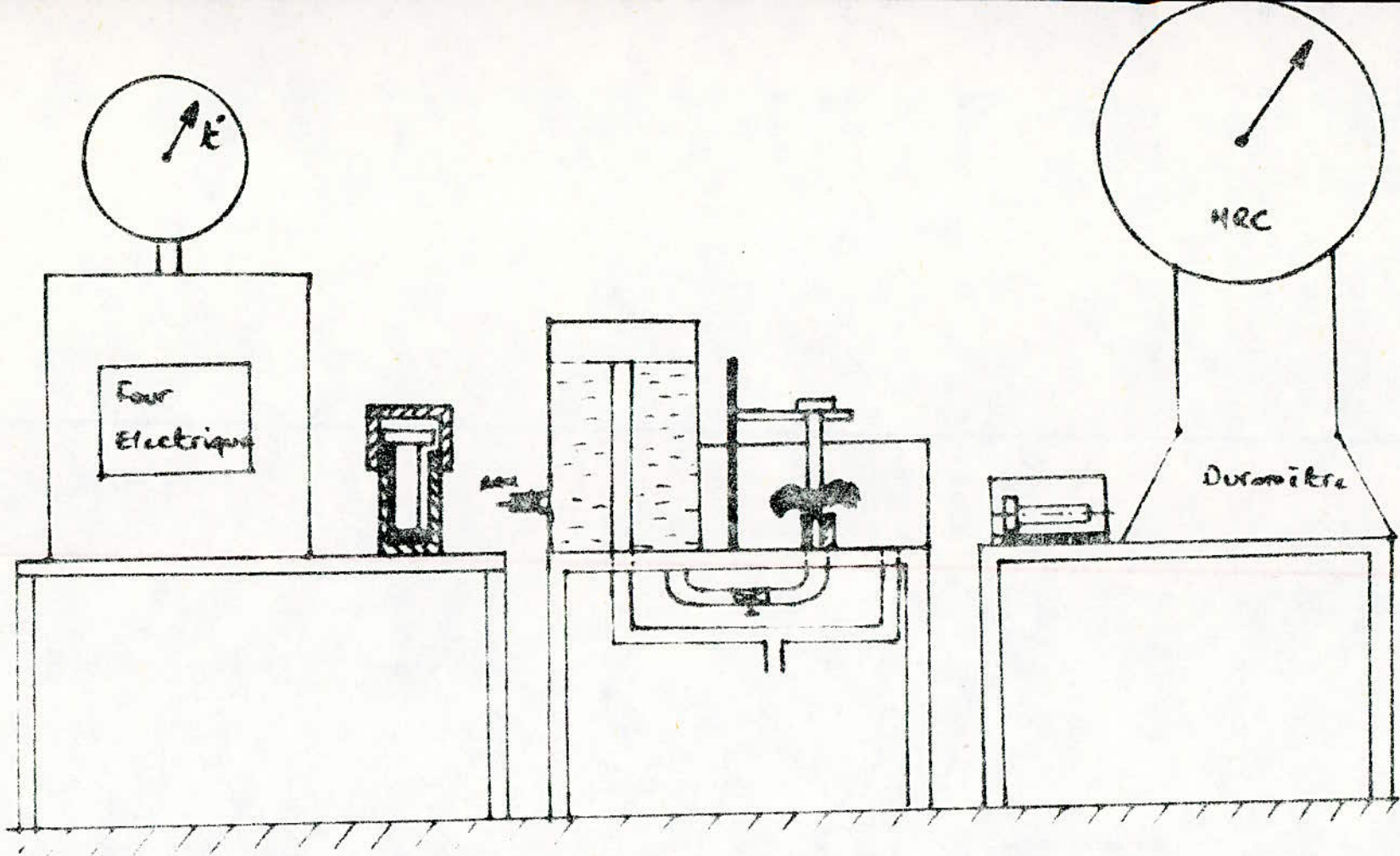
Après avoir déterminé la nuance de l'échantillon, nous allons mettre ce dernier au four électrique et après maintient à une température constante

nous sortons l'échantillon et nous le placerons sur le porte-échantillon de l'installation, le premier réservoir de cette dernière étant rempli d'eau, nous ouvrirons le robinet d'arrêt qui permettra la communication entre les deux réservoirs, à ce moment un jet d'eau apparaît au niveau de la buse du deuxième réservoir, ce jet va buter sur le bout de l'échantillon, qui va le refroidir complètement pendant à peu près 40 minutes, quand on aura un refroidissement total de l'échantillon, nous prenons ce dernier et nous le placerons sur un dispositif pour effectuer les mesures de dureté, ce dispositif comprend une règle graduée avec un pas de 1,5 mm. Le dispositif est placé ensuite sur le duromètre Rockwell et nous commençons à prendre les duretés. Après 16 mesures nous continuerons à prendre les duretés toutes les 3 mm jusqu'à obtention de valeurs quasi-identiques. Après avoir mesuré la dureté sur une face, on prend la deuxième face et nous procéderons pareillement à la première face.

4. Exploitation des résultats:

Après avoir obtenu les deux séries de mesures, on prendra les moyennes et on tracera sur papier millimétré la courbe de fonction Dureté Rockwell (HRC) en fonction de la distance de face refroidie [mm]. Après le traçage de la courbe, on tirera des conclusions.

Figure 20



- Banc d'essais de trempabilité -

Chapitre 6 : ESSAIS

1. Choix du matériau :

On a choisi l'acier de nuance XC42, qui présente les caractéristiques suivantes :

Pourcentage de carbone : $0,4 \div 0,45$

Pourcentage de manganèse : $0,5 \div 0,8$

Pourcentage de silicium : $\leq 0,4$

Température de recuit : $820 \div 845^\circ\text{C}$

Limite d'élasticité : $E = 36 \text{ hbar}$

Résistance à la rupture : $66 \div 74 \text{ hbar}$

Allongement : $A = 16\%$

Dureté Brinell : 220 HB

Limite d'endurance : $\sigma_0 = 30 \text{ hbar}$

Ce matériau est utilisé pour la fabrication des bielles, vilebrequins, tiges, arbres ...

2. Interprétation :

La courbe qui est représentée en page 43, nous donne le changement de dureté en fonction de la vitesse de refroidissement. D'après cette courbe nous avons déterminé la distance caractéristique x qui correspond à zone demi-martensitique qui est donné par le tableau de la page 44, la zone demi-martensitique est de 40 mm d'après le tableau, en extrapolant du graphique on a $x = 9 \text{ mm}$

En utilisant le nomogramme de la page 45, on peut déterminer les dimensions des pièces avec les

différentes formes (sphère, cylindre, disque, carré, parallépipède) et avec les différentes relations données par le nomogramme à savoir L/D ; L/a .
 L étant la longueur, D diamètre et a côté pour le carré.

Dans notre cas après le refroidissement à l'eau on peut obtenir une pénétration complète dans une pièce avec les dimensions suivantes :

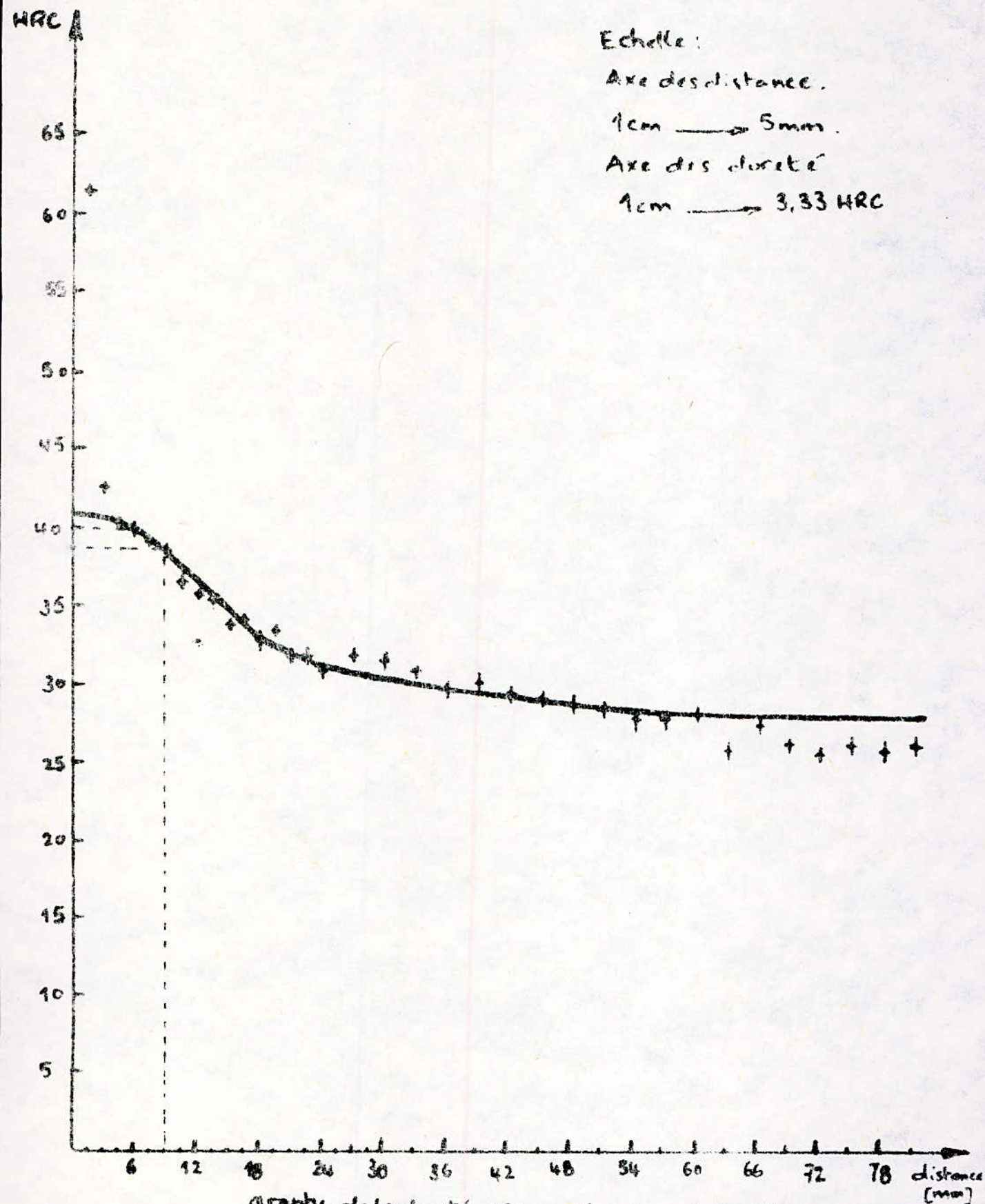
- Sphère : $D = 22 \text{ mm}$ $D_{critique} = 22 \text{ mm}$
- Cylindre :
 - $L/D = 10$ $D_{cr} = 15 \text{ mm}$.
 - $L/D = 4$ $D_{cr} = 21 \text{ mm}$
 - $L/D = 1$ $D_{cr} = 22 \text{ mm}$
- Disque : $L/D = 0,1$ $D_{cr} = 30 \text{ mm}$

Nous pouvons faire le même calcul, pour les pièces refroidies à l'huile ou à l'air, et nous pourrions déterminer les valeurs critiques, comme cela a été fait pour les pièces refroidies à l'eau.

Tableaux des valeurs de dureté :

Distance (mm)	HRC (1 ^{er} fac)	HRC (2 ^e fac)	HRC (moyenne)
1,5	60	62	61
3	44,75	43,5	42,62
4,5	41	39,5	40,25
6	40,75	39	39,87
7,5	39,75	38,75	39,25
9	39	38	38,5
10,5	36	37,5	36,75
12	35,5	36,75	36,12
13,5	35,25	36	35,62
15	35	33	34
16,5	34,75	34	34,37
18	34	32	33
19,5	33,5	34	33,75
21	33	34	32
22,5	34,5	32,5	32
24	31,5	30,5	31
27	32	32	32
30	34,5	34,75	34,62
33	34	34	34
36	30	30	30
39	30	31	30,5
42	29,5	30	29,75
45	29	29,75	29,37
48	29	29,25	29,12
51	28	29	28,5
54	28	27,75	27,87

Distances (mm)	HRC (1 st face)	HRC (2 nd face)	HRC (average)
57	28,5	27,25	27,87
60	28	29	28,5
63	27	25	26
66	27,5	27,75	27,62
69	27,5	25	26,25
72	26,5	25	25,75
75	28	25	26,5
78	27,5	25	26,25
81	27	26	26,5



- graphie de la dureté HRC en fonction de la distance -

Pourcentage de Carbone	Dureté H.R.C	
	Aciers au carbone	Aciers alliés
0,08 ÷ 0,17	-	25
0,18 ÷ 0,22	25	30
0,23 ÷ 0,27	30	35
0,28 ÷ 0,32	35	40
0,33 ÷ 0,42	40	45
0,43 ÷ 0,52	45	50
0,53 ÷ 0,62	50	55

Tableau pour le choix de la zone
demi-martensitique.

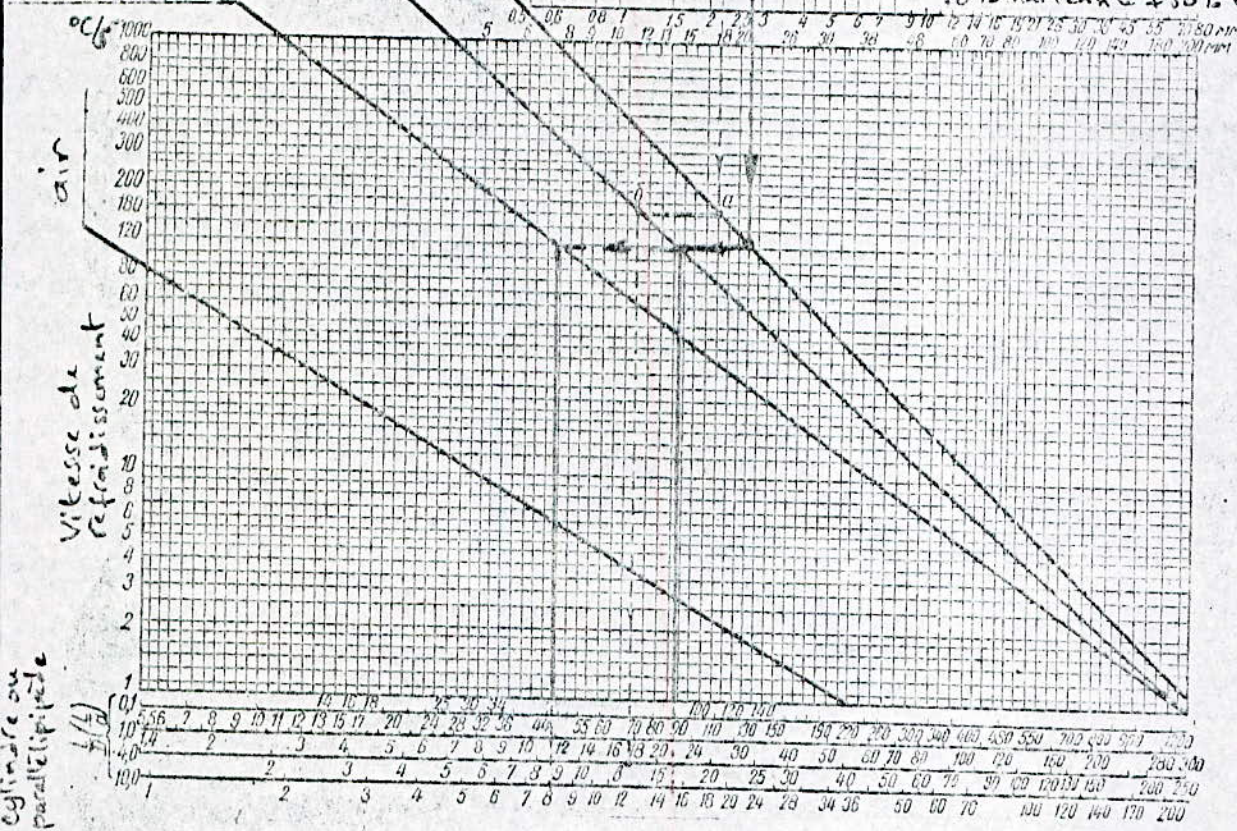
milieux de refroidissement

Distances d'extrémité d'échantillon jusqu'à la zone 1/2 martensitique [mm]

milieux de refroidissement idéal

huile minérale - eau 20°C

Martensite
50% martensite + 50% troostite



Nomogramme pour la détermination des pénétrations de la trempe d'après l'essai Jominy (M. BLANTER. URSS)

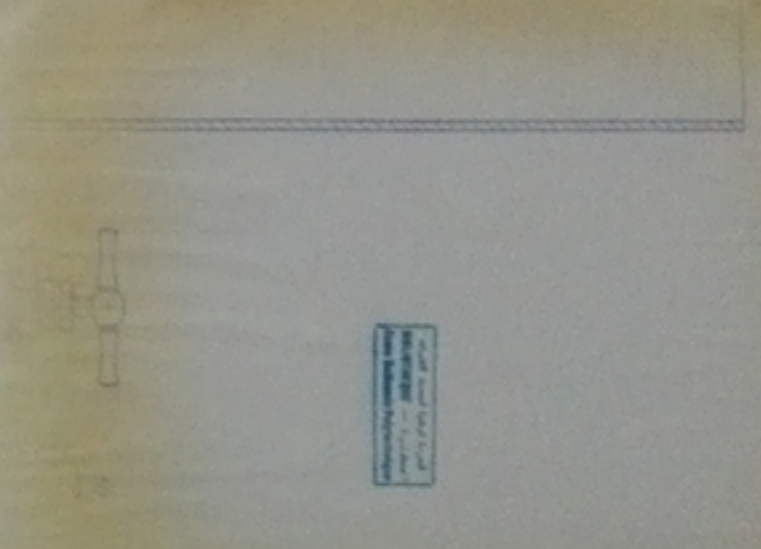
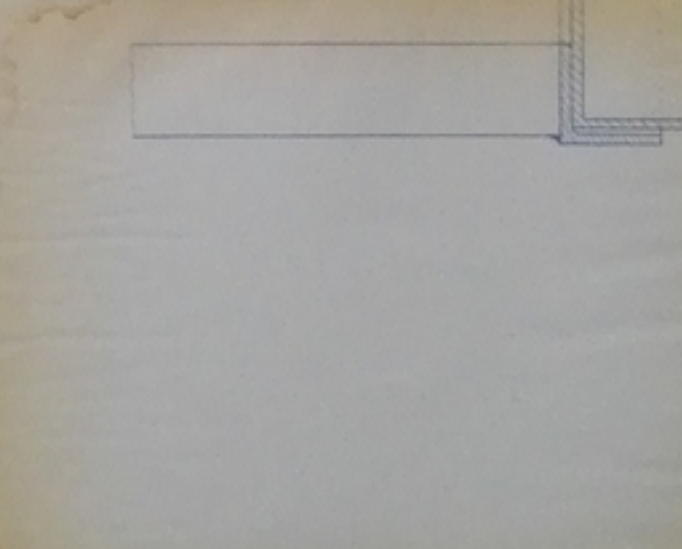
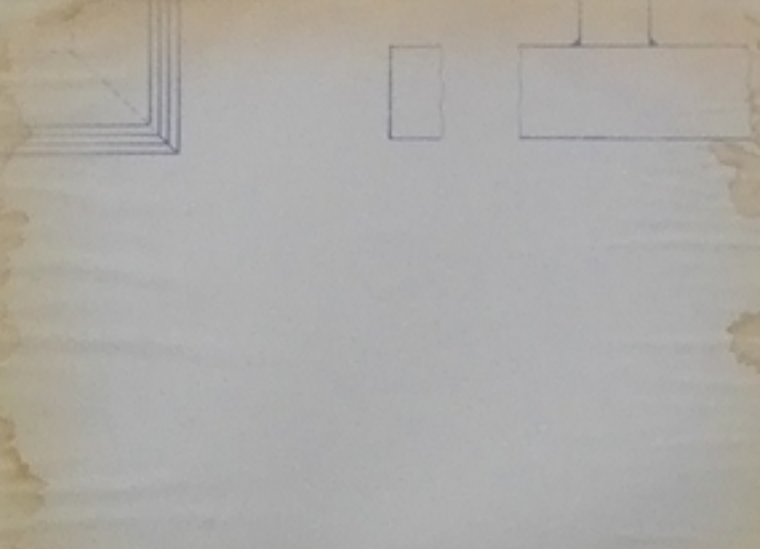
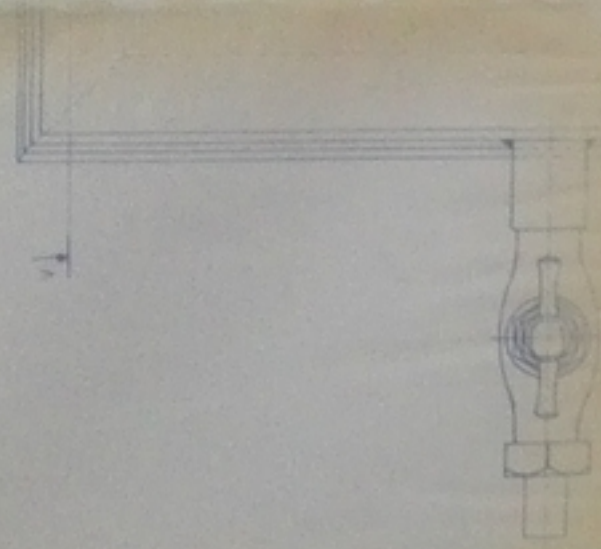
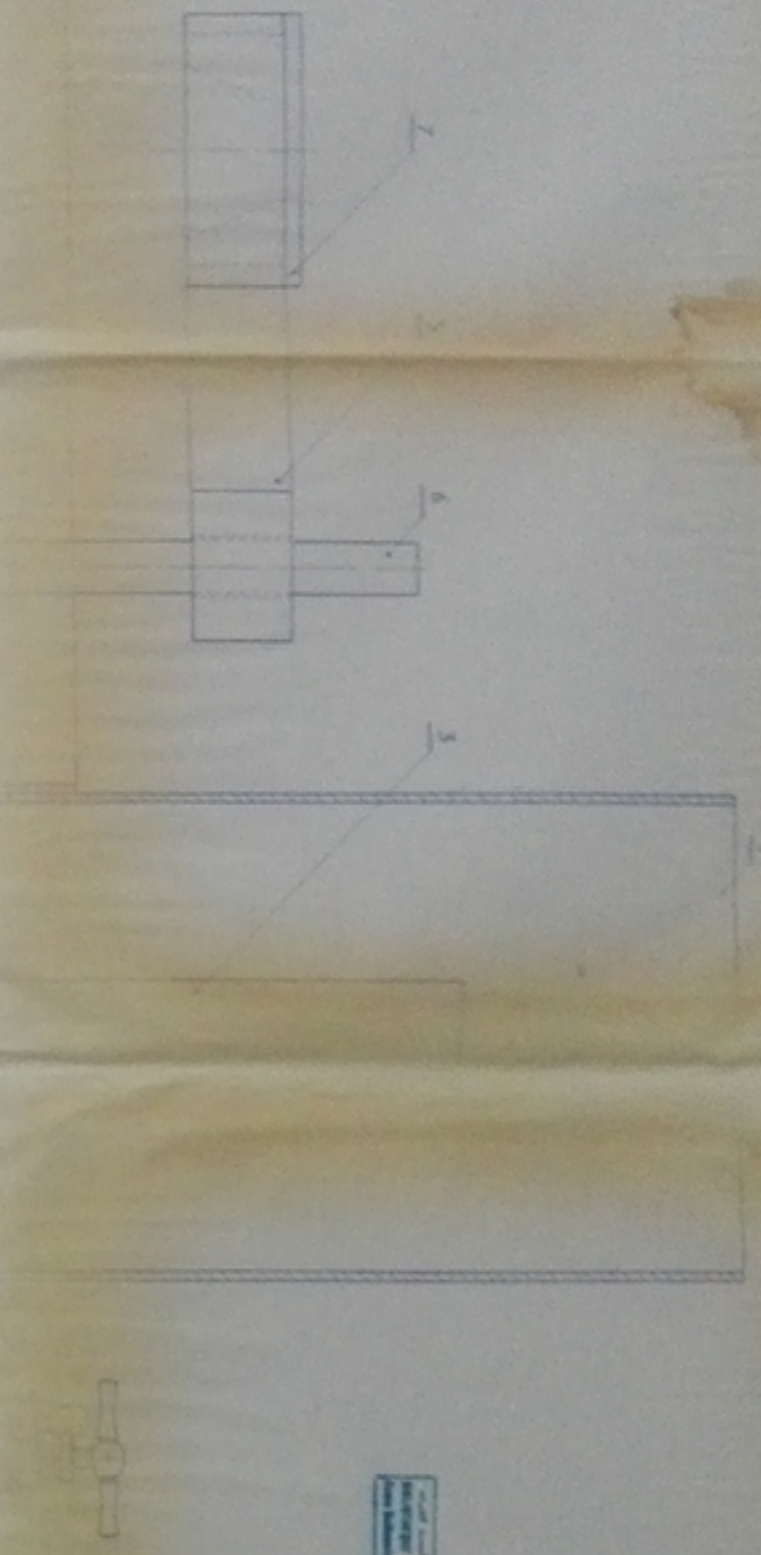
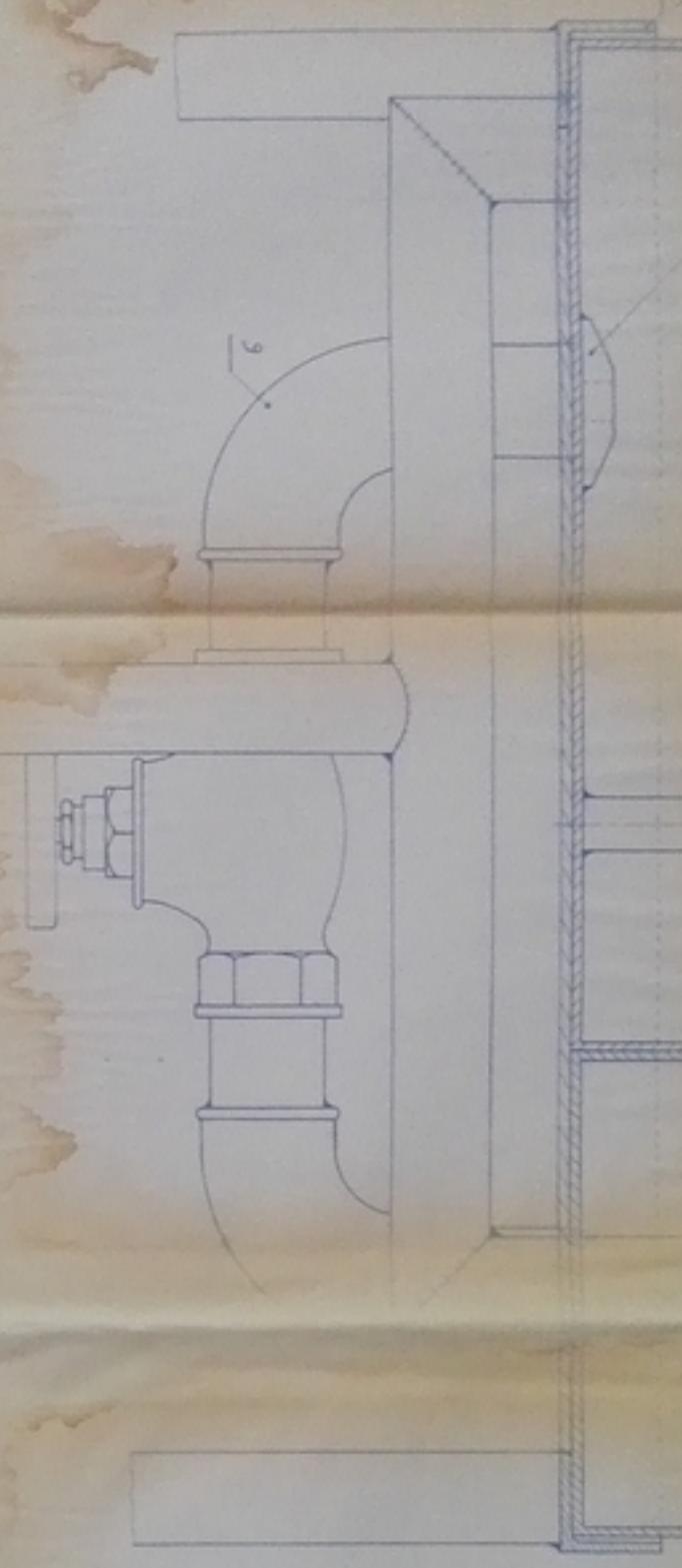
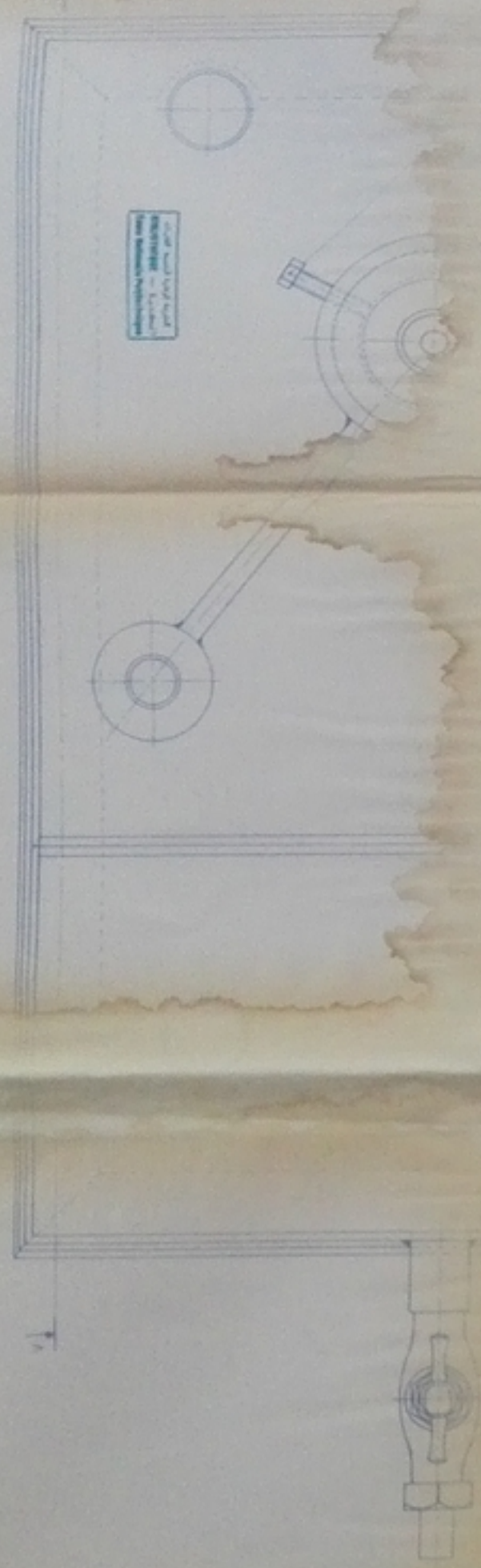
CONCLUSION

Nous tenons à préciser que la trempabilité en elle même n'a pas été étudiée à fond dans le présent ouvrage, et ceci par manque de temps. Par contre tous nos efforts ont été axés sur la construction de l'installation qui servira, nous l'espérons, comme outil de travaux pratiques, pour les étudiants de génies mécanique et métallurgique.

Cependant nous souhaiterons qu'il y'aura une suite à ce travail qui portera sur l'étude approfondie de la trempabilité des aciers de différentes nuances, sachant que nous avons fait des essais sur un seul échantillon d'acier de nuance XCU2.

BIBLIOGRAPHIE

1. I. LAKHTINE - Métallographie et traitements thermiques des métaux Editions MIR 1978.
2. R. CAZAUD & R. LE ROUX - Métallurgie, mise en forme et traitement Dunod
3. R. BUTIN & M. PIRIOT - Fabrications mécaniques Technologie Tome 1, 2, 3 Editions FOUCHER



ΕΘΝ. ΜΕΤΣΒ. ΣΧΟΛΗ

PM00397

№	Περιγραφή	Μετρήσεις	Μονάδα	Μητρώο
1	Ελάστικη ταινία	1	cm	
2	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
3	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
4	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
5	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
6	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
7	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
8	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
9	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
10	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
11	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
12	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
13	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
14	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
15	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
16	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
17	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
18	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
19	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
20	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
21	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
22	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
23	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
24	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
25	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
26	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
27	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
28	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
29	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
30	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
31	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
32	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
33	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
34	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
35	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
36	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
37	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
38	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
39	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
40	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
41	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
42	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
43	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
44	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
45	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
46	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
47	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
48	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
49	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
50	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
51	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
52	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
53	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
54	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
55	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
56	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
57	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
58	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
59	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
60	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
61	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
62	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
63	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
64	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
65	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
66	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
67	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
68	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
69	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
70	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
71	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
72	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
73	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
74	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
75	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
76	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
77	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
78	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
79	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
80	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
81	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
82	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
83	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
84	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
85	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
86	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
87	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
88	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
89	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
90	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
91	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
92	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
93	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
94	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
95	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
96	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
97	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
98	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
99	Καλκίνο φύλλο	1	cm	
100	Καλκίνο φύλλο	1	cm	

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ