

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : G.Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DE REALISATION
D'UNE TOUR SECHE
A TIRAGE NATUREL

4 PLANCHES

Proposé Par :
M^r.Ali-Ali

Etudie par :
R.MEZAoui

Dirige par :
M^r. Ali-Ali

PROMOTION :

1988

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ
الَّذِي خَلَقَ نَفْسَكَ
الْأَنْعَامَ
مَنْ
عَلَّمَكَ
الْحَقْلَ
عَلَّمَكَ
الْحَقْلَ

الله اعلم
الله اعلم

طدق الله العظيم

SOMMAIRE

1./ Introduction	1
1.1 Historique	1
1.2 Classification des tours de refroidissement	2
1.21 Tours de refroidissement humides	3
1.22 Tours de refroidissement seches	5
1.23 Tours de refroidissement mixtes	6
1.3 Objectif de l'étude	7
2./ Description et caracteristiques techniques	8
2.1 Structure de la coque	8
2.2 Données de base	11
2.3 Méthode de calcul	11
2.4 Mode de construction	11
2.5 Sollicitations prises en compte	13
2.6 Matériaux utilisés	13
2.7 Evaluation du poids propre de la coque	14
3./prédimensionnement du support	15
3.1 But de prédimensionnement	15
3.2 prédimensionnement de la poutre ceinture	16
3.3 prédimensionnement des poteaux	16

4./ Etude au vent	18
4.1 Introduction	18
4.2 Calcul de la force de trainée	19
4.3 Calcul de l'effort maximum dû à la pression de vent sur un poteau	20
4.4 Calcul du moment de renversement	21
5./ Vérification des éléments prédimensionnés	23
5.1 Vérification de la poutre ceinture	25
5.2 Vérification des poteaux	26
6./ Calcul des assemblages	27
6.1 Assemblages des éléments métalliques sur béton	
6.1.2 Dimension en plan de la plaline	27
6.1.2 Epaisseur de la plaline	28
6.1.3 Boulons d'ancrage	30
7./ Calcul de fondation	35
7.1 Introduction	35
7.2 Calcul des semelles	36
7.3 Hauteur de la semelle	37
7.4 Ferrailage	38
8./ Vérification de la construction	40

8.1 Vérification au renversement	40
8.2 Vérification de la stabilité	41
9./ Protection de la tour	43
10./ Conclusion	44
Appendice A	46
Appendice B	48
Appendice C	53
Appendice D	56

Pieces dessinées:

Plan d'ensemble :	PR 001
Détails :	Liaison poutres.poteaux
:	Liaison montant.montant
:	Liaison poutre . montant

NOMENCLATURE

- A : section droite du poteau
 A_a : Section cisailée
 \bar{A}_a : Section des armatures.
 C_t : Coefficient global de trainée.
 D_b : Diamètre de base de la tour
 D_s : Diamètre de sortie de la tour
 E : Module de déformation.
 e : Hauteur du support de la coque
 e_1 : épaisseur de la platine.
 e_x : excentricité.
 f : déformation élémentaire
 \bar{F} : flèche admissible.
 h : Hauteur de la coque
 i_{min} : rayon de giration
 K : Coefficient de flambement
 M_{rev} : Moment de renversement
 M_p : Moment dû au poids total de la construction
 N : effort normal pondéré
 N_v : effort maximum sur un poteau
 P_p : poids des plaques en plexiglas.

- P_{a-c} : poids des plaques en amiante ciment.
- P_c : poids totale des coiffes.
- P_s : poids total de la coque.
- P_t : poids total de la structure.
- S_t : aire de la projection verticale de la tour.
- T : effort tranchant.
- T : periode du mode fondamental.
- V_p : Volume occupé par le plexiglas
- V_{a-c} : Volume occupé par l'amiante-ciment
- V_c : Volume occupé par les coiffes.
- V : Vitesse Critique du vent.
- $\bar{\sigma}$: Contrainte pondérée de Compression
- $\bar{\sigma}_e$: Contrainte admissible de l'acier E24
- $\bar{\sigma}_b^i$: Contrainte de Compression dans le massif béton
- $\bar{\sigma}_{b_0}$: Contrainte admissible de Compression
- $\bar{\sigma}_s$: Contrainte admissible du sol.
- ρ_p : Masse volumique du plexiglas.
- ρ_{a-c} : Masse volumique de l'amiante-ciment
- η : Coefficient de majoration.
- λ : L'élement
- β : Coefficient dynamique
- γ : Coefficient de reponse.
- γ_b : Masse volumique du béton.

1. INTRODUCTION

1.1 Historique

Les besoins sans cesse croissant d'énergie ont conduit à la réalisation de programmes importants de construction de centrales thermiques, en particulier de centrales électriques.

Le refroidissement des condenseurs nécessite des quantités d'eau importantes, et les sites permettant l'installation à proximité des régions riches en eau deviennent de plus en plus rares. Aussi les grandes industries se trouvent dans l'obligation d'ériger des coûteux ouvrages pour récupérer et refroidir une eau pour sa réutilisation.

Les plus rentables et les plus parfaits de ces ouvrages sont les réfrigérants atmosphériques, qui fonctionnent en circuit fermé.

Les anciennes tours de réfrigérants, dont un grand nombre sont encore en service, avaient des dimensions relativement peu importantes. Les hauteurs étaient de l'ordre de 30 m et les diamètres de base d'environ 20 m.

Elles étaient généralement réalisées en bois ou en

ossature métallique. Avec l'apparition des claveaux en béton armé dans la construction des tours, une nouvelle possibilité se présentait aux constructeurs de tours de refroidissement.

Mais quand il a fallu augmenter les dimensions, quand on a voulu réaliser des tours de grandes dimensions, il a fallu repenser le problème.

Le béton armé avait évolué et permettait de trouver des solutions originales aux questions posées.

Au point de vue technologique, les connaissances des matériaux avaient progressé, les limites des contraintes admissibles avaient pu être augmentées.

Du point de vue théorique, la théorie de l'élasticité et des voiles minces, les études aérodynamiques et météorologiques permettaient une évolution rapide, en particulier par suite de l'augmentation de la puissance des centrales thermiques.

1.2 Classification des tours de refroidissement

Généralement on rencontre trois types de tours de refroidissement

- . Les tours de refroidissement humides.
- . Les tours de refroidissement sèches.
- . Les tours de refroidissement mixtes.

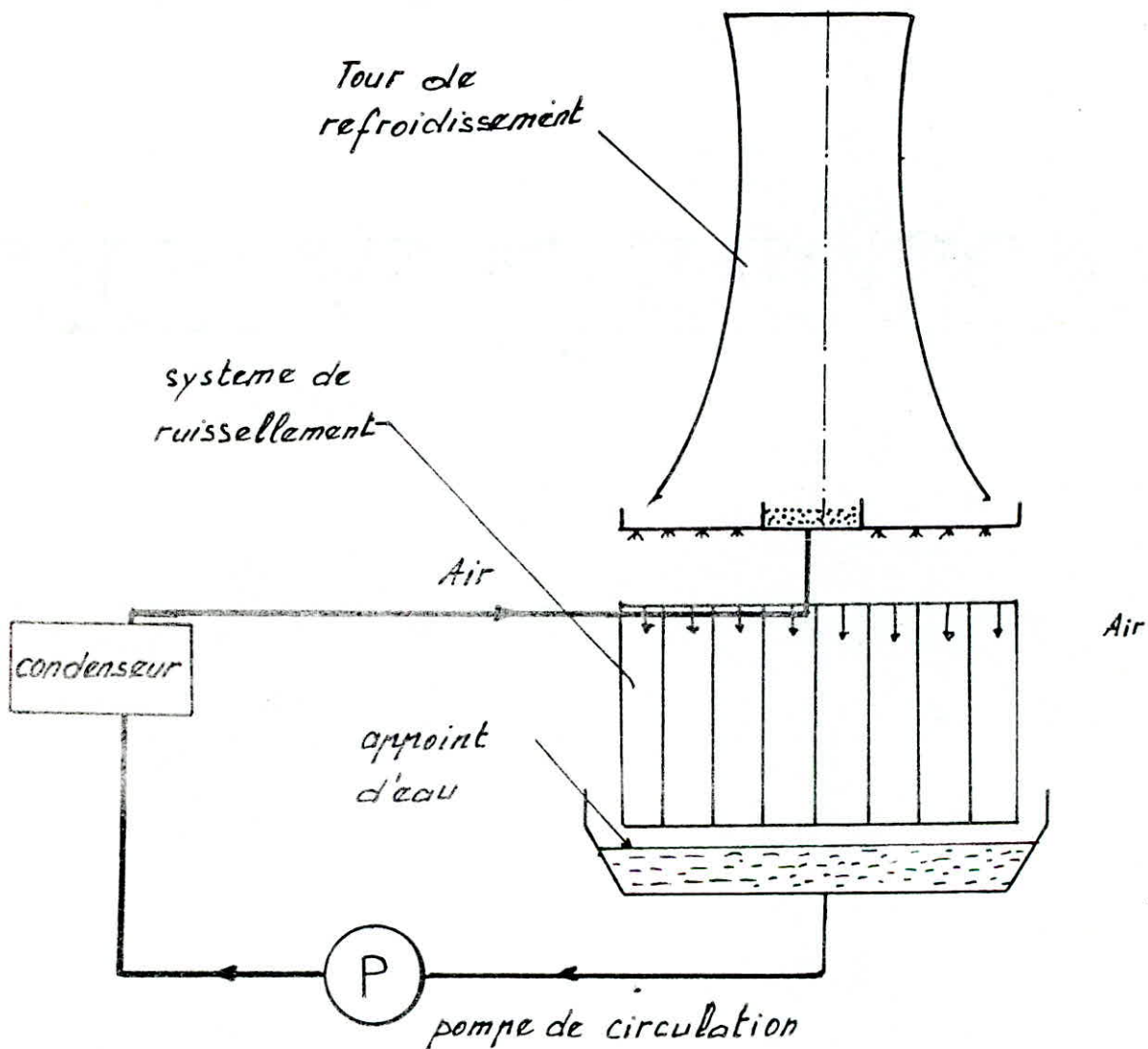
1.21 Tours de refroidissement humides.

C'est une installation d'échange de chaleur dans laquelle l'eau à refroidir s'écoule par gravité en contact avec l'air atmosphérique ascendant. L'eau de refroidissement évolue en circuit fermé mais du fait du contact avec l'air, une partie s'évapore. L'autre mode d'échange de chaleur, mais n'entrant que dans un faible rapport, est la convection. Dans une telle installation, il est nécessaire d'avoir un appoint d'eau pour compenser les pertes par évaporation.

1.2.11 Principe de fonctionnement

L'eau chaude, sortant du condenseur, est dirigée vers le tour de refroidissement où elle est refroidie par contact avec l'air aspiré naturellement ou artificiellement par un ventilateur. L'eau froide sera recueillie dans un bassin et elle est prête à servir de nouveau. Elle sera renvoyée au condenseur au moyen d'une pompe de recirculation. (voir figure 1.a)

Actuellement les centrales thermiques utilisent presque uniquement les tours de refroidissement humides à tirage naturel ou forcé, dont les deux types classiques sont :



Fig(1.01) schéma de principe.

- Les tours de refroidissement humides à contre courant, où l'eau et l'air ont des directions parallèles mais opposées
- Les tours de refroidissement humides à courant croisés, l'eau et l'air ont des directions perpendiculaires.

1.2.2 Tours de refroidissement sèches

Le principe de refroidissement est caractérisé par la pression et la température de la vapeur à l'échappement de la turbine, et par la température de l'air ambiant.

L'eau chaude sortant du condenseur, passe par un élément de refroidissement qui est l'échangeur de chaleur et sort refroidie pour être réutilisée.

Dans un circuit pareil, il n'y a pas de contact direct entre l'air et l'eau, donc il n'y a pas d'évaporation d'eau.

De point de vue fonctionnement, on peut distinguer les tours de refroidissement sec selon les moyens utilisés pour mettre l'air en circulation :

- cheminée de tirage permettant une convection naturelle
- cheminée avec ventilateur permettant une convection forcée (ventilateur situé à l'amont ou à l'aval de

l'échangeur de chaleur).

On installe ces tours lorsque par nécessité économique, ou géographique, une centrale thermique doit être installée dans un site pauvre en eau.

Les dimensions de ces tours sont relativement importantes ces tours auraient une taille 3 à 4 fois plus grande que les tours humides pour le même flux de chaleur à évacuer vers la source froide du cycle thermodynamique à condensation.

Le refroidissement par tour sèche exige un investissement plus important que les tours humides et il n'est pas employé si le refroidissement humide est acceptable.

1.23 Tours de refroidissement mixte.

La réfrigération mixte est une solution intermédiaire entre la réfrigération sèche et la réfrigération humide, ce système de refroidissement est moins sensible aux variations météorologiques.

Le refroidissement de l'eau se fait par contact avec l'air et par fois sans contact.

1.3 Objectif de l'étude

Ce projet de fin d'étude consiste à calculer les éléments résistants de l'ossature métallique, et d'établir les plans d'ensemble et de détails d'une tour de refroidissement sèche à tirage naturel.

Cette tour est destinée à dissiper une puissance électrique de 60 kW d'une centrale combinée gaz / vapeur, et refroidir ainsi l'eau chaude récupérée à la sortie du condenseur pour sa réutilisation. Cette tour pourrait être installée à proximité du bâtiment énergétique.

2. DESCRIPTION et CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

2.1 Structure de la coque.

Le choix d'une forme de coque qui constitue la cheminée a beaucoup d'influence sur le rendement d'échange. Celle qu'on a choisi pour la tour est proche d'une forme en hyperboloïde de révolution dont la circonférence de la structure est divisée en douze parties égales pour avoir une bonne approche de la circonférence circulaire ; ce choix résulte surtout des considérations purement constructives.

Nous avons choisi une construction en charpente métallique démontable pour des raisons économiques et techniques. Une construction en charpente est moins coûteuse par rapport à une construction en béton armé qui pose le problème de coffrage et de ferrailage associés à une nuisance esthétique.

La coque est divisée en cinq tronçons de 1 m de hauteur (voir plan d'ensemble)

L'ossature de chaque tronçon comporte les éléments métalliques suivants.

12 montants (poutrelles) en UAP 80 jumelés avec un angle de 30° .

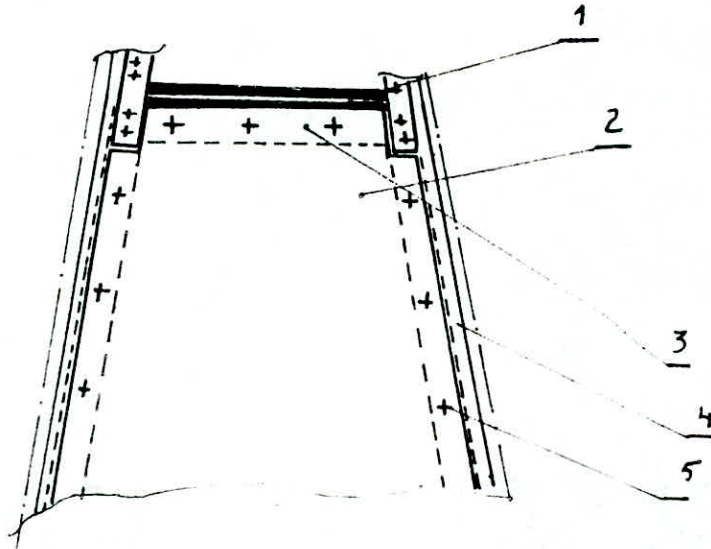
- Des raidisseurs (plats pour usage généraux) reliant les montants.

- palées de stabilité (en diagonale) assurées par des cornières à ailes égales dont on montrera l'importance dans le paragraphe 2.4.

La liaison entre deux tronçons successifs de la coque est assurée par boulonnage des plats d'assise soudés sur les parties inférieures et supérieures des montants.

Le revêtement est formé d'une double paroi en plexiglas de 9 cm d'épaisseur pour obtenir une bonne isolation thermique, et une paroi de 5 mm d'épaisseur en amiante-ciment. Pour assurer un bon calorifugeage on a jugé utile de mettre des coiffes en amiante-ciment de 3 mm d'épaisseur aux angles du polygone. Les plaques formant le revêtement et les coiffes sont fixées par boulonnage sur les ailes des montants, et des raidisseurs.

La coque repose sur un support en charpente métallique, formée par une ceinture circulaire assurant une bonne distribution des efforts, la ceinture est divisée en quatre éléments égaux, chaque élément est ceinturé à un mètre du rayon, ces poutres ceinture sont fixées avec boulonnage par l'intermédiaire des cornières aux ailes des poteaux.



- 1 Plats d'assise
- 2 plaque de plexiglas. (paroi extérieure)
- 3 raidisseur
- 4 Montant LAP
- 5 Boulons d'assemblage.

fixation des parois sur l'ossature.
pour une colonne en plexiglas.

fig (2.0)

aux ames des poteaux.

Les poteaux sont fixés aux fondations par le biais des platines et boulons d'ancrages à crochet.

2.2 Données de base

Les données imposées pour le calcul de la structure de la tour proposée sont les suivantes.

- Hauteur de la coque: $h = 5 \text{ m}$
- Diamètre de base : $D_b = 2 \text{ m}$
- Diamètre de sortie : $D_s = 1,70 \text{ m}$
- Hauteur du support : $e = 1 \text{ m}$.

par hypothèse le centre de gravité de la tour est situé à 3 m de la base.

2.3 Méthode de calcul

La méthode de calcul est basée sur les règlements en vigueur.

2.4 Mode de construction

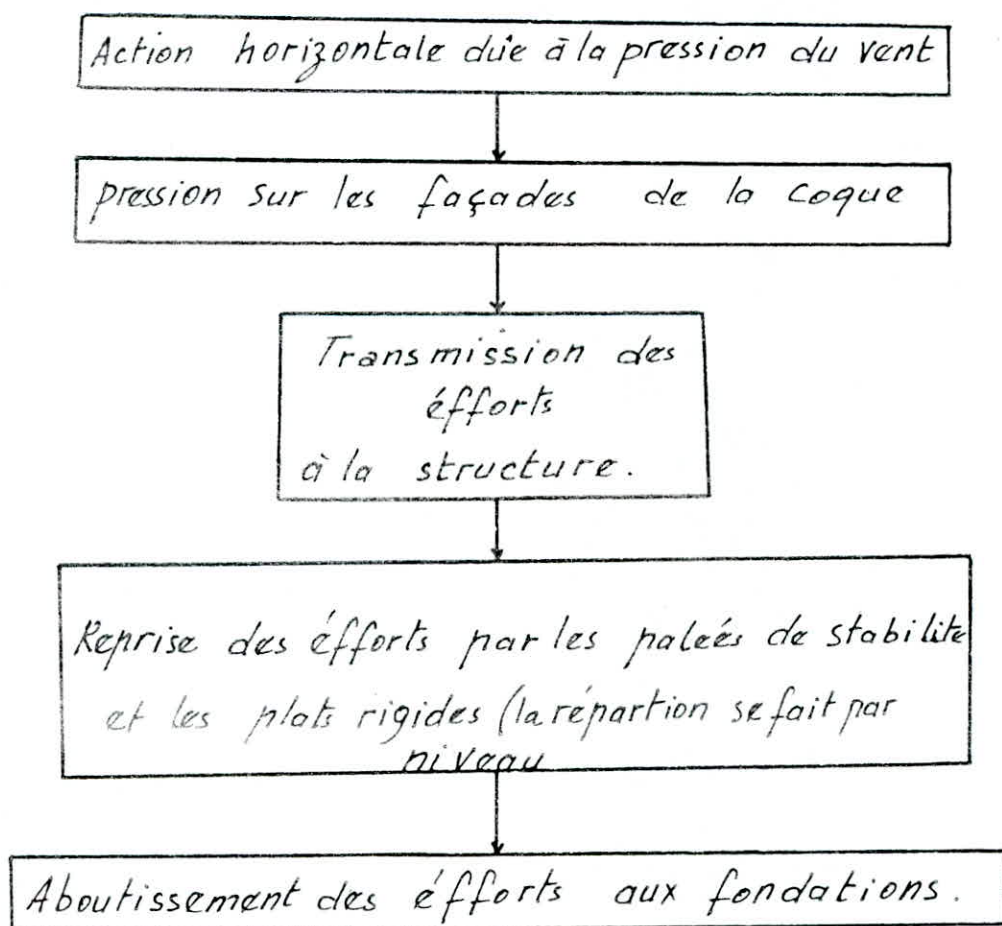
Les poteaux sont articulés à la base ; ce mode de construction (appuis articulés) permet de s'opposer à des efforts de poulevement. [4]

Les poutres du support sont encastées aux poteaux.

L'ossature de la coque dont tous les assemblages (noeud) sont articulés est instable, pour la rendre stable il faut la contreventer comme suit

- Le contreventement vertical est assuré par de palées de stabilité (en diagonale).
- Le contreventement horizontal est assuré par des fers plats rigides.

Pour illustrer le rôle primordial des Contreventements il est utile de donner schématiquement ce qu'on appelle le cheminement des efforts sous l'action du vent.



2.5 Sollicitations prises en compte.

Dans les calculs on doit tenir compte des charges, des surcharges, et des effets suivants.

- Charge permanente

On entend ici par charge permanente, le poids de tous les éléments constituant la coque, ce poids est évalué d'après le volume théorique des matériaux et leur masse volumique, dans les conditions d'emploi.

- Surcharges climatiques

- L'effet du vent (voir CH 4)

- L'effet de la température n'est pas pris en compte

- Surcharge d'exploitation ou d'essai.

Remarque :

L'effet du séisme n'est pas pris en compte (structure légères)

2.6 Matériaux utilisés

- Charpente métallique.

Ossature : en profilés laminés à chaud produit avec l'acier de nuance E24.

Assemblage: Nous utilisons deux types d'assemblages

Bouonnages ordinaires : effectués sur chantier.

Soudure : qui sera effectuée soigneusement en atelier pour des raisons de sécurité et de performance.

. Revêtement ou bardage.

- parois doublées en plexiglas.

Le choix du plexiglas s'est finalement fait en vertu des critères suivants

sa transparence facilite de visualiser les phénomènes,
sa légèreté,

sa facilité de montage et de démontage,

Il résiste à des températures plus ou moins élevées,
température limite 90°C

. Fondation

- Acier tor FeE 40 pour les barres d'armatures

- Béton dosé à 350 kg/cm^3 de ciment.

- Béton de propreté de faible dosage 150 kg/cm^3

2.7 Evaluation du poids propre de la coque

Le poids propre de la coque se résume en deux parties :

. poids de l'ossature métallique .

. poids de revêtement .

Les calculs détaillés sont donnés dans l'appendice C

3. PRÉDIMENSIONNEMENT DU SUPPORT

3.1 But de prédimensionnement

Le prédimensionnement a pour but de déterminer l'ordre de grandeur des éléments porteurs et résistants constituant le support de la coque, poutres et poteaux.

3.2 prédimensionnement de la poutre ceinture.

La ceinture circulaire représente l'élément porteur. Cette dernière est divisée en quatre tronçons égaux, chaque tronçon constitue une poutre chargée verticalement et encastrée aux poteaux.

procédé du calcul

On choisit un profilé convenable selon [3] et on effectue la vérification pour sa déformation élémentaire de flexion (la flèche)

la flèche est donnée par :

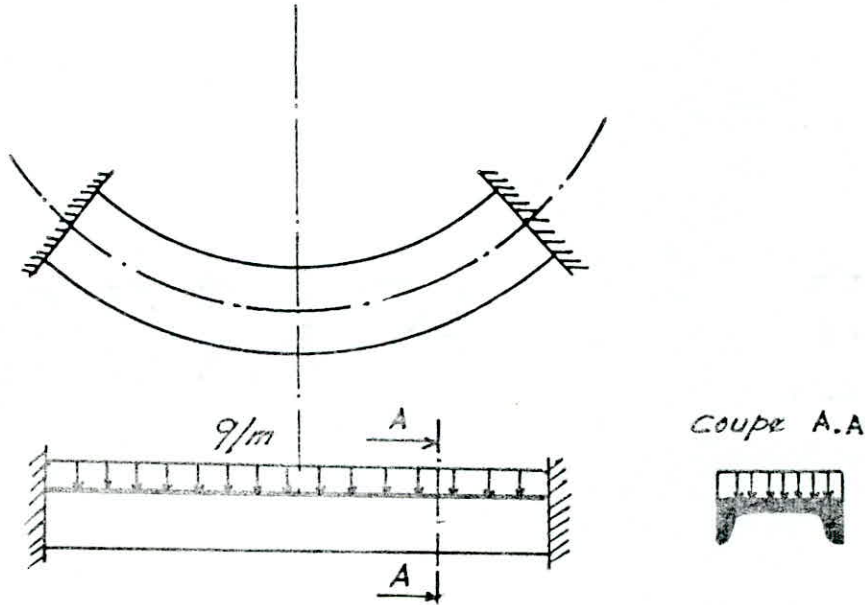
$$f = \frac{1}{384} \frac{q l^4}{E I_x} \quad [4]$$

la flèche admissible est :

$$f = \frac{l}{500}$$

[2] Art 5.252

Avec : l portée de la poutre
 q charge totale réelle non pondérée.



Les résultats sont donnés dans l'appendice A

3.3 prédimensionnement des poteaux

Les poteaux sont articulés à la base, ils seront calculés en compression simple.

On vérifie la contrainte pondérée de compression simple σ qui satisfait la condition

$$k\sigma \leq \sigma_e \quad [2]$$

Avec : k Coefficient de flambement.

$\sigma = \frac{N}{A}$ Contrainte pondérée de compression

N : effort normal dû à la charge verticale.

D'après [2] art 5.112 l'effort normal N est majoré de 15%.

Les étapes de calcul.

1. On détermine l'effort normal selon la combinaison $\frac{4}{3} N_G + \frac{3}{2} N_P$ sur un poteau, puis on le majoré suivant l'article indiqué ci dessus.
2. On choisit un profilé convenable selon [3] avec sa section A et son rayon de giration i_{\min} .
3. On calcule l'élançement λ_{\max} et on tire le coefficient de flambement k .
4. On vérifie la condition énoncée ci dessus.

Les calculs détaillés sont donnés dans l'appendice A.

Remarque : le prédimensionnement de certains éléments constitue un dimensionnement final.

4. ETUDE AU VENT

4.1 Introduction.

Le vent produit en effet un phénomène vibratoire mettant en mouvement la structure caractérisée par sa période propre fondamentale qui est de l'ordre de quelques secondes. Il est assimilé à des forces statiquement appliquées à la construction ; ces forces dépendent de :

- La région climatique
- L'altitude
- Des dimensions de la construction
- La majoration dynamique.
- L'effet de masque.
- du coefficient de traînée

L'action du vent soufflant dans une direction donnée sur une construction est la résultante R de toutes les actions sur les différentes parois de la construction. La résultante R peut se décomposer :

- suivant la direction horizontale du vent en une composante v produisant un effet d'entraînement et de renversement.
- suivant une verticale ascendante en une composante u produisant l'effet de soulèvement et éventuellement

de renversement. pour les constructions dans les parties inférieures et supérieures sont ouvertes simultanément, ce qui est notre cas, on considère uniquement l'action du renversement créé par v [6]

4.2 Calcul de la force de trainée

La force de trainée est donnée par la formule.

$$V = C_t \cdot S_t \cdot q_r \quad [1]$$

C_t : est le Coefficient global de trainée, l'orsque l'écoulement est normal à la surface frappée

S_t : aire de la projection verticale de la construction normale à la direction du vent considéré.

q_r : pression dynamique moyenne due au vent.

La pression dynamique moyenne est obtenue grâce à la formule suivante :

$$q_r = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot \delta' \cdot \beta \quad [1]$$

Avec :

q_h est la pression de base au niveau h .

k_s est le coefficient de site.

k_m est le coefficient de masque

δ' tient compte des dimensions de la surface frappée.

β : est un coefficient dynamique tenant compte de la période d'oscillation de la structure.

Les calculs détaillés de l'appendice B donnent

$$q_{10} = 68 \text{ daN/m}^2$$

$$K_s = 1,3$$

$$K_m = 1,0$$

$$\beta = 0,901$$

$$\text{La force de trainée : } V = \sum_{i=1}^6 V_i = 402,303 \text{ daN.}$$

4.3 Calcul de l'effort vertical maximum dû à la pression du vent sur un poteau

Soit la fig (4.0), la coupe horizontale sur les poteaux à leur base, désignons par N_A et N_B les réactions dans les poteaux dues au moment de renversement et par A_1 et B_1 les distances de poteaux à l'axe de symétrie xx' normal à la direction du vent.

Les réactions N_A et N_B seront dirigées de haut vers le bas dans les poteaux du côté du vent et du bas vers le haut du côté opposé au vent.

La somme des moments de toutes les réactions par rapport à l'axe xx' doit équilibrer le moment de renversement M_{rev} .

On peut donc écrire :

$$2 N_A A_1 + 2 N_B B_1 = M_{rev} \quad 4.3.1$$

de la fig (4.9) : $A_1 = B_1 = r \sin \alpha$ 4.3.2

$$N_A = N_B = N_v \quad 4.3.3$$

En introduisant les équations (4.3.2) et (4.3.3) dans l'équation (4.3.1) on obtient :

$$4 N_v r \sin \alpha = M_{rev}$$

et $N_v = \frac{M_{rev}}{4 r \sin \alpha}$ 4.3.4

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$r = \frac{D_b}{2}$$

De l'équation (4.3.4) on obtient l'effort vertical maximum sur un poteau.

$$N_v = \frac{M_{rev}}{\sqrt{2} \cdot D_b} \quad 4.3.5$$

4.4 Calcul du moment de renversement

Si V est la force de trainée due à la pression du vent et appliquée à une hauteur $H_6 = 3$ m. de la base de la tour, le moment de renversement sera :

$$M_{rev} = V \cdot H_G$$

4.3.6

$$M_{rev} = 402,33 \cdot 3 = 1206,99 \text{ dan. m.}$$

Donc des équations (4.35) et (4.36) on obtient :

$$N_v = \frac{V \cdot H_G}{\sqrt{2} \cdot D_b} = \frac{1206,99}{\sqrt{2} \cdot 2} = 431,038 \text{ dan.}$$

$$N_v = 431,038 \text{ dan.}$$

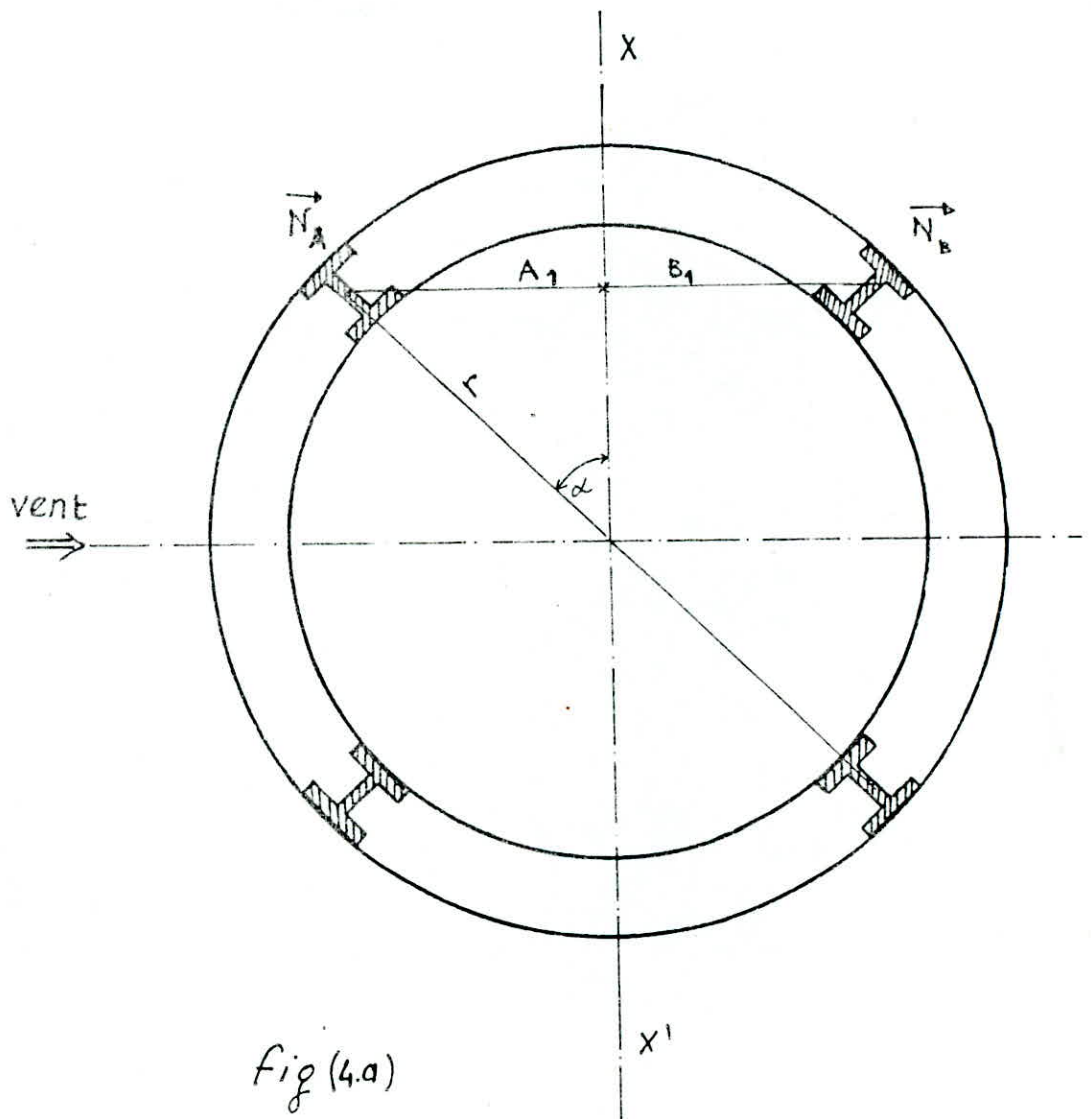


Fig (4.a)

5. VERIFICATION DES ELEMENTS

PREDIMENSIONNES

5.1 Vérification des poteaux.

Les poteaux sont sollicités uniquement par les efforts, normal N et tranchant T , l'effort dû au moment d'encastrement à la base est nul. Ces efforts sont calculés à la base des poteaux.

pour avoir le poids total à la base des poteaux, il y a lieu d'ajouter au poids propre de la coque, le poids propre des poteaux P_0 , des poutres ceinture P_2 , ainsi que le poids des cornières formant le contreventement à la base P_r .

Donc chaque poteau supportera un poids total :

$$N_{G_i} = \frac{N_G + P_0 + P_2 + P_r}{4} = \frac{1923,3 + 99,8 + 22,56 + 73,19}{4} = 512,8 \text{ dan}$$

les différentes sollicitations dues aux charges permanentes, surcharges d'exploitation, et surcharges climatiques, doivent être combinées dans les cas les plus défavorables, pour avoir les efforts N et T à la base des poteaux.

Les efforts à prendre en considération sont :

$$N_{G_i} = 512,8 \text{ dan.}$$

$$N_p = 75 \text{ dan}$$

$$N_v = 431,038 \text{ dan}$$

$$N_e = 1,75 \cdot N_v = 754,316 \text{ dan.} \quad [2]$$

Les différentes combinaison données par la référence [2]
sont : $N_p + N_{G_1} + N_e$

$$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{17}{12} (N_p + N_v)$$

$$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{3}{2} N_v$$

$$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{3}{2} N_p$$

$N_p + N_{G_1} + N_e$		$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{17}{12} (N_p + N_v)$		$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{3}{2} N_v$		$\frac{4}{3} N_{G_1} + \frac{3}{2} N_p$	
N	T	N	T	N	T	N	T
dan	dan	dan	dan	dan	dan	dan	dan
1342,11	754,316	1400,62	610,637	1330,3	646,557	758,73	0

Les efforts maximums obtenu sont:

$$N_{max} = 1400,62 \text{ dan}$$

$$T_{max} = 754,316 \text{ dan.}$$

a/ Vérification au flambement

de 3.3 :

$$K \sigma \leq \sigma_e$$

$$K \frac{N_{max}}{A} \leq \sigma_e$$

$$\Rightarrow 1,019 \frac{1400,62}{34} = 42 < 2400 \text{ daN/cm}^2$$

b/ Vérification au cisaillement

D'après l'article 1.313 [2]

on vérifie que :

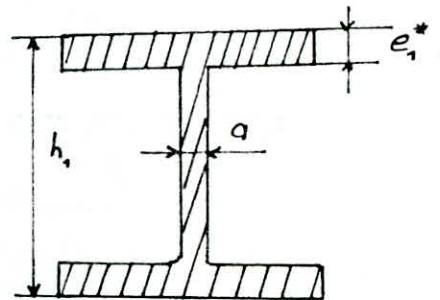
$$1,54 \tau \leq \sigma_e \quad \text{b.1}$$

$$\text{avec : } \tau = \frac{T_{\max}}{A_a} \quad \text{b.2}$$

$$\text{et } A_a = (h_1 - 2e_1^*) a$$

$$A_a = (12 - 2 \cdot 0,11) \cdot 0,65$$

$$A_a = 7,657 \text{ cm}^2$$



donc de b.1 et b.2 on obtient :

$$1,5 \frac{T_{\max}}{A_a} = 1,5 \cdot \frac{754,316}{7,657} = 151,7 < 2400 \text{ daN/cm}^2$$

5.2 Vérification de la poutre ceinture.

La poutre ceinture est sollicitée par son poids propre et l'effort normale donné par la combinaison la plus défavorable.

on vérifie la déformation élémentaire (flèche)

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q l^2}{E I_x} < \bar{f}$$

$$q = \frac{\frac{4}{3} \cdot \frac{M_G}{4} + \frac{17}{12} (N_P + N_V) + \frac{P_e}{4}}{l}$$

$$q = \frac{\frac{4}{3} \cdot \frac{1923,3}{4} + \frac{17}{12} (75 + 431,038) + \frac{73,19}{4}}{145} = 8,38 \text{ dan/cm.}$$

Donc : $f = \frac{1}{384} \cdot \frac{8,38 (145)^4}{21 \cdot 10^5 \cdot 364} = 0,0126 \text{ cm}$

$$\bar{f} = \frac{l}{500} = \frac{145}{500} = 0,29 \text{ cm.}$$

Donc la déformation élémentaire est vérifiée : $f < \bar{f}$

Contreventement des poteaux.

pour assurer la stabilité du support de la coque vis à vis des sollicitations, éventuelles latérales pouvant survenir lors d'un vent intense, il faut maintenir les poteaux à la base avec des cornières formant un système de contreventement horizontal. La liaison cornière poteau se fait par l'intermédiaire d'un gousset soudé à l'âme du poteau.

6. CALCUL DES ASSEMBLAGES

Les assemblages jouent un rôle primordial dans la résistance et la stabilité de la structure, ils ont pour fonction de transmettre des efforts et ceci afin de réaliser la continuité mécanique entre les éléments de l'ossature pour assurer la rigidité voulue de la construction.

6.1 Assemblages des éléments métalliques sur béton par platine et boulons d'ancrage

6.1.1 Dimension en plan de la platine.

Les efforts verticaux dirigés vers le bas sont transmis par appuis directs au moyen d'une platine de surface suffisante pour que les pressions maximales sur les fondations restent dans les limites admissibles correspondant au matériau, et d'épaisseur telle que la répartition des charges s'effectue correctement.

On vérifie la condition de non écrasement du béton

$$\sigma_b' = \frac{N_c^{\max}}{x.y} \leq \bar{\sigma}_{b_0}' \quad (6.1) \quad [10]$$

N_c^{max} : est l'effort maximum de compression sur un poteau.
 σ'_b : Contrainte de compression dans le massif béton
 $\bar{\sigma}'_{b_0}$: Contrainte admissible de compression
 $\bar{\sigma}'_{b_0} = 68,5 \text{ daN/cm}^2$ [7]

On choisit $x = 22 \text{ cm}$
 $y = 20 \text{ cm}$
 $n = 4 \text{ cm}$
 $m = 5 \text{ cm}$

Et on effectue la vérification à partir de l'équation (6.1) :

$$\sigma'_b = \frac{N_c^{max}}{x \cdot y} = \frac{1400,62}{22 \cdot 20} = 3,73 < 68,5 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

donc pas d'écrasement du béton

6.12 Epaisseur de la platine.

La plaque d'appui travaille à la flexion due à la pression σ'_b .

La plaque d'appui (platine) est divisée en plaques élémentaires comme l'indique la fig (6.a)

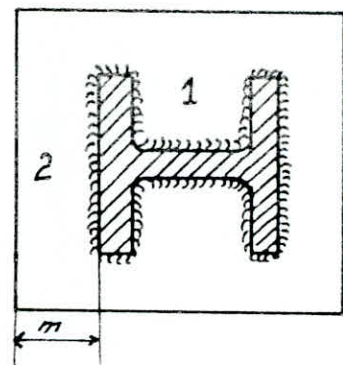
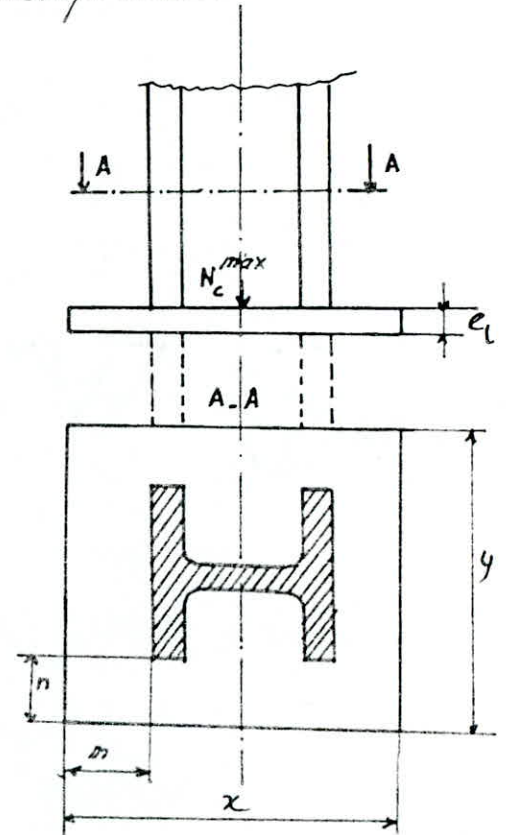


Fig (6.a)

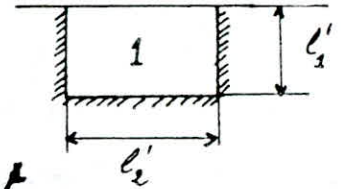
• plaque élémentaire 1

Elle est appuyée sur 3 côtés, le moment d'encastrement:

$$M_2 = \beta' l_2' \cdot \sigma_b' \quad [10]$$

β' est un coefficient de plaque donné par les abacques en fonction du rapport $\frac{l_2'}{l_1'}$.

$$\frac{l_2'}{l_1'} = \frac{10,4}{5,675} = 0,183 \longrightarrow \beta' = 0,02 \quad [10]$$



Remarque: l_2' et l_1' sont déterminés géométriquement.

Le moment d'encastrement M_1 sera:

$$M_1 = 0,02 (5,675)^2 \cdot 3,73 = 2,40 \text{ dan.m.}$$

• plaque élémentaire 2

Elle est considérée comme une console fixée sur un seul côté.

Le moment d'encastrement est:

$$M_2 = \frac{\sigma_b'}{2} \cdot m = \frac{3,73}{2} (5)^2 = 46 \text{ dan. cm.}$$

L'épaisseur de la platine est donnée par:

$$e_c \geq \sqrt{\frac{6 \cdot \max(M_2, M_1)}{\sigma_c}}$$

$$\text{Max}(M_1, M_2) = M_2 = 46 \text{ dan.cm}$$

Donc :

$$e_c \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M_2}{\sigma_e}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 42}{2400}} = 0,34 \text{ cm.}$$

On prend par mesure de sécurité $e_c = 15 \text{ cm}$, qui est généralement l'épaisseur minimale des platine.

6.13. Boulons d'ancrages.

Un boulon d'ancrage est constitué d'une tige de diamètre ϕ à extrémité filetée et une partie lisse de longueur l_1 , prolongée par un crochet à 180° de rayon r , puis par une nouvelle partie droite de longueur l_2 . fig (6a)

La section des boulons d'ancrage sera déterminée suivant l'article 4.12 [2]

$$1,25 \frac{N_T^*}{A_T} \leq \sigma_e \quad (6.2)$$

N_T^* est l'effort pondéré de traction exercé sur chaque boulon.

$$N_T^* = \frac{N_{\max}}{2} = \frac{1400,62}{2} = 700,31 \text{ dan}$$

De l'équation (6.2) on obtient la section cisailée de la partie filetée :

$$A_r \gg \frac{1,25 N_T^*}{\sigma_e} = \frac{1,25 \cdot 700,31}{2400} = 36,47 \text{ mm.}$$

Par mesure de sécurité l'ancrage de chaque poteau se fait par deux boulons $\phi 20$ espacés de 80 mm.

Pour $\phi = 20 \text{ mm}$:

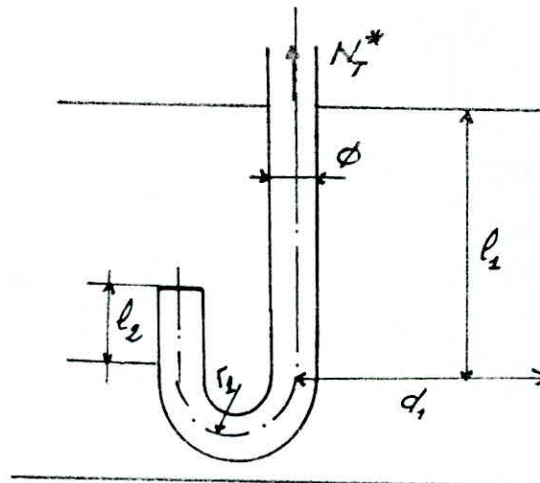
$$d_1 = 75 \text{ mm}$$

$$l_1 = 300 \text{ mm}$$

$$l_2 = 50 \text{ mm}$$

$$r_1 = 65 \text{ mm}$$

[10]

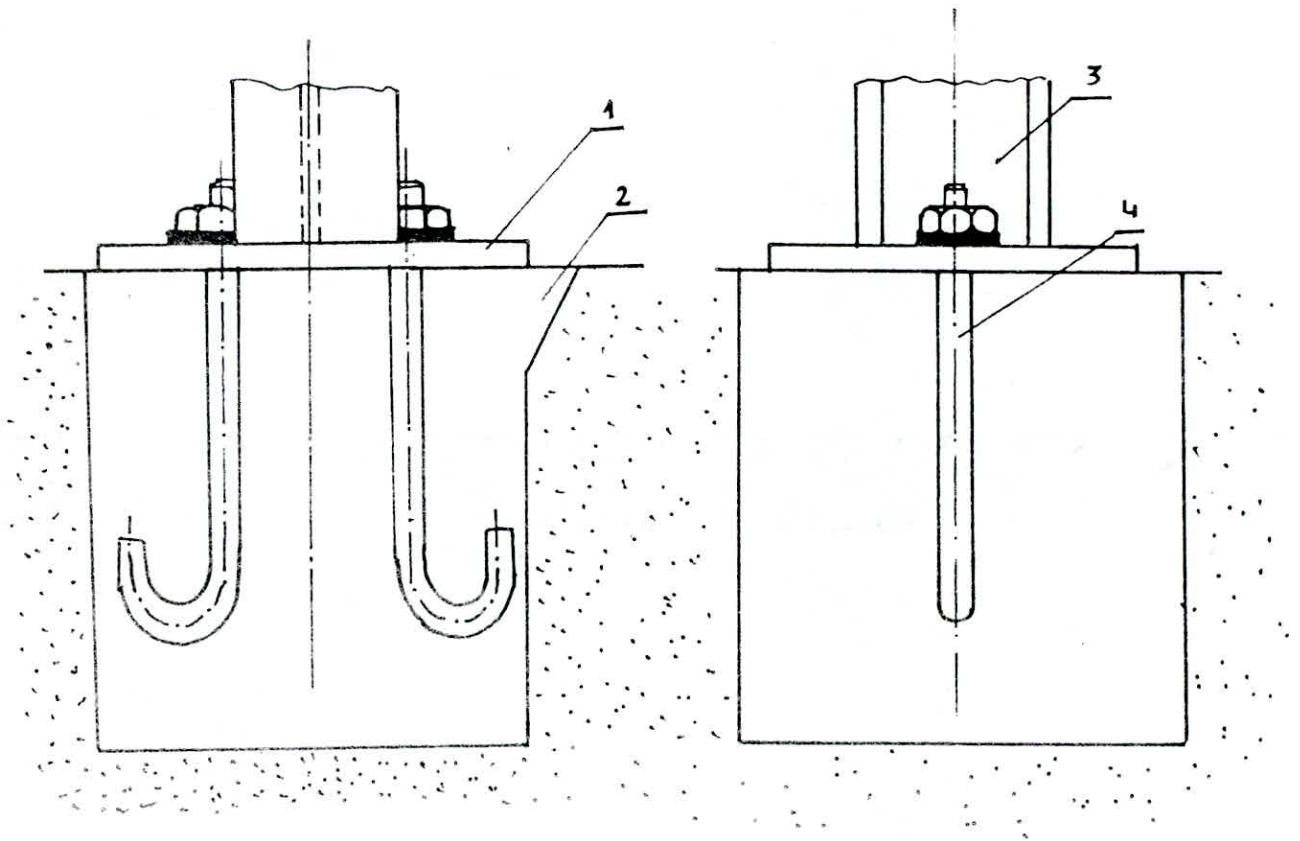


Fig(6.a)

Remarque :

d_1 est la distance de l'axe de tige à la paroi.

Details de trous de sellement et des bolons d'ancrages



- 1 platine
- 2 Event de remplissage
- 3 poteau HEB 120
- 4 Boulon d'ancrage

Fig (6.b)

6.14 Vérification de soudure des platines.

hypothèses de calcul:

Pour simplifier les calculs on admet, suivant une hypothèse classique que:

- L'effort normal N se répartit uniformément entre tous les cordons de soudure.
- Les cordons d'attaches de l'âme équilibrent l'effort tranchant T

pour les cordons assemblant l'âme du poteau et la platine, on vérifie que:

$$\sqrt{1,4 \left(\frac{N}{\sum l_i \alpha_i} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{T}{2l_3 \alpha_3} \right)^2} \leq \sigma_e \quad \text{Art 4.3124 [2]}$$

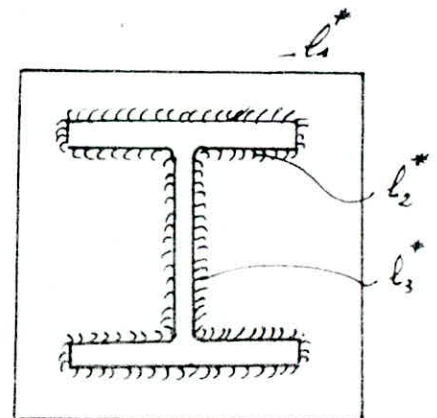
Nous avons $N = 1400,62 \text{ daN}$

$T = 754,316 \text{ daN}$.

$$l_1^* = 120 \text{ mm}$$

$$l_2^* = 120 - 11 = 109 \text{ mm}$$

$$l_3^* = 120 - 2 \cdot 11 = 98 \text{ mm}.$$



On choisit un cordon de soudure d'épaisseur

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 4 \text{ mm. [2]}$$

$$\sqrt{1,4 \left(\frac{1400,62}{4(109 + 120 + 98)} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{754,316}{2 \cdot 4 \cdot 98} \right)^2} = 1,8 \text{ daN/mm}^2 < 24.$$

Les assemblages :

- poteaux HEB 120 - poutres ceintures UPN 120,
- Les diagonales des palées de stabilité sur les ailes, des montants UAP 80
- Montant - Montant,
- Des tronçons de la coque dans les colonnes à paroi, unique.
- Du premier tronçon au support de la coque, sont donnés en détails dans l'appendice .D.

7. CALCUL DE FONDATION

7.1 Introduction

Une fondation est constituée par les semelles de la structure et les aménagements du sol sous ces semelles.

Une semelle est par définition, un organe de transmission des charges de la superstructure au sol. Elle ne peut être calculée que si l'on connaît la superstructure et ses charges, c.-à-d. la descente de charges, d'une part et les caractéristiques du sol d'autre part.

Pour notre structure on dispose de semelles isolées car les poteaux sont assez espacés, et la structure n'est pas sollicitée avec des charges importantes. La contrainte admissible du sol est assez bonne $\bar{P}_s = 2 \text{ bars}$.

Les semelles sont ancrées à une profondeur $z = 90 \text{ cm}$ et elles sont posées sur un béton de propreté de faible dosage en ciment 150 kg/m^3 et d'épaisseur $\geq 4 \text{ cm}$ [7]

On calcule les semelles avec la sollicitation du premier genre, et on fera la vérification en tenant compte du poids propre de semelle et du poids des terres au dessus de la semelle.

Dans toutes les hypothèses de calcul, la répartition

des effort est lineaire.

7.2 Calcul des semelles.

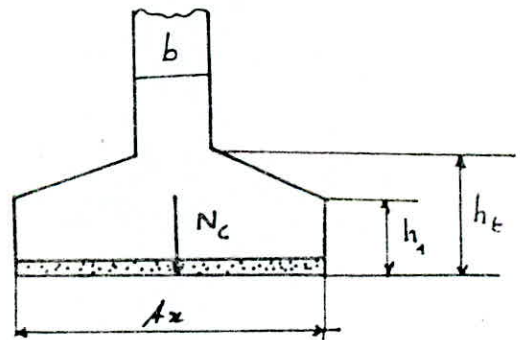
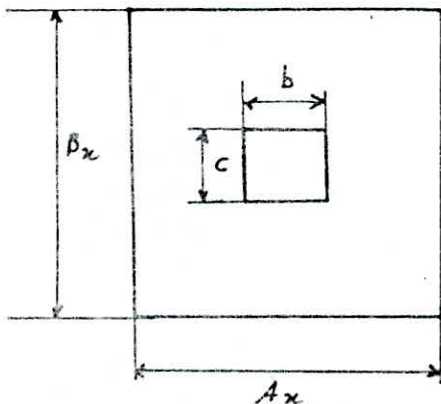
On calcul les semelles avec la sollicitation du 1^{ere} genre $N_G + 1,2 N_P$ [7]

L'effort N_c sur chaque semelle est:

$$N_c = N_G + 1,2 N_P$$

$$N_c = 512,8 + 1,2 \cdot 75 = 602,8 \text{ daN.}$$

On choisit une semelle carrée



On verifie que la contrainte sur le sol ne depasse pas la contrainte admissible ;

$$A_x \cdot B_x \gg \frac{N_c}{\bar{\sigma}_s} \quad 7.1$$

$$A_x = B_x \quad 7.2$$

de 7.1 et 7.2 on obtient :

$$A_x \geq \sqrt{\frac{602,8}{2}} = 17,36 \text{ cm}$$

Puisque $A_x < 60 \text{ cm}$, on prend $A_x \geq 60$ d'après [5]

Dimensions du fut : $b = c = 25 \text{ cm}$.

7.3 Hauteur de la semelle.

Pour avoir à éviter la vérification au cisaillement, on a intérêt à choisir h' assez grand.

Avec la méthode des bielles :

$$h' \geq \frac{A_x - b}{4} = \frac{60 - 25}{4} = \frac{35}{4} = 8,75 \text{ cm.}$$

nous prendrons $h = 15 \text{ cm}$ pour assurer la rigidité

$$\text{et } \begin{cases} h_e = h + 5 = 15 + 5 = 20 \text{ cm} & [5] \\ h_f = \frac{h_e}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Vérification.

Pour la vérification on tient compte du poids des terres au dessus de la semelle ainsi que du poids propre de la semelle.

• Poids propre de la semelle.

$$N_s = \gamma_b \left[A_x^2 \cdot h_1 + \frac{1}{2} A_x (A_x - b) (h_t - h_1) + b^2 (z - h_t) \right]$$

avec $\gamma_b = 2500 \text{ dan/m}^3$ [7]

$$N_s = 2500 \left[0,6^2 \cdot 0,1 + \frac{1}{2} 0,6 (0,6 - 0,25) (0,2 - 0,1) + 0,25^2 (0,9 - 0,2) \right]$$

$$N_s = 199,375 \text{ dan.}$$

• Poids des terres au dessus de la semelle

$$N_t = \gamma_t \left[A_x (A_x - b) (z - h_t) + \frac{1}{2} A_x (A_x - b) (h_t - h_1) \right]$$

avec $\gamma_t = 1600 \text{ dan/m}^3$ [7]

$$N_t = 1600 \left[0,6 (0,6 - 0,25) (0,9 - 0,2) + \frac{1}{2} 0,6 (0,6 - 0,25) (0,2 - 0,1) \right]$$

$$N_t = 378 \text{ dan}$$

$$\text{donc } N = N_c + N_s + N_t = 1180,175 \text{ dan}$$

on doit vérifier que: $\frac{N}{A_x^2} < \bar{\sigma}_s$

$$\frac{1180,175}{60^2} = 0,33 \text{ dan/cm}^2 < 2 \text{ bars}$$

7.4. Ferrailage.

La section d'armature est calculé avec la méthode des bielles.

La force de traction dans l'acier de ferrailage est:

$$F = \frac{N (A_x - b)}{8 h'} \quad 7.3$$

$$\text{et la section d'armature } \bar{A}_a = \frac{F}{\bar{\sigma}_a} \quad 7.4$$

des équations 7.3 et 7.4 on obtient.

$$\bar{A}_a = \frac{N (A_x - b)}{8 h \bar{\sigma}_a}$$

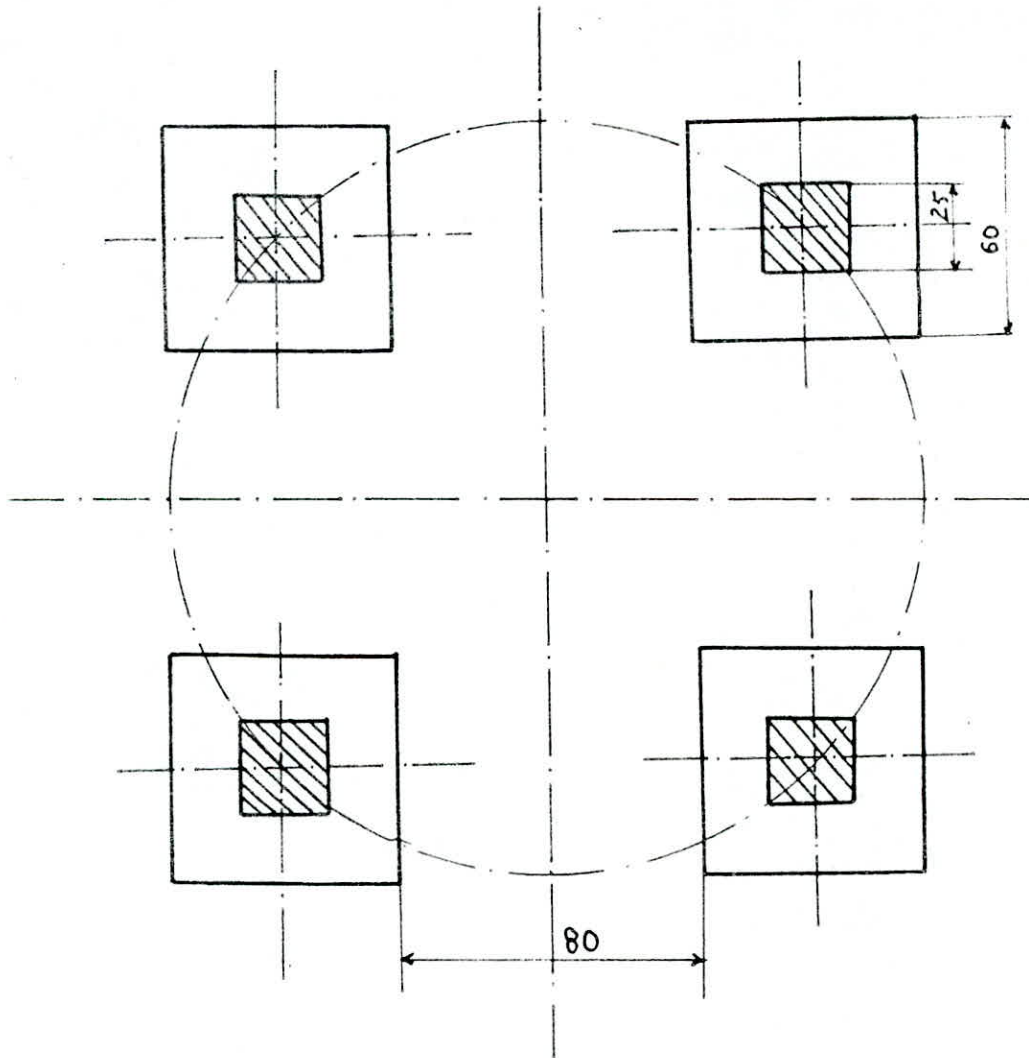
La section d'armature : $\bar{A}_D = \frac{1180,175 (60 - 25)}{8 \cdot 15 \cdot 2800} = 0,123 \text{ cm}^2$

Donc nous prendrons des armatures $16 \phi 5$ [7]

Remarque

• l'acier tor : est un acier doux écroui par torsion
de nuance Fe E 40

Vue en plan des fondations



8.1 VERIFICATION AU RENVERSEMENT

Condition de non renversement.

Il faut vérifier que le moment dû au poids propre de la construction soit supérieur au moment de renversement dû à la pression du vent.

C'est à dire :

$$M_p > M_{rev}$$

• Calcul du moment dû au poids propre de la construction.

- Le poids propre de la coque : $P_s = 1923,3 \text{ daN}$

- poids dû aux charges d'exploitation : $P_{se} = 300 \text{ daN}$

- poids propre du support : $P_r = 212,912 \text{ daN}$

Le poids total de la construction est :

$$P_t = 2436,212 \text{ daN}$$

Donc :

$$M_p = P_t \cdot \frac{D_b}{2} = 2436,212 \cdot \frac{2}{2} = 2436,212 \text{ daN.m.}$$

• Le moment de renversement dû au vent est :

$$M_{rev} = 1206,99 \text{ daN.m.}$$

conclusion : Cette construction résiste bien aux efforts latéraux provenant du vent.

8.2 VERIFICATION de La STABILITE

pour que la stabilité de l'ensemble de la construction soit assurée il est nécessaire que la résultante des forces dues au poids propre de la construction et à la pression du vent, tombe dans le tiers central de la distance D_b entre les poteaux diamétralement opposés fig (8.a)

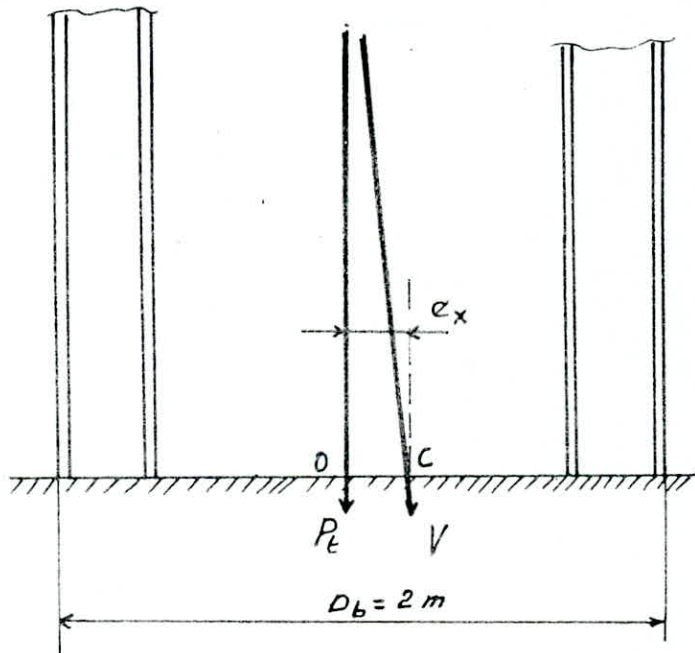


fig (8.a)

si M_{rev} est le moment de renversement dû à la pression du vent, et P_t le poids total de la construction, la résultante des pressions horizontales V traverse le sol au centre des pressions C et on doit avoir :

$$\text{excentricité } oc = e_x = \frac{M_{rev}}{P_t} \leq \frac{D_b}{4} \quad [5]$$

$$e_x = \frac{1206,99}{2436,212} = 0,495 \text{ m}$$

$$\text{et } \frac{D_b}{4} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Donc : } \frac{M_{rev}}{P_t} < \frac{D_b}{4}$$

Conclusion: La stabilité de l'ensemble de la construction est vérifiée.

9. PROTECTION de La TOUR

La corrosion des métaux ferreux due à l'agressivité de l'environnement pose un sérieux problème pour la tour. La protection contre ce phénomène peut être menée à l'aide de différents procédés, on peut utiliser un revêtement protecteur (peinture de différentes compositions chimiques : vinilique, époxy) déposée en plusieurs couches.

On installe :

un grille maillée de 3 cm^2 au sommet de la tour qui a pour fonction d'empêcher des objets de tomber à l'intérieur de la tour.

un grillage à la base de la tour suivant la circonférence avec une porte pour accéder à l'intérieur de la tour en cas d'éventuelles réparations.

10./ CONCLUSION

Dans cette étude la connaissance des différents matériaux nous a permis de faire un calcul détaillé de l'ossature métallique, et d'établir les plans d'ensemble et de détails de l'ossature métallique de la tour de refroidissement sèche à tirage naturel. Cette ossature métallique présente à la fois des inconvénients et des avantages d'ordre général et structural.

- Les avantages

- . Les nœuds d'assemblages sont de conception simple et de réalisation aisée.
- . La simplicité du montage due à la conception simple.
- . L'égèreté, le métal permet des ossature beaucoup plus légère que le béton armé, il en résulte une diminution des charges sur le sol qui doit entraîner une économie de fondation.

- Inconvénients

Nécessite de contreventer verticalement la tour verticalement qui conduit à une consommation d'acier

en plus

. Les éléments métalliques de chaque tronçon sont indimentables.

. Nécessité de prendre des mesures de protection de la tour.

Ce type de construction nécessite une main d'œuvre spécialisée, en particulier pour les opérations de perçage et de soudage, qui exigent une haute précision.

La tour à réaliser constituera un excellent outil de travail pour des études thermiques et hydrodynamiques du tirage naturel.

Appendice A

Dans cet appendice nous détaillerons les calculs du prédimensionnement.

A.1. pour la poutre ceinture on doit vérifier que:

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q l^4}{E J_x} \leq \bar{f} \text{ pour le profilé choisit.}$$

$$q = q_G + q_P$$

q_G et q_P : charge et surcharge revenant à la poutre.
 E : module de déformation

profil	J_x	E	l	q_G	q_P	q	\bar{f}
—	cm^4	dan/cm^2	cm	dan/cm	dan/cm	dan/cm	cm
LPN 120	364	$21 \cdot 10^5$	145	3,316	0,517	3,833	0,29

la déformation élémentaire:

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{3,833 \cdot (145)^4}{21 \cdot 10^5 \cdot 364} = 0,57 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$$



Donc : $f < \bar{f}$

A.2 pour les poteaux on vérifie que:

$$k \sigma \leq \sigma_e \quad (\text{A.2})$$

$$k \frac{N}{A} \leq \sigma_e$$

L'effort normal $N = \gamma N^*$

$$N = \gamma \left(\frac{4}{3} N_G + \frac{3}{2} N_P \right)$$

γ : est le coefficient de majoration.

N_G : poids revenant au poteau dû aux charges permanentes

N_P : poids revenant au poteau dû aux surcharges.

les résultats sont donnés par le tableau suivant.

profilé	γ	A	N_G	N_P	N^*	$N = \gamma N^*$
-	-	cm^2	dan	dan	dan	dan
HEB 120	1,5	32	501,863	75	781,65	1172,47

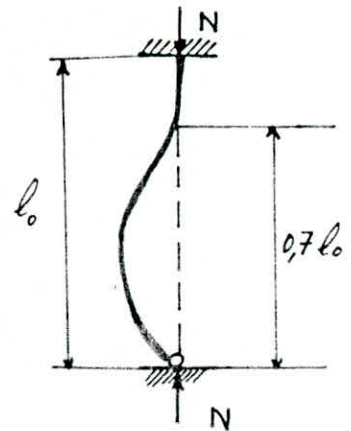
Remarques :

Il a été tenu compte du poids propre de la ceinture du support dans le calcul de N_G .

calcul du coefficient k .

L'élançement : $\lambda_{\max} = \frac{\ell}{i_{\min}} = \frac{0,7\ell_0}{i_{\min}}$

$$\lambda_{\max} = \frac{0,7 \cdot 100}{3,06} = 22,87$$



de l'annexe 13.411 [2] on tire pour :

$$\lambda_{\max} = 22,87$$

$$k = 1,019$$

De l'équation. (A.2) :

$$K \frac{N}{A} \leq \sigma_e$$

$$1,019 \cdot \frac{1172,47}{32} = 37,336 < 2400 \text{ dan/cm}^2$$

Appendice B

. calcul de la pression de base q_h

On obtient q_h en dan/m^2 en utilisant les formules

$$q_h = q_{10} \cdot \frac{2,5 (h + 18)}{(h + 60)} \quad [1] \quad \text{Art 1.241}$$

$$\text{et } q_{10} = \frac{V^2}{16,3} \quad [1] \quad \text{Art 1.240}$$

q_{10} est la pression de base mesurée à une vitesse du vent $V = 120 \text{ km/h}$

$$\text{Donc } q_{10} = \frac{\left(120 \cdot \frac{10^3}{3600}\right)^2}{16,3} = 68 \text{ dan}/\text{m}^2.$$

Les valeurs de q_h sont données dans le tableau (4.b) pour des niveaux de 1 m.

. Coefficient de site.

$$K_s = 1,3 \quad \text{Alger region II}$$

. Coefficient de masque.

$$K_m = 1,0 \quad \text{site normale.}$$

. β est donné par l'expression suivante :

$$\beta = \theta (1 + \xi \bar{z}) \quad (\text{b.1})$$

- ξ : est un coefficient de réponse, donne en fonction de la période T du mode fondamental

$$T = 0,08 \frac{H}{\sqrt{D_b}} \sqrt{\frac{H}{H+D_b}} = 0,08 \cdot \frac{h+e}{\sqrt{D_b}} \sqrt{\frac{h+e}{h+e+D_b}} \quad [1]$$

$$T = 0,08 \frac{5+1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{5+1}{5+1+2}} = 0,294 \text{ s}$$

pour $T = 0,294$ on tire le Coefficient de réponse ξ de l'abaque (R III 3 Art 15.11) [1]

$$\xi = 0,80.$$

- τ : est le coefficient de pulsation; il est calculé en fonction de la hauteur H de la construction.

de l'abaque (R III 4 Art 15.13) [1]

$$\tau = 0,36.$$

- θ : est un coefficient qui s'exprime par la formule:

$$\theta = 0,7 + 0,01 (H + 30)$$

Valant 0,7 pour $H < 30 \text{ m}$.

Donc de (b.1) le coefficient β sera:

$$\beta = 0,7 (1 + 0,8 \cdot 0,36) = 0,901.$$

• Le coefficient δ est donné par l'abaque R III 2 [1] en fonction de h .

Evaluation de C_t .

$$C_t = \gamma_e \cdot C_{t_0} \quad [1] \text{ Art } 3.2$$

$$C_{t_0} = 0,85 \quad [1] \text{ Art } 3.2.1$$

Le coefficient γ_e est donné en fonction de λ' , pour une construction qui n'a pas une largeur constante.

$$\lambda' = \frac{h^2}{S_t} = \frac{5^2}{7,28} = 3,434 \quad [1] \text{ Art } 3.03.$$

Le coefficient γ_e est donné comme suit:

$$\gamma_e = \gamma_0 - \frac{e}{h} (\gamma_0 - \gamma_h) \quad [1] \text{ Art } 3.32$$

Les coefficients γ_0, γ_h sont donnés en fonction de λ'

$$\text{pour } \lambda' = 3,434 \quad \left| \begin{array}{l} \gamma_0 = 1,03 \\ \gamma_h = 0,96 \end{array} \right.$$

Donc:

$$\gamma_e = 1,03 - \frac{1}{5} (1,03 - 0,96) = 1,016$$

et le coefficient de traînée C_t sera:

$$C_t = 1,016 \cdot 0,85 = 0,863$$

Remarque:

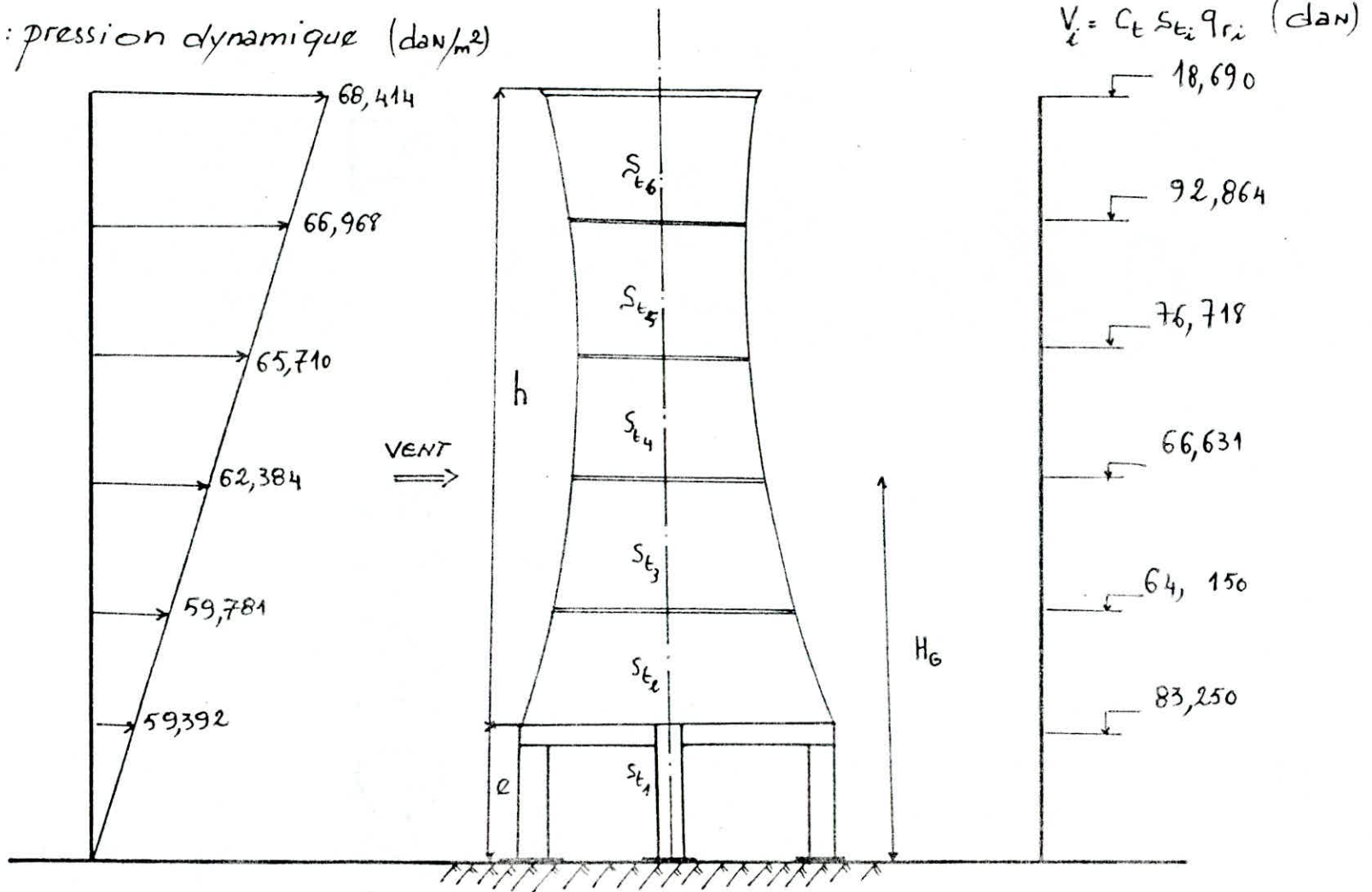
Pour le calcul des surfaces au vent de la tour on décompose la tour en cinq tronçons de 1m chacun et on les assimile à des trapèzes.

Elements	h	q_{10}	q_h	K_s	K_m	β	ξ	C_t	S_{ei}	q_{ri}	V_i
-	m	dan/m ²	dan/m ²	-	-	-	-	-	m ²	dan/m ²	dan
poteaux	1	68	52,950	1,3	1	0,901	0,970	0,863	0,36	59,392	18,690
Tronçons	2	68	54,880	1,3	1	0,901	0,930	0,863	1,80	59,781	92,864
	3	68	56,666	1,3	1	0,901	0,940	0,863	1,425	62,384	76,718
	4	68	58,437	1,3	1	0,901	0,960	0,863	1,175	65,710	66,631
	5	68	60,184	1,3	1	0,901	0,950	0,863	1,11	66,968	64,150
	6	68	61,810	1,3	1	0,901	0,945	0,863	1,41	68,414	83,250

Tableau (4.b)

Efforts partiels dus au vent agissant sur les surfaces exposées S_{Ei}

q_{r_i} : pression dynamique (dan/m^2)

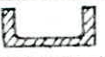


Appendice C


Evaluation du poids propre de la Coque.

C.1 poids de l'ossature métallique. (montants, raidisseurs, plats d'assise, palées de stabilité, et les éléments d'assemblages)

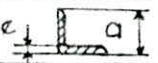
- Montants

position	profile	masse par mètre linéaire	Longueur totale	masse totale
—	—	[kg]	[m]	[kg]
	UAP80	8,38	120	1005,15


- Raidisseurs (plats pour usages généraux)

position	profile		masse par mètre linéaire	Longueur totale	masse totale
—	a	e	[kg]	[m]	[kg]
	40	5	1,57	88,1	138,285

- palées de stabilité (cornières à ailes égales)

position	profile		masse par mètre linéaire	longueur totale	masse totale
—	a	e	[kg]	[m]	[kg]
	50	5	2,98	66	178,8

- plats d'assise

position	profile		masse par mètre Lineaire	Longueur totale	masse totale
-	a	e	[kg]	[m]	[kg]
	80	6	3,77	37,32	140,7

Le poids des éléments d'assemblages (vis. écrou, cordons de poudres, plats) est évalué à 100 kg.

C.2 Revêtement

- parois en plexiglas

Le volume occupé par les plaque de plexiglas de 5 mm d'épaisseur est :

$$V_p = S_p \cdot e_p = 26,45 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,132 \text{ m}^3$$

la masse volumique du plexiglas est :

$$\rho_p = 1300 \text{ kg/m}^3$$

Donc le poids total des plaques en plexiglas

$$P_p = 1300 \cdot 0,132 = 171,6 \text{ kg}$$

- parois en plaques d'amiante. ciment.

Le volume occupé par les plaques en amiante ciment de 5 mm d'épaisseur est

$$V_{a.c} = S_{a.c} \cdot e_{a.c} = \frac{S_p}{2} \cdot e_{a.c} = \frac{26,45}{2} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,0661 \text{ m}^3$$

la masse volumique de l'amiante ciment est :

$$\rho_{a-c} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

Le poids total des plaques en amiante-ciment.

$$P_{a-c} = \rho_{a-c} \cdot V_{a-c} = 2000 \cdot 0,0661 = 132,2 \text{ kg}$$

- Les coiffes en amiante ciment.

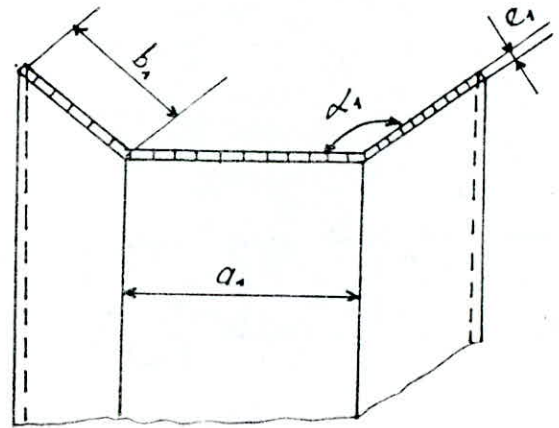
Dimensions

$$a_1 = 66 \text{ mm.}$$

$$e_1 = 3 \text{ mm}$$

$$b_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 150^\circ$$



Le volume total occupé par les coiffes est :

$$V_c = (2b_1 + a_1) L_c \cdot e_1$$

$$V_c = (2 \cdot 45 + 66) 60 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,0281 \text{ m}^3$$

Le poids total des coiffes :

$$P_c = 0,0281 \cdot 2000 = 56,16 \text{ kg.}$$

Finalement le poids total de la coque est

$$P_s = 1923,3 \text{ kg}$$

poids dû aux surcharges d'exploitation.

Les surcharges d'exploitation sont : le système de guidage des sondes, échelle en acier et personnes montant sur

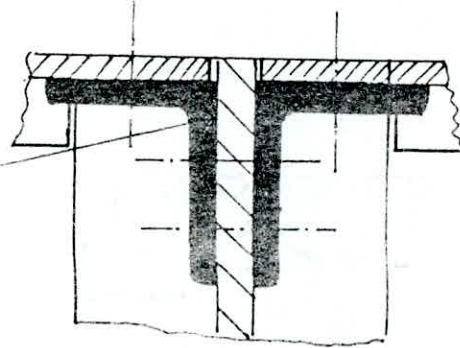
Ces échelles, on a évalué ce poids à :

$$P_{se} = 300 \text{ Kg.}$$

Appendice D

. Assemblages poteau HEB 120, poutres ceintures

Attaches par
Cornières L 100x80x9



On calcule la section des boutons qui sont sollicités en cisaillement et l'arrachement avec les efforts les plus défavorables: $N_{max} = 1400,62 \text{ dan}$

$$T_{max} = 754,316 \text{ dan.}$$

On vérifie

$$1,25 \frac{N^*}{A_r} \leq \sigma_e$$

$$A_r \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \frac{N^*}{\sigma_e} \\ \frac{\sqrt{N^{*2} + 2,36 T^{*2}}}{\sigma_e} \end{array} \right.$$

Avec N^* et T^* sont des efforts par nombre de boulons et par nombre de plans de cisaillement.

Nous avons deux plans de cisaillement, pour quatre boulons

$$N^* = \frac{N_{max}}{8} = \frac{1400,62}{8} = 175,0775 \text{ dan.}$$

$$T^* = \frac{T_{max}}{8} = \frac{754,316}{8} = 188,58 \text{ daN}$$

$$\text{Donc } A_r = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot \frac{350,155}{2400} = 0,182 \text{ cm}^2 \\ \frac{\sqrt{(350,155)^2 + 2,36(188,58)^2}}{2400} = 0,1801 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

$$\text{Ceci implique : } d \geq \left(\frac{4 \cdot 0,182}{3,14} \right)^{1/2} = 0,48 \text{ cm.}$$

par mesure de sécurité on choisit des boulons $\phi 10$

• distance δ entre axes des boulons.

$$3d \leq \delta \leq 10d$$

Art. 4.101.1 [2]

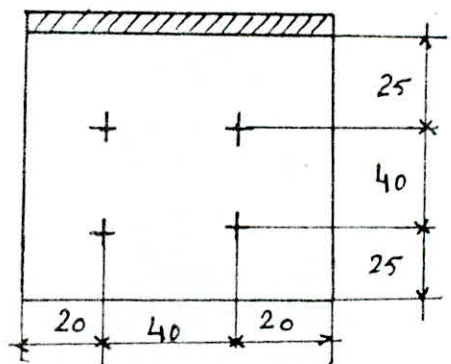
$$30 \leq \delta \leq 100$$

Nous prendrons $\delta = 40 \text{ mm}$

• Pince longitudinale δ_l

$$\delta_l \geq 1,5d \quad \text{Art 4.101.2 [2]}$$

Nous prendrons $\delta_l = 20 \text{ mm}$



• Pince transversale δ_t

$$1,5d \leq \delta_t \leq 2,5d \quad \text{Art 4.101.5 [2]}$$

Nous prendrons $\delta_t = 25 \text{ mm.}$

- Assemblages des diagonales des palées de stabilité sur les ailes des montants avec Cordon de soudure.

Les cordons de soudures doivent être réalisés soigneusement pour assurer la transmission des effort correctement. On effectue les calculs dans le cas le plus défavorable, assemblage des diagonales sur les ailes des montants pour le premier tronçon de la coque.

Selon l'article 4.312 [2]

on vérifie :

$$\frac{\bar{N}/12}{0,75 l_1 \alpha} \leq \sigma_e$$

Avec $\bar{N} = \frac{4}{3} N_G + \frac{17}{12} (N_P + N_V)$

$$\bar{N} = \frac{4}{3} 1923,3 + \frac{17}{12} (300 + 431,038) = 3600,037 \text{ dan.}$$

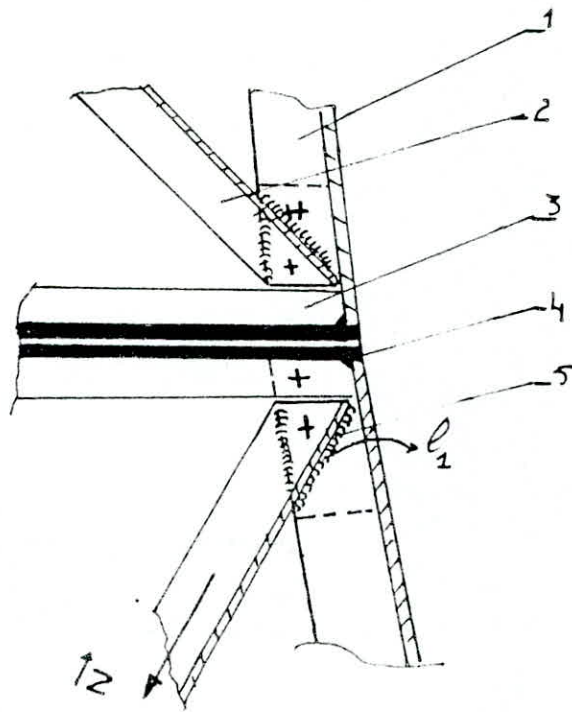
On prend un cordon de soudure d'épaisseur $a = 4 \text{ mm}$

$$\alpha = 4 \text{ mm [2]}$$

D'où : $\frac{3600,037/12}{0,75 \cdot 70,7 \cdot 4} = 14 < 24 \text{ dan/mm}^2$

Remarque : α est un coefficient de réduction

$$\alpha = 1 \text{ pour } a \leq 4 \text{ mm.}$$



1. Montant UAP 80
2. Cornière L 50/50/5
3. Raidisseurs
4. plats d'assise
5. Cordon de soudure

Assemblages des diagonales sur les montants

. Assemblage montant - montant

La liaison montant - montant se fait par l'intermédiaire des plats de 6 mm d'épaisseur, sur les ailes des montants. (voir détail)

Les sections lisses des boulons sont sollicités uniquement en cisaillement par un effort tranchant.

Dans cette position si N_1 est l'effort pondéré de cisaillement, on vérifie que :

$$1,54 \frac{N_1}{A} \leq \sigma_e \quad [2]$$

Nous avons deux plans de cisaillement,
Pour 48 boulons : $N_1 = \frac{3600,077}{48} = 75 \text{ dan}$

d'où : $A \geq \frac{1,54 \cdot N_1}{\sigma_e} = \frac{1,54 \cdot 75}{24} = 4,813 \text{ mm}^2$

on choisit par mesure de sécurité des boulons $\varnothing 8$

• Assemblages des tronçons de la coque par boulonnages dans les colonnes à paroi unique

soit \bar{T} l'effort pondéré de cisaillement exercé sur chaque boulon

on vérifie que

$$1,54 \frac{\bar{T}}{A} \leq \sigma_e \quad [2]$$

pour un plan de cisaillement et 18 boulons

$$\bar{T} = \frac{T_{\max}}{18} = 42 \text{ dan.}$$

Dou $A \geq \frac{1,54 \cdot 42}{24} = 3,88$

et le diamètre de chaque boulon:

$$d \geq \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,88}{\pi}} = 2,22$$

Nous prendrons par mesure de sécurité de boulons $\phi 5$

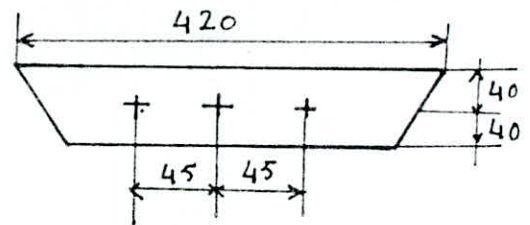
Distance δ entre axes de boulon.

1. Tronçons 1-2

$$3d < \delta < 10d$$

$$15 < \delta < 50$$

on prend $\delta = 45 \text{ mm}$

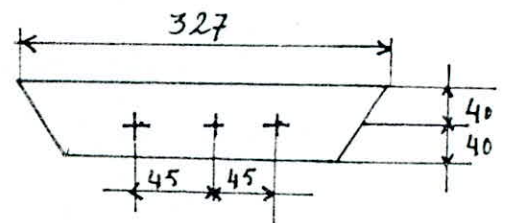


on procède de la même manière que pour les autres tronçons; nous dressons ci dessous les différentes résultats:

2. Tronçons 2-3

18 Boulons $\phi 5$

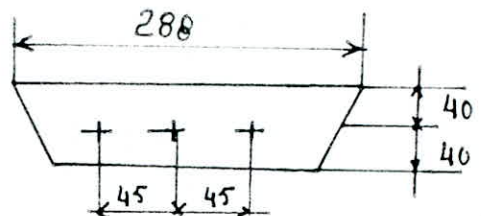
distance $\delta = 45 \text{ mm}$.



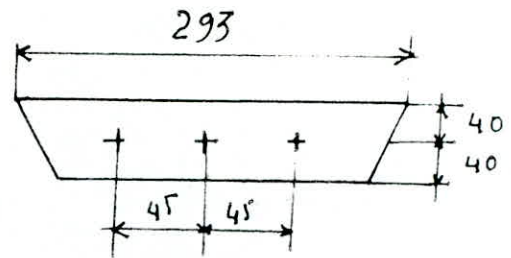
3. Tronçons 3-4

18 boulons $\phi 5$

distance $\delta = 45 \text{ mm}$.



4. Tronçons 4.5
 18 boulons \varnothing 5
 $\delta = 45 \text{ mm}$.



.Assemblage: ceinture circulaire. 1^{er} tronçon
 Chaque montant jumelée est lié avec la ceinture circulaire par l'intermédiaire d'un fer plat 150.110 soudé au montant. Les boulons d'assemblages sont sollicités en cisaillement par l'effort tranchant T. On a 1 plan de cisaillement, pour trois boulons on vérifie que :

$$1,54 \frac{T/3}{A} \leq \tau_e \quad [2]$$

$$A \geq \frac{1,54 T}{3 \tau_e} = \frac{1,54 \cdot 754}{3 \cdot 24} = 5,38 \text{ mm}^2$$

nous prendront des boulons \varnothing 10 par mesure de sécurité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Regles neige et vent NV 65
- [2] Regles de Calcul des Construction en acier CM66
ED EYROLLES 1979
- [3] Catalogue O.T.U.A "produit siderurgiques" T1
1980
- [4] Guide pratique de Charpente metallique
R. DAUSSY ED EYROLLES 1982
- [5] Cours de beton arme "Calcul des ouvrages"
D^r BELAZOUGUI O.P.U 1983
- [6] Calcul pratique des tours en beton arme
MARIUS. DIVER
- [7] Regles C.C.B.A PIERRE CHARON
ED EYROLLES 1984

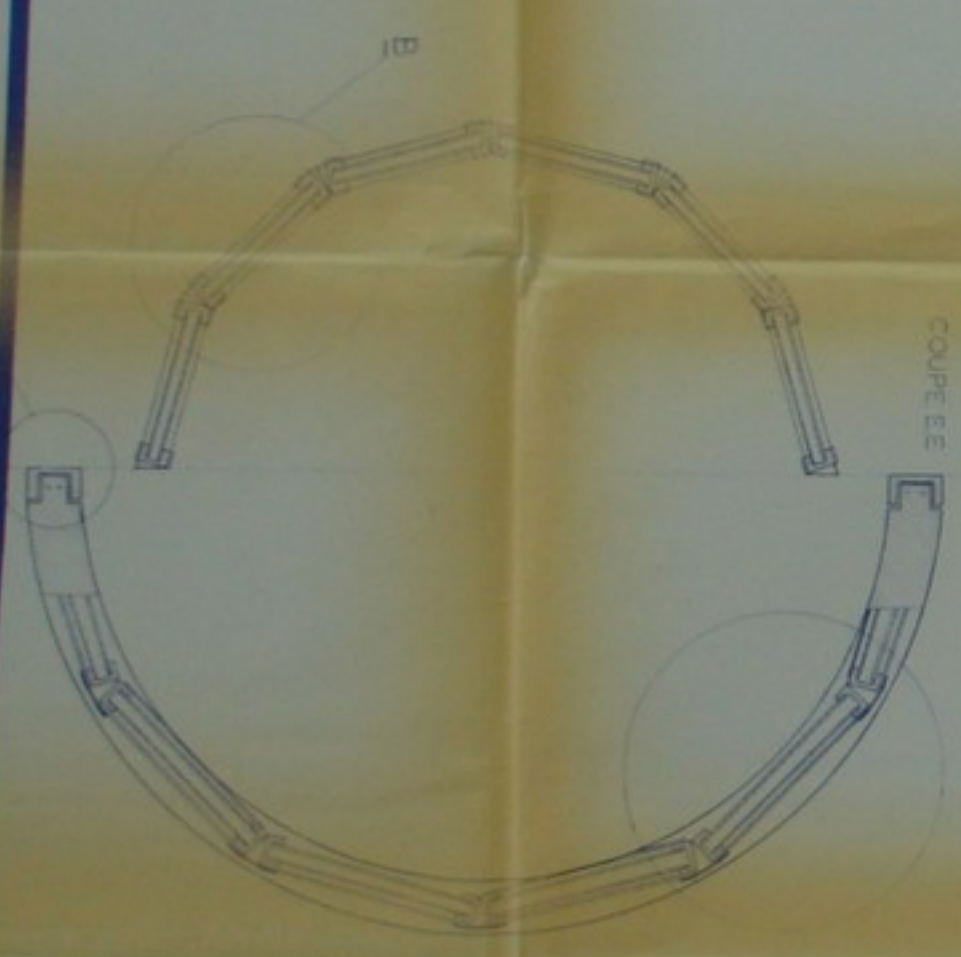
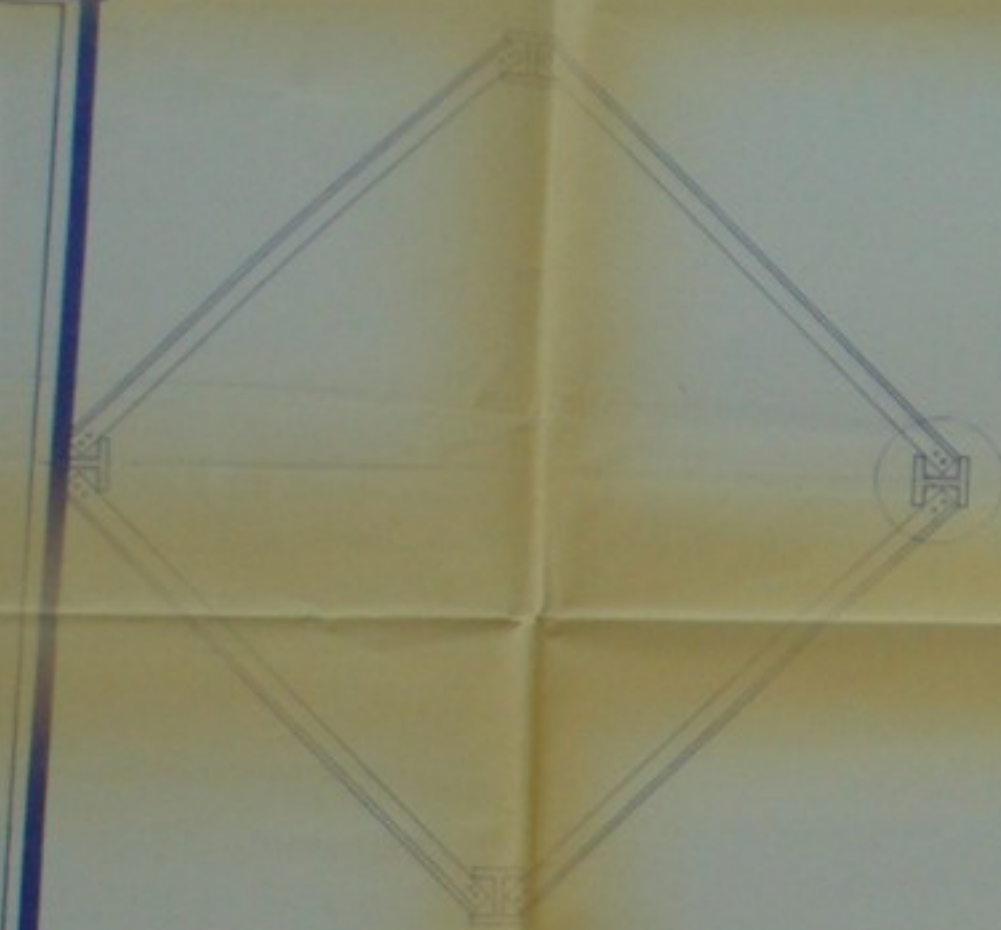
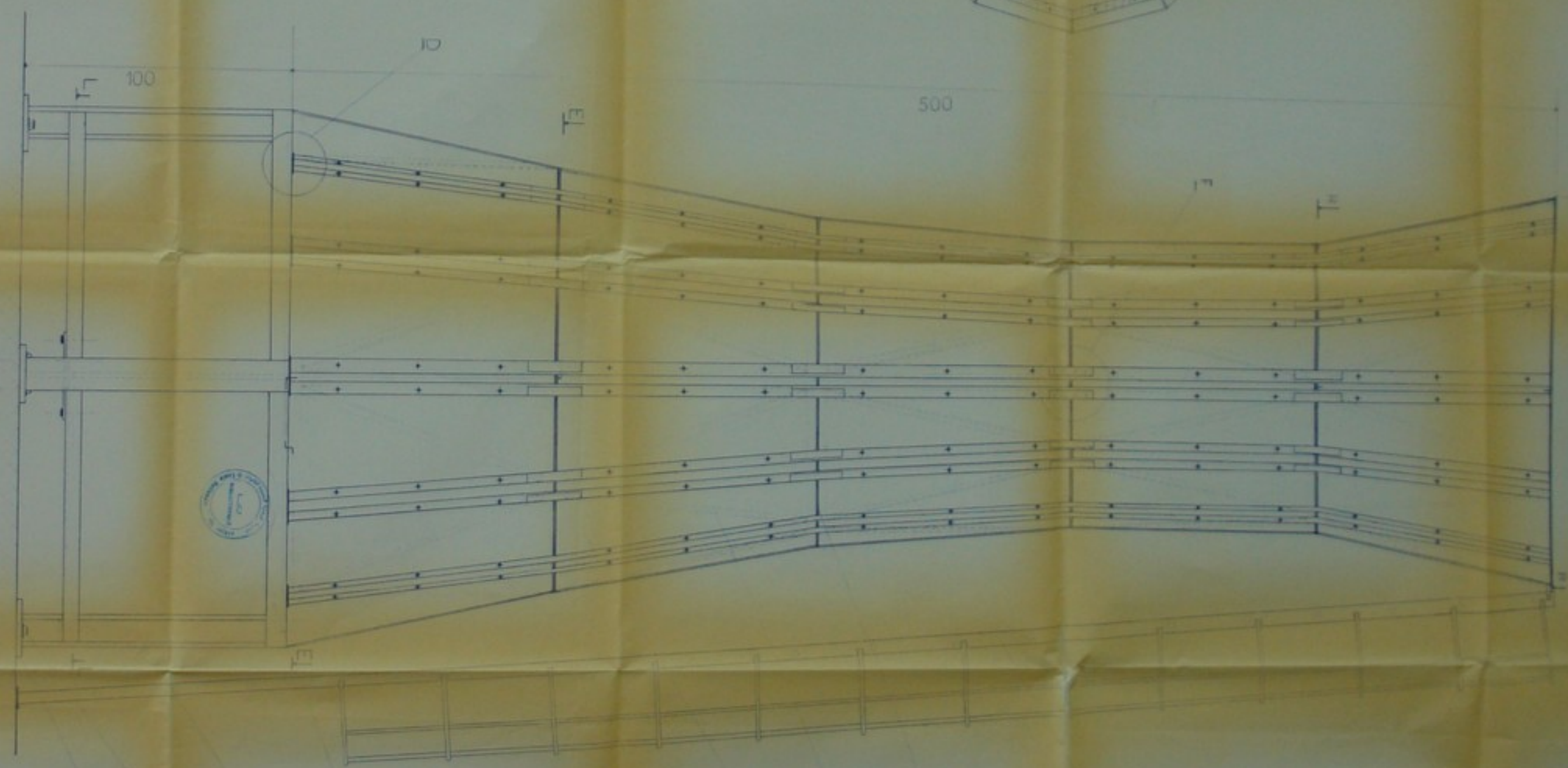
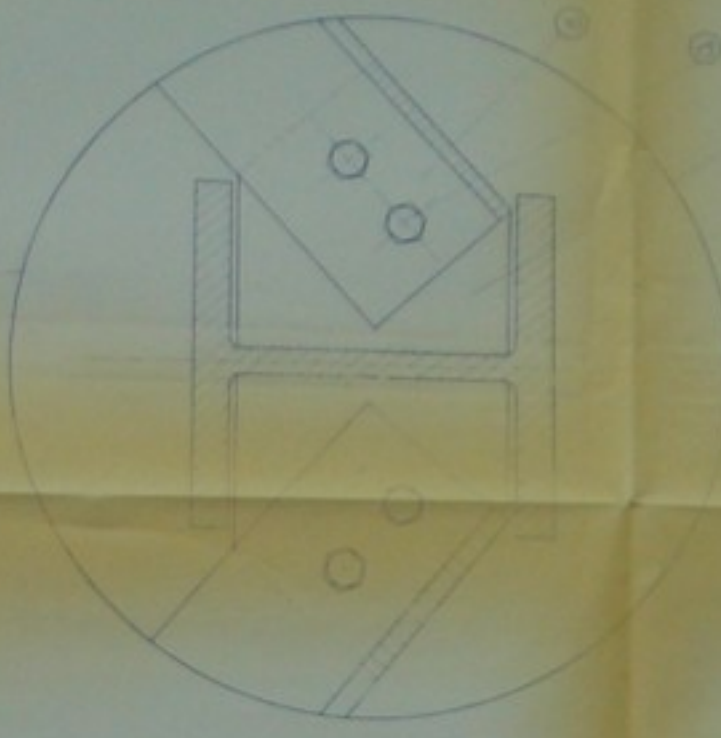
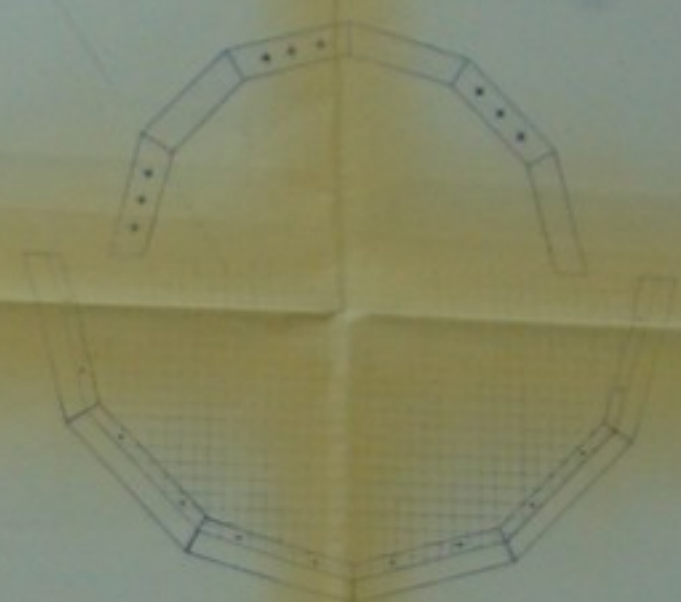
[8] Les sources froides des centrales électriques
EDF - CEA ED EYROLLES 1977

[9] projet de fin d'étude
Tour sèche à tirage mixte ZAARAoui 1984

[10] Construction métallique K. MOUKHANOV
ED Mir Moscou

[11] Guide de Dessinateur industriel
A. CHEVALIER 1979

[12] projet de fin d'étude
système de refroidissement par tour sèche.
CHIKH.S 1984



100

500

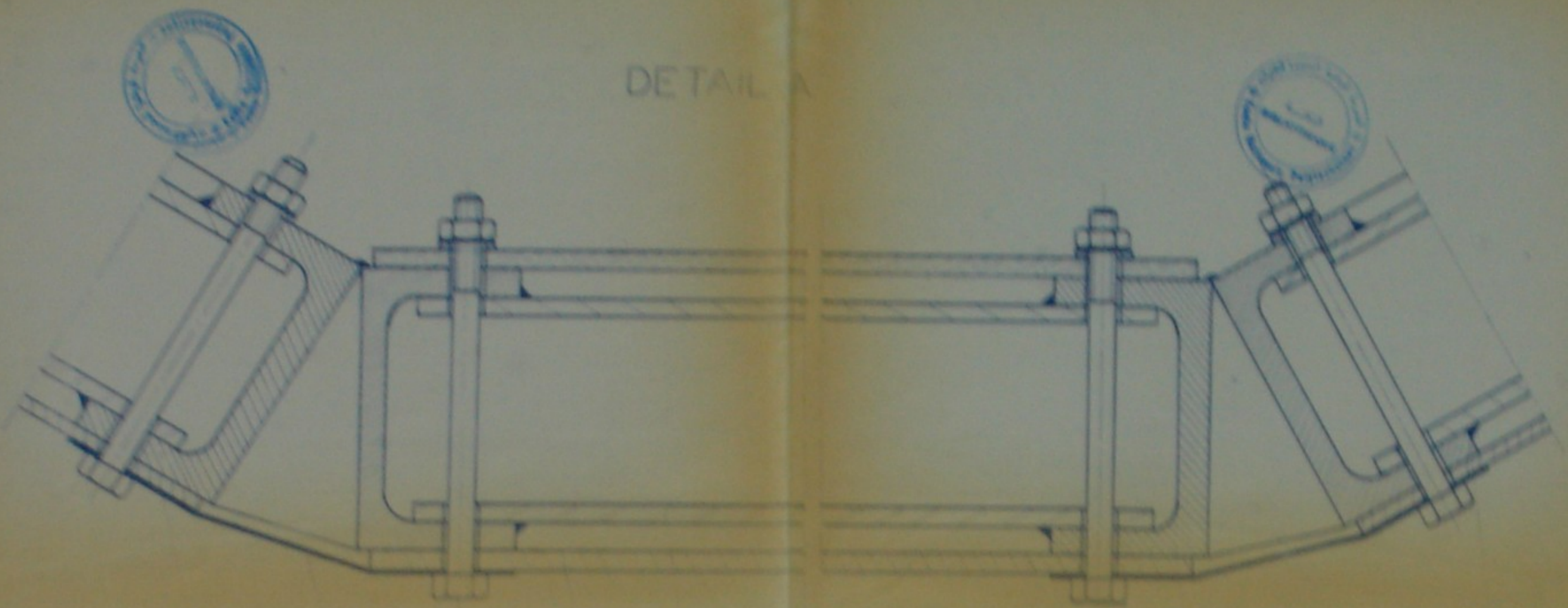
170

Quantité	Description	Unité	Quantité
1	Colonne	m	1
1	Goussier	m	1
1	Vis M 10	100	100
1	Cornière 60x60x6	1	1
1	Echelle	1	1
1	Plat. d'assise	1	1
1	Cornière 50x50x5	1	1
1	Plaque en aluminium	1	1
1	Boîte à outils	1	1
1	PotEAU H&R 110	1	1
1	Boîte à outils	1	1
1	Plat. 270 200	1	1

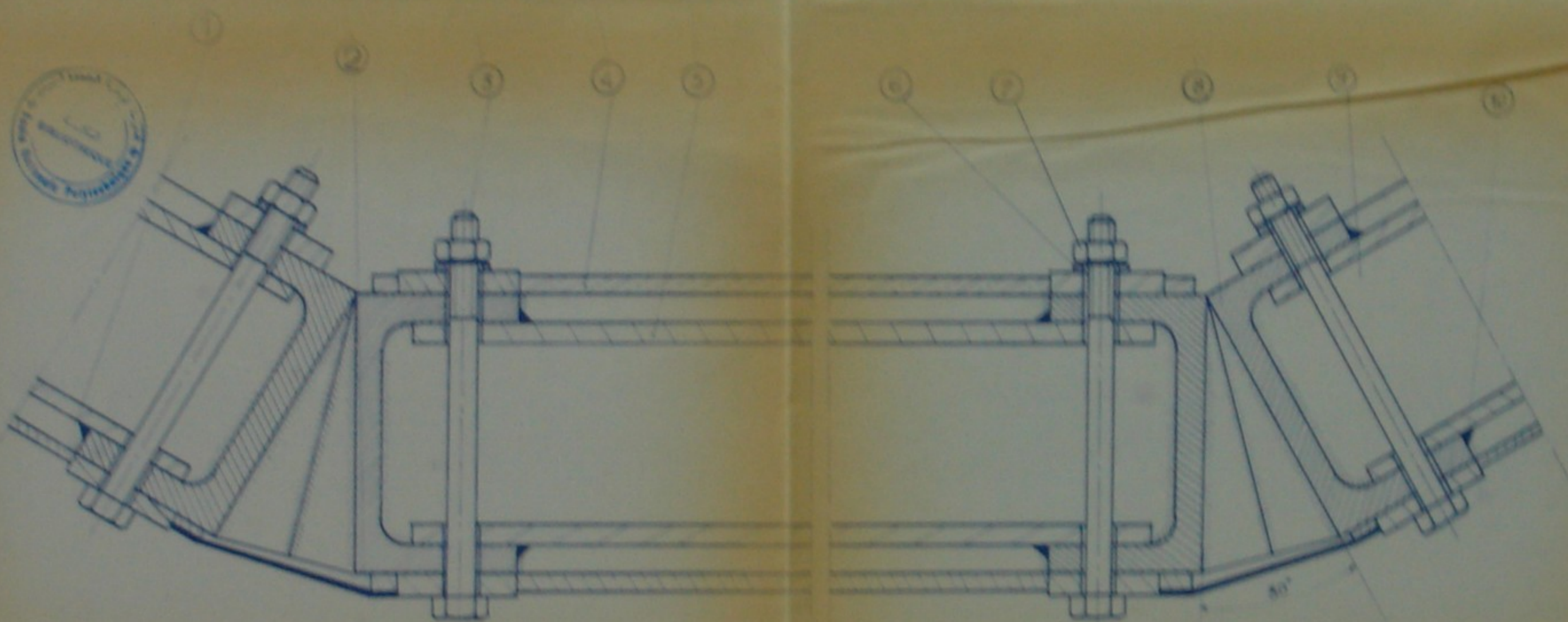
TOURSEILLE EN P...
A TIRAGE
NATUREL
FR 2011

1/10

DETAIL A



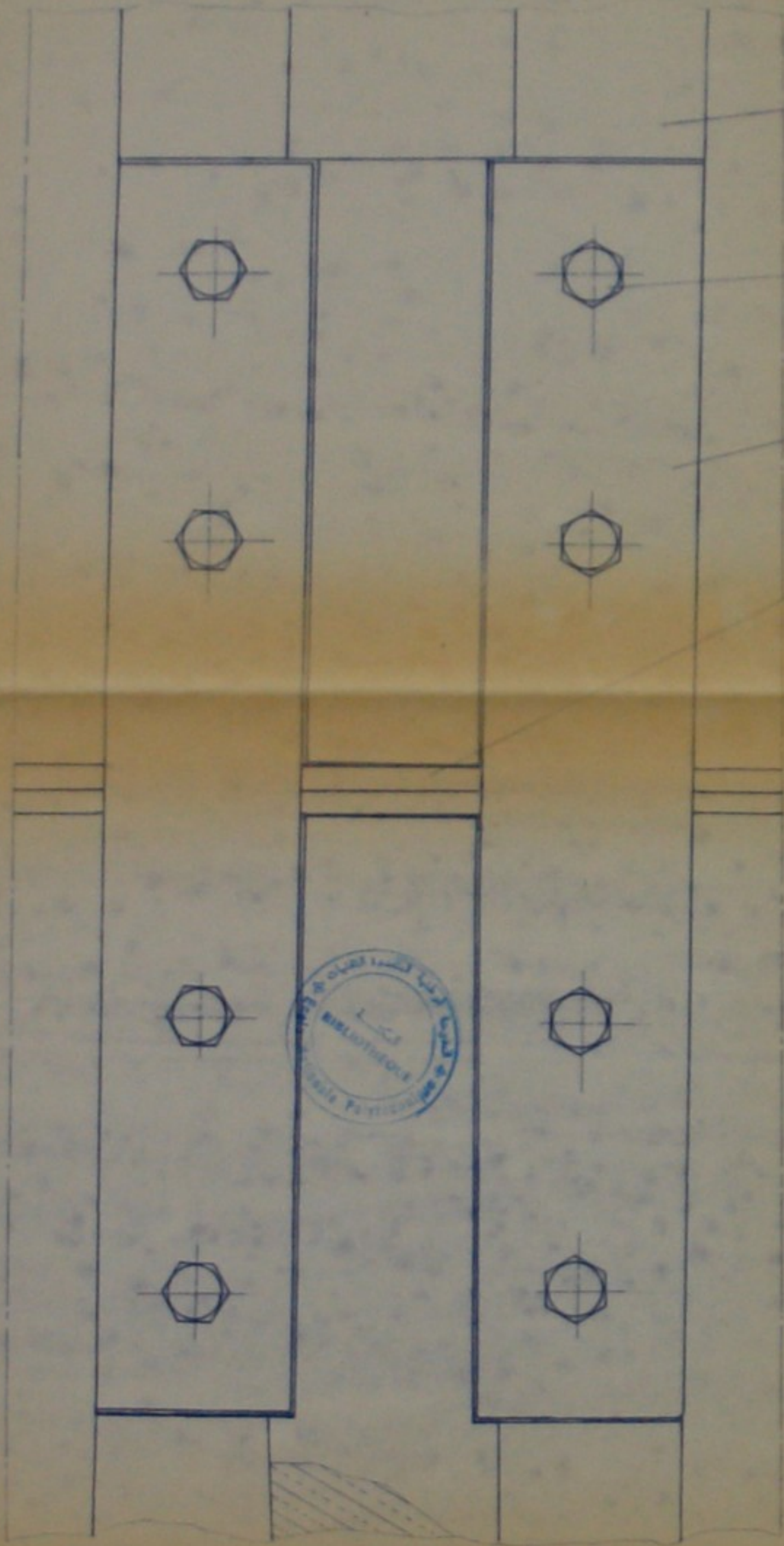
DETAIL B



PN032 88
- 2 -

N°	Designation	Nb	Mat	Observ	
10	Cordon de soudure		E 24		
9	Plaque d'assise	9	E 24		
8	UAP 80		E 24		
7	Ecrou HM 8		E 24		
6	Rondelle		E 24		
5	Raidisseurs		E 24		
4	Plaques en plexiglas	60	Plexiglas		
3	Vis HM 8 26		E 24		
2	Coiffes	60	A ciment		
1	A ciment	50	A ciment		
Re	Desain	Designation	Nb	Mat	Observ
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE					
Echelle	1:1	⊠ ⊙	LIAISONS	ENP	
Etudiant	Mezroui	parois	ossature	Des mécanique	
Promot	M ^{re} Ait Ali			PR 004	
Dr Jury	M ^{re} Zoune				
Jury	M ^{re} Khemis				

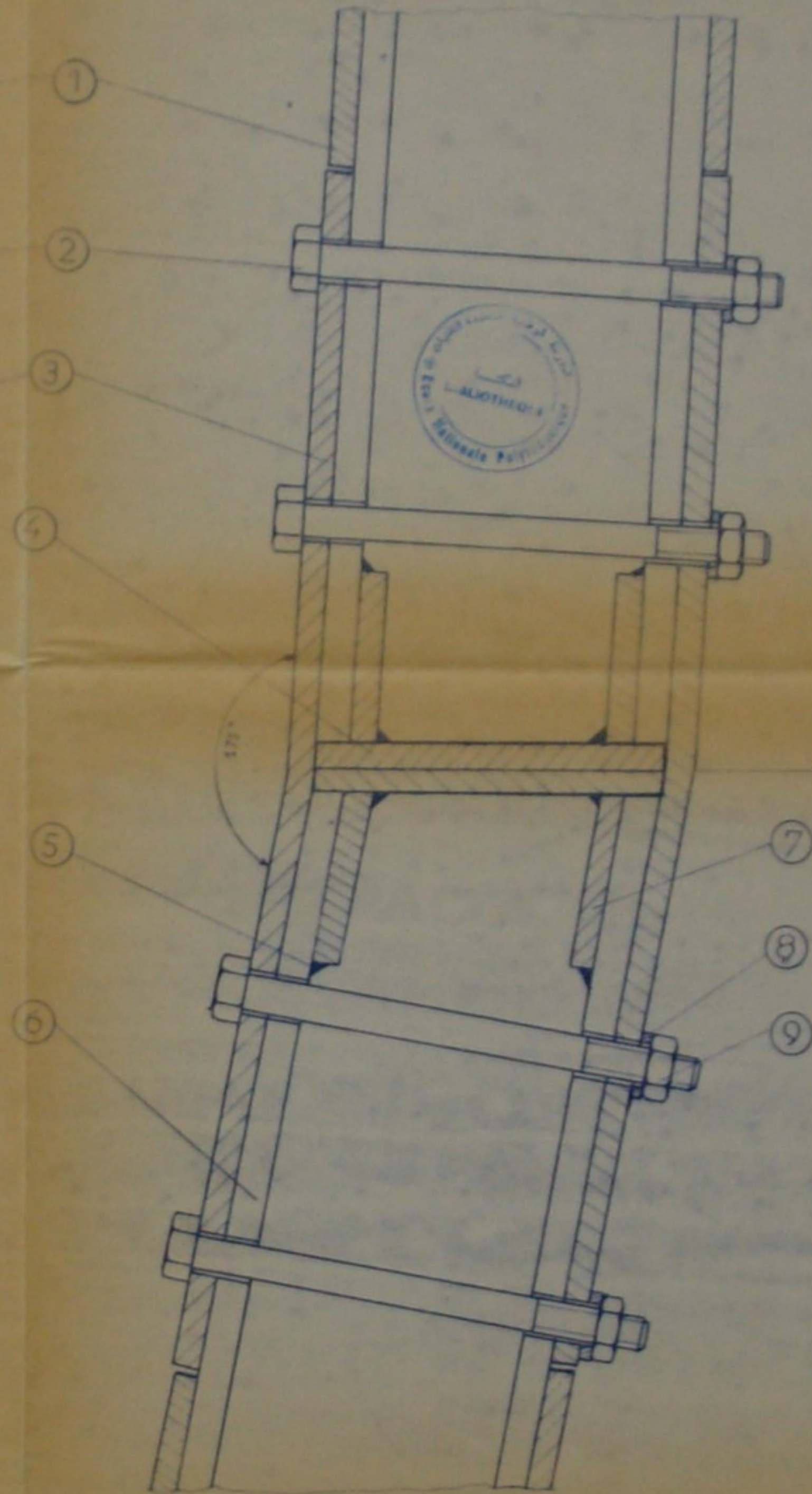
PT



PT

DETAIL .F.

COUPE P.P



Traçon 4

Traçon 3

AM03288

- 3 -



Rp dessin	Designation	Nb	Mat	Obser
9	Ecrou M8	192	AE24	
8	Rondelle Plate	192	AE24	
7	Raidisseurs	-	AE24	
6	Montant UAP120	-	AE24	
5	Cordon de soudure	-		
4	Plats dossis	-	AE24	
3	Fer Plats	-	AE24	
2	VIS HM 8 26	192	AE24	
1	Coiffes	60	ACEMENT	

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle 1:1

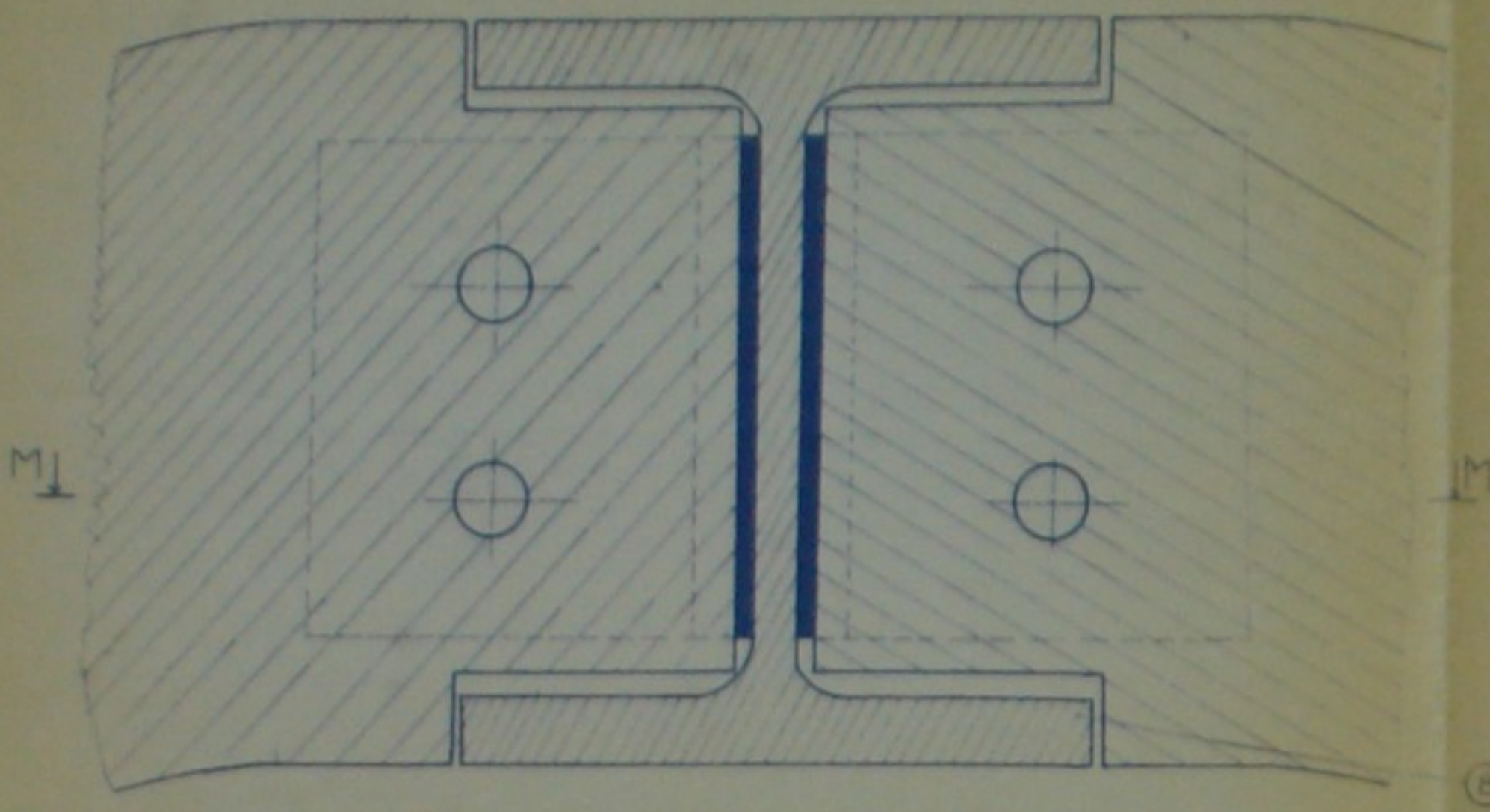
Etudiant: Mezaoui
 Promot: M^r Ali Ali
 Pr Jury: M^r Younsi
 Jury: M^r Khemis

LIAISONS E.N.P

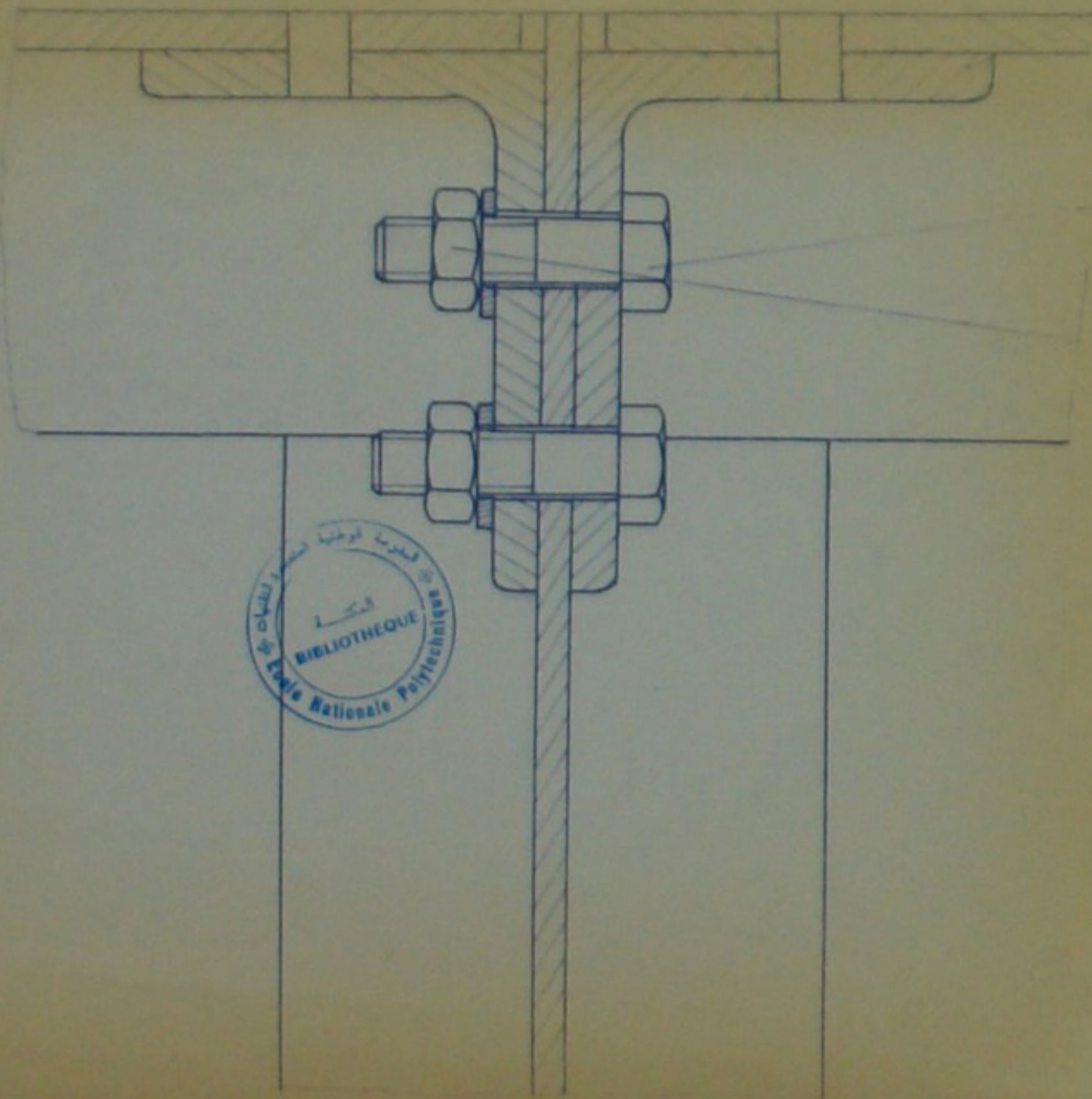
montant - montant MECANIQUE

PR 003

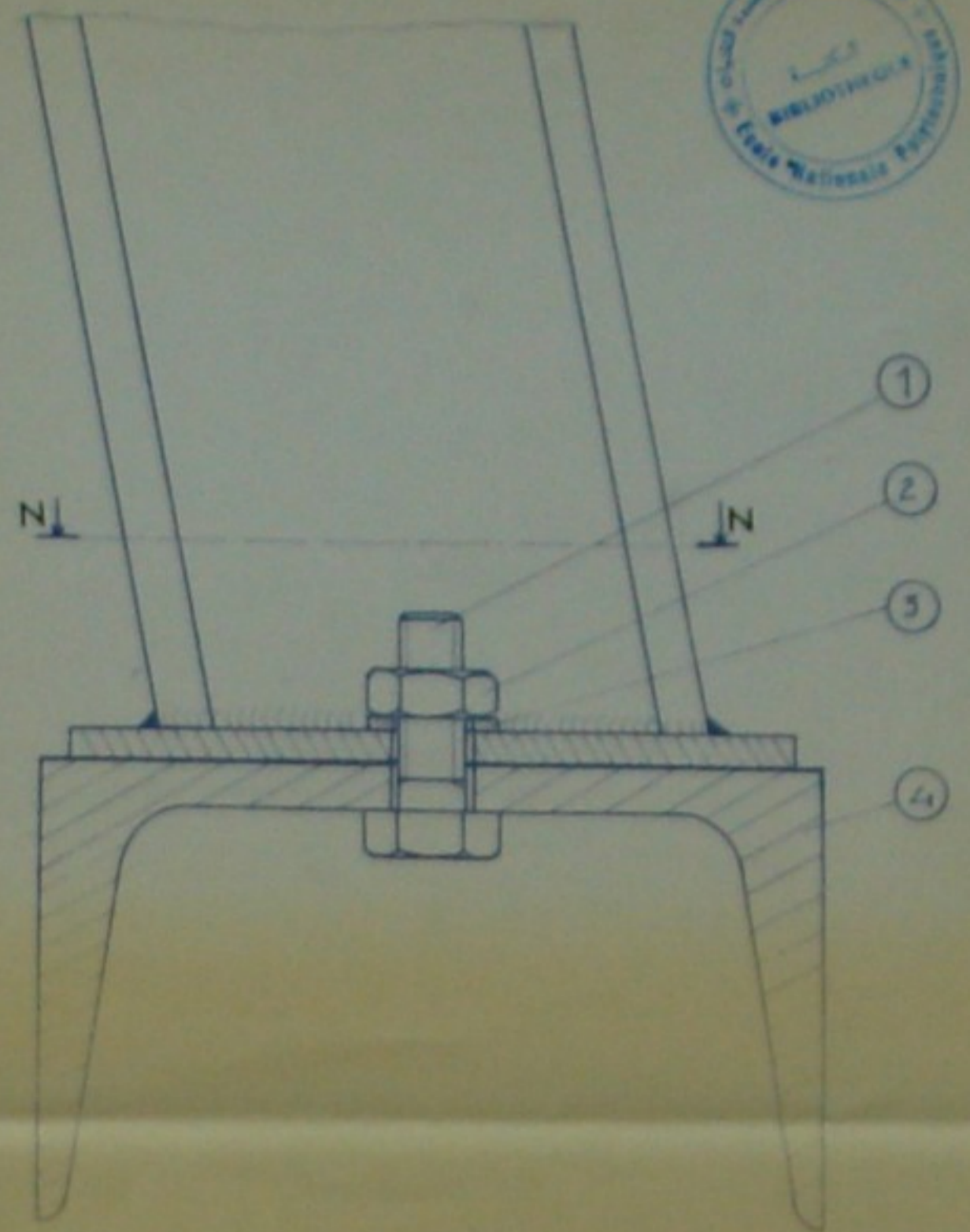
DETAIL C



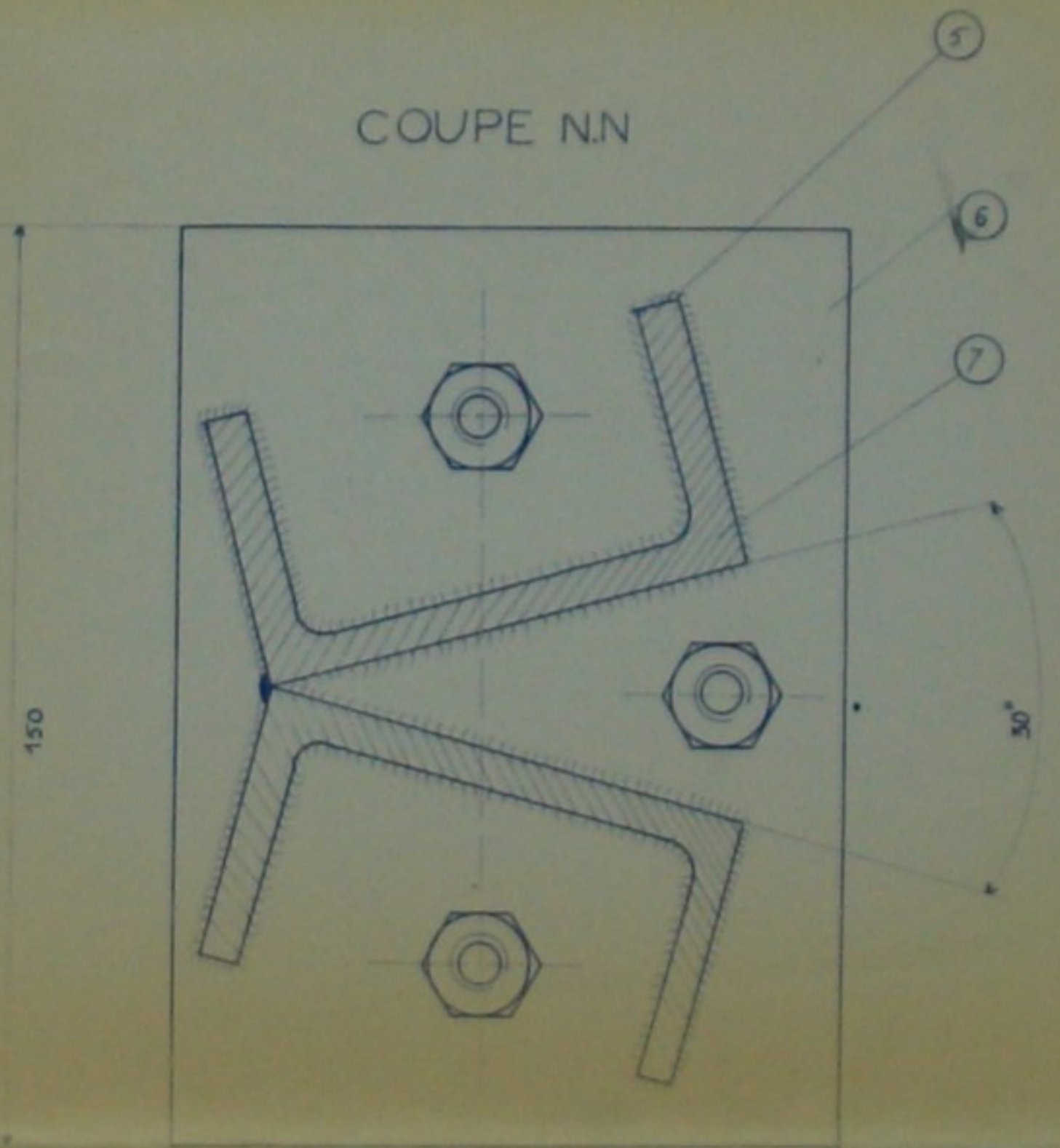
COUPE MM



DETAIL D



COUPE NN



PM03288
- 4 -

11	Ecrou H.M 10	16	AE 24
10	Vis HM10	16	AE 24
9	Corniere 100X80X9	8	AE 24
8	HEB120	4	AE 24
7	UAP 80	24	AE 24
6	Plat 150 110	12	AE 24
5	Cordon de soudure		
4	Poutre ceintre UPN120	4	AE 24
3	Rondelle Plate	48	AE 24
2	Ecrou H.M 10	48	AE 24
1	Vis HM10 30	48	AE 24

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle : 1:1

Etudiant : MEZAOUI R

Promot : M^rAIT.ALI

P^r Jury : M^r

Jury : M^r

LIAISONS:

Poteau - Poutre c

Montant - Poutre c

ENP

D_p

MECANIQUE

PR002

