

UNIVERSITE D'ALGER

2/68

1er

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département: GENIE-CIVIL

## PROJET DE FIN D'ETUDES



ETUDE DE LA PROTECTION D'UNE  
FOUILLE CONTRE L'ÉBOULEMENT  
AU MOYEN DE PALPLACHES  
MÉTALLIQUES

PROMOTION  
1968

M. SALEM

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة  
-----  
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHÈQUE

ÉTUDE DE LA PROTECTION D'UNE FOUILLE CONTRE

L'ÉBOULEMENT AU MOYEN DE PALPLANCHES

MÉTALLIQUES .

Proposé par : Monsieur J.C. BLIVET

Professeur de MECANIQUE des SOLS

Étudié par : M . S A L E M

Je remercie vivement monsieur J.C. Blivet  
pour les renseignements précieux qu'il m'a donnés  
pour l'élaboration de mon projet.

Mes remerciements vont également à tous les  
professeurs de l'E.N.P.A. qui ont participé à ma  
formation.

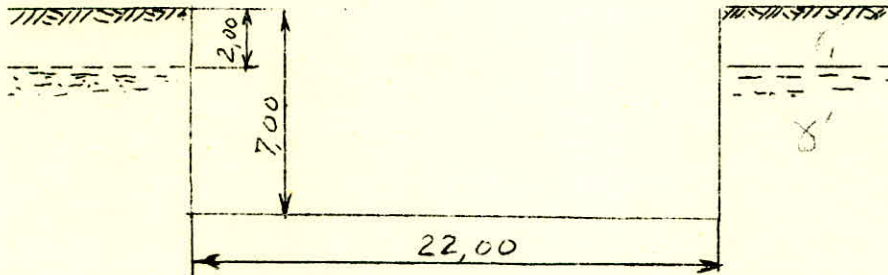


SOMMAIRE

	Pages
-Données-----	A
-Calcul et choix du rideau de palplanches----	1
-Calcul du tirant et du rideau d'ancrage-----	7
-Calcul du débit d'infiltration-----	*1
-Examen du mécanisme du renard-----	11
-Stabilité-----	12
-Capacité portante de la fouille-----	15
ESSAIS AU LABORATOIRE	
-Essai de perméabilité-----	16
-Essai triaxial-----	18
-Granulométrie-----	22'
-Poids spécifique et classification du sol---	23



DONNEES



Angle de frottement interne du sol	$\phi = 32^\circ$
La cohésion	$C = 0$
Coefficient de permeabilité	$K = 5 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$
Poids spécifique saturé	$\gamma_s = 1,8 \text{ g/cm}^3$

Cette étude comporte deux parties

- 1°) calcul des rideaux de palplanches à partir des données fictives indiquées ci-dessus
- 2°) détermination des caractéristiques mécaniques du sol à partir des essais au laboratoire

REMARQUE : on devrait d'abord déterminer les caractéristiques du sol et utiliser les résultats pour étudier les rideaux mais par suite du retard occasionné par le matériel on a été amené à calculer, les rideaux avec les données fictives et déterminer par la suite les caractéristiques mécaniques d'un autre sol.

CALCUL ET CHOIX DU RIDEAU DE PALPLANCHES

Détermination des coefficients de poussée et de butée

- Les coefficients de poussée  $K_a$  et de butée  $K_p$  dépendent de l'inclinaison de la pression sur le rideau des palplanches.

- Pour la poussée, les coefficients varient assez peu avec cette inclinaison. Il est habituel de prendre:

$$\delta_a = 0 \quad ; \quad \text{ce qui donne la valeur supérieure.}$$

- Par contre pour la butée, il est courant d'admettre

$\delta_p = -\frac{3}{4}\varphi$ ; ce qui correspond à la mobilisation du frottement massif - rideau.

a/ Coefficient de poussée  $K_a$

En admettant un coefficient de sécurité de 1,2 de frottement interne  $\varphi = 32^\circ$  on aura :

$$\frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi'} = 1,2 \quad \frac{\text{tg } 32^\circ}{\text{tg } \varphi'} = 1,2$$

$$\text{d'où } \text{tg } \varphi' = \frac{\text{tg } 32^\circ}{1,2} = \frac{0,615}{1,2} = 0,5125$$

$$\varphi' = 27^\circ 30'$$

$$\text{moyennant } \varphi' = 27^\circ 30' \quad ; \quad \beta = 0 \quad \delta_a = 0$$

La table de poussée de CAQUOT nous donne après interpolation ,

$K_a = 0,370$

coefficient de butée

b/ Coefficient de butée :

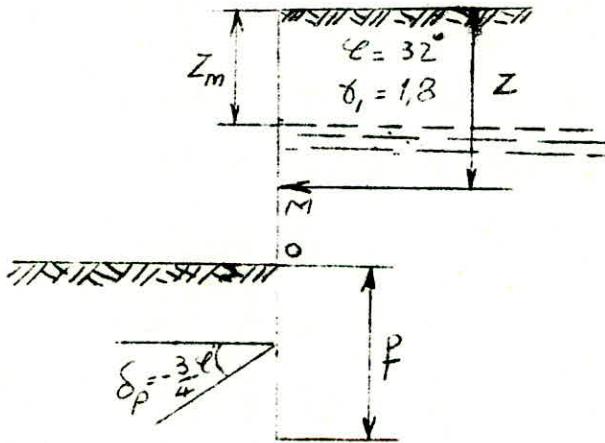
$$\text{moyennant } \begin{cases} \psi = 27^{\circ}30' & ; & \beta = 0 \\ \delta_p = -\frac{3}{4}\psi \end{cases}$$

La table nous donne après interpolation :

$$K_p = 4,575$$

Détermination des poussées et des butées sur l'écran :

-Le calcul sera exécuté sur un mètre courant de rideau de palplanches



a/ poussées :

$$P_M = K_a \left[ \gamma \cdot Z_m + \gamma'(Z - Z_m) \right] + (Z - Z_m) \gamma_w$$

Cote	$\Delta Z$	$\psi$	$\gamma$	pression	$K_a$	poussée
7	2	$27^{\circ}30'$	1,8	3,6	0,37	1,33
5	5	"	0,8	4	0,37	1,48
0	5 eau	"	1	5	1	5

poussée totale à la côte 0 = 7,81  $\frac{t}{m}$

b/ Butées :

On détermine la butée à une cote arbitraire -7m par exemple :

Cote	AZ	$\psi$	$\gamma$	pression	$K_p$	butée
0	7	27°30'	0,8	5,6	4,575	25,65
-7	7m	"	1	7	1	7

Butée totale au point -7m      32,65  $\text{tf/m}^2$

Butée à la cote -7m

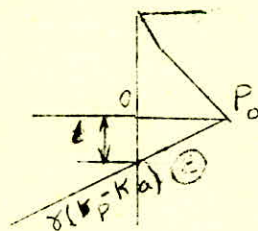
roussée à -7m :

$$7,81 + 7 (0,8 \cdot 0,37 + 1) = 16,36 \text{ tf/m}^2$$

Butée à la cote -7m

$$32,65 - 16,36 = 16,29 \text{ tf/m}^2$$

profondeur du point de pression nulle :  $t$

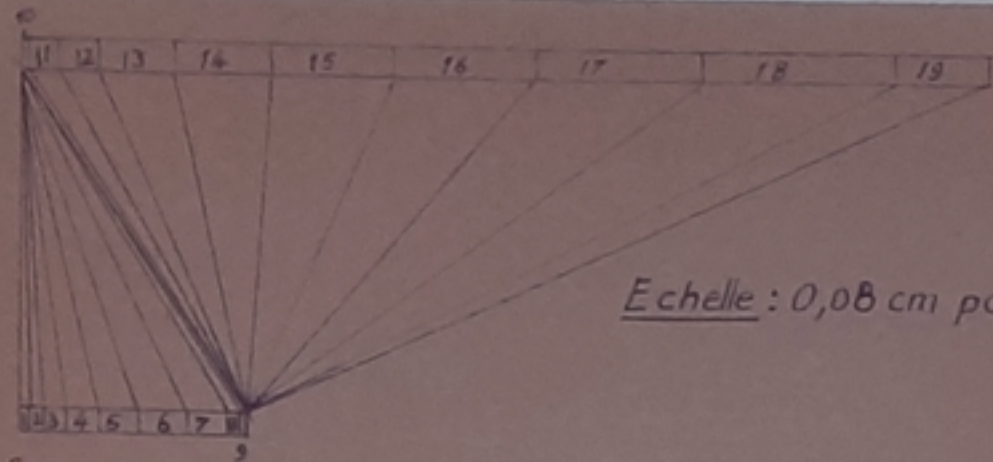


$$t = \frac{t_0}{\gamma (K_p - K_a)} = \frac{7,81}{0,8(4,57 - 0,37)} = 2,32 \text{ m}$$



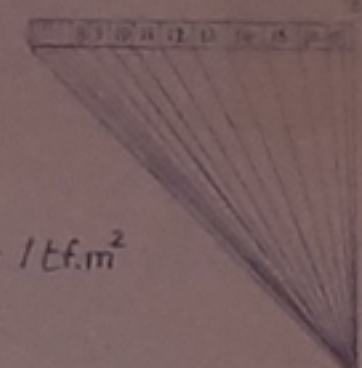
après P800268  
p. 3

RIDEAU SIMPLEMENT ENCASTRE EN PIED



Echelle : 0,08 cm pour 1 tf

Echelle : 0,0066 cm pour 1 tf.m<sup>2</sup>

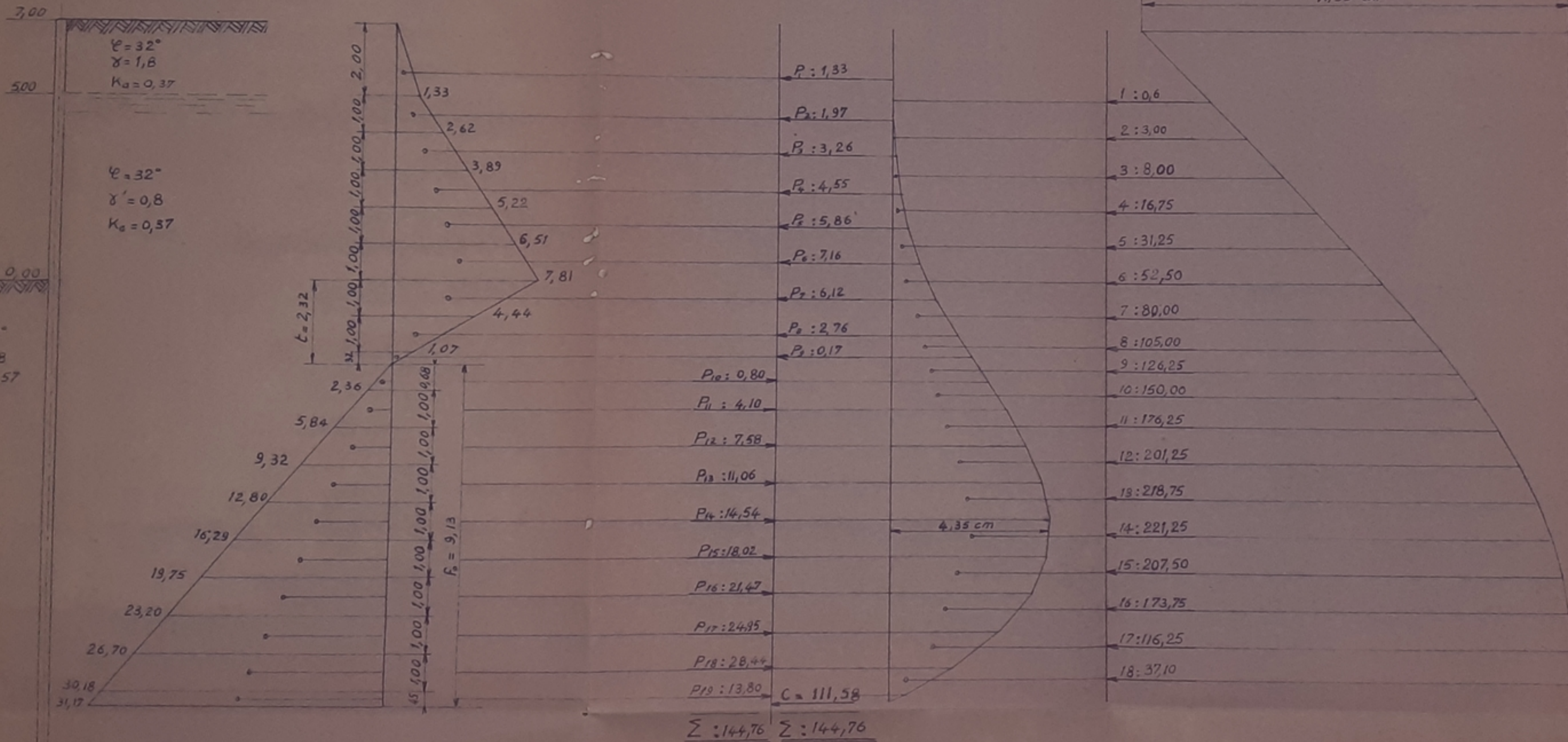


Echelle : 1 m pour 1 m

Echelles { Poussée : 0,5 cm pour 1 tf/m<sup>2</sup>  
Butée : 0,25 cm pour 1 tf/m<sup>2</sup>

Echelle : 0,02 cm pour 1 tfm

Echelle : 1,91,3 cm pour 1 m avec caisson mixtes



On utilise la méthode graphique pour déterminer les réactions d'appui, les moments fléchissants et les flèches des palplanches.

Cette méthode est basée sur l'emploi de la statique graphique ; permet de résoudre assez rapidement et par approximations successives tous les cas courants.

Elle a l'avantage de montrer facilement l'influence de ce des différents paramètres et de mettre en évidence la valeur des efforts dans chaque section.

Sa précision est très longuement suffisante comparée à l'incertitude des données géotechniques et des hypothèses sur les charges de service.

Nous allons étudier trois rideaux différents et nous choisissons le rideau le plus économique et qui offre le plus de sécurité

a/ RIDEAU SIMPLEMENT ENCASTRE EN PIED :

- Moment maximal  $M_{\max} = 217,5 \text{ tm/ml}$
- Contrainte admissible  $\bar{\sigma}_a = 3/4 \cdot 2400 = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
- Module d'un mètre courant de palplanche  $W = \frac{217,5 \cdot 10^5}{1800} = 12070 \frac{\text{cm}^3}{\text{ml}}$
- Profil choisi : des rideaux de palplanches renforcés par des caissons (Voir fig. I)
- Fiches des palplanches :  $f = 1,2f_0 + t = 1,2 \cdot 11,45 + 2,32 = 13,2 \text{ m}$
- Moment d'inertie d'un mètre de rideau  $I = 552500 \text{ cm}^4$
- Constante élastique du profil :  $EI = 21 \cdot 10^6 \cdot 5525 \cdot 10^{-6} = 116000 \text{ t.m}^2$

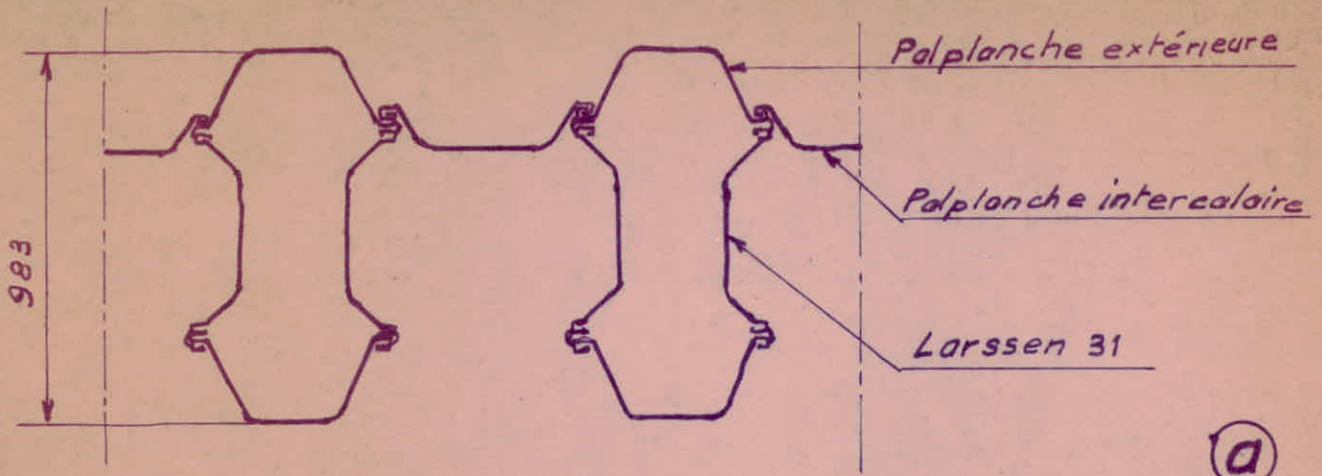
- Flèche maximale du rideau  $\bar{y}_{\max} = 6,25 \text{ cm}$

b/ RIDEAU ENCASTRE EN FIELD ET MAINTENU EN TETE  
PAR UN TIRANT:

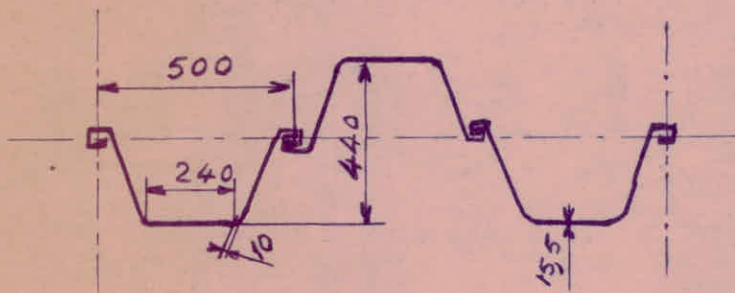
- Moment maximal  $M_{\max} = 42,5 \text{ tm/ml}$
- Contrainte admissible  $\bar{\sigma}_a = 1800 \text{ Kg/cm}^2$
- Module d'un mètre courant de palplanches  $W = \frac{42,5 \cdot 10^5}{1800} = 2360 \text{ cm}^3/\text{ml}$
- profil choisi Larssen I V. Nuance 40/47
- Fiche de palplanches  $-f = 1,2 f_0 + t$   
 $= 1,2 \cdot 4,98 + 2,32 = 8,32 \text{ m}$
- Moment d'inertie d'un mètre rideau  $I = 54800 \text{ cm}^4$
- Constante élastique  $EI = 21 \cdot 10^6 \cdot 548 \cdot 10^{-6}$   
 $= 11500 \text{ tm}^2$
- Flèche maximale du rideau  $Y = 2,96 \text{ cm}$

c/ RIDEAU SIMPLEMENT BUTEE EN FIELD ET MAINTENU EN TETE:

- Moment maximal  $M_{\max} = 55 \text{ tm/ml}$
- Contrainte admissible  $\bar{\sigma}_a = 1800 \text{ Kg/cm}^2$
- Module d'un mètre courant de palplanches  $W = \frac{55 \cdot 10^5}{1800} = 3056 \text{ cm}^3$
- Profil choisi Larssen V<sub>S</sub>
- fiche des palplanches  $f = 2,62 + 1,2 + 2,32 = 5,535 \text{ m}$
- Moment d'inertie d'un rideau  $I = 72000 \text{ cm}^4$
- Constante élastique  $EI = 21 \cdot 10^6 \cdot 720 \cdot 10^6$   
 $= 15120 \text{ tm}^2$

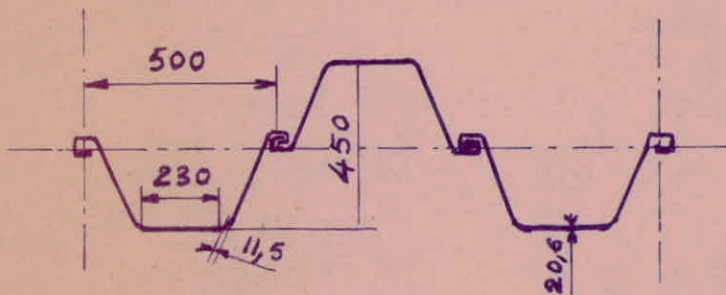


Rideau renforcé par caissons mixtes  
 Poids = 518,5 Kg/m<sup>2</sup>



Larssen IV<sub>s</sub> nuance : 40/47  
 Poids = 176 Kg/m<sup>2</sup>

(b)



Larssen V<sub>s</sub> • Poids = 212 Kg/m<sup>2</sup>

(c)

Échelle: 5 cm pour 1 m.

- Flèche maximale du rideau  $Y_{max} = 2,25 \text{ cm}$

Choix de la solution à adopter :

Pour cela , comparons les poids dans chaque cas ;  
d'une bande de palplanches de 1 m de largeur sur la  
longueur totale

$$a/ \quad 516,5 (7 + 13,28) \dots = 10470 \text{ Kg}$$

$$b/ \quad 176 (7 + 8,32) \dots = 2700 \text{ Kg}$$

$$c/ \quad 212 (7 + 5,536) \dots = 2660 \text{ Kg}$$

On remarque que la solution (a) est à écarter non  
seulement qu'elle lui en faut un poids considérable  
de palplanches mais aussi la flèche est très im-  
portante .

- Il nous reste à choisir entre les solutions b et c  
dont les poids sont voisins .

Dans la solution (c) ; la fiche d'encastrement ne peut  
plus se produire. Le rideau devient simplement butée en  
pied.

L'épure donne une fiche de 5,536 m et un moment de  
55 tm ; on voit que si la flèche est diminuée par  
rapport à celle de l'encastrement complet , le moment  
a considérablement augmenté. Un rideau simplement butée  
n'offre aucune marge de sécurité pour une augmenta-  
tion accidentelle des charges.

On adopte la solution (b)

Rideau complètement encasté en pied et maintenu en  
tête par un tirant.

- Calcul du tirant :

Traction par tirant :

$$T = \frac{Al}{\cos \theta}$$

l'espacement des tirants ( égal à un multiple entier de largeur d'une paire de palplanches.)

A : réaction d'attache en t/ml

$\theta$  : inclinaison des tirants sur l'horizontale

Réactions d'attache : A = 16,96 t tire du graphique que ; on prend A = 17 t

Pour un tirant , toutes les 4 palplanches on aura:

$$l = 4 \cdot 0,50 = 2,00\text{m}$$

Traction par tirant ( horizontal ou faiblement incliné  $\cos \theta = 1$  )

$$T = A \cdot l = 17 \cdot 2 = 34 \text{ t}$$

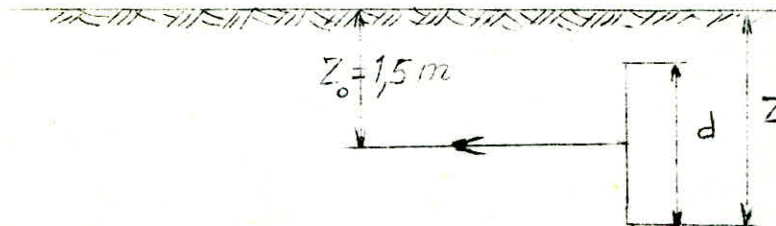
Section à fond de filet, minimale du tirant

$$S = \frac{T}{\sigma_a} = \frac{34 \cdot 10^3}{1100} = 30,9 \text{ cm}^2$$

On utilise un tirant de diamètre = 72<sub>mm</sub> : S = 31,83cm<sup>2</sup>

Calcul du rideau d'encrage ;

Traction sur le rideau : A = 17t



Traction à prendre en compte :

$$A' = 1,5 A = 1,5 \cdot 17 = 25,5 \text{ t}$$

C'est pour cette valeur que l'ancrage sera calculé à la rupture :

- Profondeur du point d'attache .

$$Z_0 = 1,5 \text{ m}$$

Butée disponible à la profondeur  $Z_0 = 1,5 \text{ m}$

$$b' = K_p \cdot \gamma \cdot Z_0 - K_a \cdot \gamma \cdot Z_0 =$$

ici le coefficient de butée  $K_p$  dépend de l'angle  $\delta_p$  qui dépend lui-même du mouvement possible du rideau.

Le rideau d'ancrage étant libre dans le sol, son mouvement dépend en particulier de l'inclinaison des tirants. Avec des tirants horizontaux, on peut prendre

$$\delta_p = 0$$

et moyennant :

$$\left. \begin{array}{l} \psi' = 27^\circ 30' \\ \delta_p = 0 \\ \frac{\delta_p}{\psi} = 0 \end{array} \right\}$$

La table de butées de CAQUOT nous donne après interpolation.

$$K_p = 2,73$$

$$b' = 2,73 \cdot 1,8 \cdot 1,5 - 1,5 \cdot 0,37 \cdot 1,8 = 6,37 \text{ t/m}^2$$

Hauteur du rideau d'encrage ;

On utilise un rideau de longueur  $l = 2m$   
d'où

$$d = \frac{A'}{2b'} = \frac{25,5}{2 \cdot 6,37} = 2m$$

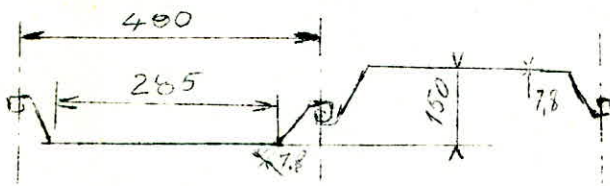
Moment maximum dans le rideau :

$$M = \frac{b'd^2}{4} = \frac{6,37 \cdot 10^5}{4} = 6,37 \text{ tm}$$

En admettant une contrainte admissible  $\sigma'_a = \frac{3 \cdot 10^4}{4} = 1800 \text{ kg}$

$$W = \frac{M}{\sigma'_a} = \frac{6,37 \cdot 10^5}{1800} = 354 \text{ cm}^3$$

On choisit Larssen I nuance 40/47



$$W = 500 \text{ cm}^3$$

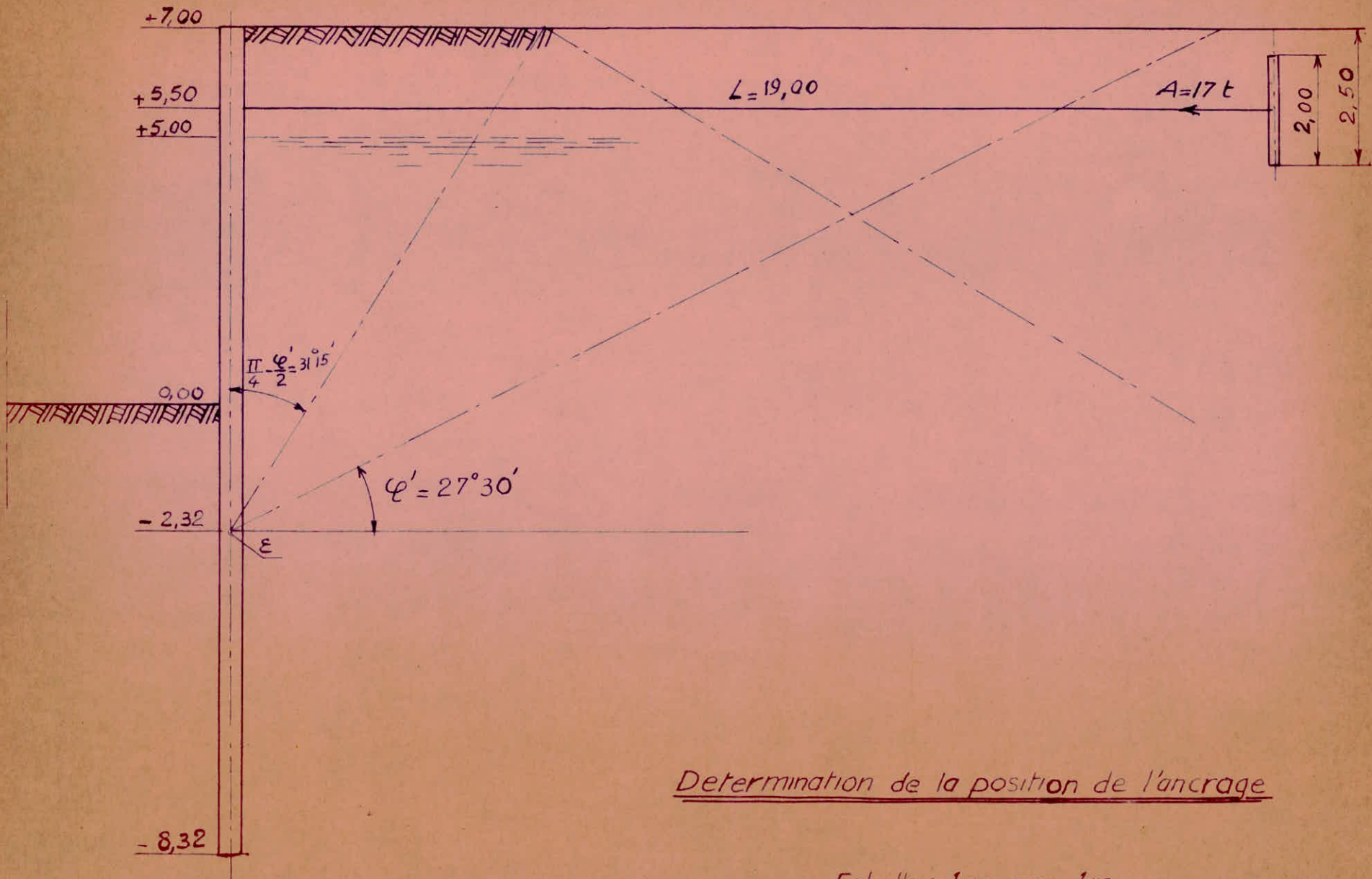
$$p = 100 \text{ kg/m}^2$$

Détermination de la position d'ancrage :

L'expérience a montré que pour de faibles rotations autour du point de pression nulle, la rupture du terrain se fait sensiblement suivant le plan théorique de rousée maximum faisant  $\text{angl} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$

avec la verticale du rideau. Il est évidemment nécessaire que le prisme de butée de l'ancrage n'empiète pas sur le prisme de poussée du rideau, mais cela ne suffit pas car le rideau continue son mouvement en avant, le terrain tendra à épouser sa pente naturelle d'éboulement. Le terrain sur lequel on comptait pour assuer l'ancrage se mettra lui-même en mouvement et plus rien ne s'oppo-





Determination de la position de l'ancrage

Echelle : 1 cm pour 1 m

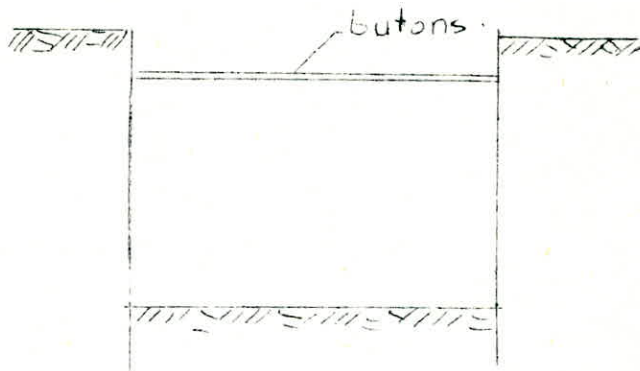
sera au renversement de la paroi.

Il faut donc de plus que l'ancrage soit nettement en dehors du prisme d'éboulement afin d'être assuré d'un ancrage solide.

Remarque :

Dans le cas d'une pareille fouille , on peut se trouver dans l'impossibilité de placer des tirants, ceci est fréquent dans les villes , où les batiments déjà existants constituent des obstacles pour l'ancrage des tirants.

Dans ces conditions , pour maintenir les rideaux de palplanches en tête , on remplace les tirants par des butons.



Ces butons sont calculés à la compression et au flambement :

$$N = \frac{P}{1 + \frac{P}{K}}$$
 où  $P$  est la charge appliquée au bouton.  
 et  $K$  est le coefficient de rigidité de la base du bouton.  
 Le coefficient de rigidité  $K$  est déterminé par la méthode précédemment citée.

Calcul du débit d'infiltration :

Moyennant le réseau d'écoulement à mailles carrées obtenu par analogie électrique et le coefficient de perméabilité  $K$ , déterminé à partir de l'essai de perméabilité. On calcule le débit avec la formule :

$$Q = kH \frac{N_f}{N_d}$$

$$H = \text{charge} = 5\text{m}$$

$$k = \dots = 5 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$$

$$N_f = 10 \text{ équipotentiels}$$

$$N_d = 10 \text{ tubes de courant}$$

$$Q = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 500 \cdot 100 \cdot \frac{10}{10} = 25 \text{ cm}^3/\text{s} / \text{ml}$$

$$\text{soit } Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$$

Examen du mécanisme du renard par soulèvement:

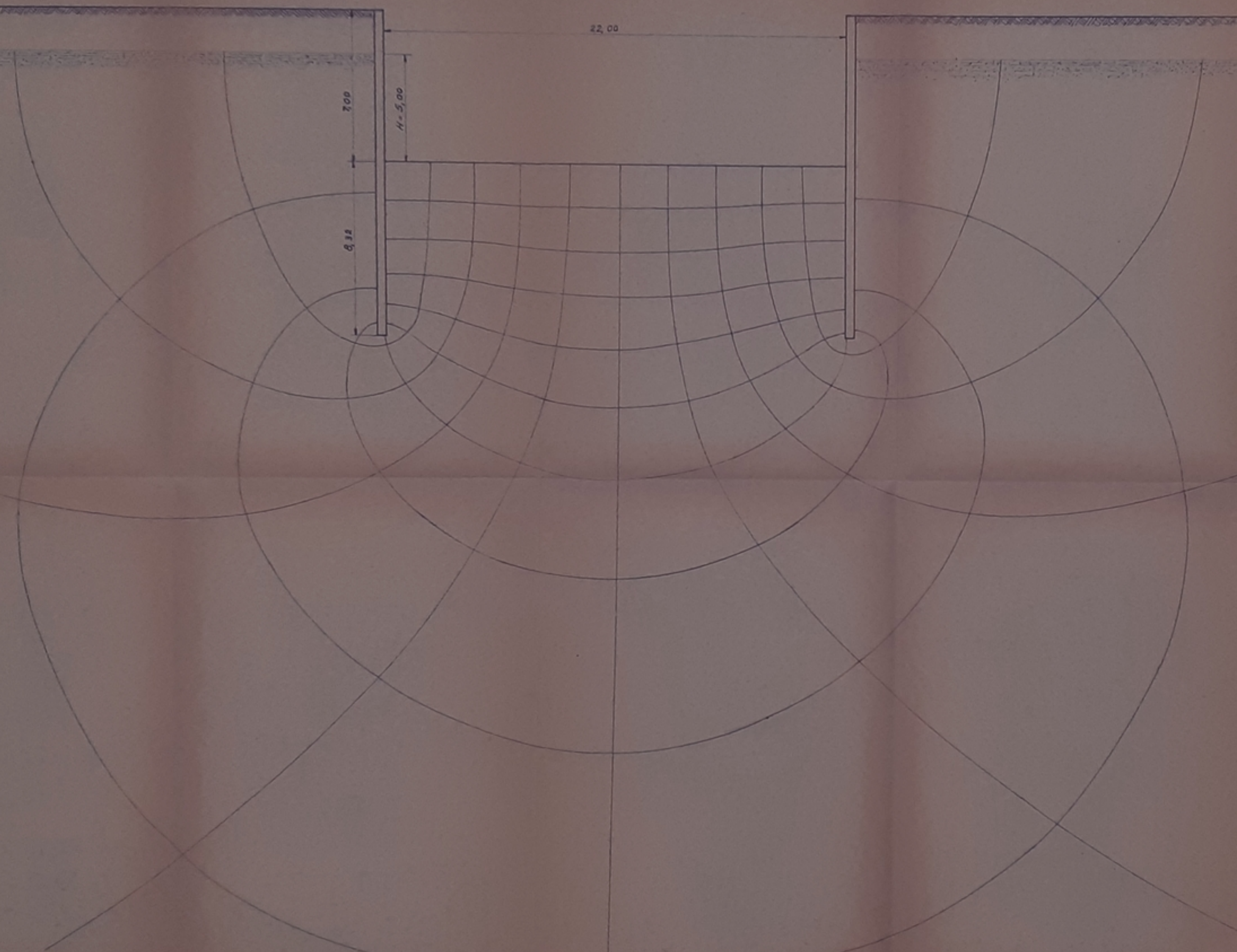
Dès que la terre entre les palplanches est dégagée et l'eau de la feuille évacuée, il se crée une charge d'eau  $H$ . L'eau commence alors à s'écouler vers le bas à travers le sable situé à gauche du rideau et à remonter sur le côté droit.

Nous allons examiner ici la suppression hydrostatique sur une horizontale  $Ox$  passant par les pieds des palplanches.

A partir du réseau d'écoulement ci-joint, on tire facilement, la surpression en n'importe quel point

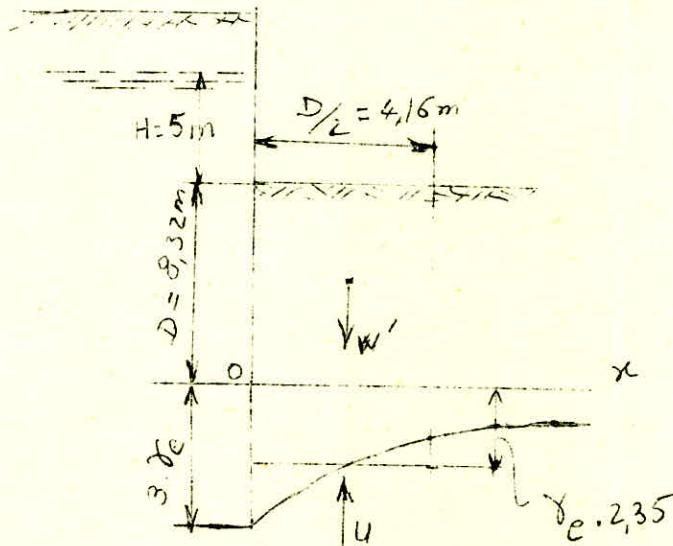
RÉSEAU D'ÉCOULEMENT

PB00268  
après P.M.



Échelle : 1cm pour 1m

du plan.



Surcharge hydrostatique :

$$U = \frac{I}{2} \cdot D \cdot 2,35 \gamma_e$$

Poids effectif du sable :

$$W' = \frac{I}{2} \cdot D^2 \cdot \gamma'$$

Coefficient de sécurité  $G_s$

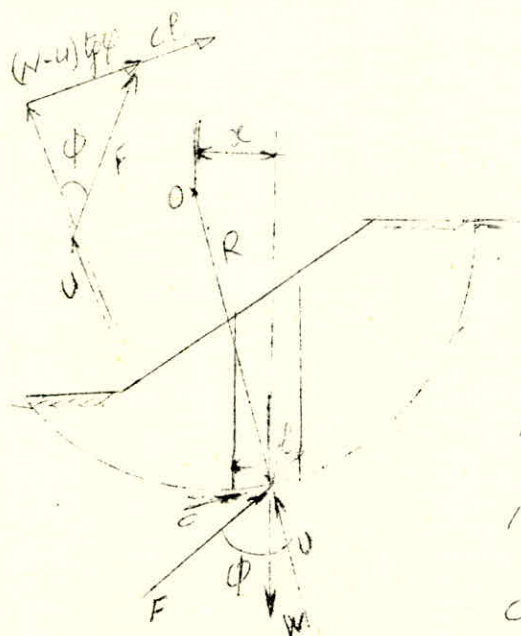
$$G'_s = \frac{W'}{U} = \frac{D \cdot \gamma'}{2,35} = \frac{8,32 \cdot 0,8}{2,35} = \underline{\underline{2,833}}$$

pas de risque de soulèvement du fond de fouille

### STABILITE:

La vérification de la stabilité des palplanches pourra se faire par la méthode graphique de FELLENIUS. On admet que la rupture a lieu suivant une surface de glissement en forme de cylindre et qu'elle se produit instantanément et simultanément le long de toute la surface de rupture d'autre part, on suppose la longueur la longueur des palplanches infiniment grande.

I°/ Principe de la méthode :



Forces

$$W \begin{cases} N \\ T \end{cases} \text{ et } F \begin{cases} F \cos \varphi \\ F \sin \varphi = (N-U) \operatorname{tg} \varphi \end{cases}$$

Projection sur la normale

$$U - N + F \cos \varphi = 0 \Rightarrow F = \frac{N - U}{\cos \varphi}$$

Moment moteur

$$W \cdot x = T \cdot R$$

Moment résistant

$$cl \cdot R + (N - U) \operatorname{tg} \varphi \cdot R$$

Coefficient de sécurité

$$f = \frac{\sum (cl + (N - U) \operatorname{tg} \varphi)}{\sum T} > 1,3 \text{ à } 1,5$$

Calculs :

Les épures de stabilité ci-joint nous permettent de calculer les coefficients de sécurité :

Section I :

Forces normales :

$$N = 282 \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 508 \text{ t}$$

Forces dues au fluide

$$U = 283 \cdot 1 \dots \dots \dots = 283 \text{ t}$$

$$N - U \dots \dots \dots = 225 \text{ t}$$

$$(N - U) \operatorname{tg} \varphi \dots \dots \dots = 140,7 \text{ t}$$

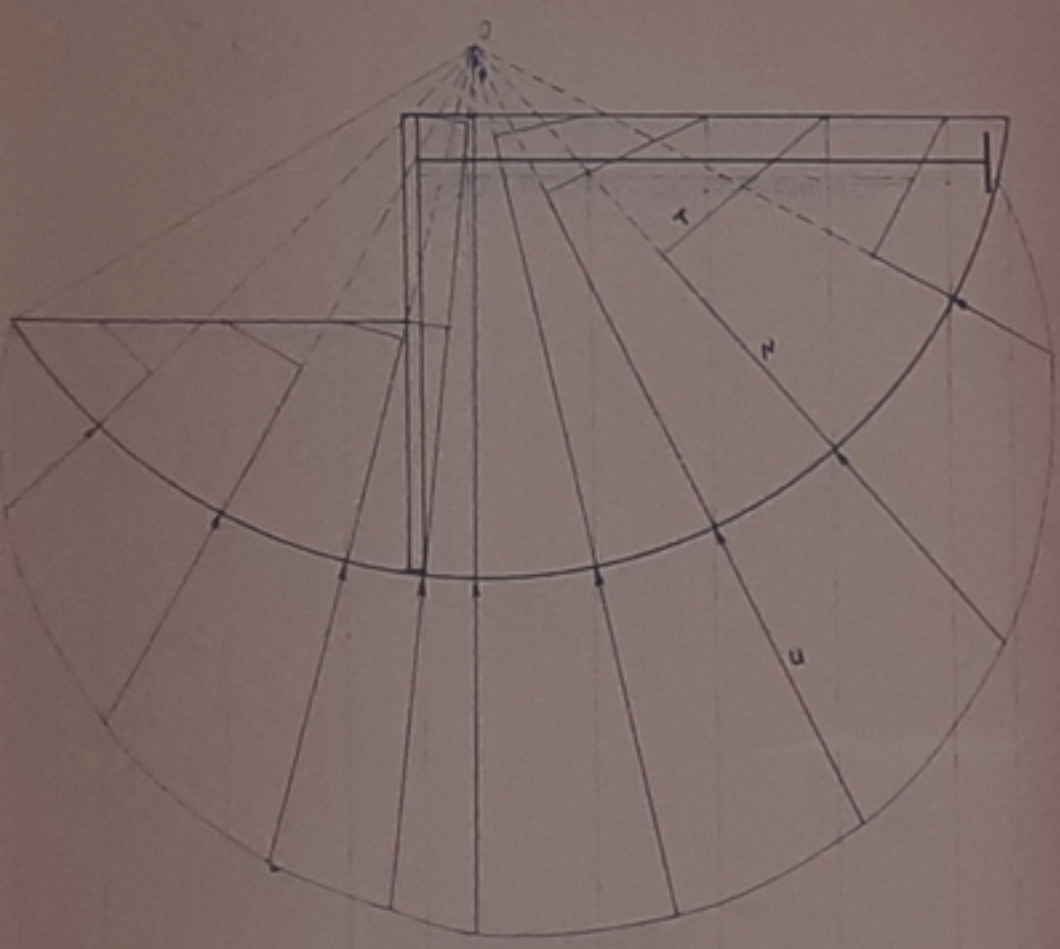
Forces tangentielles

$$T = (86 - 32) \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 97,3 \text{ t}$$

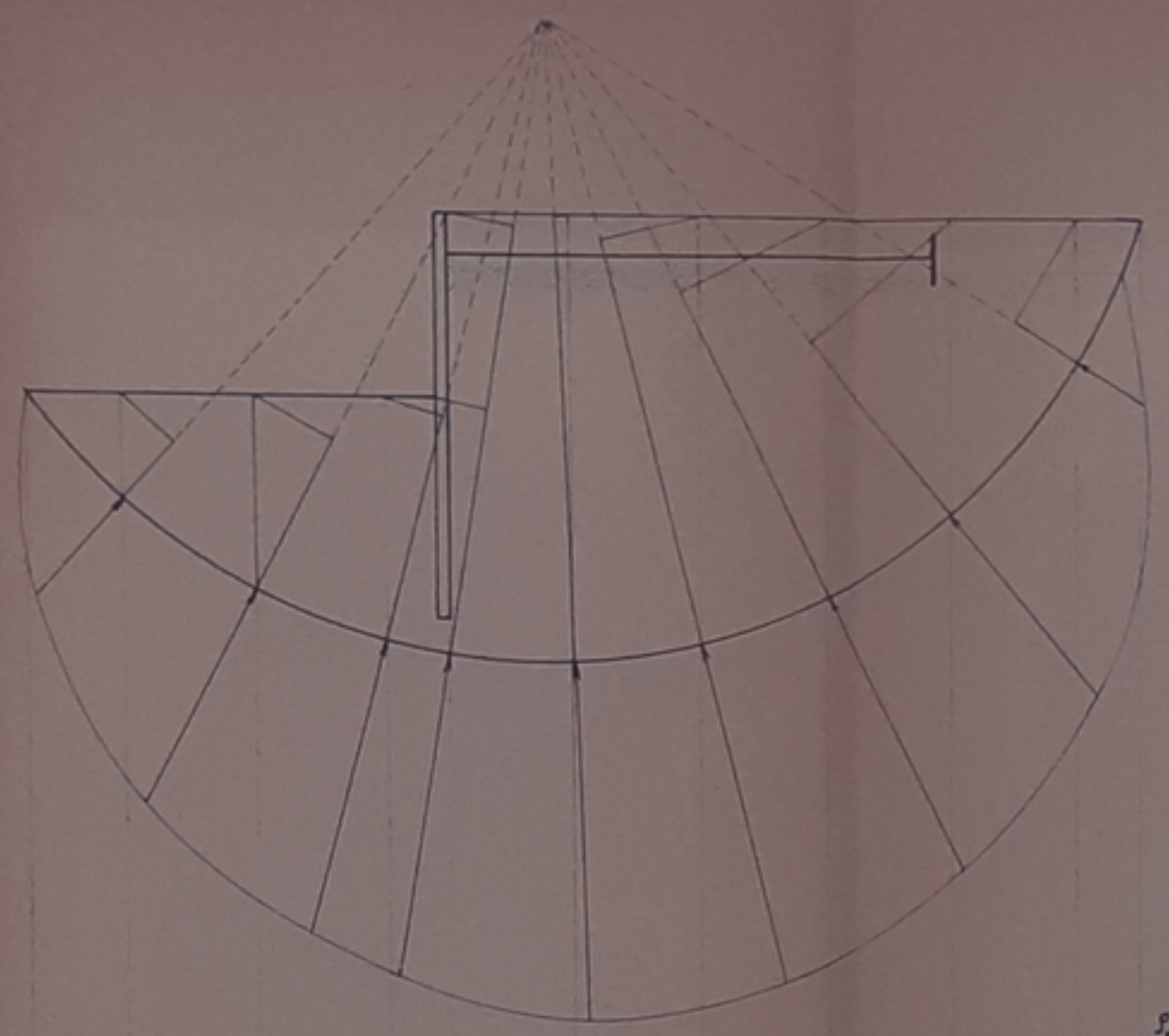
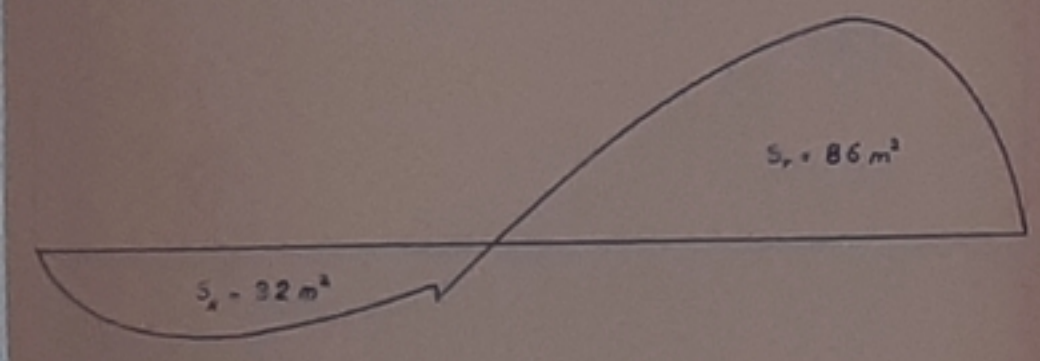
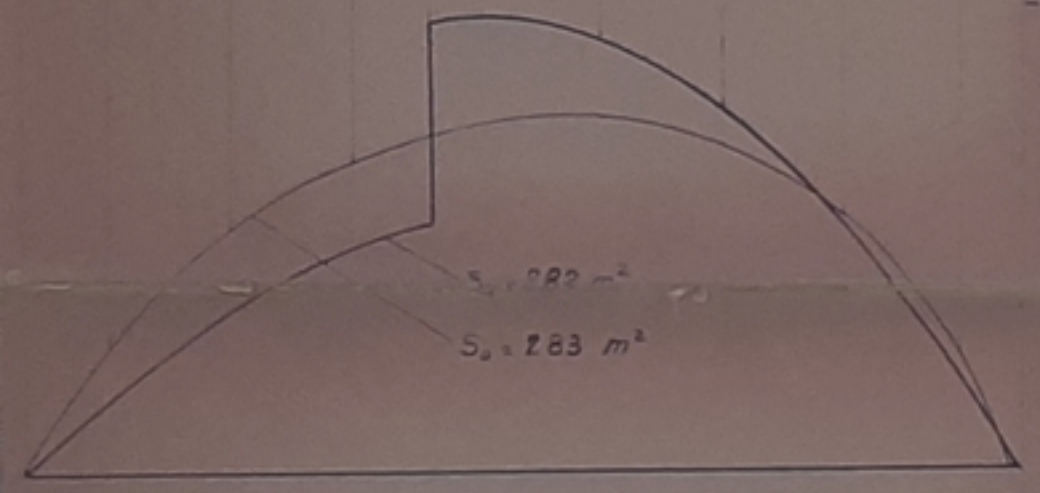
$$f = \frac{\sum (N - U) \operatorname{tg} \varphi}{\sum T} = \frac{140,7}{97,3} = 1,44$$

# ÉPURES DE STABILITÉ

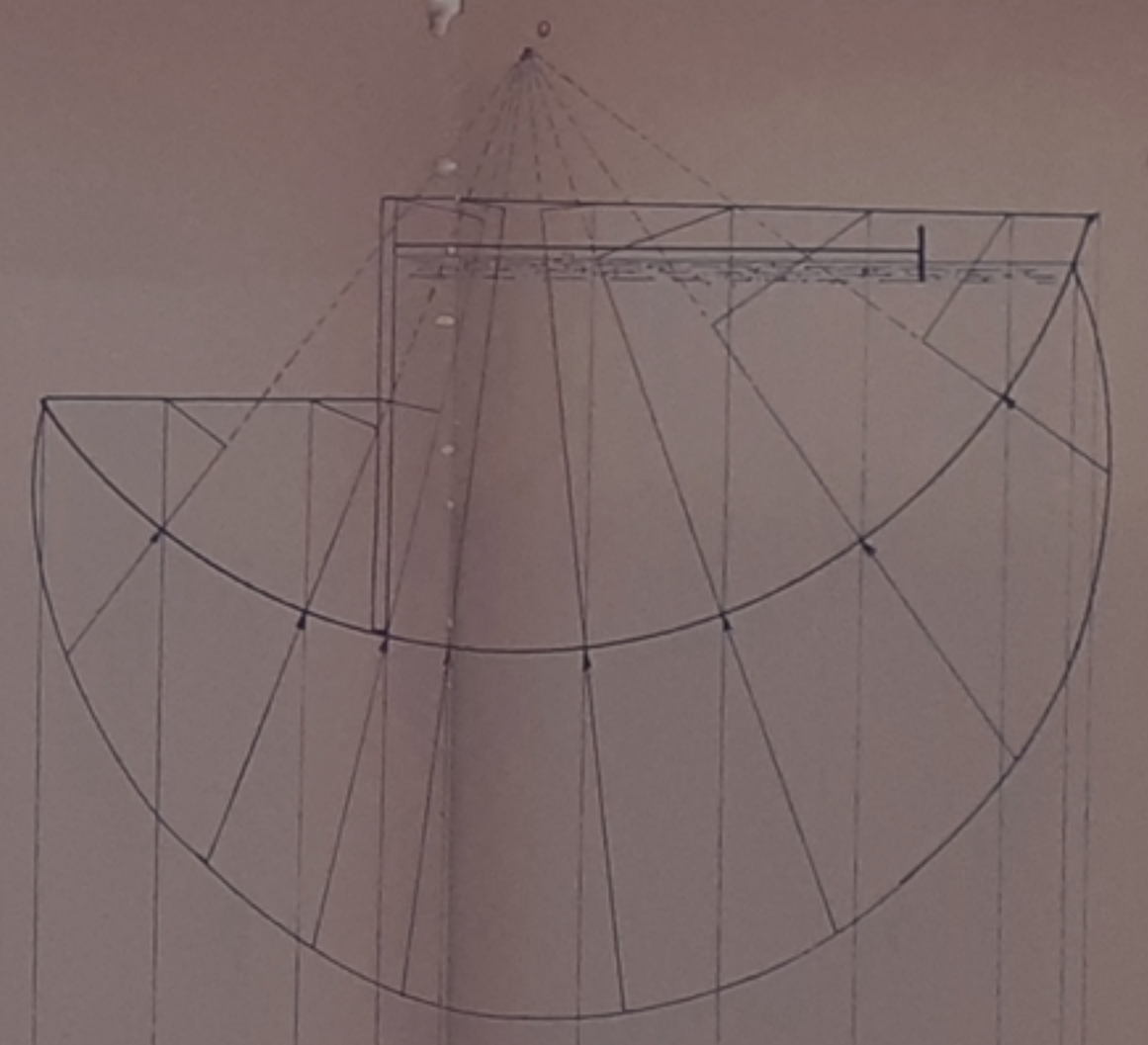
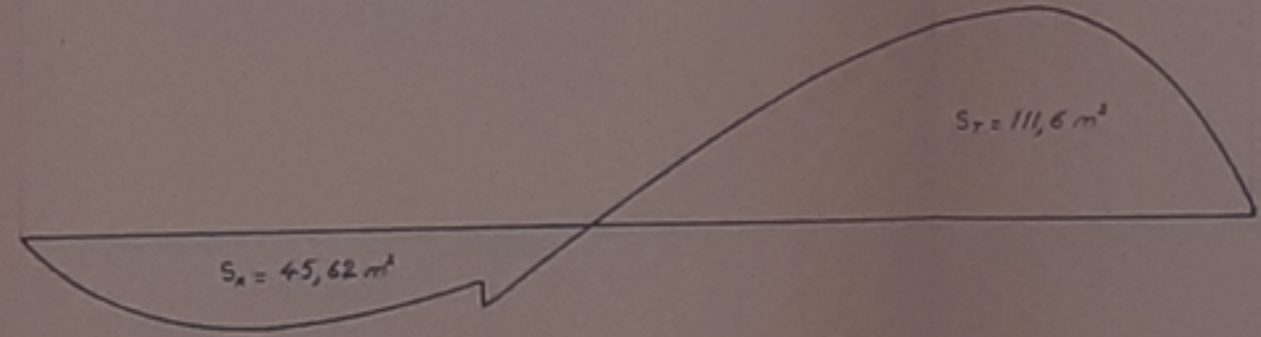
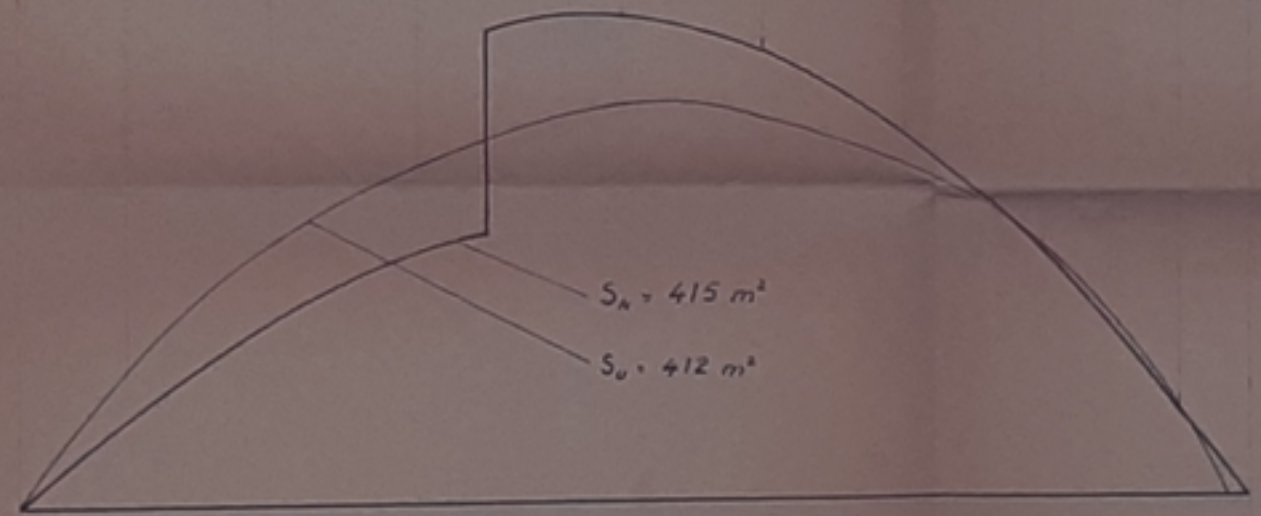
Echelle: 0,5cm pour 1m



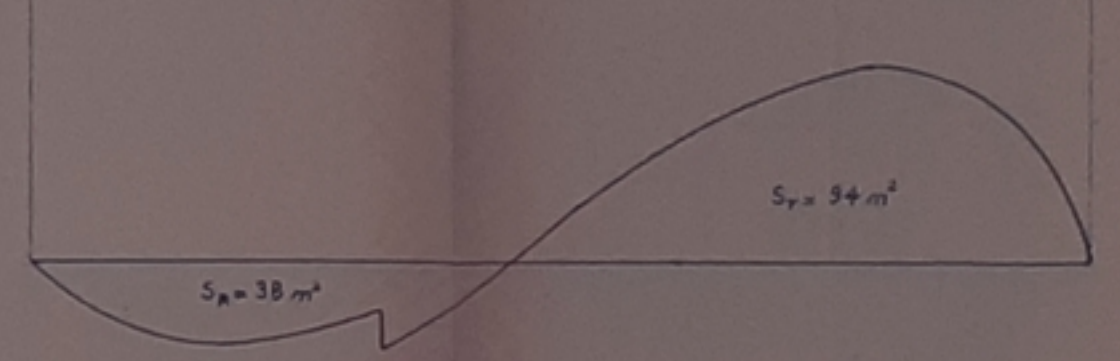
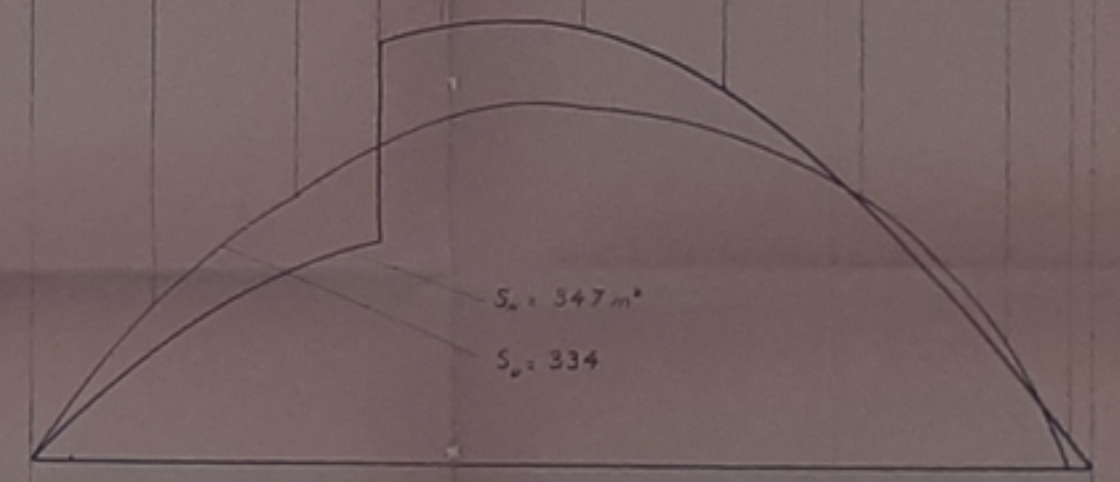
$\beta_1 = 1,44$



$\beta_2 = 1,76$



$\beta_3 = 1,81$



Section 2 :Forces normales

$$N = 415 \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 747 \text{ t}$$

Forces dues au fluide

$$U = 412 \cdot 1 \dots \dots \dots = 412 \text{ t}$$

$$N - U \dots \dots \dots = 335 \text{ t}$$

$$(N - U) \operatorname{tg} 32^\circ = 335 \cdot \operatorname{tg} 32^\circ = \dots \dots \dots = 209,5 \text{ t}$$

Forces tangentielles

$$T = (111,6 - 45,62) \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 118,7 \text{ t}$$

$$f = \frac{209,5}{118,7} = 1,76$$

Section 3Forces normales

$$N = 347 \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 624,6 \text{ t}$$

Forces dues au fluide :

$$U = 334 \cdot 1 \dots \dots \dots = 334 \text{ t}$$

$$N - U \dots \dots \dots = 290,6 \text{ t}$$

$$(N - U) \operatorname{tg} f = \dots \dots \dots = 182 \text{ t}$$

Forces tangentielles

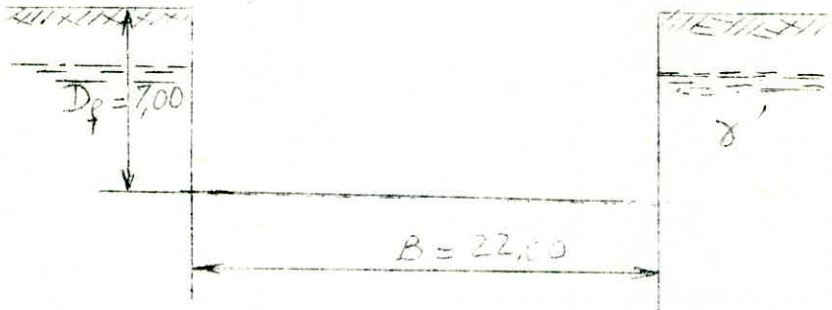
$$T = (94 - 38) \cdot 1,8 \dots \dots \dots = 100,7 \text{ t}$$

$$f = \frac{182}{100,7} = 1,81$$

Ras de risque de glissement du terrain .



CAPACITE PORTANTE DE LA FOUILLE



$$Q = B \left( CN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N \right)$$

$N_c$  ,  $N_q$  et  $N$  sont des coefficients donnés par l'abaque en fonction de  $\phi$

$$\text{Moyennant } \phi = 32^\circ \begin{cases} N_c = 42,7 \\ N_q = 26 \\ N = 26 \end{cases}$$

Dans ce cas  $C = 0$  donc le terme  $CN_c = 0$

$$Q_d = 2200 ( 0,8 \cdot 700 \cdot 26 + 0,5 \cdot 0,8 \cdot 26 + 2200 ) = 82500000 \text{ g/cm}$$

Soit 8250 T/ml

D'où la contrainte de rupture du sol = 37,46 Kg/cm<sup>2</sup>

Moyennant un coefficient de sécurité de 3 on aura

$$\underline{\underline{\sigma_s = 12,53 \text{ Kg/cm}^2}}$$

Détermination du coefficient de perméabilité au  
laboratoire avec perméamètre à charge variable :

-Principe :

On détermine d'abord l'optimum teneur de l'échantillon dont on désire connaître le coefficient de perméabilité  $K$ ; puis cet échantillon est compacté à la teneur en eau optimum, dans un perméamètre et soumis à une charge hydraulique connue, variable.

On mesure le volume d'eau qui traverse l'échantillon pendant un temps donné.

En appliquant la loi de DARCY à cet écoulement, on en déduit le coefficient de perméabilité:

$$v = K i \quad (\text{formule Darcy})$$

$$K = 2,3 \cdot \frac{s}{S} \cdot \frac{H}{t_1 - t_0} \cdot \log \frac{h_0}{h_1}$$

$s$  : section du tube = 44,3 mm<sup>2</sup>

$S$  : section du moule = 8100 mm<sup>2</sup>

$H$  : hauteur de l'échantillon

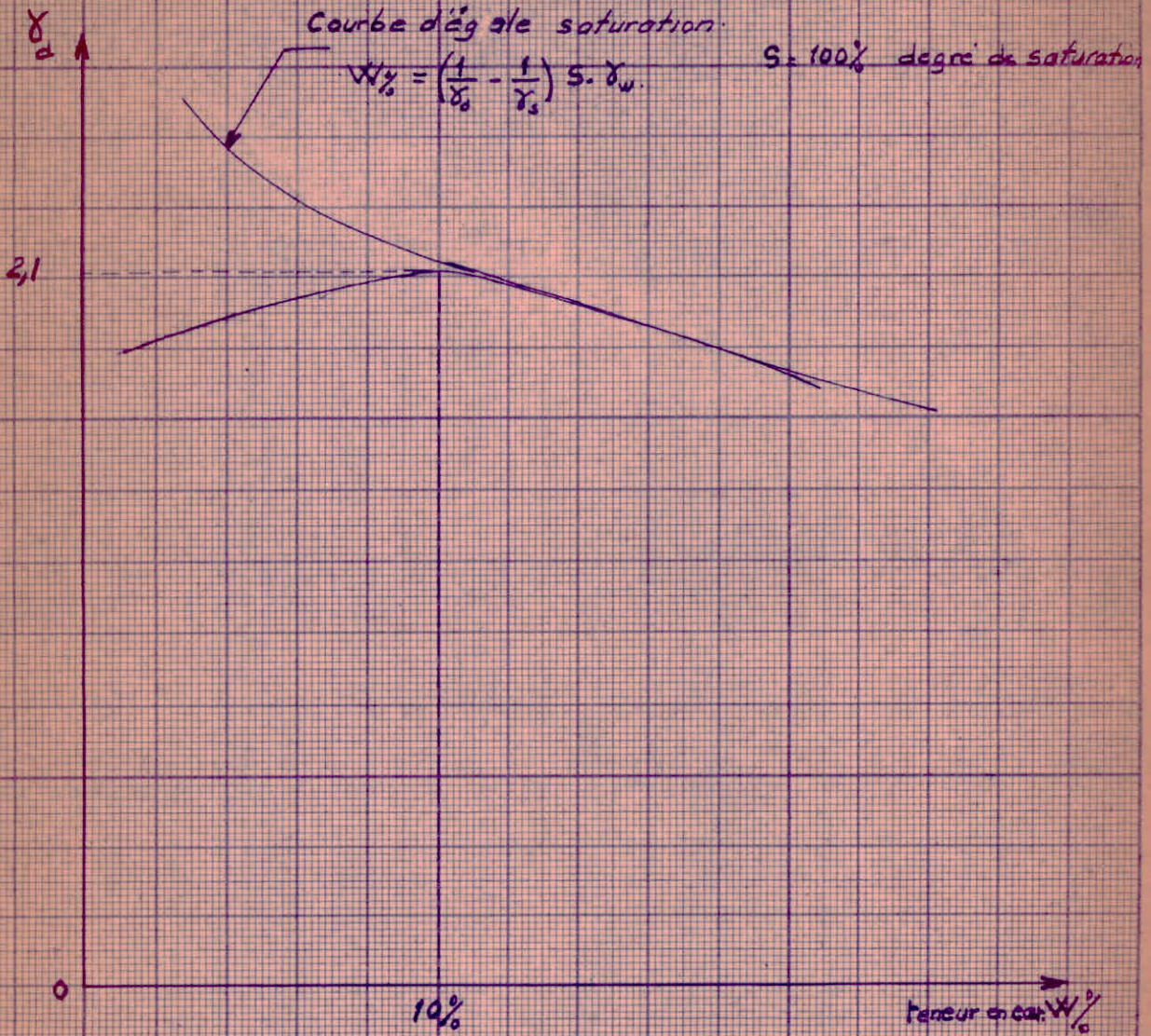
$h_0$  : charge d'eau initiale à l'instant  $t_0$

$h_1$  : charge d'eau à la fin de l'essai au temps  $t_1$   
on écrit la partie constante:

$$A = 2,3 \frac{s}{S} \cdot H = 2,3 \cdot \frac{44,3}{8100} \cdot 11,7 = 0,1472 \text{ cm}$$

$$K = A \cdot \frac{\log \frac{h_0}{h_1}}{t_1 - t_0}$$

# COURBE PROCTOR



Results: { optimum = 10%  
 $\gamma_{w, \max} = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Ech: {  $\gamma_0$ : 0,5 cm pour 0,1 g/cm<sup>3</sup>  
 $W\%$ : 0,5 cm pour 1%

Tableau de mesures et des résultats :

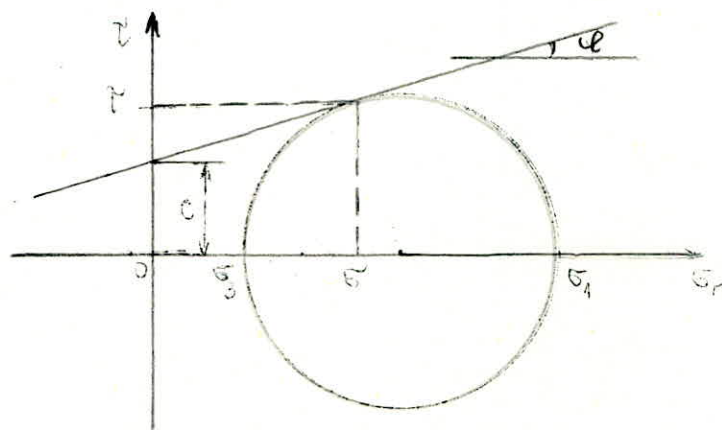
<u>N<sup>o</sup></u>	<u>t<sub>0</sub></u>	<u>t<sub>1</sub></u>	<u>t<sub>I</sub>-t<sub>0</sub></u>	<u>h<sub>0</sub></u>	<u>h<sub>1</sub></u>	<u>log <math>\frac{h_0}{h_1}</math></u>	<u>A</u>	<u>K</u>
1	0	300"	300"	122	107	0,057	0,1472	2,8010 <sup>-5</sup>
2	0	300"	300"	105	92	0,057	0,147	2,810 <sup>-5</sup>
3	0	180"	180"	90	83,1	0,035	0,147	2,8610 <sup>-5</sup>
4	0	300"	300"	111	96,5	0,06	0,147	2,8410 <sup>-5</sup>
5	0	600"	600"	95	71,5	0,123	0,1472	3,0210 <sup>-5</sup>

$$K_{\text{moy}} \cong 2,864 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$$

ESSAI TRIAXIAL

L'essai triaxial permet de mesurer expérimentalement les caractéristiques  $C$  et  $\phi$  d'un échantillon de sol subissant une déformation plastique et obéissant à la loi de Coulomb représentée dans le plan de Mohr par une droite.

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \phi + C$$



$\sigma$  : contrainte normale sur une ligne de glissement.

$\tau$  : contrainte tangentielle sur une ligne de glissement.

$C$  : cohésion du matériau.

$\phi$  : angle de frottement interne.

L'essai consistera à soumettre un échantillon de sol cylindrique de sol à une contrainte principale constante latérale et à augmenter progressivement jusqu'au cisaillement du matériau. Plusieurs essais seront effectués à des pressions  $\sigma_3$  différentes afin d'obtenir les cercles de Mohr caractérisant les états de contraintes limites; l'enveloppe de ces cercles, qui est la courbe intrinsèque du matériau est assimilée pour les sols à une droite.

MESURE DE E.: influence du degré de saturation .

$$B = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_3}$$

$\sigma_3$ bars	$\Delta \sigma_3$ bar	$U$ bars	$\Delta U$ bar	$E = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_3}$
1	0	0,9		
1,5	0,5	1	0,1	0,2
1,5	0	1		
2	0,5	1,1	0,1	0,2
2	0	1,5		
2,5	0,5	1,675	0,175	0,35
2,5	0	2		
3	0,5	2,175	0,175	0,35
3	0	2,5		
3,5	0,5	2,75	0,25	0,5
3,5	0	3		
4	0,5	3,3	0,3	0,6
4	0	3,5		
4,5	0,5	3,8	0,3	0,6

## ESSAI N°1

 $l=18,5$  cm $\sigma_s = 4,5$  bars

U=4 bars

$\lambda$	$\frac{l}{\lambda}$	f	$S_m$	$\sigma_p = \frac{f}{S_m}$
0,142	$0,0767 \cdot 10^{-2}$	5	38,9	0,128
0,148	0,0 " "	10	38,9	0,256
0,16	0,865 " "	15	39,0	0,384
0,18	0,974 " "	20	39,1	0,512
0,210	1,135 " "	25	39,2	0,637
0,245	0,132 " "	30	39,25	0,765
0,283	1,53 " "	35	39,4	0,887
0,330	1,785 " "	40	39,5	1,012
0,480	2,600 " "	50	40,1	1,245
0,526	2,85 " "	54,5	40,25	1,353
0,646	3,50 " "	57	40,5	1,405
0,845	4,66 " "	55	41,4	1,33
1,5	8,1 " "	55	43,5	1,265

ESSAI N°2 $l=18,3$  cm $\sigma_3 = 5$  bars

U= 4 bars

$l$	$\frac{l}{l}$	$f$	$S_M$	$\sigma_p = \frac{f}{S_M}$
0,035	$0,19 \cdot 10^{-2}$	12,5	38,5	0,324
0,065	0,35 "	25	38,5	0,65
0,125	0,68 "	38	38,7	0,982
0,225	1,28 "	50	39,2	1,273
0,35	1,91 "	63	39,5	1,594
0,540	2,95 "	76	40,2	1,89
0,810	4,4 "	89	41,2	2,16
1,0	5,46 "	95	41,8	2,27
1,125	6,15 "	97	42,4	2,29
1,140	6,23 "	96,5	42,5	2,27
1,225	6,7 "	96	42,65	2,25
1,3	8,1 "	96	42,9	2,3



ESSAI N°3

l = 18,6 cm

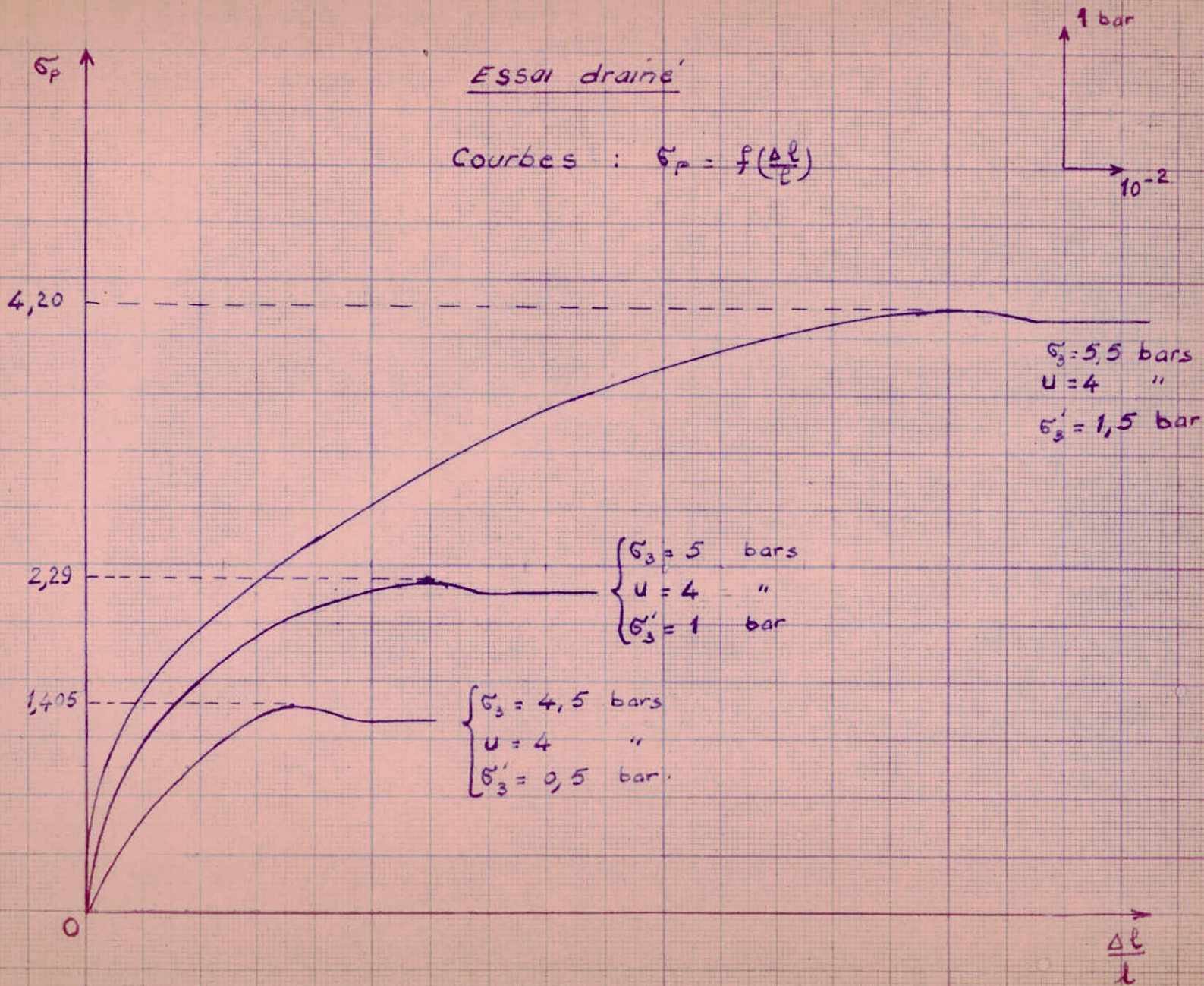
 $\sigma_3 = 5,5 \text{ bars}$ 

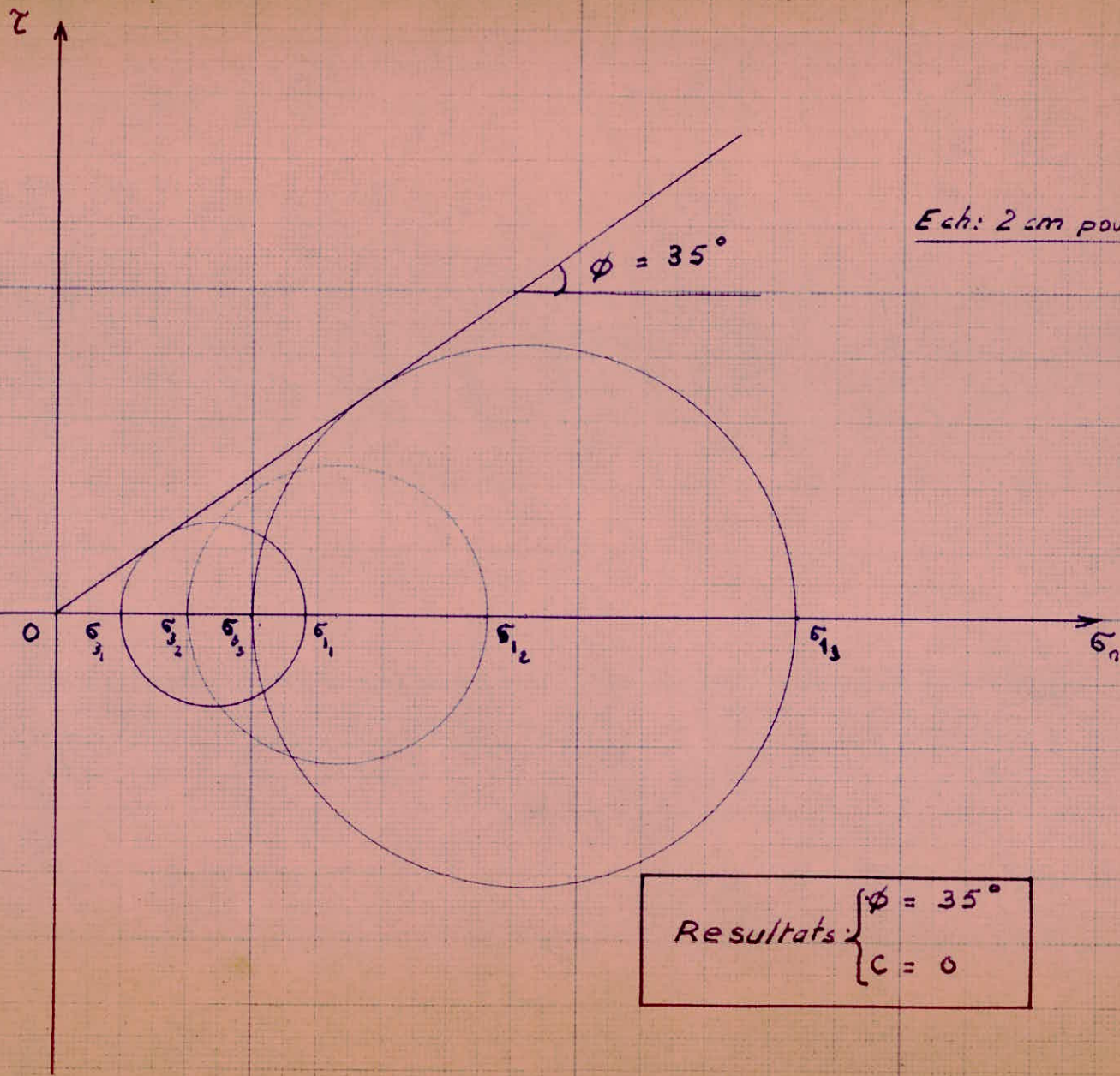
U = 4 bars

l	$\frac{l}{l}$	f	S <sub>m</sub>	$\frac{f}{S S_m}$
0,0*	$0,054 \cdot 10^{-2}$	12,5	38,5	0,325
0,051	0,274 "	38	38,5	0,987
0,215	1,155 "	63	38,52	1,63
0,558	3 "	89	40,025	2,21
0,950	5,1 "	115	41,5	2,77
1,265	6,8 "	140	42,7	3,28
1,690	9,10 "	165	44,2	3,74
2,345	12,6 "	190	46,8	4,06
2,690	14,45 "	201	48,2	4,16
2,734	1,70 "	203	48,4	4,19
2,880	15,5 "	206	49,1	4,20
2,9	15,6 "	203	49,2	4,12

Essai drainé

Courbes :  $\sigma_p = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$





Ech: 2 cm pour 1 bar

Resultats  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 35^\circ \\ c = 0 \end{array} \right.$



POIDS SPECIFIQUES DU SOLa) Poids spécifique à l'état saturé :

Poids du sol saturé ----- 1476 gr

Volume " " ----- 705 cm<sup>3</sup>

$$\gamma_s = \frac{1476}{705} = 2,09 \text{ g/cm}^3$$

b) Poids spécifique à l'état sec :

Poids du sol humide ----- 1476 gr

Poids sec après séchage à l'étuve -- 1226 gr

Poids de l'eau ----- 250 gr

Volume des grains -----  $\frac{1226}{2,65} = 462 \text{ cm}^3$ 

$$\gamma_d = \frac{1226}{250 + 462} = 1,72 \text{ gr/cm}^3$$

CLASSIFICATION DU SOL DES FONDATIONS :

en fonction de ma courbe granulométrique ci jointe on

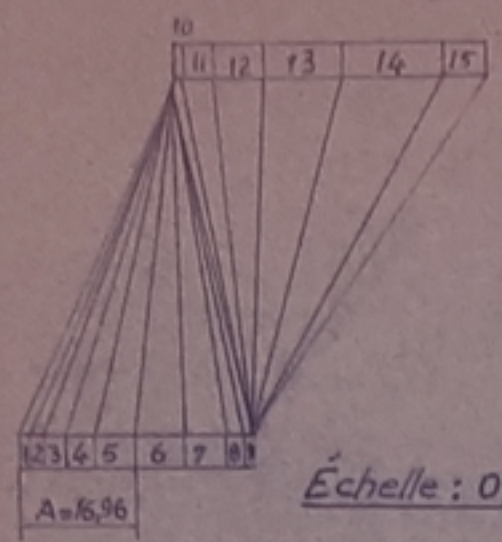
notre sol se classe comme suit :

SABBE LIMONEUS : SL

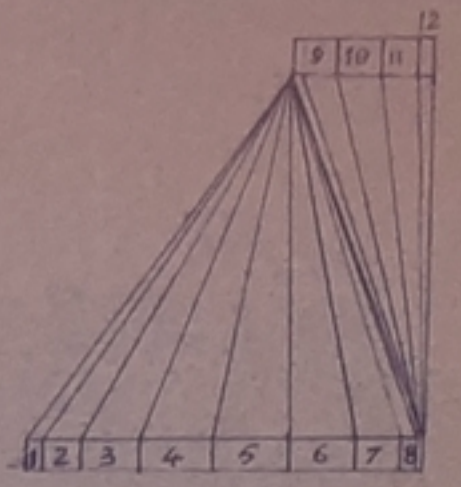
RIDEAU ENCASTRÉ EN PIED ET MAINTENU EN TÊTE PAR UN TIRANT

Pièce 268  
Tirant

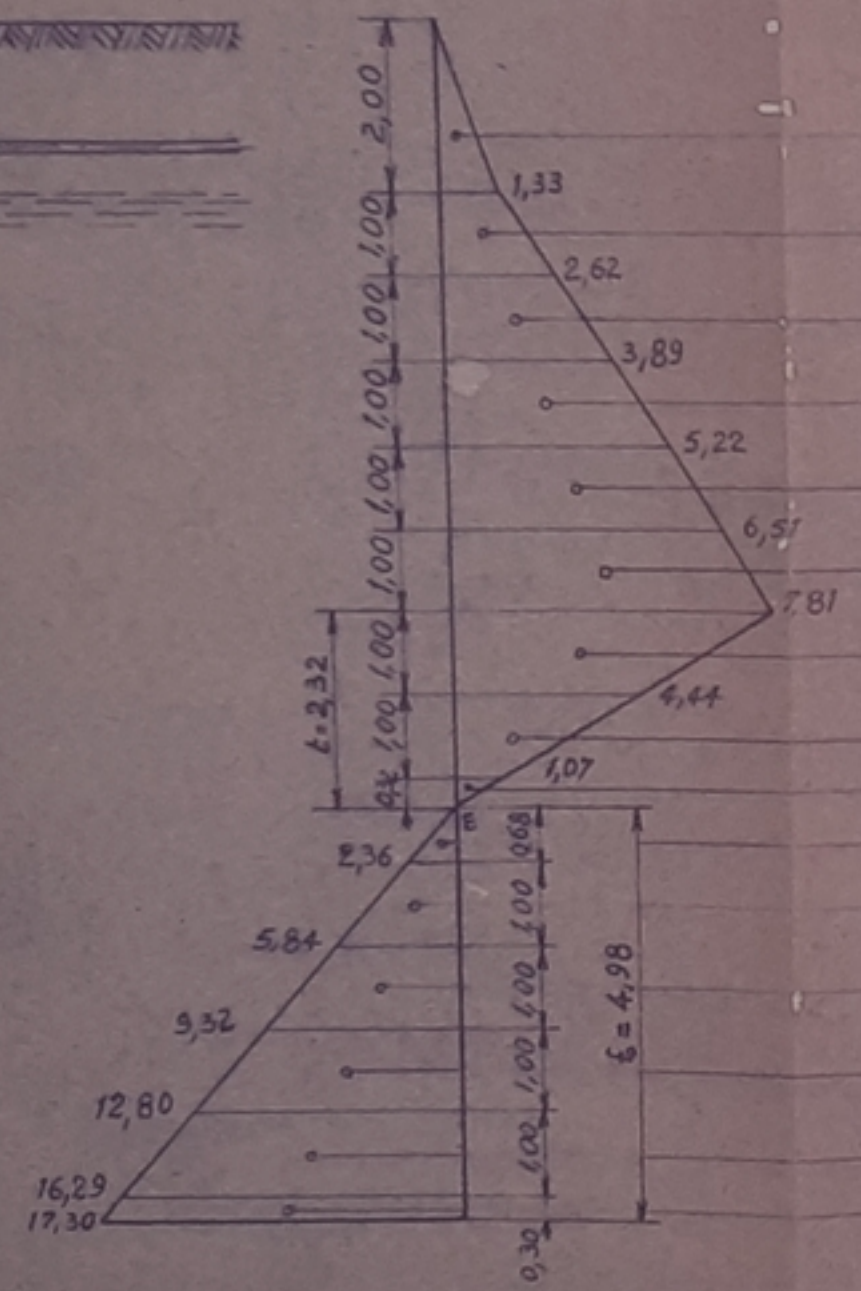
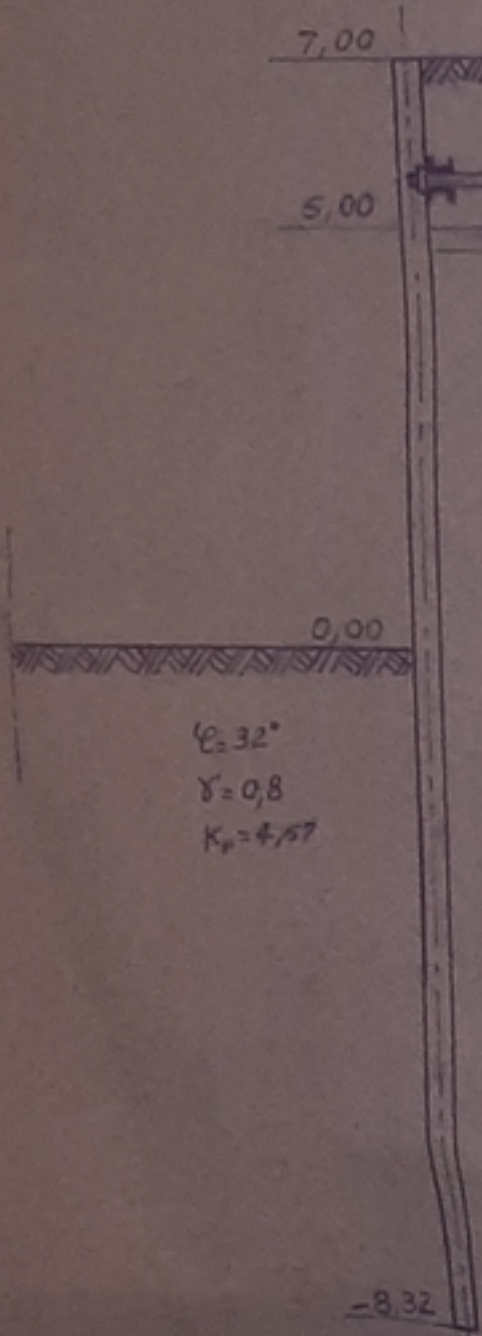
Échelle: 1 cm pour 1 m



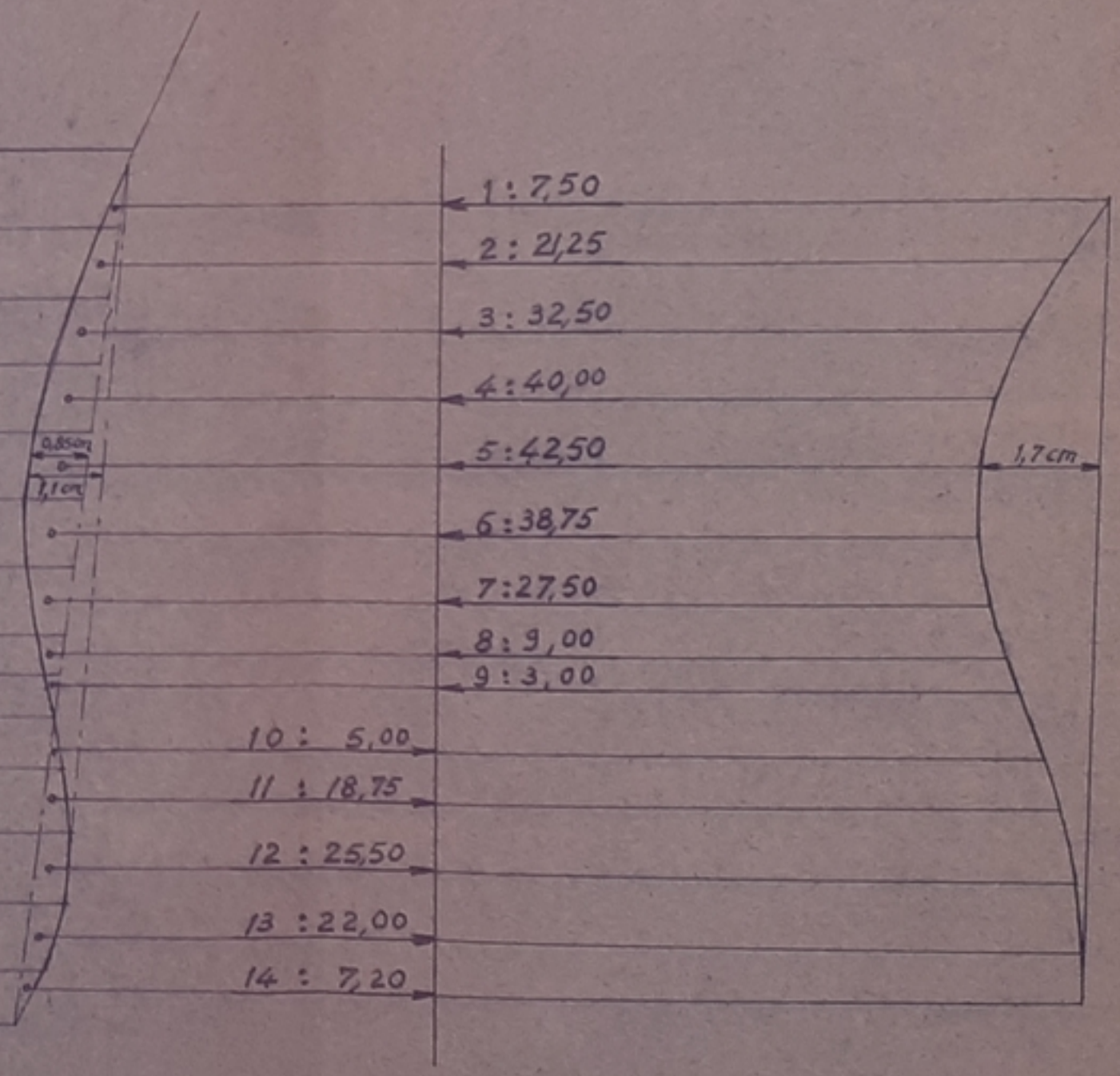
Échelle: 0,08 cm pour 1 tf



Échelle: 0,02 cm pour 1 tm<sup>2</sup>



A=16,96	P <sub>1</sub> : 1,33
	P <sub>2</sub> : 1,97
	P <sub>3</sub> : 3,26
	P <sub>4</sub> : 4,55
	P <sub>5</sub> : 5,86
	P <sub>6</sub> : 7,16
	P <sub>7</sub> : 6,12
	P <sub>8</sub> : 2,76
	P <sub>9</sub> : 0,17
	P <sub>10</sub> : 0,80
	P <sub>11</sub> : 4,10
	P <sub>12</sub> : 7,58
	P <sub>13</sub> : 11,06
	P <sub>14</sub> : 14,54
	P <sub>15</sub> : 5,58
<u>Σ: 60,62</u>	<u>Σ: 60,62</u>



Échelles { Poussée: 0,5 cm pour 1 tf/m<sup>2</sup>  
Butée: 0,25 cm pour 1 tf/m<sup>2</sup>

Échelle: 0,02 cm pour 1 tfm

Échelles { P.S.B. avec L V<sub>s</sub> 75 cm pour 1 m  
P.C.E. avec L IV<sub>s</sub> 57,5 cm pour 1 m

