



école polytechnique de thiès

GC.0460

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE : _____ ECOULEMENT _____ DANS _____
_____ UN _____ TUYAU _____ LISSE _____

Auteur _____ NDIAGA-DIENG _____

Génie _____ CIVIL _____

Date _____ JUIN 78 _____

ECOLE. POLYTECHNIQUE. THIES

PROJET de FIN D'ETUDES

SUJET:

ECOLEMENT dans un TUYAU LISSE

NDIAGG. DIENG

4^e GENIE. CIVIL

DIRECTEUR de PROJET : DINH-VO-NBOG

Remerciements :

Il me reste l'agréable devoir de remercier sincèrement mon directeur de projet M^r DINH-VO. NGOC qui m'a secondé de ses conseils et de son aide au cours de la mise au point de ce projet.

En outre, j'exprime ma profonde reconnaissance à M^r VINH et M^r Bibaub de leurs recommandations, ainsi qu'à tous mes professeurs et à tous ceux qui m'ont permis de profiter de leurs travaux.

SOMMAIRE

Dans ce présent projet, nous concevons un dispositif permettant, une visualisation de l'écoulement général dans un tuyau lisse.

L'installation permet de faire varier la vitesse (V), le diamètre (\varnothing), la viscosité cinématique (ν), et ce pour des nombres de Reynolds pouvant aller jusqu'à environ 10000.

La visualisation sera faite avec du colorant insoluble, de densité voisine de celle de l'eau. Outre que les mesures de débit qui seront faites par pesage, les mesures supplémentaires, se feront essentiellement avec des prises de pression statique reliées à un multimanomètre.

NOTATION

- D : Diamètre des tuyaux
 d_R : diamètre du réservoir de colorant
 d_T : diamètre du tube effilé
 f : coefficient de pertes de charge
 H : Hauteur de charge dans le réservoir
 H_1 : Hauteur entre l'axe des tuyaux et la surface libre dans le réservoir de colorant
 h_f : pertes de charge dans les tuyaux
 L : Longueur des tuyaux
 l : longueur verticale du tube effilé
 $P(1,3,2)$: respectivement: pression à la hauteur H , à l'entrée et à la sortie des tuyaux
 P_B : Pression à la sortie du tube effilé.
 $P_m(1...6)$: Pression aux différents points de prise
 Q : débit dans les tuyaux
 Re : Nombre de Reynolds
 V : Vitesse dans les tuyaux
 V_r : vitesse dans le réservoir
 x : hauteur de charge dans le réservoir de colorant.
 ν : Viscosité cinématique.

LISTE des FIGURES et TABLEAUX

FIGURES

- fig (a) : Réservoir de charge et tuyaux pour dimensionnement
- fig (b) : Réservoir de colorant et tube affilé pour dimensionnement
- fig (c) : Diagramme de pressions dans le tuyau.
- fig (I) : CROQUIS d'ensemble (vue de face)
- fig (II) : CROQUIS d'ensemble (vue de profil)
- fig (III) : CROQUIS d'ensemble (vue de plan)
- fig (IV) : Réservoir de charge.
- fig (V) : Tuyaux, joints de fixation
- fig (VI) : Réservoir de colorant
- fig (VII) : Assemblage Tuyau, Parois.

TABLEAUX

- T₀ : Diamètres intérieurs, vitesses, pertes de charge
- T₁ : Débits, pertes de charge, hauteur de charge.
- T₂ : Vitesses, nombres de Reynolds, coefficients de pertes de charge
- T₃ : Vitesses, débits, nombres de Reynolds et pertes de charge 'max' dans les tuyaux.
- T₄ : Pressions 'max', vitesses 'min' à l'entrée des tuyaux
- T₅ : Débits, diamètres du réservoir de colorant.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La Turbulence et La transition entre l'écoulement laminaire et turbulent, est d'une importance fondamentale pour toute la science de mécanique des Fluides.

Ainsi, se propose-t-on, dans ce projet, de concevoir une installation expérimentale, adaptée, qui permet, l'observation de tels écoulements; d'établir le nombre de Reynolds critique déterminant la transition du régime laminaire au régime turbulent, de vérifier que le seul paramètre qui caractérise l'état de l'écoulement dans un tuyau lisse, est le nombre de Reynolds.

L'installation est conçue pour des nombres de Reynolds pouvant aller jusqu'à environ 10 000. Les pertes de charge pourront être mesurées par des prises de pression statiques, reliées à un multimanomètre; l'écoulement dans les tuyaux sera visualisé par un colorant; Le débit mesuré par un vase et un chronomètre, la température de l'eau sera maintenue constante par un élément chauffant à servo-contrôle.

La variation des divers paramètres du problème devra nous permettre de démontrer en principe que le nombre de Reynolds est le seul paramètre qui caractérise l'état de l'écoulement dans un tuyau lisse.

CHAPITRE II

RAPPEL du PROBLEME . THEORIQUE

RAPPEL du PROBLEME

THEORIQUE

La distinction entre les deux types d'écoulement: laminaire, turbulent, fut confirmée par l'expérience de O. Reynolds; il fut le premier à rechercher, de façon détaillée, les circonstances de transition, et trouva un paramètre sans dimension: $\frac{VD}{\nu}$, appelé nombre de Reynolds. La valeur numérique du nombre de Reynolds, à laquelle apparaît la transition (nombre de Reynolds critique), a été établie approximativement:

$Re_c = \left(\frac{VD}{\nu}\right)_c \approx 2300$. L'écoulement laminaire est défini pour $Re < 2300$ environ, pour des valeurs supérieures du nombre de Re , l'écoulement est dit turbulent. Quand la rugosité relative (ϵ/D), n'affecte pas la valeur du coefficient de pertes de charge (f), et que, de ce fait, la relation définissant le coefficient de pertes de charge en fonction du nombre de Reynolds est vérifiée, la conduite est dite 'lisse', on dit aussi que le frottement est lisse. Pour que le débit reste constant le long du parcours, il faut que l'écoulement soit pleinement développé.

En régime laminaire, 'SCHILLER' indique que la longueur d'établissement l est égale (à environ 0.06 d Re où d est le diamètre du tuyau [9.I.F]). En régime Turbulent, cette longueur est environ 50 d [9.I.F].

Pour les parois en verre, ou en laiton étiré, et jusqu'à des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^5 , le coefficient de pertes de charge est donné par la loi de puissance de 'BLASIUS' [2.M.F.T₂] : $f = 0.316 Re^{-1/4}$; (au plus grands nombres de Reynolds, la formule précédente donne un résultat erroné par défaut.

Quelques formules de l'écoulement dans un tube cylindrique :

Nous ne donnerons ici que les formules générales.

(Voir Appendice I) [2.M.F.T₂], [6.F.M].

En régime laminaire :

- La vitesse (u) donnée par la relation suivante :

$$(V) \quad u = \frac{d}{4\mu} (P - \gamma h) \left[\frac{1}{4\mu} (r^2 - a^2) \right]$$

Le profil des vitesses est donc une parabole, ayant son sommet sur l'axe.

- Le débit (Q) pour un tuyau horizontal (forces de volume nulles) de longueur L :

$$(VII) \quad Q = - \frac{\pi}{8\mu} a^4 \frac{\Delta P}{L} = - \frac{\pi \Delta P D^4}{128\mu L}$$

L'équation (VII) est appelée équation de "HAGEN-POISEUILLE".

- Le coefficient de pertes de charge f :

$$(X) \quad f = \left[\frac{h_f}{L/D} \right] \times \left[\frac{V_{\text{moy}}^2}{2g} \right]$$

en régime laminaire, ce coefficient peut être simplifié : $f = 64/Re$ (voir App. I)

ΔP : chute de pression à travers L

μ : viscosité dynamique

r : distance du point considéré à l'axe du tuyau

a : rayon du tuyau

Déterminer donc le groupe sans dimensions, Re , revient à évaluer les trois paramètres : (V) la vitesse, en mesurant le débit, le diamètre (D) du tuyau, la viscosité (ν) en faisant varier la température.

- En régime Turbulent, nous pouvons utiliser

Les relations empiriques suivantes:

- Relation de "BLASIUS": $f = 0.316 R^{-1/4}$
[2. M. F. 72]

- Relation de LEES [10. M. F.]

$$f = 0.0018 + 0.153 R^{-0.35}$$

CHAPITRE III

DETERMINATION des PARAMETRES

ET

DETAILS de CONSTRUCTION

DETERMINATION DES PARAMETRES ET DETAILS de CONSTRUCTION.

III. 1. 1 GENERALITES

Le but principal est de montrer que le seul paramètre qui caractérise la nature de l'écoulement dans un tuyau lisse est le nombre de Reynolds; et de pouvoir observer différents régimes d'écoulement. Pour ce faire, l'installation devra nous permettre une large gamme de nombres de Reynolds supérieurs à 5000.

a) Paramètres affectant le nombre de Ré

a₁) Diamètre du Tuyau.

Nous choisirons des tuyaux en Plexy Glass pour observer l'écoulement; d'autre part, en fixant les deux autres variables, et pour faire varier D , nous choisirons trois tuyaux de diamètres différents, tels que la vitesse permise, soit comprise entre 1 et 0.25 m/p, ceci pour réduire les pertes de charge et maintenir de vitesses faibles pour l'observation de l'écoulement laminaire.

a₂) Vitesse de l'eau dans les tuyaux.

la vitesse maximale (comme ci-dessus), sera fixée à 1 m/s, la minimale à 0.25 m/s. Sa variation se fera par une vanne placée sur le tuyau, et contrôlant le débit qui sera mesuré par un vase et un chronomètre.

a₃) Viscosité cinématique

Pour faire varier (ν), donc la température de l'eau, nous choisirons un élément chauffant à

servo-contrôle du type: THERMOMIX II. (c^{ie} B. BRAUN, Melsungen)

- débitant: 13.5 gpm; Pression: 245 mm Hg

- les températures pouvant varier de 0 à 100°C, elles sont

(voir appendice 5) contrôlés par un thermocouple incorporé dans le bassin.

III. 1.2. Choix du colorant.

Pour observer le régime d'écoulement, un tube effilé, alimenté par un réservoir de colorant, permettra d'obtenir un filet fluide au centre et à l'entrée du tube. Le filet de liquide coloré qui doit avoir une densité voisine de celle de l'eau, sera du $KMnO_4$, tel que recommandé dans [3.T.M.T₁]. Le filet conserve longtemps son individualité, tant que la vitesse du courant principal reste suffisamment faible.

III.1.3 CHOIX de (η), (D), - LONGUEUR de Tuyau

III.1.3 (a). choix de (η).

Tableau de variation de η en fonction de la
Température [G.F.M]

T°C	η (m ² /s)
20	1.007×10^{-6}
25	0.897×10^{-6}
30	0.804×10^{-6}
35	0.727×10^{-6}
40	0.661×10^{-6}
45	0.605×10^{-6}
50	0.556×10^{-6}
55	0.513×10^{-6}
60	0.477×10^{-6}

Pour ne pas obtenir des nombre de Reynolds trop grands, nous nous limiterons à une température max: 60°C.

III. 1.3 (b) CHOIX de (D)

Pour le dimensionnement, partant d'un nombre de Reynolds = 4000*, d'une viscosité cinématique max $\nu = 1.007 \times 10^{-6}$, le diamètre sera choisi en fonction des critères de vitesses et pertes de charge définis plus haut.

(T₀)

Diamètre intérieur (cm)	vitesses (m/s)	Pertes de charge linéique (kg/m)
0.25	1.6112	2.100
0.40	1.0070	0.5100
0.70	0.5754	0.0958
0.80	0.5035	0.0642
0.90	0.4475	0.0450
1.00	0.4028	0.0328
1.20	0.3357	0.0190
1.60	0.2517	0.0080
2.00	0.2014	0.0041

Ces diamètres choisis, sont tirés du tableau de diamètre commercial [T VIII. APP II]. [8.T.I]

$$f = 0.316 (4000)^{-1/4} = \underline{\underline{0.039735}}$$

* Les calculs montrent par la suite (Paragraphe III. 1.4) que le nombre de Re maximum permis, avec les dimensions choisies sera d'environ: 12000.

La choix porte sur les diamètres compris entre 0.70 et 1.60, par conséquent, nous prendrons les tuyaux de diamètre : 0.70; 0.90; 1.20 cm; avec des pertes de charge linéiques de : 0.0958; 0.0450 et 0.0190 (m/m).

III. 1.3 (c) Longueur de Tuyau:

Pour pouvoir observer les régimes d'écoulement sur un long parcours dans les tuyaux, nous prendrons $L = 200 \text{ cm}$. Nous vérifions par la suite si cette longueur répond à notre critère:

(En régime laminaire : ($Re \leq 2000$, $d_{\max} = 1.2 \text{ cm}$))

$$l_1 = 0.060 \times 2000 \times 1.2 = 144 \text{ cm}$$

(En régime Turbulent : ($d_{\max} = 1.2 \text{ cm}$))

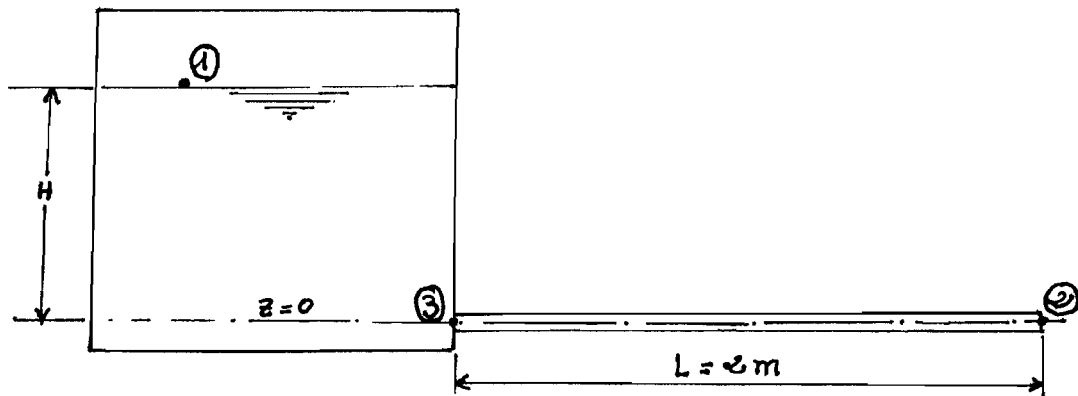
$$l_2 = 50 \times 1.2 = 60 \text{ cm}.$$

l_1 et l_2 sont donc bien inférieurs à $L = 200 \text{ cm}$.

III. 1.4 CALCULS de DIMENSIONS

III. 1.4 (a) DIMENSIONS du RESEVOIR de CHARGE

fig (a)



Appliquant l'équation de Bernoulli (aux points 1 et 2):

- La pression en 1 et 2 : pression atmosphérique = 1.0133 bars.
- La vitesse en 1 négligée
- axe des tuyaux : niveau zéro.

$$P_1/\rho + \frac{V_1^2}{2g} + H = P_2/\rho + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + k_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$k_2 \frac{V_2^2}{2g}$: pertes de charge moyennes secondaires (de réservoir à conduite (entrée)) : = $0.050 \frac{V_2^2}{2g}$ (connexion arrondie).

d'où : (I)
$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f + 0.050 \frac{V_2^2}{2g}$$

tuyau N°1: $D = 0.70 \text{ cm}$:
$$H = \frac{(0.5754)^2}{2 \times 9.81} + 0.1916 + \frac{0.05(0.5754)^2}{2 \times 9.81}$$

= 0.2093 m.

(T₁) Tableau des débits, pertes de charge, hauteur de charge

D (cm)	Q (m ³ /h)	h _f (m)	H (m)
0.70	0.07972	0.1916	0.2093
0.90	0.10250	0.0900	0.1104
1.20	0.13670	0.0380	0.0440

nous prendrons dans ce cas, une hauteur de charge minimale : $H_{\min} = 0.21 \text{ cm} = 21 \text{ cm}$.

Recalculons maintenant les nouvelles valeurs de la vitesse dans les tuyaux et le nombre de Reynolds correspondant.

Equation de Bernoulli (aux points ① et ②) (fig 4)

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f + 0.05 \frac{V_2^2}{2g}$$

avec $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g}$ ($f = 0.316 (Re)^{-1/4}$)

d'où E. (II)

$$V_2^2 = \frac{H}{\frac{1}{2g} + \frac{fL}{D \times 2g} + \frac{0.05}{2g}} = \frac{2gH}{1 + \frac{fL}{D} + 0.05}$$

Procédons par itération: $H = 21 \text{ cm}$, $L = 200 \text{ cm}$.

tuyau N°1: $D = 0.70 \text{ cm}$

1) supposons $f = 0.03$

$$V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.03 \times 2}{0.007 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.42823 \quad (\text{m/s})^2$$

$$V_2 = 0.6544 \text{ m/s}$$

2) $Re = \frac{VD}{\nu}$ (avec $\nu_{\text{max}} = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

$$Re = \frac{0.6544 \times 0.007}{1.007 \times 10^{-6}} = 4548.957$$

$$3) f = 0.316 (Re)^{-1/4} = 0.03847$$

Recommençant de nouveau :

$$1) V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.03847 \times 2}{0.007 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.342169 \left(\frac{m}{s}\right)^2$$

$$V_2 = 0.58495 \text{ m/s}$$

$$2) Re = \frac{0.58495 \times 0.007}{1.007 \times 10^{-6}} = 4066.187$$

$$3) f = 0.316 (4066.187)^{-0.25} = 0.03957$$

de nouveau :

$$1) V_2 = 0.57744 \text{ m/s}$$

$$2) Re = 4014.12$$

$$3) f = 0.316 (4014.12)^{-0.25} = 0.0397$$

dans ce cas, f est pratiquement constant, alors:

$$V_2 = 0.5775 \text{ m/s} ; Re = 4014.15 \approx 4014 ; f = 0.0396$$

Nous procéderons de même pour les tuyaux n° 2 et 3
(résolution APPENDICE II).

(T₂) Tableau des vitesses, nombre de Re, f.
(H = 0.21 m)

D (cm)	V (m/s)	Re	f
0.70	0.5775	4014.0	0.0396
0.90	0.6756	6037.9	0.0358
1.20	0.80414	9582.6	0.0319

- Débits :

$$H = 21 \text{ cm}$$

$$Q_T = 0.5775 \times \frac{\pi D_1^2}{4} + 0.6756 \times \frac{\pi D_2^2}{4} + 0.8044 \times \frac{\pi D_3^2}{4}$$
$$= 0.5621 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dimensions pour un volume = 0.5621 m^3

$$\text{surface} = \frac{0.5621}{0.21} = 2.677 \text{ m}^2$$

Pour un carré : côté = 1.636 m

réduisons par conséquent ces dimensions à $1 \times 1 \text{ m}$:

$$\text{le volume devient : } 1 \times 0.21 = 0.21 \text{ m}^3$$

- temps pour vider le réservoir : $t = \frac{0.21 \times 60}{0.5621} = 22.4 \text{ min}$

- Vitesse de l'eau dans le réservoir : $v = \frac{21}{22.4} = 0.9375 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$

$v = 1.56 \times 10^{-4} \text{ m/s}$; l'hypothèse consistant à négliger la vitesse dans le réservoir est donc vérifiée.

D'autre part, en prévoyant 10 minutes comme temps nécessaire pour prendre des mesures lors de l'expérience :

$$\text{la hauteur additionnelle : } H_{\text{add}} = \frac{21 \times 10}{22.4} = 9.375 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm}$$

$$\text{le volume additionnel : } \frac{0.21 \times 9}{21} = 0.09 \text{ m}^3$$

$$\text{Temps d'écoulement des } 9 \text{ cm supplémentaires : } t = \frac{22.4 \times 9}{21}$$

$t = 9.6 \text{ min}$ donc suffisant.

La hauteur de charge maximale est alors 30 cm .

- le remplissage du réservoir d'eau doit se faire après chaque expérience, qui a une durée moyenne de 10 minutes, d'après nos estimations.

Il est à noter que l'abaissement de la hauteur de charge dans le réservoir pendant l'expérience, ne doit pas changer de beaucoup la vitesse dans les tuyaux; surtout, lorsque l'expérience est faite avec un seul tuyau, et non les trois à la fois.

- Recalculons maintenant les nouvelles valeurs de la vitesse et du nombre de Reynolds; (H = 30 cm).

L'équation de Bernouilli appliquée en ① et ② (fig 2) donne:

$$E.(D) : V_2^2 = H / \left(\frac{1}{2g} + f \frac{L}{D \times 2g} + \frac{0.05}{2g} \right)$$

Tuyau N° 1: D = 0.70 cm.

1) Supposons $f = 0.036$

$$V_2^2 = 0.30 / \left(\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.036 \times 2}{0.007 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81} \right) = 0.51924 \left(\frac{m}{s} \right)^2$$

$$V_2 = 0.7206 \text{ m/s}$$

2) $Re = VD/\nu$ ($\nu = 1.007 \times 10^{-6}$)

$$Re = 0.7206 \times 0.007 / 1.007 \times 10^{-6} = 5009.186$$

$$3) f = 0.316 (Re)^{-0.25} = 0.316 (5009.186)^{-0.25} = 0.03756$$

en reprenant:

1) $V_2 = 0.7068 \rightarrow$ 2) $Re = 4913.207$

3) $f = 0.316 (4913.207)^{-0.25} = 0.0377$

f pratiquement constant: $V = 0.707 \text{ m/s}; Re = 4913; f = 0.0376$

TABLEAU. T3 V, Q, Re et h_f max (Voir App. IV)

D (cm)	V_{max} (m/s)	Q_{max} (m ³ /h)	Re_{max}	h_f max (m)
0.70	0.707	0.09795	4913	0.274
0.90	0.851	0.19040	7430	0.266
1.20	0.986	0.40145	11753	0.248

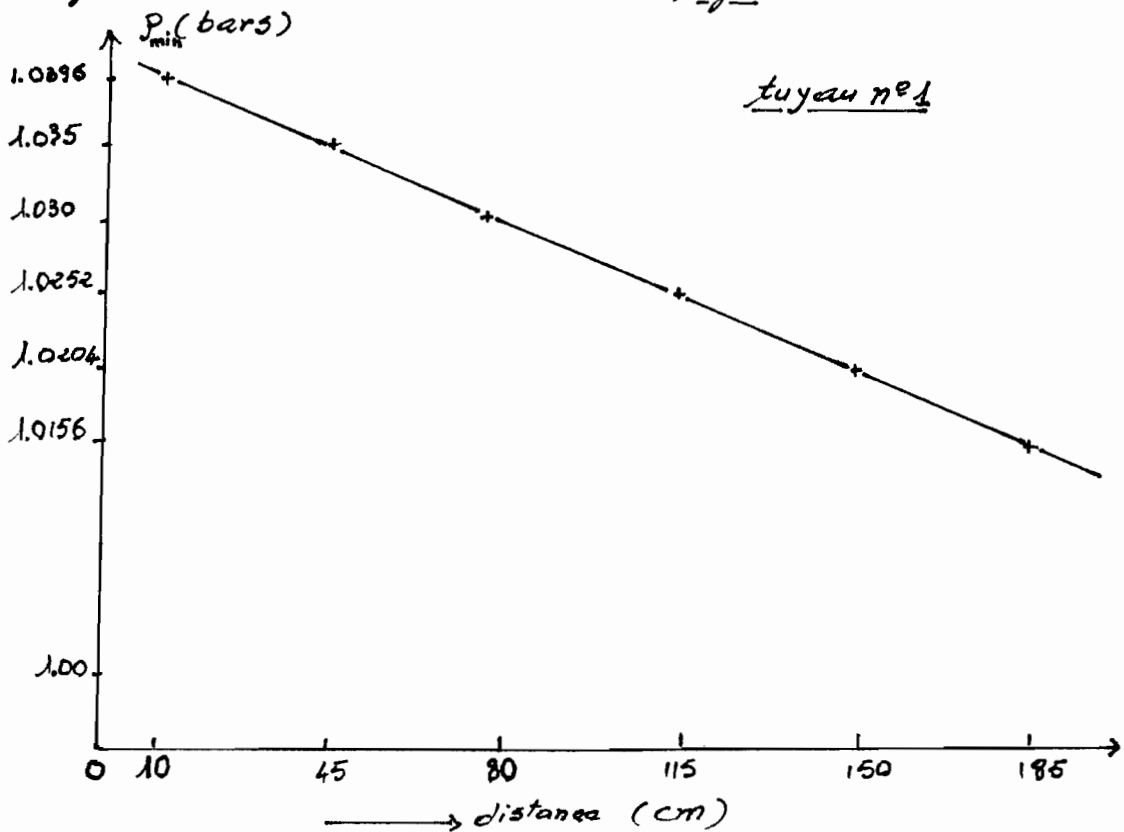
- DISTANCE entre les manomètres -

Nous suivrons l'écoulement, sur presque toute la longueur pour mesurer la pression; pour ce faire, nous prévoyons six prises de ^{Pression statique} v , sur chaque tuyau, espacés de 35 cm, le premier à 10 cm de l'entrée, le dernier à 15 cm de la sortie.

En utilisant les pertes de charge maximales dans l'équation de Bernoulli:

$$\frac{P_{min}}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + H - \left(\frac{V_{max}^2}{2g} + h_{f_{10cm}} + \frac{0.05 V_{max}^2}{2g} \right)$$

les pressions min sont illustrées: fig(c)



-fig(c)

De la même manière, on procéderait avec les deux autres tuyaux pour déterminer la pression minimale aux différents points.

Pressions "max" à l'entrée des tuyaux.

En nous référant au diagramme du coefficient de perte de charge et nombre de Reynolds, nous fixons

$Re_{min} = 640$ pour évaluer la pression "max".

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{640} = 0.1$$

$$V_{min} = \frac{Re_{min} \cdot \gamma_{min}}{D} \quad (\gamma_{min} = 0.477 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\rho)$$

$$P_3 = \left(\frac{P_1}{\rho} + H - \frac{V^2}{2g} \right) \rho$$

Tableau - T₄ : Pressions "max"

D (cm)	V min (m/s)	P ₃ max (bars)	$\Delta P_{min} = \frac{8 \cdot D \cdot \mu \cdot L}{\rho \cdot D^4}$
0.70	0.04361	1.044	2.77×10^{-4}
0.90	0.03392	1.044	1.303×10^{-4}
1.20	0.02544	1.044	0.55×10^{-4}

$$\begin{aligned}
 H &= 0.30 \text{ m} & \mu &= \rho \gamma = \rho \times 0.477 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\
 L &= 2.0 \text{ m} & &= 0.477 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\
 \frac{P_1}{\rho} &= 10.133 \text{ m} & \rho &= 9810 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}^2 \\
 & & \mu g &= V_{moy} = V. \\
 & & & 0.10197 \times \text{Newtons} = \text{kg}.
 \end{aligned}$$

Nous prévoyons 20 cm supplémentaires sur la hauteur de charge pour la construction; l'axe des tuyaux sera à 7 cm du fond (voir croquis).

- en Résumé:
- Dimensions du Réservoir de charge:
100 x 100 x 50 (cm)
 - Distance entre tuyaux:
35 (cm) - marges: 15 cm.
 - Hauteur de charge:
30 cm
 - Distance entre manomètres: (6 manomètres) / tuyau:
35 cm
marges: 10 cm (entrée) - 15 cm (sortie)
(voir croquis).

Hauteur minimale des manomètres.

- sur le multimanomètre, fixé à la paroi du réservoir de charge, le repère zéro de l'échelle des manomètres, sera, sur le prolongement de l'axe des tuyaux.

- Pression max dans les tuyaux $\approx 10.44 \text{ m.} = P_a$
(entrée)
- z = hauteur de la colonne liquide dans le manomètre.
- P_b = pression atmosphérique.

$$z = \frac{P_a - P_b}{\gamma} = 10.44 - 10.133 = 0.307 \text{ m} \\ = 30.7 \text{ cm}$$

$$z_{\min} = 30.7 \text{ cm.}$$

nous prendrons alors une hauteur = 35 cm.

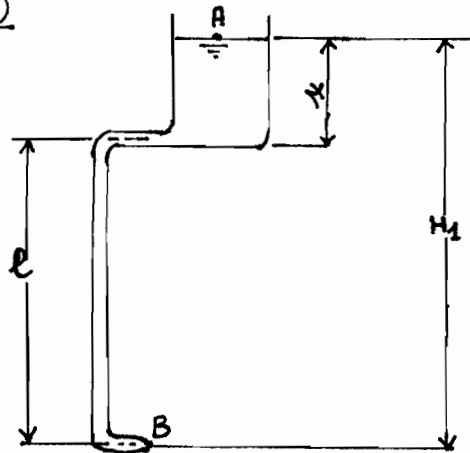
III. 1. 4 (b)

DIMENSIONS du Réservoir de Colorant.

Nous prévoyons un réservoir pour chaque tuyau, ils seront en plexyglass, de même que le tube effilé permettant l'introduction du colorant.

Compte tenu des diamètres de tuyaux, le diamètre extérieur i_{max} du tube effilé est : 2.5 mm, le diamètre intérieur 1.5 mm.

Fig (b)



- Afin de ne pas avoir des perturbations à l'entrée, la pression dans le tube effilé ne devra pas dépasser celle dans le tuyau (entrée).

- Pour ce faire, évaluons H_1 sous la ^{vitesse ou} pression max dans le tuyau :

$$\begin{aligned} \text{Tuyau N°1 : } P_{B \max} &= 1.046 \text{ bars ; } v_{B \min} = 0.04361 \text{ m/s} \\ & \quad ; v_{B \max} = 0.707 \text{ m/s} \\ \frac{P_A}{\rho} &= 10.133 \text{ m.} \end{aligned}$$

appliquons l'équation de Bernoulli en A et B (négligeant les pertes de charges).

Calculons d'abord avec la vitesse max la pression au Point B, qui est la même que celle à l'entrée du tuyau. Pour cela, appliquons l'équation de Bernoulli aux points 1 et 3 fig (a).

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + H = \frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3}{2g}$$

Tuyau : $D = 0.70 \text{ cm}$.

$$V_3 \text{ max} = 0.707 \text{ m/s}$$

$V_1 \approx 0$
 $H = 30 \text{ cm}$
 $P_1 = P_{atm}$

$$(1) \quad \frac{P_3}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + H - \frac{V_3^2}{2g}$$

$$\frac{P_3}{\rho} = 10.133 + 0.30 - \frac{(0.707)^2}{2 \times 9.81} = 10.407 \text{ m}$$

comme $\frac{P_B}{\rho} = \frac{P_3}{\rho} = 10.407 \text{ m}$

L'équation de Bernoulli appliquée maintenant en A et B (en fixant la longueur l du tube = 20 cm).

$$\text{Fig (b)} : \quad \frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2g} + H_1 = \frac{P_B}{\rho} + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{f l V_B}{D \times 2g}$$

$$(2) \quad H_1 = \frac{P_B}{\rho} + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{f l V_B^2}{D \times 2g} - \frac{P_A}{\rho}$$

$V_B = V_3 \text{ max} = 0.707 \text{ m/s}$
 $D = 1 \text{ mm}$; $P_A = P_{atm}$; $V_A \approx 0$; $f = 0.316 Re^{-1/4}$
 $Re = 4913 [T_3] \rightarrow f = 0.0377$

$$\text{d'où} \quad H_1 = 10.407 + \frac{(0.707)^2}{2 \times 9.81} + \frac{0.0377 \times 0.2 \times (0.707)^2}{0.001 \times 2 \times 9.81} - 10.133$$

$$= \underline{0.49157 \text{ m}} \approx 0.50 \text{ m}$$

d'où $h = H_1 - l = 49.157 - 20 = 29.157 \text{ cm}$

Vérifions cette hauteur de charge du colorant à une certaine vitesse moyenne dans les tuyaux ; par exemple à $V = 0.3 \text{ m/s}$. Tuyau avec $D = 0.7 \text{ cm}$; ce qui correspond à $Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.3 \times 0.007}{1.007 \times 10^{-6}} = 2085 \approx 2000$.

La formule (2), donne :

$$H = \frac{P_B - P_{atm}}{\rho} + \frac{V_B^2}{2g} \left[1 + \frac{0.20 \cdot f}{0.001} \right]$$

$$\text{où } f = \frac{64}{R} = 0.030$$

$$\begin{aligned} \text{formule (1)} : \quad \frac{P_B}{\rho} &= \frac{P_{atm}}{\rho} + H - \frac{V_B^2}{2g} \\ &= 10.133 + 0.30 - \frac{(0.3)^2}{2 \times 9.81} = 10.428 \text{ m.} \end{aligned}$$

(2) :

$$\begin{aligned} H &= 10.428 - 10.133 + \frac{(0.3)^2}{2 \times 9.81} \left[1 + \frac{0.20 \times 0.03}{0.001} \right] \\ &= 0.295 + 0.032 \\ &= \underline{0.327 \text{ m.}} \end{aligned}$$

Nous fixons donc une hauteur $H_1 = 50 \text{ cm}$, ce qui donne pour une longueur du conduit $l = 20 \text{ cm}$, une hauteur de charge dans le réservoir de colorant $x = 30 \text{ cm}$.

Il est à noter qu'une partie du conduit de colorant sera faite avec du tuyau flexible (TIGON), ce qui permet un ajustement de la hauteur de charge totale dans le réservoir de colorant. (voir schéma page 31)

Dimensions du réservoir de colorant.

Nous prévoyons, au remplissage du réservoir, c'est à dire ajustement de la hauteur de charge après chaque expérience qui a une durée moyenne de 10 minutes.

Le débit du réservoir de colorant :

$D_T = 1 \text{ mm}$	$V_{\text{max}} (\text{Tuyaux})$	$Q_T (\text{m}^3/\text{s})$
	0.707	5.5527×10^{-7}
	0.8313	6.5290×10^{-7}
	0.986	7.44×10^{-7}

Nous choisirons des réservoirs de colorant (cylindriques) et un vidange du réservoir après une heure; les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous. ($x = 0.30 \text{ m}$)

T5.

$Q_T (\text{m}^3/\text{s})$	Volume (m^3)	Surface (m^2)	d_R (cm)
5.573×10^{-7}	0.001999	0.00663	9.21
6.5290×10^{-7}	0.00235	0.00783	9.98
7.744×10^{-7}	0.002788	0.00929	10.81

Pour la réalisation, nous prendrons des diamètres de réservoir tous égaux à 11 cm.

Vérifions la vitesse dans le réservoir: $v = \frac{30}{60} = 0.5 \text{ cm/min}$

$v = 8.3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$; donc l'hypothèse consistant à négliger la vitesse (v_a) est vérifiée.

Résumé:

Dimensions du Réservoir de colorant

$$\left[\begin{array}{l} d_R = 11 \text{ cm} \\ \text{hauteur de charge} = 30 \text{ cm} \\ \quad \quad \quad (\text{max}) \\ \text{hauteur} = 35 \text{ cm} \\ l = 20 \text{ cm} \\ d_T = 1 \text{ mm.} \end{array} \right]$$

III.2 . DETAILS de CONSTRUCTION.

voir figures (I... VII) - Les cotes sont toutes en centimètres.

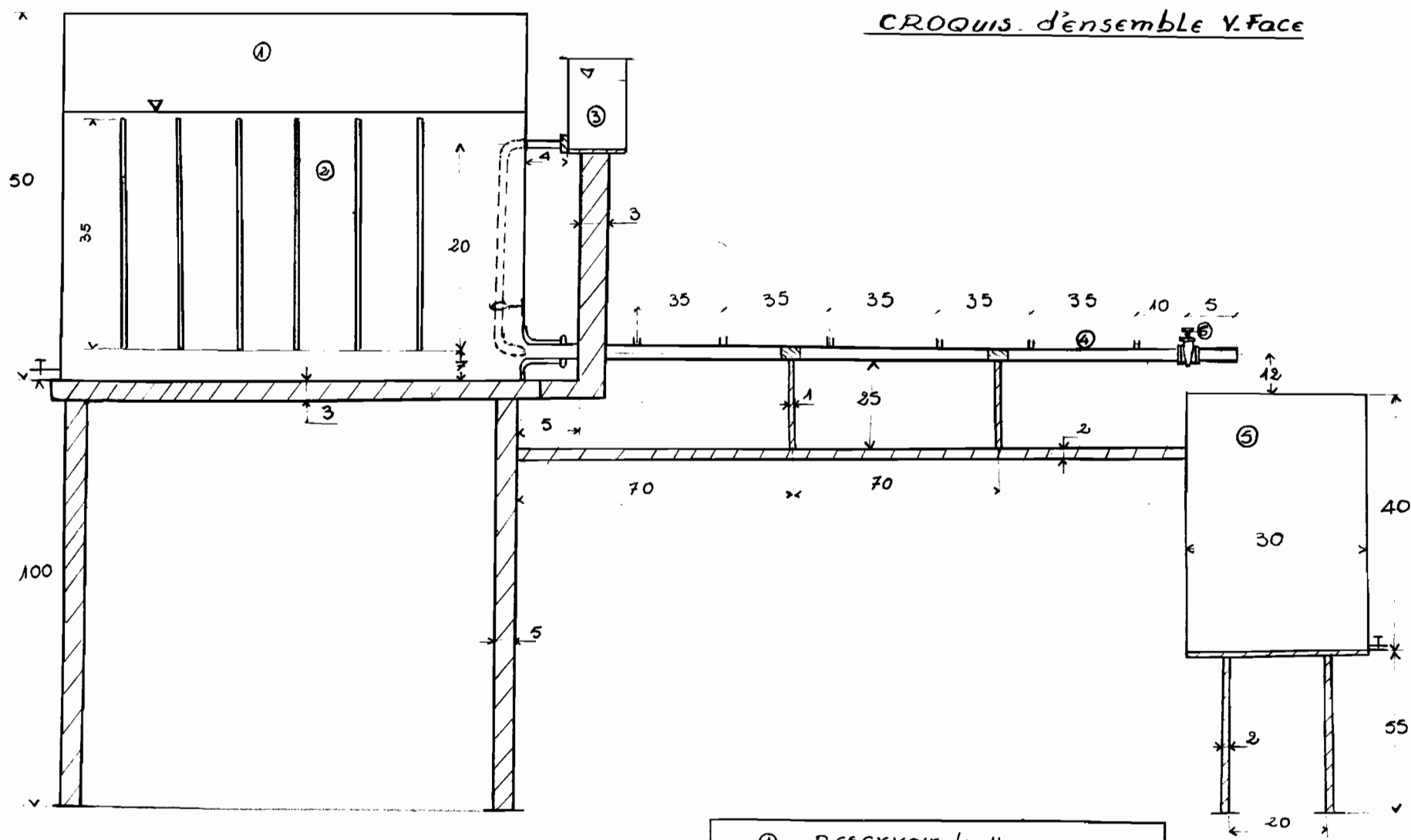
Remarques:

la prise de pression correcte, est une condition essentielle pour que la mesure de pression soit précise. L'orifice de prise de pression doit être percé normalement à la paroi de la conduite. Son diamètre doit être environ $3 \div 8$ mm et en même temps, il doit être égal ou inférieur à l'épaisseur de la paroi e : $d \leq e$ [4.T.P.M.H] Le bord d'entrée de l'orifice doit être légèrement arrondi du côté de l'espace occupé par le liquide en mouvement. - Nous choisissons le type simple de manomètre à liquide à air libre (piézomètre); c'est à dire, un tube vertical, ouvert en haut, relié à une masse liquide sous pression, et rempli du même liquide. Le choix de ce type de manomètre est dû au fait que les piézomètres servent à mesurer des pressions effectives n'excédant pas de beaucoup la pression atmosphérique.

- Une matière plastique (colle), sera utilisée pour assurer l'étanchéité des orifices faits sur le tuyaux ou plaques de l'installation.

- le multimanomètre sera fixé sur une plaque de bois installée sur le réservoir (FIG I).

CROQUIS d'ensemble V. Face



- ① : RESERVOIR de charge
- ② : MULTIMANOMETRE (cadre en bois)
- ③ : RESERVOIR de colorant
- ④ : Tuyau
- ⑤ : RESERVOIR de recuperation
- ⑦ : supports (acier)
- ⑥ : Vanne

FIG II

CROQUIS d'ensemble - PROFIL

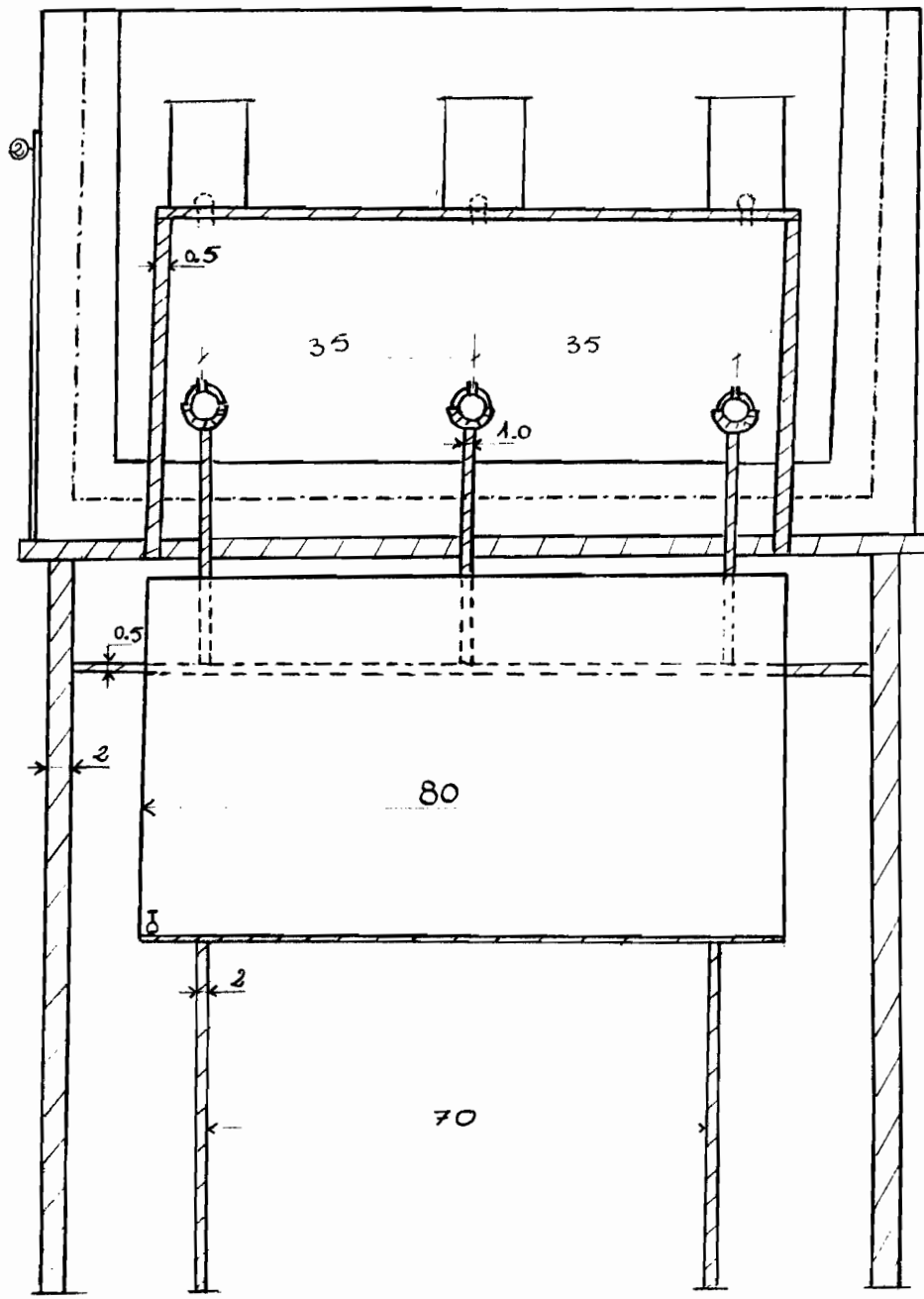


FIG III

CROQUIS d'ensemble Plan

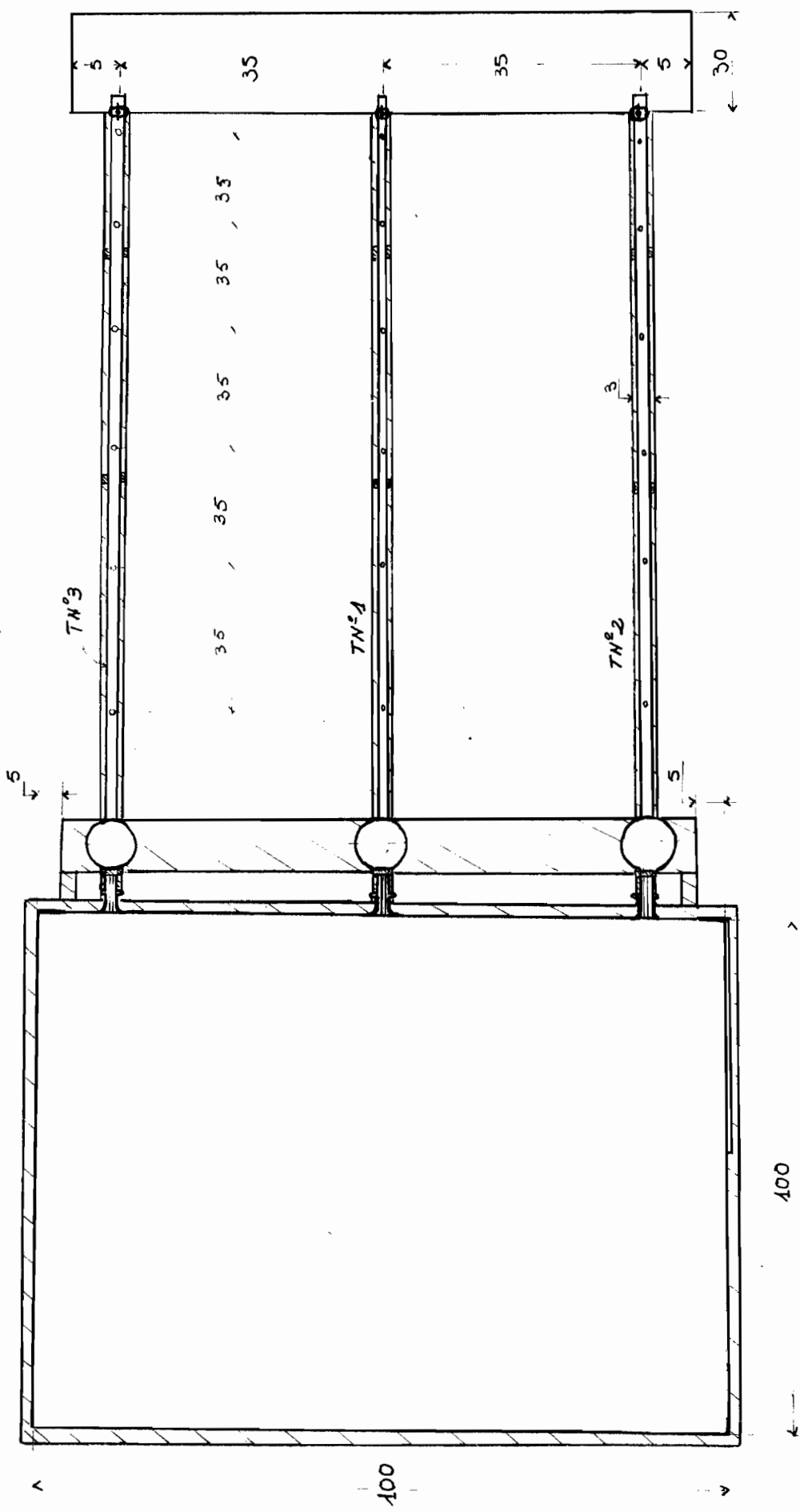
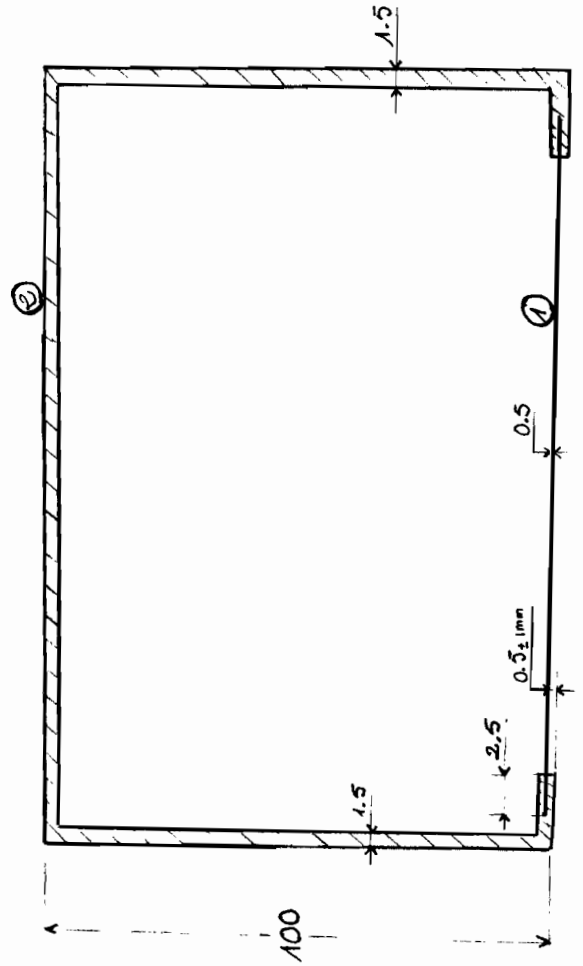
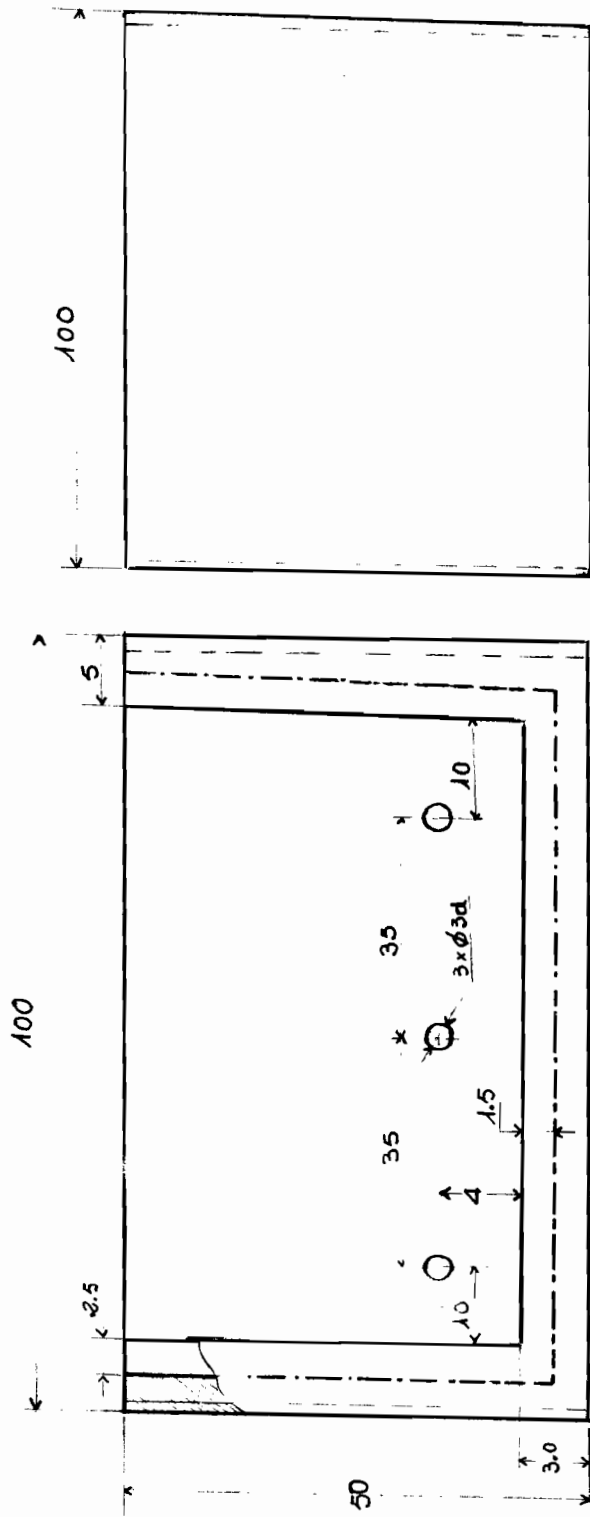


FIG 1

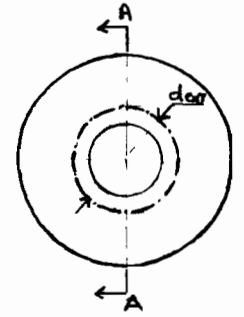
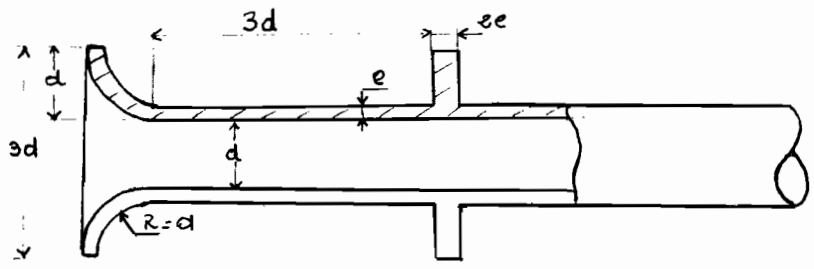
Réservoir de charge (Acier et Plexyglass)

Hauteur de charge: 30cm.



① - Plexyglass

② - Acier

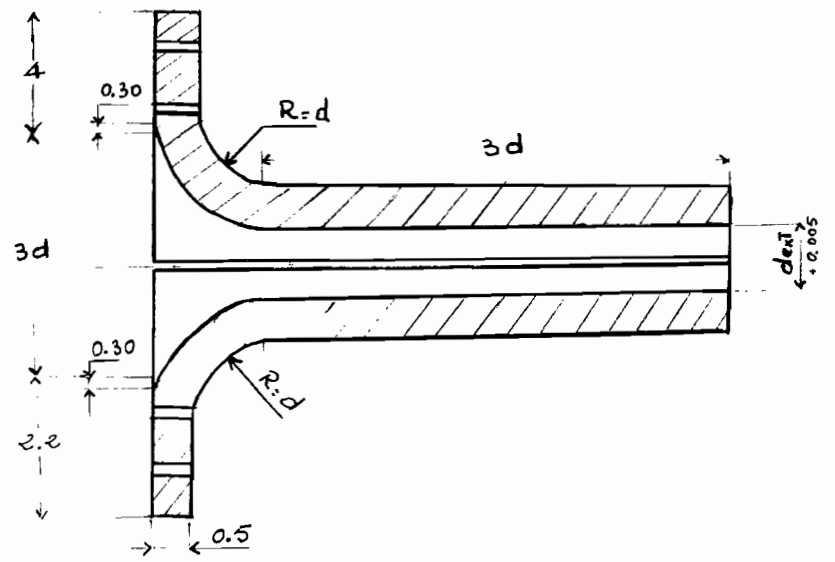


(FIG 1)

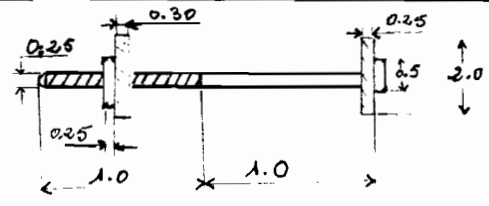
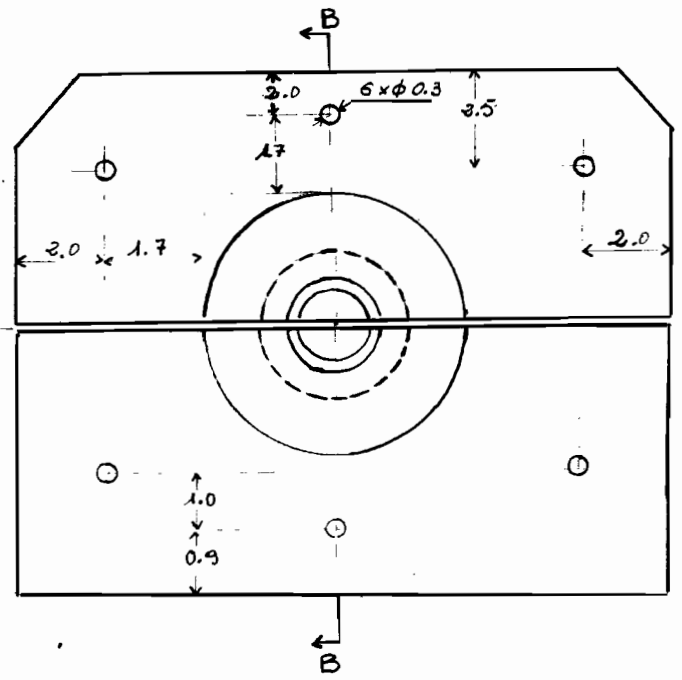
COUPE A-A

3 Tuyaux: $L = 200 \text{ cm}$
 N° 1: $d = 0.70 \text{ cm}$
 N° 2: $d = 0.90 \text{ cm}$
 N° 3: $d = 1.20 \text{ cm}$

Joint de fixation (Plexyglass)



COUPE B-B

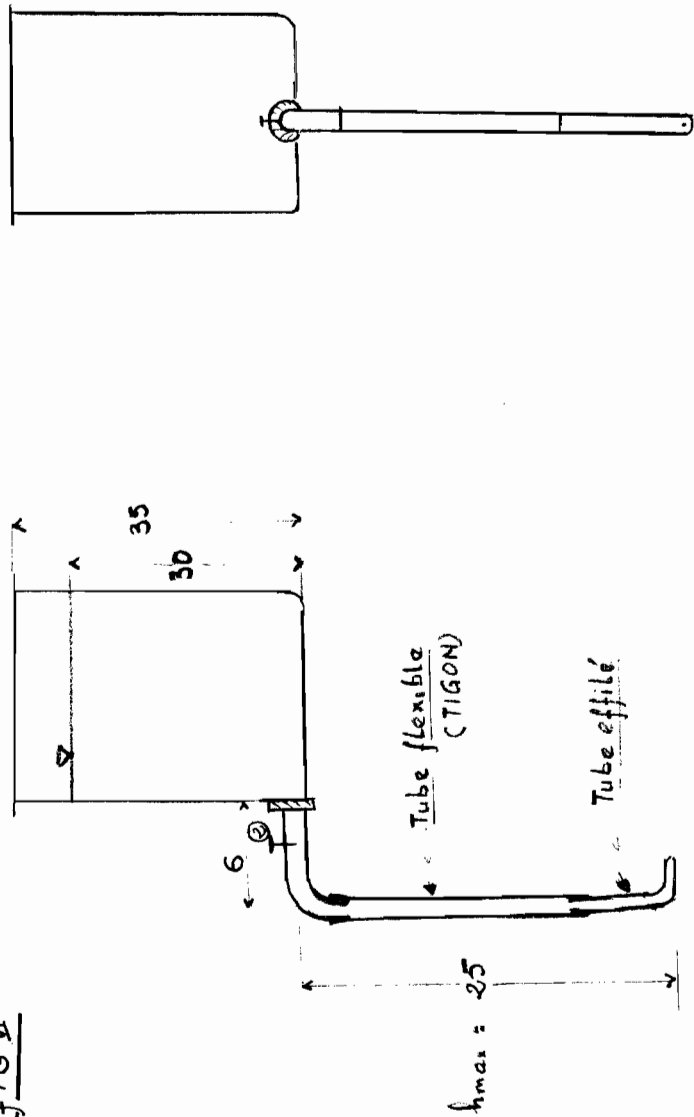


Joint d'etancheite
 Vis et acrous: (Acier)
 Tete: $\phi 0.5 \times 0.25$

Reservoir de colorant (Flexyglass)

Colorant: KMnO₄

FIG V



hauteur de charge: 11cm

①- bouchon étanche

②- vanne

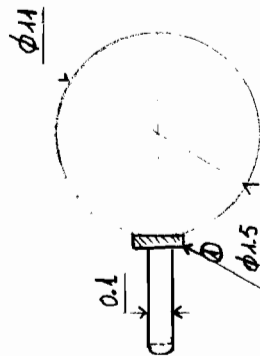
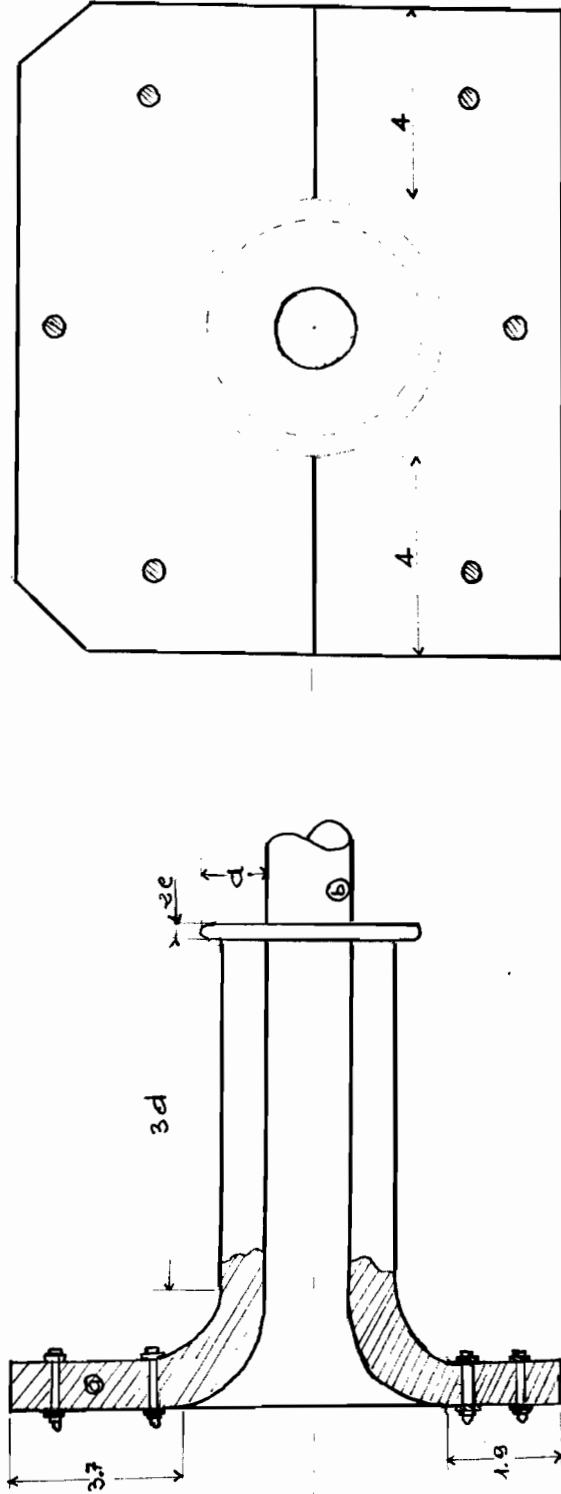


FIG VII

Assemblage : Tuyaux. Parois, (Joint de fixation)



- ⊙ - Joint de fixation
- Ⓟ - Tuyau

CHAPITRE \bar{N}

DISCUSSION - CONCLUSION

CHAPITRE. IV

CONCLUSION. DISCUSSION

de la mécanique des fluides, comme beaucoup d'autres disciplines, débouche sur des applications pratiques, et l'installation conçue dans ce présent projet en est une illustration; elle met ainsi en relief la distinction faite sur la nature de l'écoulement, laminaire, turbulent, par une visualisation, parallèlement aux mesures qui seront effectuées, permettant d'identifier ces deux types fondamentaux d'écoulement, et de ce fait, revêt une certaine importance, parce qu'elle complète, et concrétise l'aspect théorique du problème.

Pour atteindre ce but, nous nous sommes appuyés autant que possible sur des principes et concepts établis.

Une importance particulière est cependant accordée aux conditions à l'entrée des tuyaux.

Reynolds pensait en fait que le nombre de Re critique croît à mesure que les perturbations dans l'écoulement en amont du tuyau sont diminuées, ce fait a été confirmé expérimentalement par H.T BARNES [S.O.T] et E. G. COKER [S.O.T] et plus tard par L. SHILLER [S.O.T] qui atteignirent le nombre de Reynolds critique à 20.000. V.W. EKMAN [S.O.T] réussit en maintenant l'écoulement laminaire jusqu'à un nombre de Reynolds critique de 40.000, en procédant de manière qu'il

n'y ait exceptionnellement pas de perturbations à l'entrée du tuyau. La limite supérieure (à laquelle, le nombre de Re critique peut être atteint, lorsque d'extrêmes précautions sont prises pour qu'il n'y ait pas de perturbations à l'entrée, n'est pas connue à présent; il existe cependant, comme démontré par les résultats expérimentaux, une limite inférieure du nombre de Re critique qui est approximativement 2000.

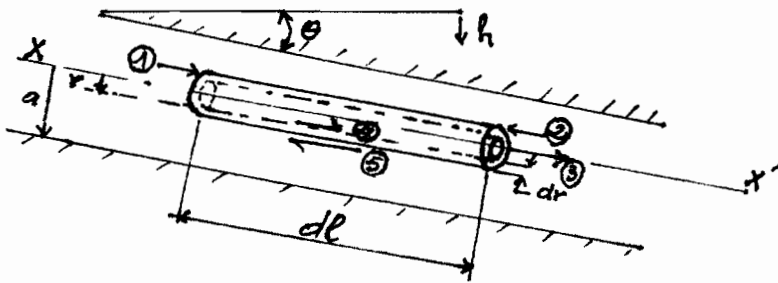
Notre but est de pouvoir observer les différents régimes d'écoulement, laminaire ou turbulent; nous nous contenterons ainsi de la condition d'entrée du tuyau, présentée dans cette étude.

APPENDICE

- A.1. Développement de quelques formules de l'écoulement laminaire dans un tube cylindrique
- A.2. Tableau des dimensions de tubes commerciaux.
- A.3. Calcul de V , Re , Q et f pour $H=0.21m$
- A.4. Calcul de V , Re , Q et f pour $H=0.30m$
- A.5. Élément chauffant à SERVO-Contrôle.

appendice I

écoulement laminaire dans un tube cylindrique de section circulaire.



Hypothèses

- écoulement permanent, symétrique par rapport à l'axe xx'
- toutes les vitesses étant parallèles à l'axe xx' (écoulement laminaire)
- La vitesse u en un point dépend uniquement de sa distance r à l'axe.
- Les composantes v et w sont nulles
- $du/dr = 0$ à $r=0$
- Les pressions, constantes dans une section droite
- Pour simplifier, nous supposons que les grandeurs qui caractérisent les propriétés physiques du fluide (μ et ρ) sont constantes sur la longueur h de la portion d'écoulement considéré; s'il en était autrement, les lois ne seraient applicables que sur l'élément de longueur dl , où la viscosité et la masse volumique auraient les valeurs respectives μ et ρ . Nous allons également supposer que l'écoulement est permanent.

BILAN des FORCES.

forces de pression:

$$(1) \quad \text{à l'amont} : p \pi r dr$$

$$(2) \quad \text{à l'aval} : - \left(p + \frac{dp}{dl} dl \right) \pi r dr$$

forces de viscosité:

(surface latérale)

$$(4) \quad + \tau \pi r dl$$

$$(5) \quad - \left(\tau + \frac{d\tau}{dr} dr \right) \pi r dl$$

forces de volume:

(poids de l'élément)

$$(3) \quad \rho \pi r dr dl \sin \theta$$

(avec ρ = poids volumique du fluide)

L'équation de l'équilibre donne:

$$(1) p \pi r dr - \left(p + \frac{dp}{dl} dl \right) \pi r dr + \tau \pi r dl - \left(\tau + \frac{d\tau}{dr} dr \right) \pi r dl - \frac{d}{dr} (\tau \pi r dl) dr + \rho \pi r dr dl \sin \theta = 0$$

divisant par $\pi r dr dl$:

$$\frac{p}{dl} - \left(p + \frac{dp}{dl} dl \right) \frac{1}{dl} + \frac{\tau}{dr} - \left(\tau + \frac{d\tau}{dr} \right) - \frac{d}{dr} \tau + \rho \sin \theta = 0$$

$$\text{Posant } \sin \theta = \frac{dh}{dl}$$

$$\frac{p}{dl} - \frac{p}{dl} - \frac{dp}{dl} - \frac{d\tau}{dr} + \rho \frac{dh}{dl} = 0$$

$$- \frac{dp}{dl} - \frac{1}{r} \frac{d\tau}{dr} r + \rho \frac{dh}{dl} = 0$$

$$\text{Où } \frac{d}{dl} (p - \rho h) + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\tau r) = 0$$

d'après la définition du coefficient de viscosité dynamique, on a:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr}$$

en multipliant (2) par $r dr$:

$$\frac{d}{dl} (p - \rho h) r dr + \frac{1}{r} r dr \frac{d}{dr} (\tau r) = 0$$

$$\text{en intégrant: } \int \frac{d}{dl} (p - \rho h) r dr + \int d \left(-\frac{\mu du}{dr} r \right) \frac{dr}{dr} = 0$$

$$\mu \frac{du}{dr} = \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{r^2}{2} + C_1$$

$$\text{d'où } \frac{du}{dr} = \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{r}{2\mu} + \frac{C_1}{\mu r} \quad (\text{III})$$

$$u = \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{r^2}{4\mu} + \frac{C_1}{\mu} \ln r + C_2 \quad (\text{IV})$$

à l'aide des conditions aux limites, on détermine les deux constantes d'intégration C_1 et C_2 .

$$r = a \rightarrow u = 0$$

$$\frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{a^2}{4\mu} - \frac{C_1}{\mu} \ln a + C_2 = 0$$

$$r = 0 \rightarrow \partial u / \partial r = 0 \rightarrow (\text{III}) = 0 \rightarrow C_1 = 0$$

$$\text{et } C_2 = - \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{a^2}{4\mu}$$

$$\text{ainsi : } u = \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{r^2}{4\mu} - \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \frac{a^2}{4\mu}$$

$$\boxed{u = \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \left[\frac{1}{4\mu} (r^2 - a^2) \right]} \quad (\text{V})$$

Le Profil des vitesses est donc une parabole ayant son sommet sur l'axe.

calcul du débit

$$Q = \int_0^a u \cdot 2\pi r dr$$

$$Q = \int_0^a \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \left[\frac{1}{4\mu} (r^2 - a^2) \right] \cdot 2\pi r dr$$

$$= 2\pi \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \left[\frac{r^4}{16\mu} - \frac{a^2 r^2}{8\mu} \right]_0^a$$

$$= 2\pi \frac{d}{dl} (P - \gamma h) \left(\frac{a^4}{16\mu} - \frac{a^4}{8\mu} \right)$$

$$\boxed{Q = - \frac{\pi a^4}{8\mu} \frac{d}{dl} (P - \gamma h)} \quad (\text{VI})$$

vitesse moyenne : $V_{moy} = Q/A = -\frac{a^2}{8\mu} \frac{d}{dr} (P - \mu h)$

Pour un tuyau horizontal, (forces de volumes nulles)
de longueur L :

$$(VI) \text{ devient: } Q = -\frac{\pi}{8\mu} a^4 \frac{\Delta P}{L} = \boxed{-\frac{\pi \Delta P D^4}{128 \mu L}} \quad (VII)$$

L'équation (VII) est l'équation de Hagen-Poiseuille:

d'où la vitesse moyenne : $V_{moy} = -\frac{\Delta P \cdot D^2}{32 \mu L}$ (VIII)

avec : $\Delta P =$ chute de pression à travers L
 $D =$ diamètre du tuyau
 $\mu =$ viscosité dynamique

Par définition du coefficient de pertes de charge:

$$f = \frac{h_f}{L} \frac{V_{moy}^2}{2g} \quad (IX)$$

avec $h_f =$ pertes en hauteur du fluide qui s'é-

coule d'où : $V_{moy} = \frac{\Delta P D^2}{32 \mu L}$ avec $\Delta P = H h_f$.

On peut écrire :

$$V_{moy} = \frac{H h_f D^2}{32 \mu L} \rightarrow h_f = \frac{32 \mu L V_{moy}}{H D^2}$$

$$h_f = \frac{64}{g^2} \cdot \frac{\mu V_{moy} L}{2 \rho g} \quad (H = \rho g)$$

$$\text{ou } h_f = \frac{64}{\rho V D} \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (X)$$

Par définition du nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$

$$(X) \text{ peut s'écrire: } h_f = \frac{64}{Re} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

de (IX) $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$; comparant (X) et (X),

on déduit : $f = \frac{64}{Re}$. Avec la représentation en échelle logarithmique, on obtient une droite dite droite de "Polsuille"

Tableau VIII. — Tubes en polyméthacrylate de méthyle.

Diamètre $\Phi_i \times \Phi_e$ mm	Masse théorique au mètre g	Diamètre $\Phi_i \times \Phi_e$ mm	Masse théorique au mètre g
Tubes extrudés			
2,5 × 6,5	34	40 × 50	840
4 × 6,5	26	42 × 50	685
4 × 10	80	44 × 50	525
7 × 10	50	52 × 60	845
8 × 12	75	54 × 60	635
9 × 13	85	56 × 60	480
10 × 15	115	62 × 70	980
12 × 18	170	64 × 70	740
16 × 20	140	72 × 80	1 130
20 × 27	305	74 × 80	850
21 × 25	175	82 × 90	1 290
24 × 30	320	84 × 90	970
26 × 34	450	90 × 100	1 880
27 × 33	335	92 × 100	1 500
30 × 36	350	94 × 100	1 120
30 × 40	675	111 × 120	1 305
35 × 40	350	142 × 150	2 060
		144 × 150	1 660
		190 × 200	3 620
		192 × 200	2 930
		194 × 200	2 200
Tubes centrifugés			
42 × 50	685	192 × 200	2 930
44 × 50	525	194 × 200	2 200
82 × 90	1 290	242 × 250	3 430
84 × 90	970	244 × 250	2 630
92 × 100	1 500	290 × 300	5 400
94 × 100	1 120	292 × 300	4 360
152 × 160	2 260	294 × 300	3 320
154 × 160	1 700		

Tableau IX. — Tubes rigides en acétate de cellulose.

Diamètre $\Phi_i \times \Phi_e$ mm	Masse au mètre g	Pression de service à 20 °C	
		Eau bar	Huile bar
9 × 13	65	13	22
10 × 14	100	13	20
9 × 15	140	20	33
14 × 20	200	12	20
20 × 26	298	9	15

Appendice IIIRésolution:Tuyau N°2 : $D = 0.90 \text{ cm}$ $H = 0.21 \text{ m}$ 1) Supposons $f = 0.039$

$$V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.039 \times 2}{0.009 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.42403 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$V_2 = 0.65117 \text{ m/s}$$

$$2) \text{ Re} = \frac{0.65117 \times 0.009}{1.007 \times 10^{-6}} = 5819.79$$

$$3) f = 0.316 (5819.79)^{-0.25} = 0.03618$$

de nouveau :

$$1) V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.03618 \times 2}{0.009 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.45327 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$V_2 = 0.67325 \text{ m/s}$$

$$2) \text{ Re} = \frac{0.67325 \times 0.009}{1.007 \times 10^{-6}} = 6017.13$$

$$f = 0.316 (6017.13)^{-0.25} = 0.0359$$

de nouveau :

$$1) V_2 = 0.67557 \text{ m/s}$$

$$2) \text{ Re} = \frac{0.67557 \times 0.009}{1.007 \times 10^{-6}} = 6037.86$$

$$3) f = 0.03585$$

 f est pratiquement constant, alors :

$$V = 0.6756 ; \text{ Re} = 6037.9 ; f = 0.0358$$

Tuyau N°3 $D = 1.20 \text{ cm}$

1) supposons $f = 0.031$

$$V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.031 \times 2}{0.012 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.66277 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$V_2 = 0.8141 \text{ m/s}$$

2) $Re = \frac{0.8141 \times 0.012}{1.007 \times 10^{-6}} = 9701.29$

3) $f = 0.316 (9701.29)^{-0.25} = 0.03184$

de nouveau:

1) $V_2^2 = \frac{0.21}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.03184 \times 2}{0.012 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.64817 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$

$$V_2 = 0.8051 \text{ m/s}$$

2) $Re = \frac{0.8051 \times 0.012}{1.007 \times 10^{-6}} = 9594.04$

3) $f = 0.316 (9594.04)^{-0.25} = 0.03193$

puis de nouveau:

1) $V_2 = 0.8044 \text{ m/s}$

2) $Re = \frac{0.80414 \times 0.012}{1.007 \times 10^{-6}} = 9582.60$

3) $f = 0.03194$

f pratiquement constant alors:

$V = 0.80414 \text{ m/s} ; Re = 9582.60 ; f = 0.0319$

appendice IV.

Vitesses, nombres de Reynolds, débits et pertes de charge maximums.

Tuyau N°3: $D = 0.90 \text{ cm}$ $H = 0.30 \text{ m}$

1) supposons $f = 0.030$

$$V_2^2 = \frac{0.30}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.030 \times 2}{0.009 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.76276 (\text{m/s})^2$$

$$V_2 = 0.8734 \text{ m/s.}$$

$$2) Re = \frac{0.8734 \times 0.009}{1.007 \times 10^{-6}} = 7805.96$$

$$3) f = 0.316 (7805.96)^{-0.25} = 0.0336$$

reprenons:

$$1) V_2^2 = \frac{0.30}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.0336 \times 2}{0.009 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.6911 (\text{m/s})^2$$

$$V_2 = 0.8313 \text{ m/s}$$

$$2) Re = \frac{0.8313 \times 0.009}{1.007 \times 10^{-6}} = 7429.69$$

$$3) f = 0.316 (7429.69)^{-0.25} = 0.034$$

f pratiquement constant:

$V_{\max} = 0.8313 \text{ m/s} ; Re_{\max} = 7429.7 ; f = 0.034$
--

Et:

$$Q_{\max} = 0.8313 \times \frac{\pi (0.009)^2}{4} = 5.2885 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0.1904 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_{f \max} = \frac{0.034 \times 2 \times (0.8313)^2}{0.009 \times 2 \times 9.81} = 0.266 \text{ m}$$

Tuyau N°3 : $D = 1.20 \text{ cm}$.

1) supposons : $f = 0.030$

$$V_2^2 = \frac{0.30}{\frac{1}{2 \times 9.81} + \frac{0.030 \times 2}{0.012 \times 2 \times 9.81} + \frac{0.05}{2 \times 9.81}} = 0.97289 (\text{m/s})^2$$

$$V_2 = 0.9863 \text{ m/s}$$

$$2) Re = \frac{0.9863 \times 0.012}{1.007 \times 10^{-6}} = 11753.326$$

$$3) f = 0.316 (11753.326)^{-0.25} = 0.0303$$

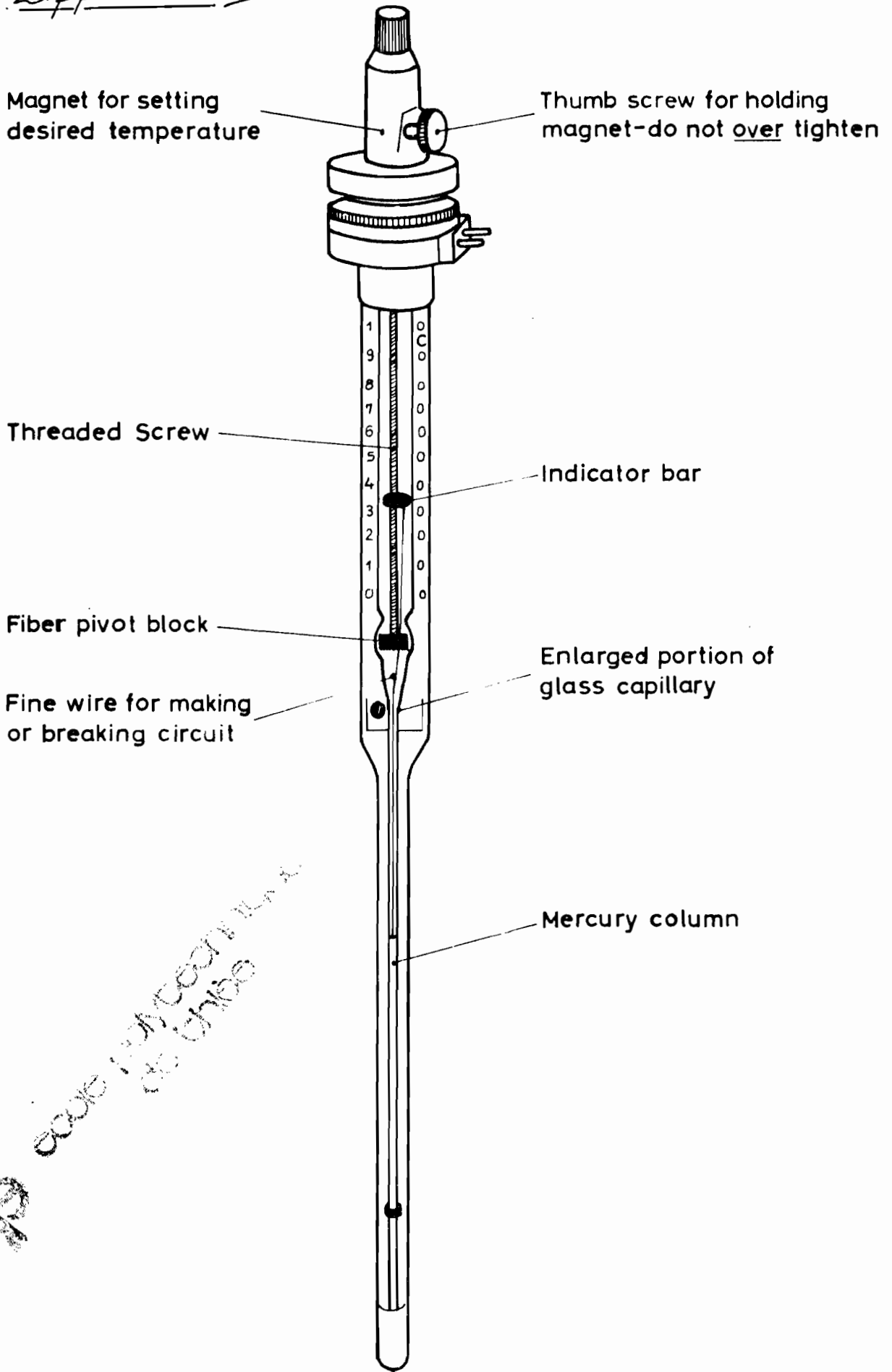
f pratiquement constant :

$$V_{\max} = 0.986 \text{ m/s} ; Re_{\max} = 11753 ; f = 0.030$$

$$Q_{\max} = 0.986 \times \pi \times \frac{(0.012)^2}{4} = 1.1151 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0.40145 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_f_{\max} = \frac{0.030 \times 2 \times (0.986)^2}{0.012 \times 2 \times 9.81} = 0.248 \text{ m}$$

Les pertes de charge max ainsi obtenues, demeurent acceptables, compte tenu de la hauteur de charge $H = 0.30 \text{ m}$ et du fait que dans l'équation (I), le premier et dernier terme sont négligeables devant h_f .



COPIED FROM DOCUMENT 11-1-1
BY: [illegible]



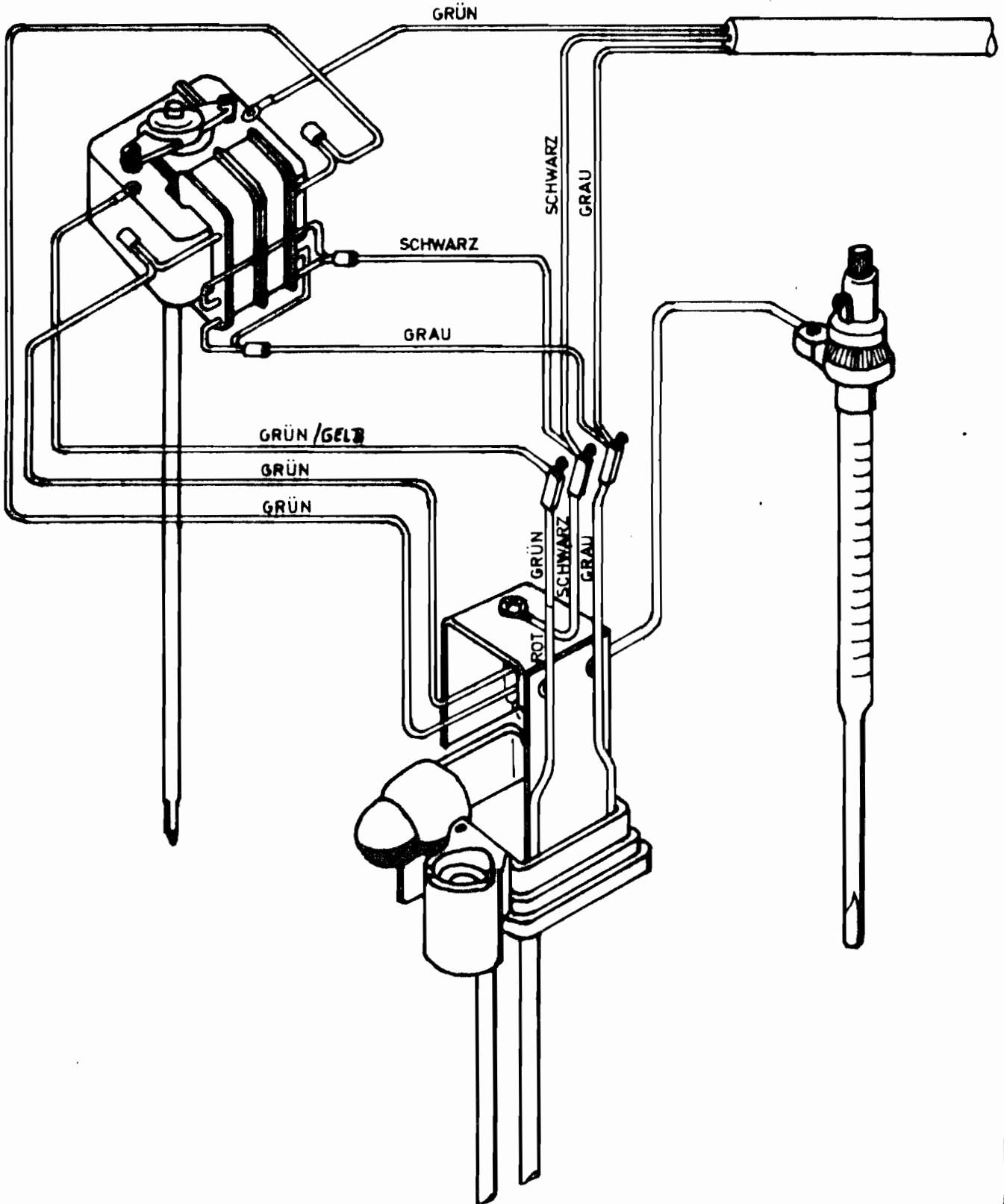
B. Braun
Medizintechnik

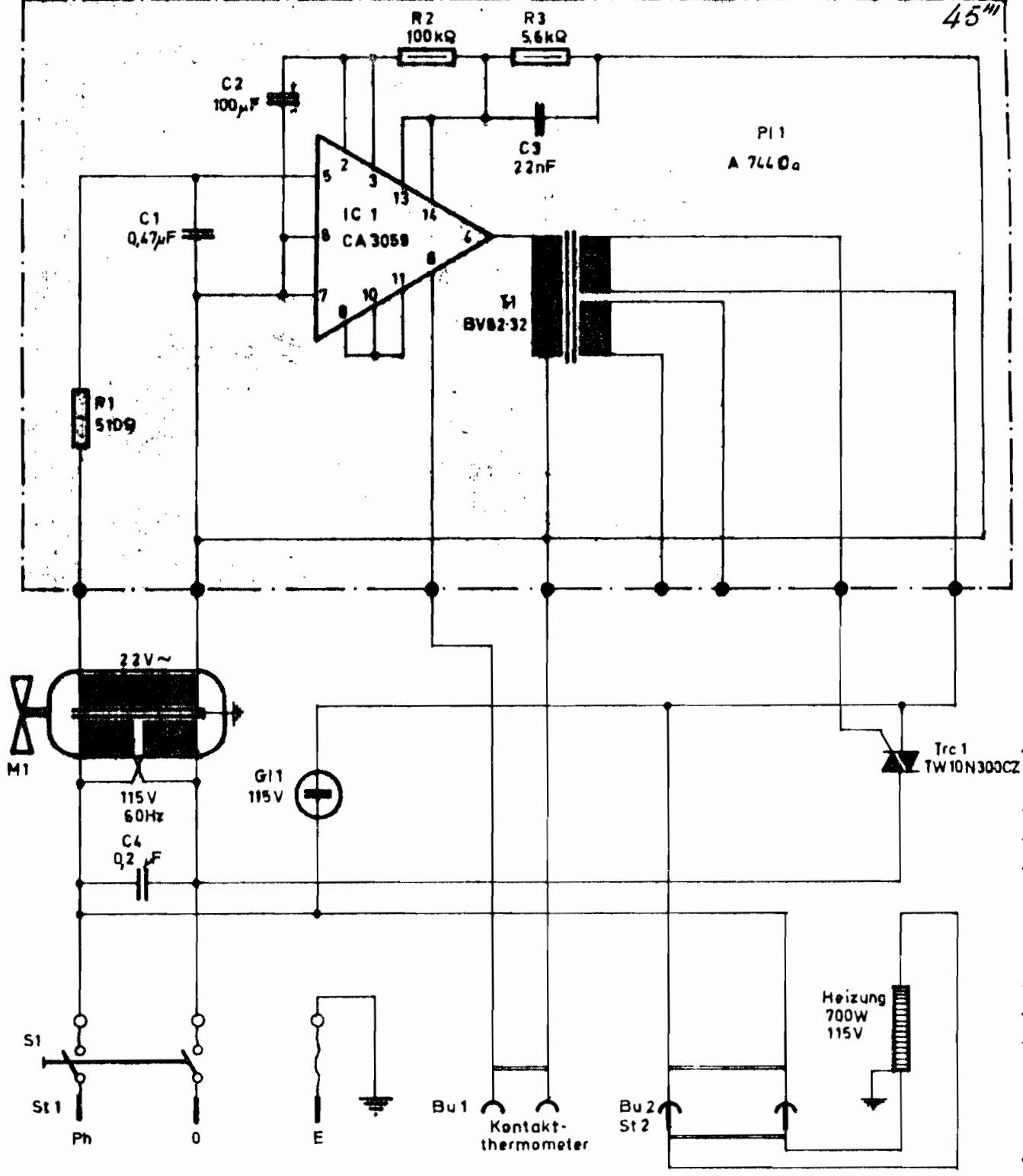
Thermomix II TN

Verdrahtungsplan


115V/60Hz

A7630-2^{45"}





Stück	Benennung und Bemerkungen	Teil	Werkstoff	Rohmaße	Rohgewicht

Gezeichnet	20.10.71	 B. Braun-Melungen Apparatebau
Geprüft	20.10.71	
Norm. Gepr.		

Maßstab	<h1>Thermomix II T N</h1> <p>Stromlaufplan 115V 60Hz</p>	<h2>A 7630-1</h2>
%		Ersatz für: Ersetzt durch:

BIBLIOGRAPHIE

[1. M. E. F.] - Auteurs: R. COMELET et J. BONNIN

Mécanique expérimentale des Fluides

Deuxième édition revue et augmentée

Pages : (118, 182, 183, 189, 190, 191, 192... 194)

Editeurs: MASSON et C^{IE}, 120 Boulevard
SAINT. GERMAIN, Paris VI^E
1973

[2. M. F. T₂] - Auteurs: EDMONT. A. BRUN et ANDRE MARTINOT.
LAGARDE - JEAN MATHIEU.

Mécanique des Fluides Tome 2

Deuxième Edition

Pages : (4... 9; 34... 37; 53)

Editeur: DUNOD Paris
1968

[3. T. M. T₁] - Auteur: MARCEL SEDILLE

Turbo - machines Hydraulique et Thermiques
Tome 1

Pages: (146, 145, 172, 201, 202)

Editeurs: MASSON et C^{IE}, 120 Boulevard
SAINT. GERMAIN, PARIS VI^E
1966

[4. T. P. M. H.] - Auteur: ADAM. T. TROSKOLANSKI
Traduit Par MARIE LARONDE

Théorie et Pratique des mesures Hydrauliques

Pages (36, 37, 146, 147, 203... 205, 217, 483, 609)

Editeur: DUNOD PARIS.

[5. O. T.] - Auteurs: S. G. KATZ, H. SCHLICHTING
Boundary Layer Theory
 3th Edition, Mc GRAW HILL
 Pages: (375... 378).

[6. F. M.] - Auteurs: VICTOR L. STREETER
 E. BENJAMIN WYLIE

Fluid MECHANICS

sixth Edition

Pages: (240-260)

INTERNATIONAL STUDENT EDITION

[7. M. F.] - Auteurs: JEAN-PIERRE LEROUX, PHILIPPE
 BAUDUIN

Mécanique des Fluides

Pages: (63... 67, 105... 111)

Editeur: DUNOD PARIS
 1972

[8. T. I.] - Auteurs: JEAN-JACQUES BARON

- Techniques de l'Ingénieur: Circulation des fluides, séparation

N^o Edition 1071

21, Rue Cassette 75006 PARIS
 3^e Trimestre 1972.

[9. I. F.] - Par FOX ET DONALD
Introduction to Fluid mechanics
 JOHN WILEY.

[10. M. F.] Auteurs: DUNCAN, THOM ET YOUNG
Mechanics of Fluids
 E. ARNOLD. Ltd, 1960.