

49/80  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
lex

«\*»  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
«\*»

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة —  
BIBLIOTHEQUE —  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### SUJET

# Réalisation d'un banc experimental sur les ajutages

Proposé par :  
Mr NOUACER

Etudié par :  
NOUN Abdul menhem

Dirigé par :  
Mr NOUACER

PROMOTION : JUIN 1986



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE



## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### SUJET

**Réalisation d'un banc  
experimental sur  
les ajutages**

Proposé par :

Mr NOUACER

Etudié par :

NOUN Abdul menhem

Dirigé par :

Mr NOUACER

PROMOTION : JUIN 1986

je dedie ce Modeste travail à :

- Mes parents
- Mes frères .et Ma Soeur
- et à toute ma famille, ainsi que tous

Mes amis.

NOUN. ABDUL MENHEM.

# Remerciements

J'exprime ma profonde gratitude au gouvernement algérien pour l'occasion qui m'a été offerte de poursuivre mes études d'ingénieur.

Que mon promoteur, Monsieur NOUACER trouve ici mes sincères remerciements pour la bienveillance avec laquelle il m'a prodigué ses précieux conseils.

Je remercie également tous les professeurs, ainsi que tous ceux qui ont contribué à ma formation, sans oublier tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.

Mes remerciements également à Mrs HOUACINE et MESSAOUD, ainsi que le personnel de notre atelier, et à Mrs BOUNCHE et YOUSFI mohamed pour leurs aides précieuses.

NOUN.

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
Ecole Nationale Polytechnique

وزارة التعليم العالي  
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Matériau : Génie Mécanique  
Auteur : M. NOUACER  
Le Ingénieur: NOUN Abdulmenhem

الموضوع : الهندسة الميكانيكية  
الموجه : السيد نون  
الطالب المهندس : عبد المنعم نون

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : انجاز منصة تجريب عمل انواع مختلفة من الوصلات .  
المخلص : يتمثل هذا المشروع في اعداد تجهيز يستخدم في القيام بأعمال تطبيقية في مجال ميكانيك الموائع .  
غده المنضدة تخمر الانسياب خلال اوردة دورانة عبر وصلات مختلفة و الموجرة اساسا لطلبة الهندسة الميكانيكية للمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات .

Objet : Réalisation d'un banc expérimental sur les ajutages.

Résumé : Ce projet est une réalisation d'une manipulation de mécanique des fluides qui porte sur les écoulements à veine de révolution à travers différents ajutages.

Il est destiné aux élèves ingénieurs de l'école nationale polytechnique de 2<sup>o</sup> année tronc commun.

Title : Réalizing of an Expérimental bench through throttling organs.

Summary : This report is about the design and realisation of a practical work concerning the fluid mechanics, more precisely the circular streams through different throttling organs.  
This rig is meant for students of the second year of general instruction in the national Polytechnic School.

# PLAN

## Introduction

### Chapitre I: Généralités, Rappel de mécanique des fluides.

#### 1.1 Introduction

#### 1.2 Quelques définitions

##### 1.2.1 trajectoire et Lignes de Courant

##### 1.2.2 Section d'écoulement.

##### 1.2.3 Equation de Continuité.

##### 1.2.4 Débit.

#### 1.3 Equation du mouvement

##### 1.3.1 Equation de mouvement d'un fluide en Contraintes.

##### 1.3.2 Cas d'un fluide parfait.

##### 1.3.3 Equation du mouvement adimensionnel unidimensionnel.

##### 1.3.3.1 Regime d'écoulement des fluides dans les Conduites

##### 1.3.3.2 Equation de BERNOULLI

##### 1.3.3.3 Pertes de charges.

##### 1.3.3.4 Coefficients.

#### 1.4 Quelques exemples d'ajutages.

1.4.1 Introduction .

1.4.2 Differentes formes .

1.4.3 Propriété essentielle de l'ajutage .

1.4.4 Avantage de l'ajutage .

Chapitre II : Réalisation du banc d'essai .

2.1 Introduction

2.2 Description du montage .

2.3 Détermination de la charge constante

Chapitre III : Etude des écoulement à travers les Différents  
ajutages

3.1 Introduction .

3.2 Charge constante .

3.3 Charge variable .

3.4 Interprétation du schéma de principe du  
dispositif expérimental .

3.5 Exploitation

3.5.1 . Etude du débit théorique .

3.5.2 Débit réel .

3.5.3 A charge constante .

3.6 Exploitation à charge variable .

3.6.1 Expression de la Conservation du débit .



- 3.6.2 Expression du débit en fonction de la charge.
- 3.6.3 Recherche du débit réel moyen pour un ajutage divergent conique.
- 3.6.4 Tracé des courbes.
- 3.6.5 Correction de  $Q_r$  (débit réel).
- 3.6.6 Tracé du coefficient de débit.
- 3.6.7 Recherche du Coefficient de Contraction  $\epsilon$ .
- 3.6.8 Évolution de  $C$  en fonction du nombre de Reynolds  $Re$ .

Conclusion

# NOTATION

V: Volume.

m: masse.

d: diamètre,  $d_r$ : diamètre réel.

t: Temps.

v: Vitesse.

F: Force.

P: Pression.

g: pesanteur.

S: Section de l'Ajutage. ( $S$ : surface).

Q: Débit Volumétrique.

h: hauteur (Charge).

C: Coefficient de débit.

$C_v$ : Coefficient de vitesse.

$\epsilon$ : Coefficient de Contraction.

$\nu$ : Viscosité cinématique.

$Re$ : Nombre de Reynolds.

$\alpha$ : Coefficient d'énergie cinétique.

$\xi$ : Coefficient de pertes de charge.

L: Longueur.

l: Largeur.

## introduction

Ce memoire porte sur l'elaboration d'un T.P de mecanique des fluides pour l'illustration des ecoulements visqueux par ajutages.

Il est destine a des fins pedagogiques au profit des eleves ingenieurs des filieres concernees.

Cela se traduit par l'etude des ecoulements liquides a veine de revolution, et ce a travers differents ajutages.

En outre cette etude presente un interet quant aux nombreuses applications industrielles impliquees par les ajutages, pour ne citer comme exemple que:

- Commandes hydrauliques.
- Deversoirs de barrages.

Dans le premier temps on se propose de faire des rappels des lois de mecanique des fluides qui regissent les types d'ecoulements.

Ensuite on se limite a la description du montage tant, du point de vue faisabilite, que du point de vue materiaux utilises.

En troisieme partie, on presente l'etude experimentale avec l'exploitation des resultats.

## GENERALITES.

### RAPPEL DE MECANIQUE DES FLUIDES.

#### 1.1. INTRODUCTION.

Il nous a paru nécessaire d'introduire ce chapitre afin de rappeler les différentes équations de mécanique des fluides qui sont utilisés dans le développement de ce mémoire.

On présente dans ce qui suit les caractéristiques propres aux ajetages (lignes de courant, trajectoire,...) par l'étude du mouvement du fluide.

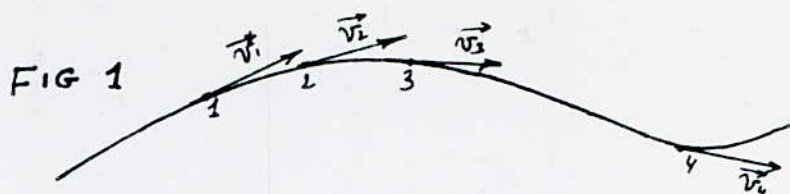
#### 1.2. QUELQUES DEFINITIONS.

##### 1.2.1. trajectoire et lignes de courant.

- La trajectoire d'une particule est le lieu géométrique des positions occupées successivement par la particule; appelé trace.

- une ligne de courant est une ligne qui est, à un instant donné tangente en chacun de ses points à la vitesse de la particule liquide qui s'y

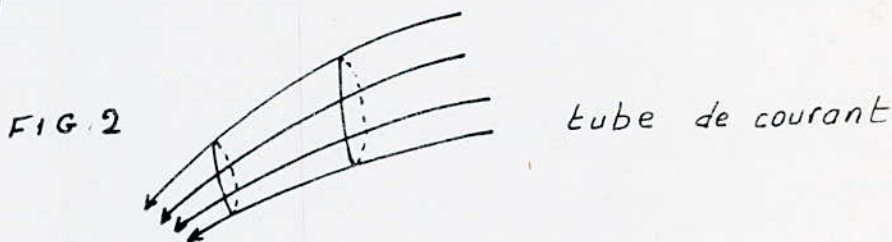
trouvé, elle constitue l'odographe des vitesses.



On définit les lignes de courant par les équations suivantes, en appliquant la méthode dite de Lagrange on a :

$$\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} = \frac{dz}{v_z}$$

où  $v_x, v_y, v_z$  sont les projections de la vitesse  $\vec{v}$  des particules qui passent à l'instant  $t$  (FIG 1)  
 toutes les lignes de courant qui s'appuient sur une courbe fermée constituent un tube de courant (FIG 2)

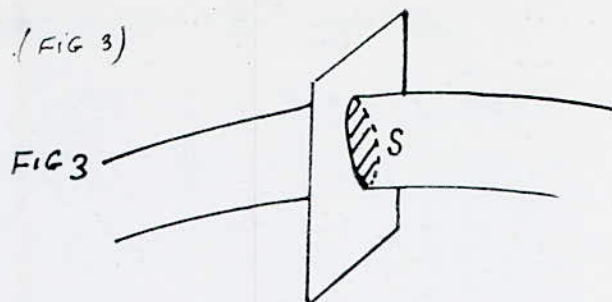


un tube qui possède une section infiniment petite est dit filet de courant.

### 1.2.2. section d'écoulement.

La section d'écoulement est une surface délimitée par

un tube de courant normalement aux lignes de courant (FIG 3)



### 1.2.3. équation de continuité.

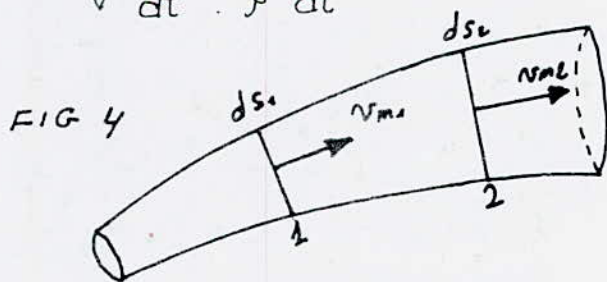
N'importe quel écoulement doit satisfaire à la loi de conservation de la masse.

L'équation de continuité traduit ce principe. Soit une particule  $\rho v$ , dérivant par rapport au temps cette quantité, on obtient

$$\frac{d}{dt}(\rho v) = 0$$

d'où l'expression mathématique suivante.

$$\frac{1}{v} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = 0.$$



considérons les deux sections  $ds_1$  et  $ds_2$  de la conduite (fig 4)

Les quantités de fluide traversant ces deux sections s'écrivent:

$$\rho_1 \cdot v_{m1} \cdot dS_1 \cdot dt.$$

$$\text{et } \rho_2 \cdot v_{m2} \cdot dS_2 \cdot dt.$$

où  $v_{m1}$  et  $v_{m2}$  sont les vitesses d'écoulement, et où  $\rho_1, \rho_2$  sont les masses volumiques.

En appliquant la loi de la Conservation de la masse entre  $dS_1$  et  $dS_2$  on écrit.

$$\rho_1 \cdot v_{m1} \cdot dS_1 \cdot dt = \rho_2 \cdot v_{m2} \cdot dS_2 \cdot dt.$$

pour un fluide incompressible on a  $\rho_1 = \rho_2$ , cette équation devient.

$$v_{m1} \cdot dS_1 \cdot dt = v_{m2} \cdot dS_2 \cdot dt.$$

$$\Rightarrow v_{m1} \cdot dS_1 = v_{m2} \cdot dS_2.$$

intégrons cette équations par rapport aux sections  $S_1$  et  $S_2$

$$\int_{S_1} v_{m1} \cdot dS_1 = \int_{S_2} v_{m2} \cdot dS_2$$

ce qui donne

$$v_{m1} \cdot S_1 = v_{m2} \cdot S_2.$$

pour un courant réel l'équation de continuité s'écrit donc

$$Q_1 = Q_2.$$

#### 1.2.4 débit.

on appelle débit la quantité de liquide qui passe à travers la section d'écoulement par unité de temps

$$Q = v_m \cdot S.$$

ou  $v_m$ : vitesse moyenne  
 $S$ : section du courant

### - vitesse moyenne.

La vitesse moyenne  $v_m$  dans une section est la valeur moyenne dans l'espace, des vitesses moyennes à ses différents points.

$$v_m = \frac{Q}{S}$$

### - mesure du débit.

Plusieurs dispositifs sont fréquemment employés pour mesurer le débit des liquides.

Les mesures sont faites à l'aide d'orifice à bords minces, tubes, buses, tube de pitot, tube de Venturi, rigoles, déversoirs à bords minces.

Afin d'appliquer d'une manière méthodique les dispositifs hydrauliques, l'utilisation de l'équation de Bernoulli et des connaissances supplémentaires relatives aux coefficients de chacun des dispositifs sont absolument nécessaires.

Par la connaissance de valeurs sûres des coefficients, il faut procéder à l'étalonnage de dispositif, en vue des conditions d'emploi prévues.

### - Coefficient de débit à travers l'ajutage.

Le coefficient de contraction de débit  $C$  mesure le rapport du débit réel (à travers le dispositif) au



debit idéal.

Ce coefficient peut alors s'écrire

$$C = \frac{\text{debit réel}}{\text{debit idéal}} = \frac{Q}{s\sqrt{2gR}}$$

d'une manière pratique lorsqu'on détermine le coefficient de debit C experimental on a.

$$Q = C \cdot s\sqrt{2gR}$$

s étant la surface de la section droite du dispositif.

R étant la charge totale.

### 1.3. équation du mouvement.

#### 1.3.1. équation de mouvement d'un fluide en contraintes.

Les équations générales de mouvement d'un fluide, qui déterminent la relation entre les faces extérieures et intérieures sont définies en tenant compte de l'équation du mouvement d'une particule soumise à une accélération  $\frac{d\vec{v}}{dt}$ .

soit :

$$\rho \, dV \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \, dV \vec{F} + \vec{P}_n \cdot d\vec{s}$$

-  $\rho \, dV$  masse du volume élémentaire de la particule de masse m.

- F les forces de masses de contraintes

-  $P_n$  les forces superficielles de contraintes  
 ou par suite d'intégration par application de la troisième  
 loi de Newton.

$$\int_V \frac{d\vec{v}}{dt} \rho dV = \int_V \vec{F} \cdot \rho dV + \oint_S \vec{P}_n \cdot dS.$$

On obtient finalement après application à  $\oint_S \vec{P}_n \cdot dS$   
 la transformation de Gauss-Ostrogradski.

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} + \frac{\partial P_z}{\partial z} \right).$$

soit après projection.

$$\frac{d\dot{v}_x}{dt} = F_x + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right)$$

$$\frac{d\dot{v}_y}{dt} = F_y + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial P_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right)$$

$$\frac{d\dot{v}_z}{dt} = F_z + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial P_{zz}}{\partial z} \right)$$

pour un fluide à l'état d'équilibre on a

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$$

$$\text{et } \left\{ \begin{array}{l} \tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{P}_x = \vec{i} \cdot P_{xx}, \quad \vec{P}_y = \vec{j} \cdot P_{yy}, \quad \vec{P}_z = \vec{k} \cdot P_{zz} \end{array} \right.$$

soit

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \left( \vec{i} \frac{\partial P}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial P}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 0$$

avec la notation du gradient.

$$\rho \vec{F} = \text{grad } P.$$

### 1.3.2. cas d'un fluide Parfait.

Dans un fluide Non visqueux agissent seulement les Contraintes Normales, dont la liaison avec les pressions sont.

$$\vec{P}_n = -\vec{i} \cdot P, \quad \vec{P}_y = -\vec{j} \cdot P, \quad \text{et} \quad \vec{P}_z = -\vec{k} \cdot P$$

sont

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \left( \vec{i} \frac{\partial P}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial P}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \text{grad} P$$

écrivons l'équation du mouvement d'un fluide visqueux sous la forme vectorielle en considérant que parmi les faces massiques dans le fluide n'agit que la force de pesanteur c'est à dire.

$$\vec{F} = -\vec{k}g$$

$\vec{k}$ : vecteur unitaire de l'axe z.

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \left( \partial_x \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + \partial_y \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + \partial_z \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right) = -\vec{k}g - \frac{1}{\rho} \text{grad} P + \nu \nabla^2 \vec{v}$$

Ces termes traduisent les forces de nature différentes, agissant dans le fluide.

où  $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$  sont les forces d'inertie liés à la stationarité.  
 $\left( \partial_x \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + \partial_y \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + \partial_z \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right)$  les forces d'inertie liés à l'accélération convective.

$\frac{1}{\rho}$  grad P les forces des pressions, et le dernier terme du <sup>10</sup> second membre les forces de viscosité.

tous ces termes ont les dimensions de l'accélération rapporté à l'unité de masse.

Pour caractériser l'écoulement il est nécessaire de mettre cette équation sous forme adimensionnelle.

### 1.3.3. équation du mouvement adimensionnel unidimensionnel

soit les grandeurs caractéristiques suivantes:

$v_0$ : vitesse référentielle

L: dimension linéaire.

T: le temps.

P: la pression

on peut écrire.

$$x = x^* L, \quad t = t^* T, \quad v = v^* v_0, \quad P = P^* P$$

$x^*, t^*, v^*$ , respectivement la coordonnée, le temps, la vitesse sans dimension.

l'équation du mouvement s'écrit alors.

$$\frac{v_0}{T} \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial t^*} + \frac{v_0^2}{L} \left( v_x^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial x^*} + \vec{v}_y^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial y^*} + \vec{v}_z^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial z^*} \right) = -k \vec{g} - \frac{P}{\rho L} (\text{grad } P)^* + \nu \frac{v_0}{L^2} \Delta \vec{v}^*$$

toutes les dérivées sont sans dimension.

En divisant tous ces termes par  $\rho_0^2/L$  : le facteur de l'accélération convective on obtient

$$\frac{L}{\rho_0 T} \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial t^*} + \left( \vec{v}_x^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial x^*} + \vec{v}_y^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial y^*} + \vec{v}_z^* \frac{\partial \vec{v}^*}{\partial z^*} \right) = -K \frac{gL}{\rho_0^2} - \frac{P}{\rho_0^2} (\text{grad } P)^* + \frac{\nu}{\rho_0 L} (\Delta \vec{v})^*$$

d'où ils apparaissent, les nombres sans dimension qui caractérisent l'écoulement.

$S_h = \frac{L}{\rho_0 T}$  : nombre de STROUHAL, il traduit les forces hydrodynamiques d'inertie à la force de pesanteur.

$F_r = \frac{\rho_0}{\sqrt{\rho_0}} = \frac{\rho_0}{\sqrt{\rho_0}}$  : nombre de FROUDE; la force d'inertie à la pesanteur.

$E_u = \frac{2P}{\rho_0 v^2}$  : nombre d'EULER; la force de pression à la force d'inertie.

$Re = \frac{v_0 L}{\nu}$  : nombre de REYNOLDS, force d'inertie à la force de viscosité.

### 1.3.3.1. régime d'écoulement des fluides dans les Conduites.

Les expériences montrent que deux régimes d'écoulement des fluides établis sont possibles; le régime laminaire,

et le régime turbulent.

Dans un écoulement laminaire toutes les lignes de courant sont parallèles à l'axe du tuyaut, c'est un écoulement qui s'effectue sans brassage des particules fluides et sans pulsation de la vitesse, où il n'apparaît aucun tourbillon.

Dans un tel courant les hauteurs piézométriques montrent que la pression et la vitesse sont constantes dans le temps.

Dans un écoulement turbulent le mouvement des particules fluides est désordonné, c'est un écoulement qui s'accompagne d'un brassage du fluide et de pulsation de vitesse, et de pression.

Le changement du régime d'écoulement dans une conduite se produit à une vitesse bien déterminée du courant qui est appelé vitesse critique liée aux forces d'inerties liées à la viscosité et caractérisé par le nombre de REYNOLDS.

Les expériences montrent que le nombre critique de REYNOLDS est atteint pour la valeur de

$$Re_c = 2320.$$

si  $Re < Rec = 2320$  le regime est laminaire.

si  $Re = Rec$  le regime est transitoire

si  $Re > Rec$  le regime est turbulent

Le regime d'écoulement joue un rôle très important pour l'évaluation des pertes de charge.

### 1.3.3.2. equation de Bernoulli.

- cas d'un fluide Parfait.

Pour établir l'équation de Bernoulli pour un fluide parfait, utilisons les équations d'Euler:

$$\frac{d^2v_x}{dt^2} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$\frac{d^2v_y}{dt^2} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\frac{d^2v_z}{dt^2} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z}$$

En multipliant les équations respectivement par  $dx$ ,  $dy$ , et  $dz$  et en sommant on obtient.

$$\frac{d^2v_x}{dt^2} dx + \frac{d^2v_y}{dt^2} dy + \frac{d^2v_z}{dt^2} dz = (F_x dx + F_y dy + F_z dz) - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P}{\partial x} dx + \right.$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right)$$

où :

$$dP = \frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz \quad \text{est la différentielle totale de la pression.}$$

Les déplacements 'élémentaires'  $dx, dy, dz$ , du volume de fluide considéré peuvent être exprimés comme suit :

$$dx = v_x \cdot dt$$

$$dy = v_y \cdot dt$$

$$dz = v_z \cdot dt$$

d'où

$$\frac{d v_x}{dt} \cdot v_x dt + \frac{d v_y}{dt} \cdot v_y dt + \frac{d v_z}{dt} \cdot v_z dt = v_x \cdot d v_x + v_y \cdot d v_y +$$

$$v_z \cdot d v_z = d\left(\frac{v_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{v_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{v_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{v^2}{2}\right)$$

est la différentielle totale de la vitesse et que les forces massiques dérivent d'un potentiel ( $U$ ):

$$\vec{F} = \text{grad } U$$

$$\text{alors } F_x dx + F_y dy + F_z dz = dU.$$

$$\text{avec } F_x = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad F_y = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad F_z = \frac{\partial U}{\partial z}$$

Dans le cas où la force de masse est la force de pesanteur,

on a :



$$F_x = 0, \quad F_y = 0, \quad F_z = \frac{\partial U}{\partial z} = -g.$$

Il suit que  $-g \cdot dz = dU \Rightarrow U = -gz + \text{cte}$ .

En remplaçant chaque expression de l'équation par son terme trouvé on arrive à.

$$d\left(\frac{v^2}{2}\right) = dU - \frac{1}{\rho} dP$$

$$d\left(\frac{v^2}{2}\right) = -gdz - \frac{1}{\rho} dP$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{g} d\left(\frac{v^2}{2}\right) + dz + \frac{1}{\rho g} dP = 0.$$

où :

$$d\left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}\right) = 0$$

C'est à dire que le groupe des trois termes dans cette équation est une grandeur constante le long d'une ligne de courant.

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{cte.}$$

L'équation obtenue s'appelle l'équation de Bernoulli. Pour un filet élémentaire d'un liquide parfait entre deux sections différentes, l'équation de Bernoulli sera

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

les termes de l'équation ont une dimension linéaire.

et sont appelés

$z$ : hauteur de position  
 $\frac{P}{\rho g}$ : hauteur piezométrique

$\frac{v^2}{2g}$ : hauteur dynamique.

## - cas d'un fluide réel.

Pour résoudre les problèmes des écoulements unidimensionnels des fluides visqueux, il est indispensable de déterminer la relation qui lie les vitesses moyennes d'un tel écoulement aux pressions.

La corrélation exprimant la loi de la conservation de l'énergie des particules en deux points 1 et 2 sur la ligne de courant dans un fluide parfait, s'écrit

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Cependant, lors du mouvement d'un fluide visqueux entre les points 1 et 2, il y aura dissipation de l'énergie.

Ce processus est lié à l'apparition des contraintes de viscosité et en particulier des forces des frottements.

Par conséquent, dans le cas d'un fluide visqueux la conservation de l'énergie doit être remplacée par une

inegalite' de la forme

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} > z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ce qui peut être s'écrire aussi:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H.$$

où  $H$  est la perte d'énergie entre les points 1 et 2.

En multipliant chaque terme de cette équation par le débit en poids

$$dQ = \rho \cdot g \cdot v_1 \cdot ds_1 = \rho g v_2 \cdot ds_2.$$

et en passant à la forme intégrale on écrit:

$$\int_{s_1} (z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g}) \rho g v_1 \cdot ds_1 = \int_{s_2} (z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}) \rho g v_2 \cdot ds_2 + \int_{s_2} H \rho g v_2 \cdot ds_2.$$

Dans un écoulement graduellement varié la pression est distribuée suivant la loi hydrostatique:

$$z + \frac{P}{\rho g} = \text{cte.}$$

En tenant compte de:  $\int_s v \cdot ds = Q$

et  $Q_1 = Q_2$  ou  $S_1 v_{1\text{moy}} = S_2 v_{2\text{moy}}$ .

Nous obtenons :

18

$$\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g}\right) Q_1 + \frac{1}{2g} \int_{S_1} v_1^3 ds = \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g}\right) Q_2 +$$

$$\frac{1}{2g} \int_{S_2} v_2^3 ds + \int_{S_2} H v_2 ds.$$

On pose :

$$\alpha_c = \frac{\int_S v^3 ds}{v_{\text{moy}}^3 S} = \frac{\int_S v^3 ds}{v_{\text{moy}}^2 Q} \text{ est un coefficient}$$

sans dimension qui tient compte de l'irrégularité de la répartition des vitesses.

$\alpha_c$  dépend de la forme du régime d'écoulement.

On peut représenter l'intégrale figurant dans le deuxième membre par

$$H \int_{S_2} v_2 ds = H \cdot Q_2.$$

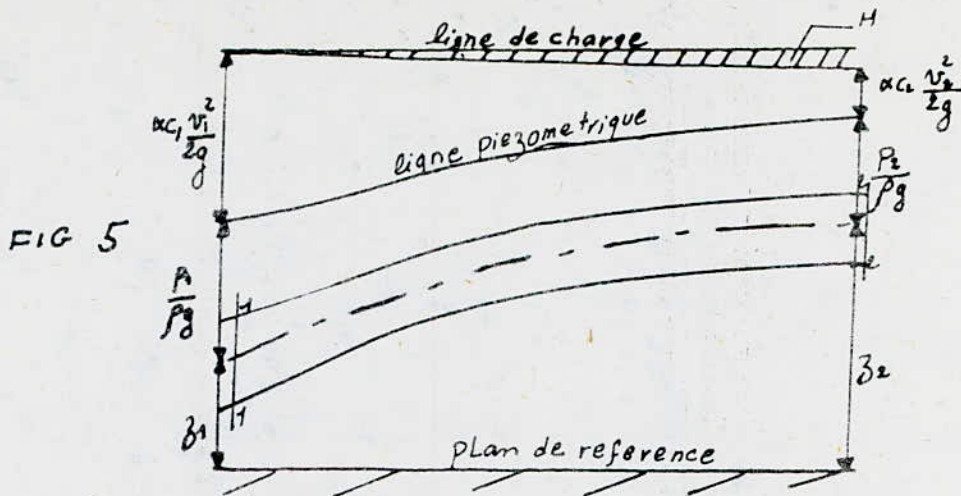
finalement notre équation sera

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_{c1} \frac{v_{\text{moy}1}^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_{c2} \frac{v_{\text{moy}2}^2}{2g} + H.$$

Cette équation s'appelle équation de Bernoulli pour l'écoulement d'un fluide visqueux.

- application de l'équation de Bernoulli.

L'équation qui traduit le bilan de l'énergie totale pour un courant réel au cours de son mouvement est l'équation de.



$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha c_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha c_2 \frac{v_2^2}{2g} + H.$$

$H$ : étant les pertes de charges

### 1.3.3 pertes de charge.

- perte de charge totale.

A cause des pertes d'énergie dues aux frottements, la trace du plan de charge n'est plus une horizontale mais une courbe décroissante.

Les pertes d'énergie par frottement peuvent être de deux types

Les pertes singulières ou locales, dues à des singularités, et les pertes linéaires (réparties) qui se produisent tout au long de la conduite

le calcul de la perte de charge totale produite s'effectue en faisant la somme des pertes des charges considérées

Comme isolés les unes des autres.

Soit  $H$  la perte de charge totale définie par la relation

$$H = \Sigma h(r) + \Sigma h(s)$$

$\Sigma h(r)$  = pertes de charge réparties tout au long de la conduite considérée.

$\Sigma h(s)$  = pertes de charge singulières (ou locales) dues à des singularités.

- perte de charge répartie.

Elle est donnée par l'expression générale suivante.

$$h(r) = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{formule de Darcy-Weisbach.}$$

$d$ : diamètre de la conduite.

$L$ : longueur de la conduite.

$v$ : vitesse moyenne.

$\lambda$ : coefficient de perte de charge, il est sans

dimension et n'est fonction que du nombre de Reynolds  $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$  et de la rugosité relative de la paroi.

- perte de charge singulière.

Elle est donnée par une expression de la forme

$$h(s) = f \frac{v^2}{2g}$$

$\xi$  : est le Coefficient de perte de charge sans dimension dependant du nombre de Reynolds  $Re$  et du type de singularité.

Remarque.

La perte de charge dans les orifices, les tubes, les buses à débit et les tubes de Venturi peut s'exprimer par :

$$h(s) = \left( \frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g}$$

Le Coefficient de débit peut aussi s'écrire en fonction du Coefficient de vitesse et du Coefficient de contraction c.à.d.

$$C = C_v \times E$$

Le Coefficient de débit n'est pas constant pour un dispositif donné, il varie avec le nombre de Reynolds.

#### 1.3.3.4. Coefficients.

- Coefficient de vitesse.

Le Coefficient de vitesse  $C_v$  est le rapport de la vitesse moyenne réelle à la section droite de la veine liquide à la vitesse moyenne idéale qu'il y aurait

s'il n'y avait pas de frottement, ainsi:

$$C_v = \frac{\text{vitesse moyenne réelle}}{\text{vitesse moyenne idéal}} = \frac{v_m}{\sqrt{2gh}}$$

- Coefficient de contraction.

Le coefficient de contraction  $\epsilon$  est le rapport de la surface de la section contractée d'une veine liquide à la surface de l'ouverture de l'ouverture à travers laquelle le fluide s'écoule

soit:

$$\epsilon = \frac{\text{aire de la veine (du jet)}}{\text{aire de l'ouverture (du jet)}} = \frac{S_{\text{jet}}}{S_0}$$

1.4. Quelques exemples d'ajutages.

1.4.1. introduction.

Les ajutages sont des formes géométriques (ouïces) par lesquelles sort un fluide en jet, initialement fermé dans une enceinte.

- un ouïce est une ouverture de forme régulière, pratiquée dans une paroi, ou dans le fond d'un récipient à travers lequel s'écoule le liquide contenu. L'ouïce est dit « en mince paroi » quand la veine liquide ne touche que le bord intérieur.

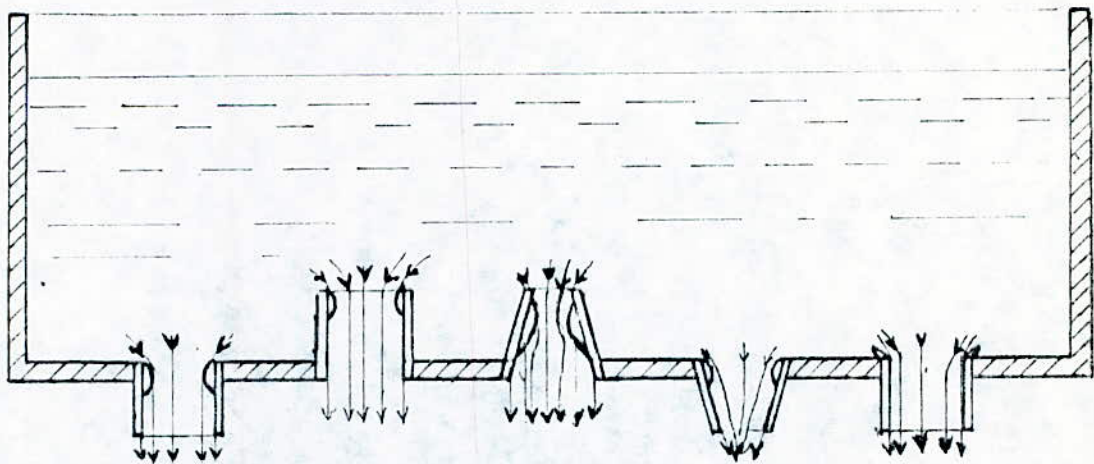


- Le jet une veine fluide, qui au lieu d'être d'élité par des parois solides pénètre dans un milieu fluide, en general à pression constante.
- La charge est la hauteur d'eau qui provoque la sortie du liquide.
- Un ajutage est un orifice dont les parois sont prolongées sur une certaine longueur ou bien une ouverture ménagée dans un récipient à parois relativement épaisses

#### 1.4.2. différentes formes.

Les ajutages peuvent être de différentes formes.

FIG 6



- cylindriques (I et II)
- Coniques, Convergent et divergent (III, IV)
- conoidaux (V).

de plus, on les classe en ajutages intérieurs (II et III)  
et extérieurs (I, IV, V)

### 1.4.3. propriété essentielle de l'ajutage.

En régime de fonctionnement correct de l'ajutage, la section mouillée du jet sortant de celui-ci est égale à l'aire de la section de sortie de l'ajutage, ainsi on arrive à éviter la contraction du jet à la sortie

$$\varepsilon = \frac{S}{S_0} = 1$$

### 1.4.4. avantage de l'ajutage

Pour augmenter le débit de fluide lors de son écoulement par un orifice et obtenir un jet sous pression.

## chapitre 2

REALISATION DU BANC  
D'ESSAI

## 2-1. INTRODUCTION

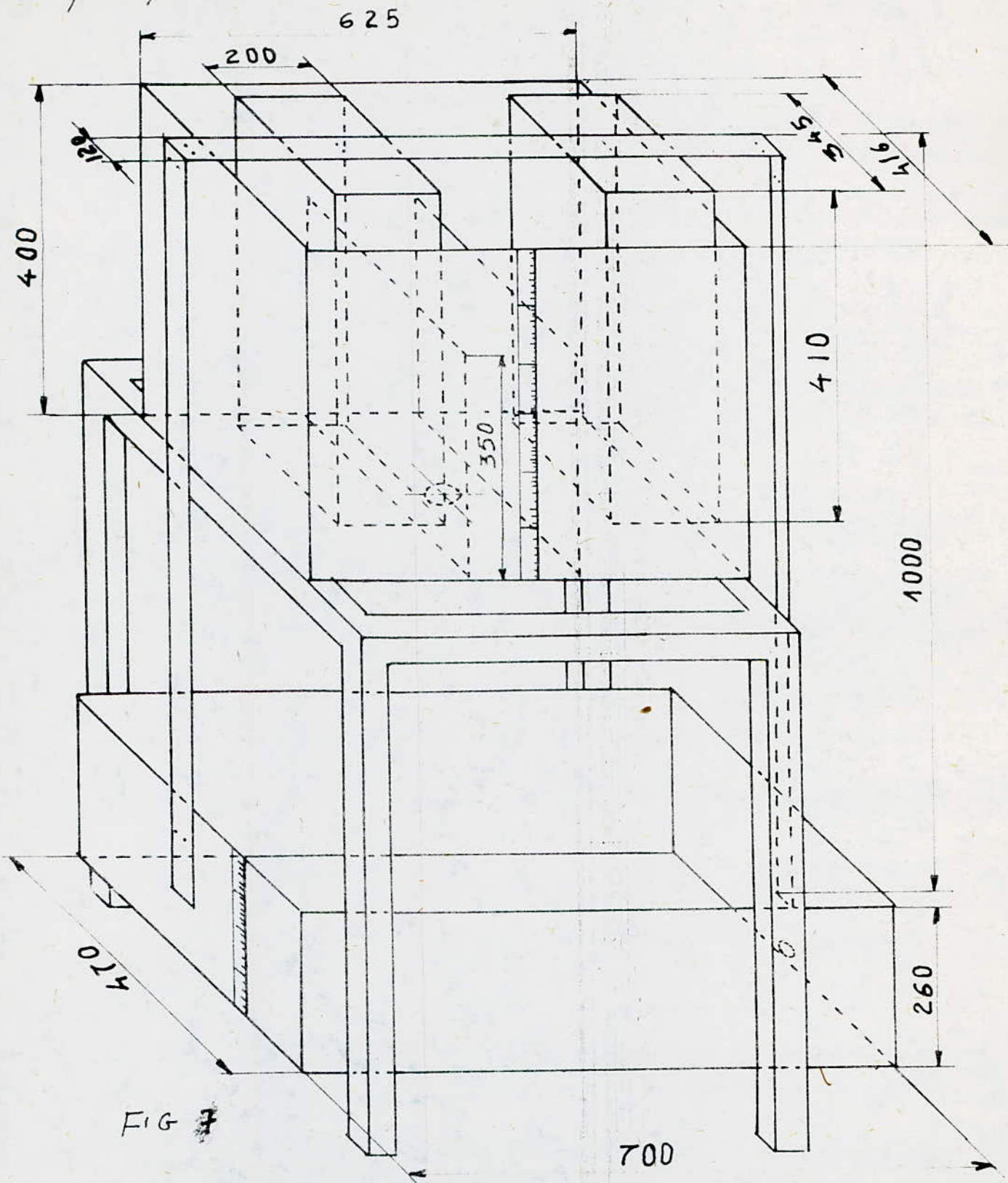
Il est composé d'un réservoir  $R$  qui reçoit deux flotteurs  $F_1$  et  $F_2$ , et il supporte un bac  $b$  dans lequel le liquide s'écoule par l'ajutage placé entre les deux cloisons  $C_1$  et  $C_2$  pour permettre un écoulement à charge constante, on assure un équilibre pour le système flottant, dont le poids croît à chaque instant du poids de l'eau qui s'écoule, ainsi il doit faire augmenter son volume d'une quantité égale à celle de cette eau, par conséquent, la surface libre reste dans un plan invariable.

Pour éviter les remous, il faut empêcher les déplacements latéraux des flotteurs, on place les cloisons  $C_1$  et  $C_2$  à cet effet.

Ces cloisons ne permettent à l'eau d'affluer que par la partie supérieure.

Il faut noter que le guidage et l'aplomb de l'installation doivent être le plus parfait

que possible. (FG 7)



## 2.2. DESCRIPTION DU MONTAGE

Le montage est destiné à des manipulations. Il est réalisé à l'aide de plexi-glace d'épaisseur 8 mm

Il se compose des éléments suivants :

- un réservoir V
- deux flotteurs  $F_1$  et  $F_2$
- deux cloisons  $C_1$  et  $C_2$
- une bague fixant l'ajutage
- l'ajutage
- un bac b
- un trou de vidange
- des plaques de liaison
- le support
- deux règles graduées

- Le réservoir V :

est de forme prismatique dont les dimensions extérieures sont :

$$L = 625 \text{ mm}$$

$$l = 416 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

son rôle est d'assurer une certaine hauteur

constante ou variable selon l'essai désiré

- Les flotteurs  $F_1$  et  $F_2$  :

sont identiques, de forme prismatique ;  
vide à l'intérieur, et de dimensions :

$$L = 345 \text{ mm}$$

$$l = 200 \text{ mm}$$

$$h = 410 \text{ mm}$$

Ils sont destinés à recevoir l'eau des compartiments extrêmes pour remplacer la quantité d'eau qui s'écoule par l'ajutage, et ceci dans les essais à charge constante.

- Les cloisons  $C_1$  et  $C_2$  :

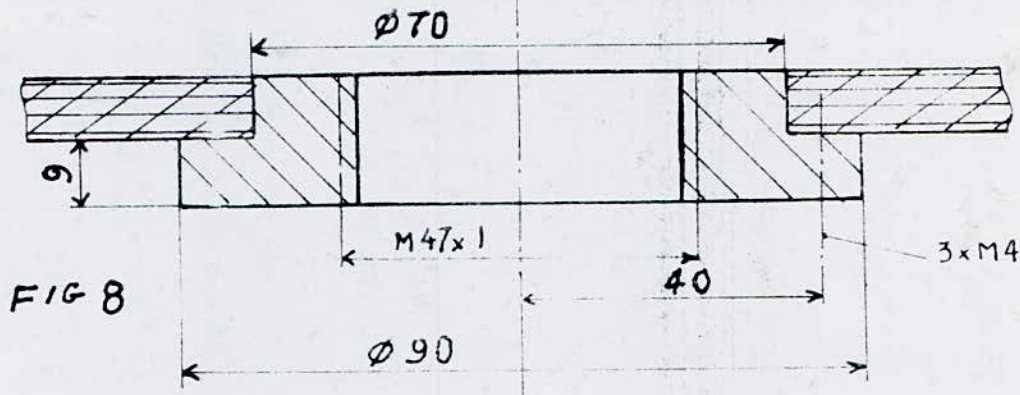
sont identiques, de forme rectangulaire, de dimensions :

$$L = 400 \text{ mm}$$

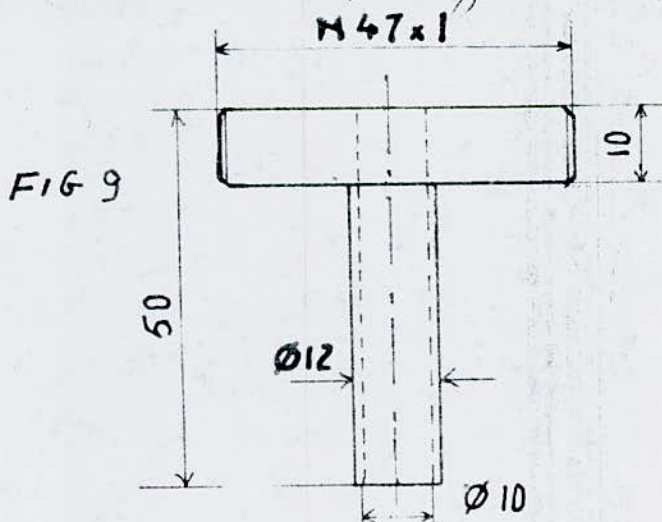
$$l = 350 \text{ mm}$$

Ils permettent à l'eau d'affluer par la partie supérieure, pour éviter les remous et empêcher les déplacements latéraux des flotteurs

- La bague fixant l'ajutage : (FIG 8)  
est une pièce ronde, en laiton, rapportée au bas du compartiment central et permet de fixer l'ajutage au moyen d'un filetage.

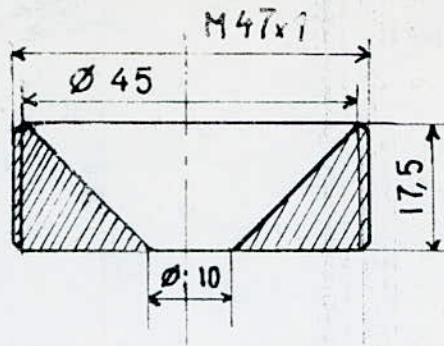


- L'ajutage :  
Il existe plusieurs formes d'ajutages, nous proposons deux sortes d'ajutages l'un cylindrique intérieur - extérieur de forme : (FIG 9)



- l'autre conique intérieur - extérieur (convergent - divergent) de forme : (FIG 10)

FIG 10



Il a pour rôle d'augmenter le débit du fluide et d'obtenir un jet sous pression.

- Le bac b :

C'est un récipient qui, placé en dessous du réservoir, est relié par des supports aux deux flotteurs, reçoit le fluide qui s'écoule de l'ajutage.

Donc son poids augmente avec le volume de fluide écoulé et par l'intermédiaire des supports ce poids croissant est transmis aux deux flotteurs qui agissent sur le fluide contenu dans les deux compartiments extrêmes.

Ainsi on obtient un déversement vers le compartiment central d'où une charge constante.  
de dimensions  $L = 700 \text{ mm}$  ;  $l = 470 \text{ mm}$  ;  $R = 260 \text{ mm}$ .

- Le trou de vidange :

Au besoin de vider le bac, un trou



de diamètre 25mm est percé au bas du bac prévu à cet effet.

- Les plaques de liaison :

Trois triangles permettent de réaliser la liaison flotteurs et bac. Une, horizontale, relie les deux flotteurs entre eux et les deux autres, verticales, relient le bac à la première.

- Le support :

Il est réalisé par des cornières perforées en forme de L supportant le réservoir. La hauteur est suffisante de façon que le bac reste suspendu à une distance du sol plus grande que la course à parcourir.

- Les deux règles graduées :

sont collées l'une au réservoir l'autre au bac, permettent la lecture du niveau de fluide.

### 2-3. DETERMINATION DE LA CHARGE CONSTANTE.

- Calcul des masses des éléments composants

le système flottant.

$$\rho_{\text{plenglace}} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

bac :            volume = 7313,82 cm<sup>3</sup>  
                   masse =  $\rho \cdot V = 13,16 \text{ kg}$

flotteurs :        volume = 8877,63 cm<sup>3</sup>  
                   masse = 15,97 kg

plaques de liaison :    volume = 4427,56 cm<sup>3</sup>  
                               masse = 7,96 kg

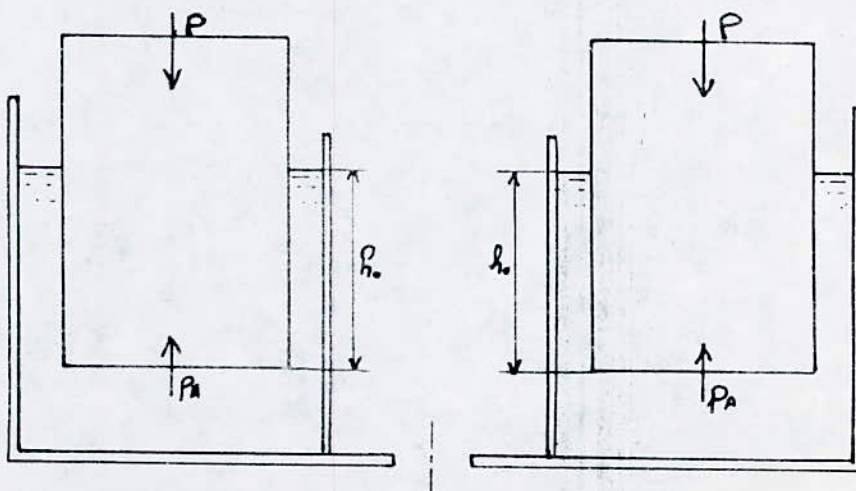
Masse totale (bac, flotteur, plaques de liaison) = 37,09 kg

- calcul de la hauteur d'immersion des flotteurs

On applique le principe d'Archimède.

- à l'équilibre - (FIG. 11)

FIG. 11



$$\frac{P}{2} - P_{A1} + \frac{P}{2} - P_{A2} = 0$$

$$P - 2P_A = 0 \Rightarrow P = 2P_A = 2\rho \cdot g \cdot a \cdot b \cdot h_0$$

$$h_0 = \frac{P}{2\rho \cdot g \cdot a \cdot b} = \frac{M_{Tv} \cdot g}{2\rho \cdot g \cdot a \cdot b} = \frac{M_{Tv}}{2\rho \cdot a \cdot b}$$

d'où

$$h_0 = \frac{M_{Tv}}{2\rho \cdot a \cdot b}$$

$M_{Tv}$  : masse totale  
à vide

- en charge -

$$M_T = M_{Tv} + \rho \cdot a \cdot t$$

$$P - 2P_A = M_T \cdot g - 2\rho g h \cdot a \cdot b = 0 \Rightarrow M_T = 2\rho \cdot h \cdot a \cdot b$$

d'où

$$h = \frac{M_{Tv}}{2\rho \cdot a \cdot b} + \frac{Q}{2 \cdot a \cdot b} \cdot t$$

L'espace, dans la dimension verticale, parcourus par le système flottant à l'instant  $t$  correspond à la différence entre la hauteur en charge  $h$  et la hauteur à vide ( $h_0$ ).

$$(h - h_0) = \Delta h = \frac{M_{Tv}}{2\rho a b} + \frac{Q}{2 a b} \cdot t - \frac{M_{Tv}}{2\rho a b}$$

$$\Rightarrow \Delta h = \frac{Q}{2 \cdot a \cdot b} \cdot t$$

- charge constante -

Le volume déplacée par un flotteur, correspondant à la dénivellation  $\Delta h$  est donné par :  $\Delta h \cdot a \cdot b$   
celui correspondant à deux flotteurs sera :

$$2 \cdot \Delta h \cdot a \cdot b ;$$

or on vient de trouver que :

$$\Delta h = \frac{Q}{2 \cdot a \cdot b} \cdot t \Rightarrow 2 \Delta h \cdot a \cdot b = Q \cdot t$$

appelons  $V$  le volume de fluide écoulé par l'ajutage à un instant  $t$ , correspondant à la dénivellation  $\Delta h$ , il est donné par

$$V = Q \cdot t \Rightarrow Q = \frac{V}{t}$$

en remplaçant ceci dans l'expression précédente on aura :

$$2 \cdot \Delta h \cdot a \cdot b = \frac{V}{t} \cdot t$$

$$\Rightarrow V = 2 \cdot \Delta h \cdot a \cdot b$$

Ainsi le volume écoulé par l'ajutage est exactement celui déplacé par les deux flotteurs ceci nous permet d'affirmer que la charge reste constante.

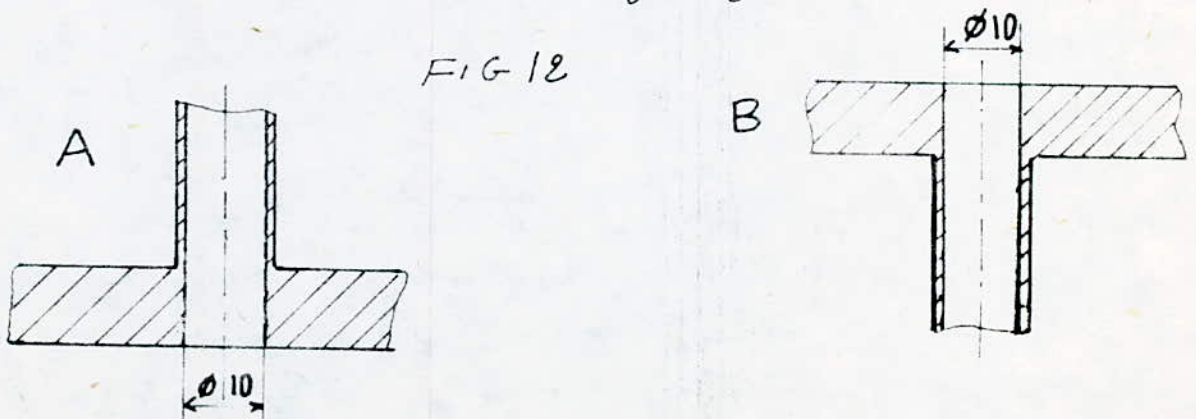
## ETUDE DES ECOULEMENTS A TRAVERS DIFFERENTS AJUTAGES

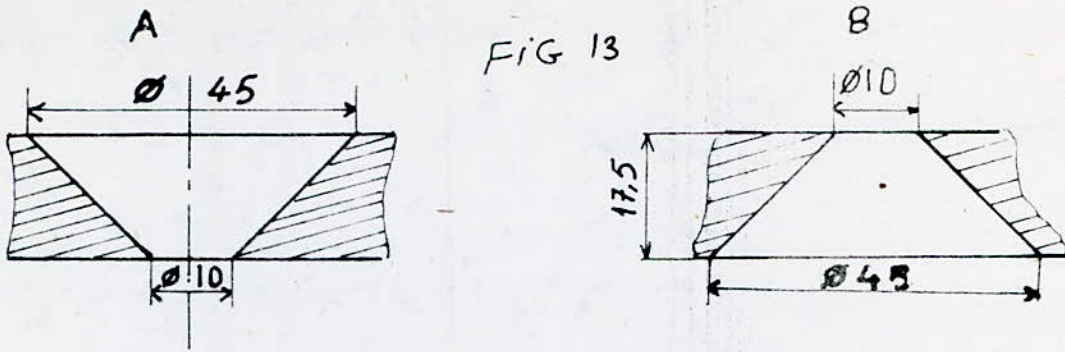
### 3.1. INTRODUCTION

Cette manipulation est destinée pour traiter quelques types d'écoulement à travers des ajutages de formes différentes, à charge constante et à charge variable, afin de mettre en évidence le phénomène des contractions.

### 3.2. CHARGE CONSTANTE

On étudie l'évolution des débits théoriques et réels à travers deux modèles d'ajutage, un cylindrique (FIG 12) et l'autre conique, chaque modèle prend deux positions A et B, ce qui revient à l'étude de quatre cas d'ajutage.





En comparant les deux valeurs des débits théorique et réel pour chaque cas d'ajutage, on détermine les coefficients de débit  $C$

### 3.3. CHARGE VARIABLE

Dans ce cas on étudie l'évolution du débit par l'ajutage conique divergent, en fonction de la charge que l'on compare avec l'évolution théorique.

De même on déduit la variation du coefficient de débit en fonction de la charge  $h$ , ainsi qu'en fonction du nombre de Reynolds

3-4. INTERPRETATION DU SCHEMA DE PRINCIPE DU  
DISPOSITIF EXPERIMENTAL (FIG 14).

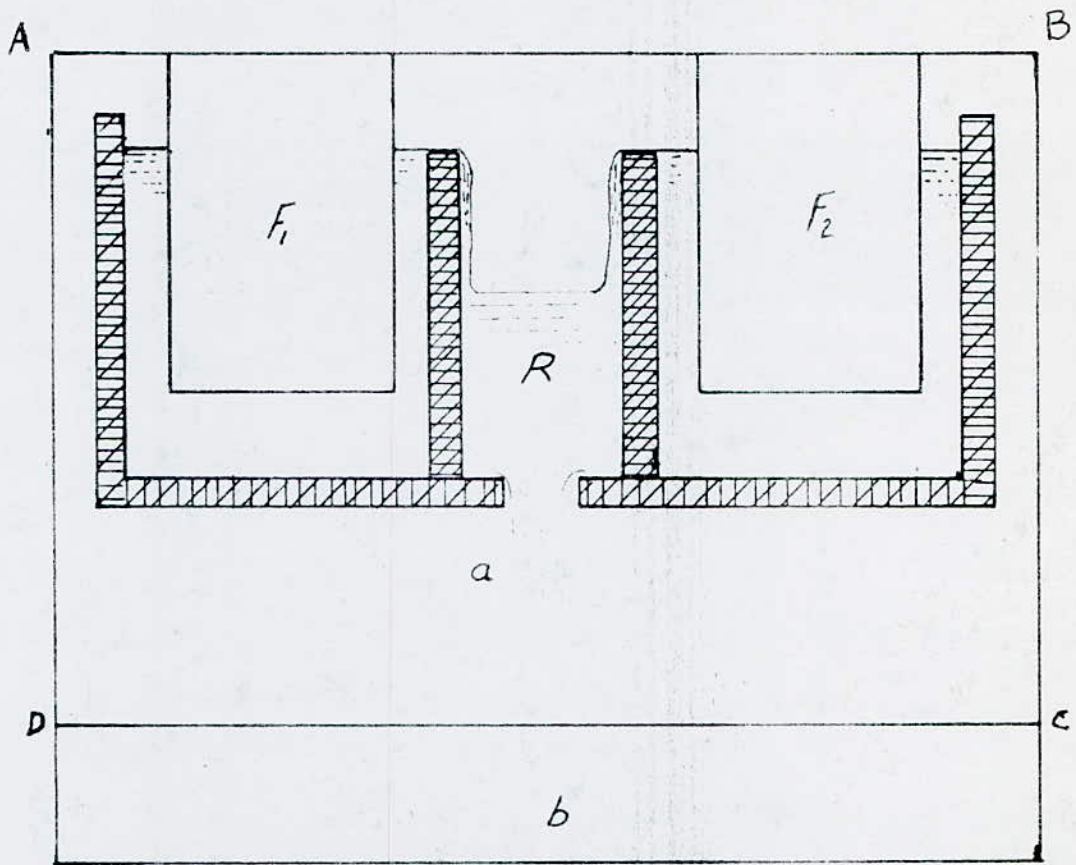


FIG 14

$R$  : reservoir

$F_1, F_2$  : flotteurs

$C_1, C_2$  : cloisons

$a$  : ajutage

$b$  : bac

ABCD : cadre support

Un reservoir  $R$  recoit deux flotteurs  $F_1$  et  $F_2$   
par l'intermediaire d'un cadre ABCD qui supporte

un bac  $b$  dans lequel le liquide s'écoule à travers l'ajutage  $a$ .

Au besoin de la charge constante le système flottant voit son poids croître identiquement avec celui de l'eau qui est écoulée dans le bac  $b$ , par suite son immersion atteint un niveau proportionnel au volume d'eau écoulé; par conséquent la surface libre reste dans un plan invariable.

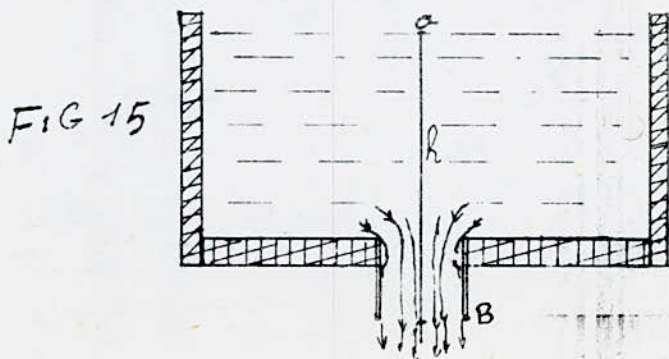
Pour éviter les remous deux cloisons  $C_1$  et  $C_2$  ne permettent à l'eau d'affluer que par la partie supérieure ou se produit l'écoulement.

### 3-5. EXPLOITATION

par application des lois de la mécanique des fluides "

#### 3-5-1. Etude du débit théorique

On applique le théorème de Bernoulli, entre les points  $a$  et  $b$  (FIG 15)





a: point de la surface libre  $\Rightarrow P_a = P_{atm}$

b: point à la sortie de l'ajutage  $\Rightarrow P_b = P_{atm}$

$$P_a + \rho g h_a + \frac{\rho v_a^2}{2} \ell = P_b + \rho g h_b + \frac{\rho v_b^2}{2} \ell$$

d'où :  $v_b^2 = 2g(h_a - h_b) = 2g \cdot h$  ( $v_a^2 \ll v_b^2$ : grand réservoir)

et  $Q_t = S \cdot v_b = S \sqrt{2gh}$

$h$ : dénivellation entre a et b

$S$ : section de sortie de l'ajutage

### 3-5-2. Débit réel

Deux causes sont à la base de la différence entre les quantités de débit théorique  $Q_t$  et du débit réel  $Q_r$

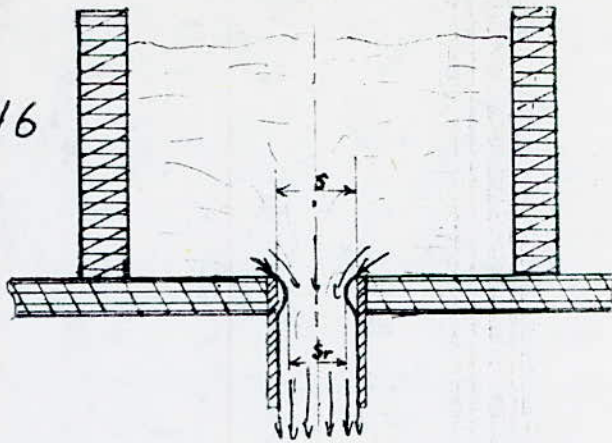
1°- Les frottements qui affectent le deuxième membre de l'égalité de Bernoulli et interviennent sur la grandeur de la vitesse  $v_r$ .

$$v_r = C_v \cdot v_t$$

$$v_r = C_v \sqrt{2gh} \quad 0 < C_v < 1 \quad \text{coefficient de vitesse}$$

2°- la contraction de la section  $S_r$  empêche les lignes de courant d'épouser la forme géométrique des parois de l'ajutage de section  $S$  (FIG 16)

FIG 16



d'où on peut écrire que :

$$S_r = \epsilon \cdot s \quad \text{avec } \epsilon : \text{coefficient de contraction tel}$$

que  $0 < \epsilon < 1$

On en déduit le débit réel

$$\begin{aligned} Q_r &= S_r \cdot v_r = \epsilon \cdot s \cdot C_v \cdot v_t \\ &= \epsilon \cdot C_v \cdot s \cdot \sqrt{2gh} = C \cdot s \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow Q_r = C \cdot s \cdot \sqrt{2gh}$$

$$Q_r = C \cdot Q_t$$

on appelle  $C$  coefficient de débit

### 3-5-3 A charge constante

Pour chacun des quatre ajutages proposés, on détermine le coefficient de débit  $C$ , pour cela il nous faudra donc déterminer les débits théorique et réel.

Le débit réel  $Q_r$  est déterminé par le temps

de passage à travers l'ajutage du volume de liquide  $Q_r = \frac{V}{E}$

$Q_t$  est donné directement par la relation

$$Q_t = S \sqrt{2gh}$$

d'où :

$$C = Q_r / Q_t$$

Les résultats sont regroupés dans le tableau A pour les différents ajutages.

TABLEAU A

AJUT- AGES	h cm	V cm <sup>3</sup>	H <sub>f</sub> cm	t s	$\sqrt{2gh}$	Q <sub>r</sub> cm <sup>3</sup> /s	Q <sub>t</sub> cm <sup>3</sup> /s	C
┘ ┘	2,7	83643,6	35	60	262,04	144,06	205,830	0,70
┘ ┘	3,2	10001,4	35	60	262,04	166,69	205,830	0,831
┘ ┘	2,4	7531,83	35	60	262,04	125,53	205,830	0,61
┘ ┘	3,83	11977,2	35	60	262,04	199,62	205,830	0,97

- conclusion -

On constate qu'avec l'ajutage de la forme conique convergent, la valeur du débit réel  $Q_r$  est proche de la valeur du débit théorique  $Q_t$

Le coefficient de débit  $C$  est voisin de l'unité.

C'est ainsi que le choix spécifique sur les ajutages se fait suivant les applications souhaitées (ce cas est utilisé pour l'étalonnage de sonde).

### 3.6 EXPLOITATION A CHARGE VARIABLE

- loi théorique de vidange
- débit en fonction de la charge

Soient  $L$  la longueur du compartiment central et  $l$  sa largeur, sa section  $S = L \cdot l$

$$S = 580 \text{ cm}^2$$

#### 3.6.1 Expression de la conservation du débit

Soit  $s$  c'est la section d'ajutage

$$\text{et} \quad -S \frac{dh}{dt} = s \sqrt{2gh}$$

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{s}{S} \sqrt{2g} dt$$

en intégrant on obtient

$$\int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{s}{S} \sqrt{2g} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$h_2 - h_1 = 2 \text{ cm} \quad \text{et} \quad h_1 < h_{\text{moy}} < h_2$$

$$\text{d'où} \quad h = \left(\frac{s}{S}\right)^2 \frac{1}{2} g t^2$$

C'est la loi théorique de vidange

#### 3.6.2 Expression du débit en fonction de la charge

$$Q = s \sqrt{2gh}$$

#### 3.6.3 Recherche du débit réel moyen pour un ajutage divergent conique

Pour un intervalle  $h_2 - h_1$  égal à 2 cm, on prend une hauteur moyenne  $h$  entre  $h_1$  et  $h_2$  pour laquelle on

Calcule le débit réel moyen  $Q_{rm}$ . Nous avons regroupés tous les résultats sur le tableau B

Tableau 13

$h$ [cm]	$Q_t$ [cm <sup>3</sup> /s]	$t$ [s]	$Q_r$ [cm <sup>3</sup> /s]	$Q_r$ corrigé [cm <sup>3</sup> /s]	$C$	$V$ réel [cm/s]	$Re$	$\Delta Q_r$ [cm <sup>3</sup> /s]
3	60,25	29	40	34	0,56	65,983	46883	1,834
5	77,79	21	54,97	50	0,64	97	68394	1,837
8	98,39	16,6	70,3	65	0,66	126,14	83962	1,95
11	115,38	14,6	79,45	79	0,683	153,30	108393	1,99
14	130,16	13	89,23	90	0,69	174,65	12409	2,15
19	151,64	11,5	101,75	107	0,70	207,64	14753	2,35
21	159,42	10,3	112,62	112	0,70	217,34	15443	2,66
24	170,42	10,1	114,85	118	0,69	229	16270	2,69
29	182,34	9,2	126,08	125	0,66	242,57	17235	2,983
33	199,84	8,6	134,88	130	0,65	252,283	17925	3,23



### 3.6.4 Tracé des courbes

La courbe réelle (ou expérimentale) du débit doit être corrigée et cela en traçant les rectangles d'erreurs et en y faisant passer une courbe  $Q_r$  corrigée qui aura une allure plus proche de celle de la courbe  $Q_t$  représentant le débit théorique

### 3.6.5 Correction de débit réel ( $Q_r$ )

On trace des rectangles d'erreurs en estimant les erreurs sur le temps et sur les hauteurs

$$\Delta t = \pm 0,1 \text{ s}$$

$$\Delta h = \Delta L = \Delta l = 0,1 \text{ cm}$$

On détermine l'erreur sur le débit réel  $Q_r$ .

$$Q_r = (h \cdot S) \cdot \frac{1}{t} = h \cdot L \cdot l \cdot \frac{1}{t}$$

$$\text{Log } Q_r = \text{Log } h + \text{Log } L + \text{Log } l - \text{Log } t$$

$$\frac{dQ_r}{Q_r} = \frac{dh}{h} + \frac{dL}{L} + \frac{dl}{l} - \frac{dt}{t}$$

$$\frac{\Delta Q_r}{Q_r} = \Delta l \left[ \frac{1}{l} + \frac{1}{L} + \frac{1}{h} \right] + \frac{\Delta t}{t}$$

$$L = 40 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$l = 14,5 \pm 0,1 \text{ cm}$$

d'après le tableau B figurent les débits  $Q_r$  corrigés du graphe sur la courbe  $Q_r = f(h)$  dans la planche D<sub>1</sub>

### 3.6.6 Tracé du coefficient de débit

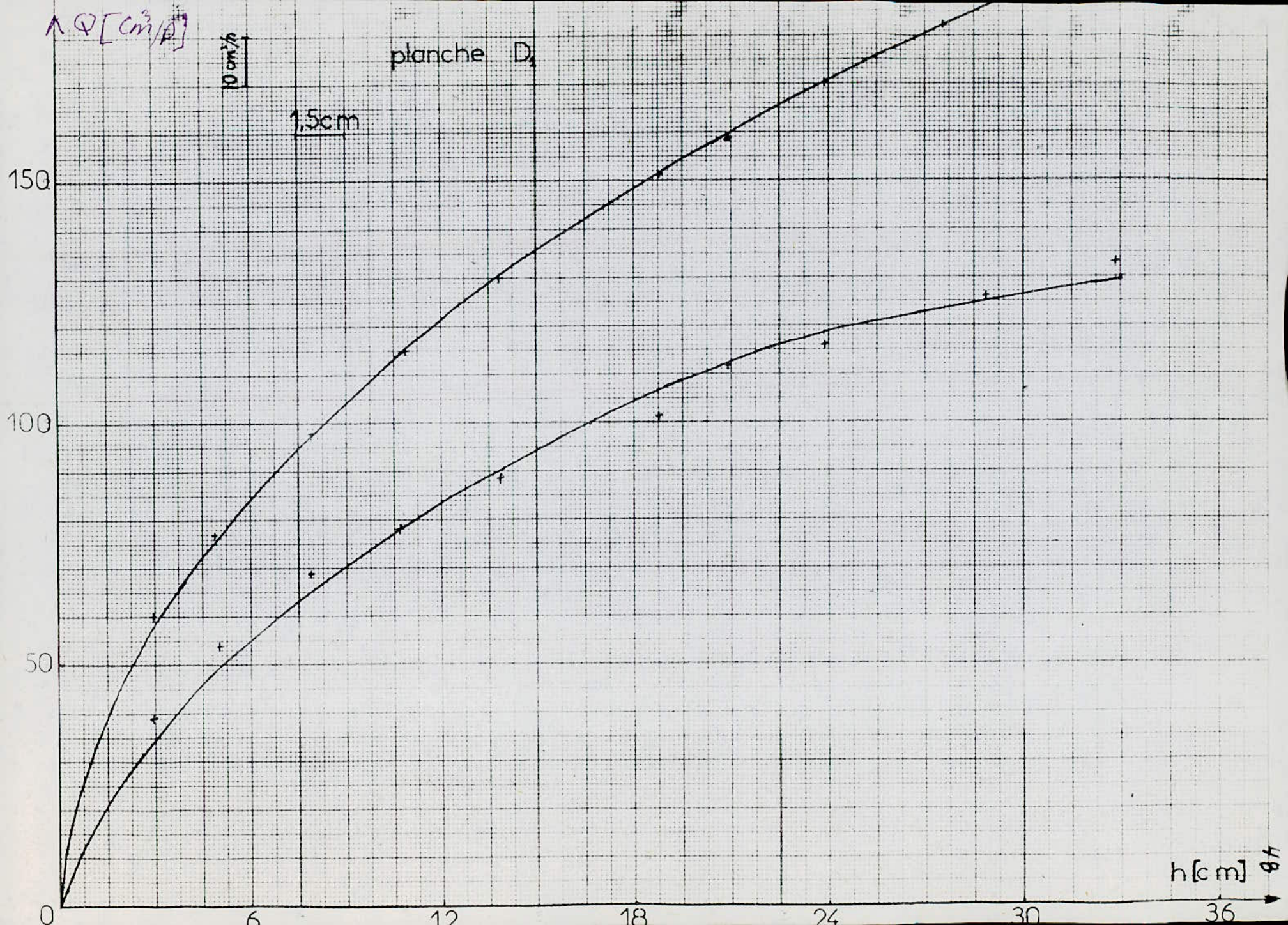
On le déduit directement par la relation.

$\Delta \varphi [cm^3/h]$

10 cm/h

1,5cm

planche D<sub>1</sub>



$h [cm]$

47

$$C(\eta) = \frac{Q_r \text{ Corrigé}}{Q_t}$$

le tableau B regroupe les valeurs tirées de la planche  $D_1$  qui exprime  $C = C(\eta)$  en planche  $D_2$

### 3.6.7 Recherche du coefficient de contraction $\epsilon$

$$\text{On } S_r = \epsilon \cdot S \quad 0 < \epsilon < 1$$

$\phi_2$  est mesuré grâce à l'estimation de l'épaisseur du jet sortant à l'aide d'un pied à coulisse, on obtient ainsi la section contractée  $S_r$ :

$$\text{Soit } d_r = 8,1 \text{ mm} \quad \text{et } S_r = \pi \frac{d_r^2}{4}$$

$$\text{Or on sait que : } d = 10 \text{ mm} \quad S = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$\text{d'où : } \epsilon = \frac{S_r}{S} = \left(\frac{d_r}{d}\right)^2 = \left(\frac{8,1}{10}\right)^2 = (0,81)^2$$

### 3.6.8 Evolution de $C$ en fonction du nombre de Reynolds $Re$ :

Pour obtenir le nombre de Reynolds rapporté au diamètre réel du jet, soit  $d_r$ , on doit calculer la vitesse  $v_r$

$$Re = \frac{v_r \cdot d_r}{\nu}$$

où:  $v_r$  la vitesse réelle du jet et  $\nu$  la viscosité cinématique de l'eau.  $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Le débit réel est donné par la relation suivante:

$$Q_r = v_r \cdot S_r$$

$\lambda_c$

0,05

planche D<sub>2</sub>

1,5 cm

0,75

0,5

0,25

0

6

12

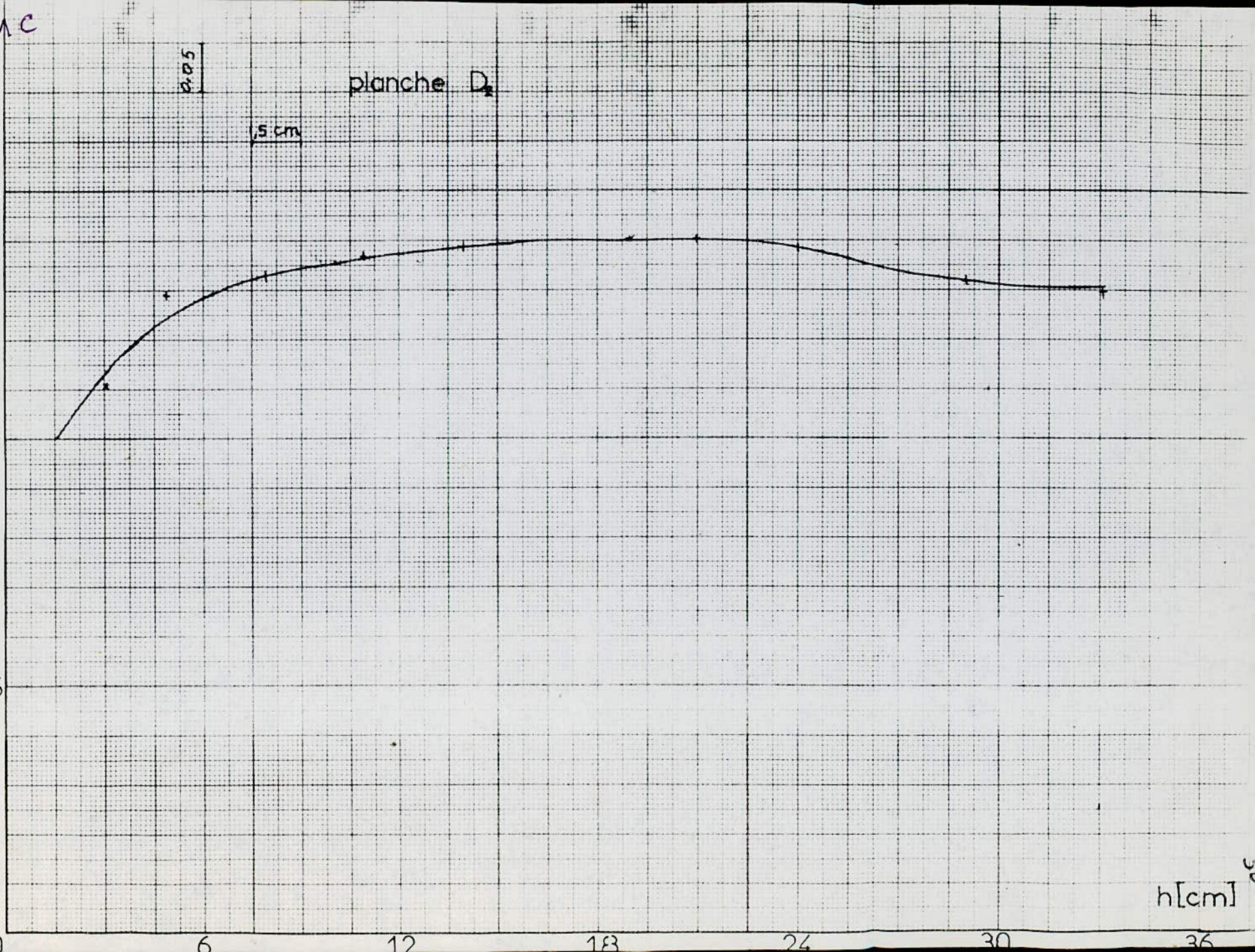
18

24

30

36

$h$ [cm]



ou:  $S_r = \pi \frac{d^2}{4}$

D'où:  $v_r = \frac{Q_r \cdot 4}{\pi d^2}$  ces valeurs sont rapportées sur le tableau B

Enfin  $Re = \frac{v_r \cdot d_r}{\nu} = \frac{4 \cdot Q_t}{\pi \nu d_r}$ ; Loi de variation

$Re = \frac{v_r \cdot 0,181}{1,14 \cdot 10^{-2}}$  ces valeurs sont rapportées sur le tableau B

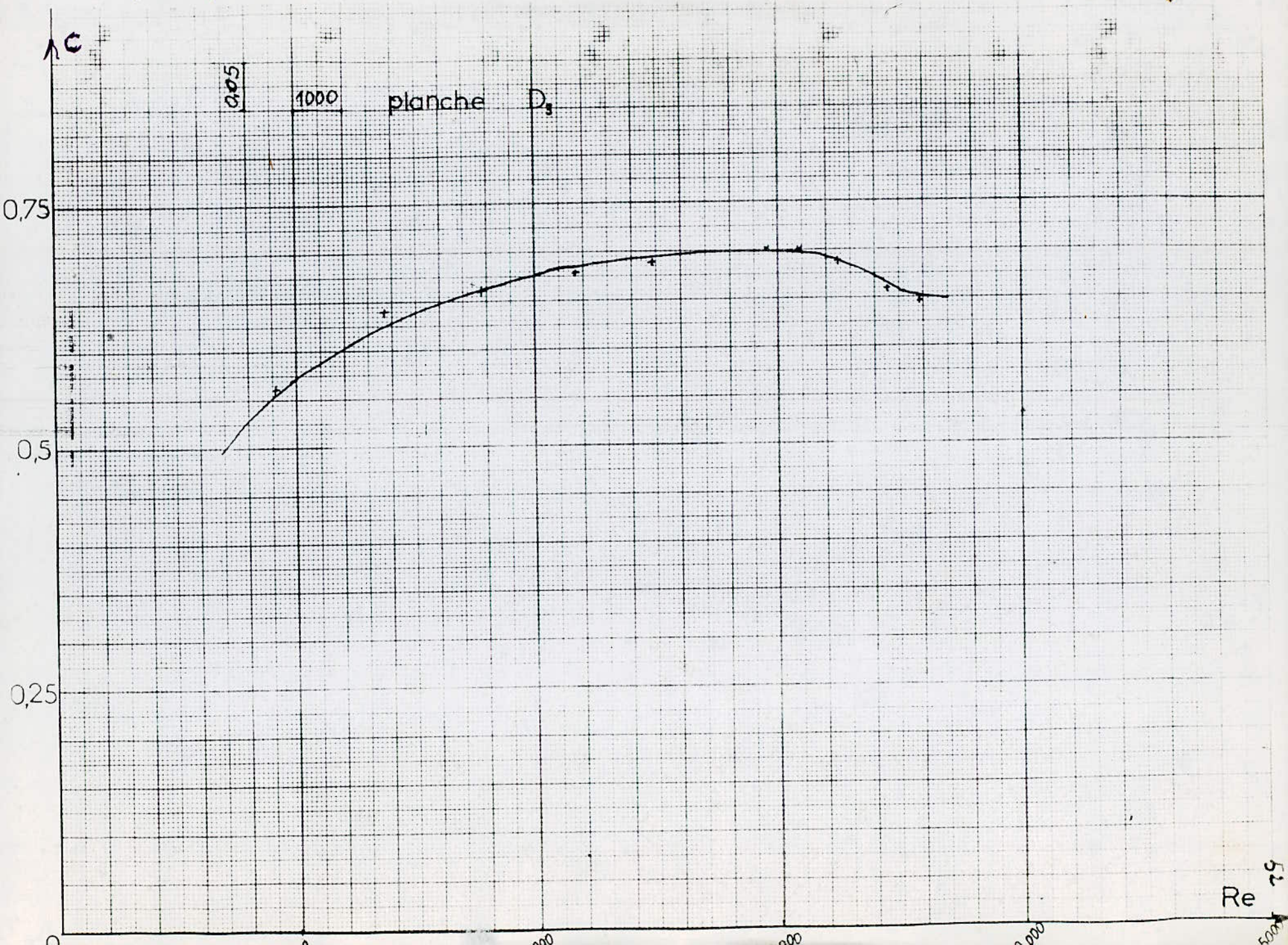
Or  $v_r = C_v \sqrt{2gh} = C_v \sqrt{2gH}$

$C_v = \frac{C}{\varepsilon}$  et  $\varepsilon = \left(\frac{dr}{d}\right)^2$

D'où:  $Re = \frac{C d^2 \sqrt{2gH}}{d_r^2 \nu} \cdot d_r$

Soit:  $C = \nu \frac{d_r}{d^2} \cdot \frac{Re}{\sqrt{2gH}}$

C'est l'évolution du Coefficient de débit en fonction du nombre de Reynolds  $Re$ , ainsi on a représenté dans la courbe  $C(Re)$ . planche D3.



# COÛT DE L'INSTALLATION

53

Plexi-glace	1663,20	DA
Cornière	700,00	DA
Colle pour plexi-glace	100,00	DA
Boulons + écrous	268,00	DA
TOTAL	2731,20	DA

Coût d'une installation semblable:

D'après le TROLABO (FRANCE) le prix total d'une installation semblable est de :

20000,00 FF (y compris le matériel, la main d'œuvre et le transport.)

## CONCLUSION

Sur la planche  $D_1$ , on constate sur les deux courbes théorique et réelle :

- Pour toute la variation de  $h$  (charge), le débit théorique est nettement supérieur au débit réel.
- Les variations des deux courbes réelle et théorique sont pratiquement semblables.
- L'écart entre  $Q_t$  et  $Q_r$  est une fonction croissante de la charge ( $h$ )

- Dans la planche  $D_2$  :

On constate une faible variation de  $C$  en fonction de ( $h$ ) néanmoins une légère augmentation de  $C$  se fait apparaître avec l'augmentation de ( $h$ )

- Dans la planche  $D_3$  :

On constate que la variation de  $C = f(h_e)$  est pratiquement semblable à celle de  $C = f(h)$

Enfin il faut noter que ce banc expérimental a été réalisé dans le but d'enrichir le laboratoire d'application à la mécanique des fluides et d'éviter ainsi des dépenses en devise pour le pays.



Notre souhait est de voir l'école encouragé  
effectivement de telles initiatives, en mettant les  
matières d'œuvre à la disposition de l'étudiant,  
Car actuellement la participation du départem-  
ent est presque inexistante.

Cette manipulation a été entièrement financée  
par l'étudiant et le promoteur.

# BIBLIOGRAPHIE

- Y. FADDEEV  
MECANIQUE DES FLUIDES
- E.A. BRUN  
MECANIQUE DES FLUIDES (T, I, II)
- SERIE SCHAUM  
MECANIQUE DES FLUIDES
- DUNOD  
MECANIQUE DES FLUIDES  
APPLIQUEE (T, I)
- I.N.H. DE BOUMERDES  
HYDRAULIQUE GENERALE
- M. CARLIER  
HYDRAULIQUE GENERALE  
ET APPLIQUEE
- E.N.P.A  
COURS DE MECANIQUE DES  
FLUIDES.

