

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1/70



1Ex

# THESE DE FIN D'ETUDES

REALISATION  
D'UN MINI - LABORATOIRE  
D'HYDRAULIQUE



PROPOSEE PAR  
M<sup>r</sup>. G. LAPRAY

ETUDIEE et REALISEE par  
— NASRI Ahmed —



PROMOTION 70

المدرسة الوطنية للعلوم الهندية  
المكتبة  
-----  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

-//// NIVERSITE D' //(-) LGER -

- //(-) COLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D' //(-) LGER -

- R E A L I S A T I O N -

D' U N

//( I N I - L A B O R A T O I R E

D' //(-) Y D R A U L I Q U E

PROPOSEE par:

M. G. L A P R A Y.

ETUDIEE ET REALISEE par:

//( A S R I Ahmed

-----oo0oo-----

- P R O M O T I O N 70 -

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكينة

-----  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

II e profite de l'occasion qui m'est offerte pour remercier tous les Professeurs qui ont contribués à ma formation d'Ingénieur et particulièrement Monsieur G.LAPRAY pour son aide efficace.



PREFACE

La recherche de l'économie des essais d'hydrauliques sur modèles réduits incite à réduire l'échelle des dits modèles au minimum compatible avec les exigences de la similitude; la diminution des dimensions ayant pour suite une très forte réduction des frais et un gain de temps très considérable.

Il est notoire, que pour les ouvrages longs, le minimum de l'échelle linéaire  $\lambda_{\min}$  est imposé par le seuil de REYNOLDS; mais dans le cas des ouvrages courts, où la viscosité et les pertes de charges linéaires n'entrent pas en ligne de compte, (par exemple l'écoulement par un orifice, par un déversoir, par un PARSHAL, ect ...) le seuil de REYNOLDS n'a aucune influence sur le phénomène .

Il nous a apparu par contre bien évident que la diminution de l'échelle, au delà d'une certaine valeur limite du nombre de WEBER doit avoir pour suite l'accroissement de l'influence des forces dûes à la tension superficielle, de sorte que celles-ci ne peuvent plus être négligeables par rapport aux forces dûes à la pesanteur et à l'inertie. Dans un tel cas la validité de la similitude de REECH FROUDE ne pourrait subsister qu'en cas d'une identité du nombre de WEBER sur le modèle et le prototype, ce qui n'est possible que s'il y a compatibilité entre la similitude de REECH FROUDE et celle de WEBER.

En effet :



- Condition de WEBER :

$$\frac{v_1^2 l_1 \rho_1}{\sigma_1} = \frac{v_2^2 l_2 \rho_2}{\sigma_2} \text{ ----- (1)}$$

- Condition de REECH FROUDE :

$$\frac{v_1^2}{g l_1} = \frac{v_2^2}{g l_2} \text{ ----- (2)}$$

$$l_2 = \lambda l_1 \text{ ----- (3)}$$

$$v_2 = \lambda_v v_1 \text{ ----- (4)}$$

En éliminant  $L_2$  et  $V_2$  entre (2), (3) et (4) on tire :

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \Rightarrow \lambda_v = \sqrt{\lambda} \text{ ----- (5)}$$

En appelant  $\beta$ , le rapport entre la tension superficielle et la masse volumique  $\rho$ , tension superficielle cinématique et en posant :

$$\frac{\sigma}{\rho} = \beta \text{ ----- (6)}$$

l'équation (1) devient :

$$\frac{v_1^2 l_1}{\beta_1} = \frac{v_2^2 l_2}{\beta_2} \text{ ----- (7)}$$

d'où

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{v_2^2 l_2}{v_1^2 l_1} \text{ ----- (7')}$$

Soit :

$$\lambda \beta' = \lambda^2 \text{ ----- (8)}$$

c'est-à-dire les conditions de la similitude de REECH FROUDE et de la similitude de WEBER ne pourraient être respectées que si l'équation (8) était satisfaite. Ce qui est absolument impossible, si les liquides passant par les modèles d'une part et

le prototype d'autre part, sont les mêmes.

Le but de l'expérimentation qui a été confié par notre promoteur Monsieur G. LAPRAY à notre équipe : RADWAN, TADJ, SOUBRA, NASRI, consiste à rechercher la valeur limite du nombre de WEBER au dessous duquel la similitude de REECH FROUDE n'est plus valable. Pour effectuer les recherches exposées ci-dessus il a été nécessaire de concevoir et de réaliser un appareil susceptible d'alimenter en circuit fermé les divers appareils réalisés par mes collègues par des faibles débits réglables à volonté ( 0,01 - 3 l/sec.) contrôlés à l'amont.

-----ooooOoooo-----

I N T R O D U C T I O N

-----

Le projet que j'ai eu à étudier et à réaliser en pratique est une station de pompage en modèle réduit ou un mini laboratoire. Ce mini laboratoire nous permet d'avoir plusieurs débits différents. Ces débits sont essentiellement faibles et serviront aux recherches sur petits modèles : objets de thèse de mes camarades. Ce mini laboratoire présente beaucoup d'avantages : faibles dimensions et légèreté. D'où la possibilité de le déplacer dans tous les coins du laboratoire d'hydraulique.

Ensuite, il a été réalisé en plexiglas : matière transparente, facile à travailler à l'aide des machines de l'atelier de menuiserie. Sa réalisation a demandé une main-d'œuvre assez réduite. Nous remarquons que tous ces avantages réduisent énormément le prix de revient de cet ouvrage et augmentent les possibilités d'utilisation de celui-ci.

Ce laboratoire comporte plusieurs organes nouveaux jamais réalisés dans le passé, comme le siphon autonivellateur à double déviateur, trois débits-mètres à section rétrécie en forme de segment, trois vannes à orifice triangulaire permettant le réglage du débit suivant une progression géométrique.

Tous ces organes sont réalisés en plexiglas. Ils vous seront décrits en détail dans le présent traité.

Nous voyons que pour alimenter des appareils réalisés en petits modèles servant aux recherches, il suffit d'avoir un petit laboratoire qui donnerait des faibles débits nécessaires. Il sera plus utile et beaucoup moins cher qu'un grand laboratoire et puis il a l'avantage qu'il peut être réalisé en un temps très court.

-----ooooOoooo-----

## II) PRESENTATION -----

Un laboratoire d'hydraulique est un ensemble d'installations, de dispositif et d'appareils destinés à l'étude des phénomènes du mouvement des liquides. Dans notre cas, nous avons un laboratoire de distribution d'eau. Il est aménagé en vue des essais sur modèles.

## III- EQUIPEMENT DU LABORATOIRE -----

Il se compose de groupe d'installations suivantes :

- 1) Les installations alimentant les dispositifs de mesure à savoir : le groupe moto-pompe, le bassin d'alimentation et les dispositifs de commande.
- 2) Les conduites d'alimentation avec la robinetterie et les dispositifs de commande.
- 3) Les dispositifs de mesures : venturimètres , manomètres.
- 4) Le régulateur de niveau : le siphon autonivellateur à deux déviateurs.

## IV) CLASSIFICATION DES INSTALLATIONS D'ALIMENTATION -----

- Le bassin d'alimentation, ayant une capacité appropriée et un plan d'eau situé à une hauteur correspondant à la charge amont nécessaire permet d'assurer des conditions constantes d'alimentation des installations et constituent de ce fait les meilleures installations pour l'installation du laboratoire d'hydraulique.

- l'emploi de groupe moto-pompe offre les plus grandes facilités de faire varier le débit, en les mettant en service et non service suivant les besoins en eau des installations de mesures du laboratoire. L'inconvénient de l'alimentation des conduites de mesure directement par la pompe est la transmission aux dispositifs étudiés des vibrations périodiques causées par les impulsions des aubes de la roue et difficile à supprimer complètement, même en employant des moyens amortissant ces vibrations.

Par contre, l'alimentation directe des conduites de mesure au moyen de pompes volumétriques (à piston ou à piston plongeur) est inadmissible en raison de l'effet nuisible des fluctuations de la pression sur le fonctionnement des appareils étudiés.

II)  
// ( E M A R Q U E :  
-----

Le projet est essentiellement d'ordre pratique, j'essayerai donc de vous faire une description assez détaillée de tous les organes faisant partie de l'ouvrage. D'abord le projet est un mini-laboratoire d'hydraulique qui va servir à distribuer des débits permanents contrôlés afin d'alimenter des modèles réduits qui doivent fonctionner moyennant une charge constante.

-----ooooOoooo-----

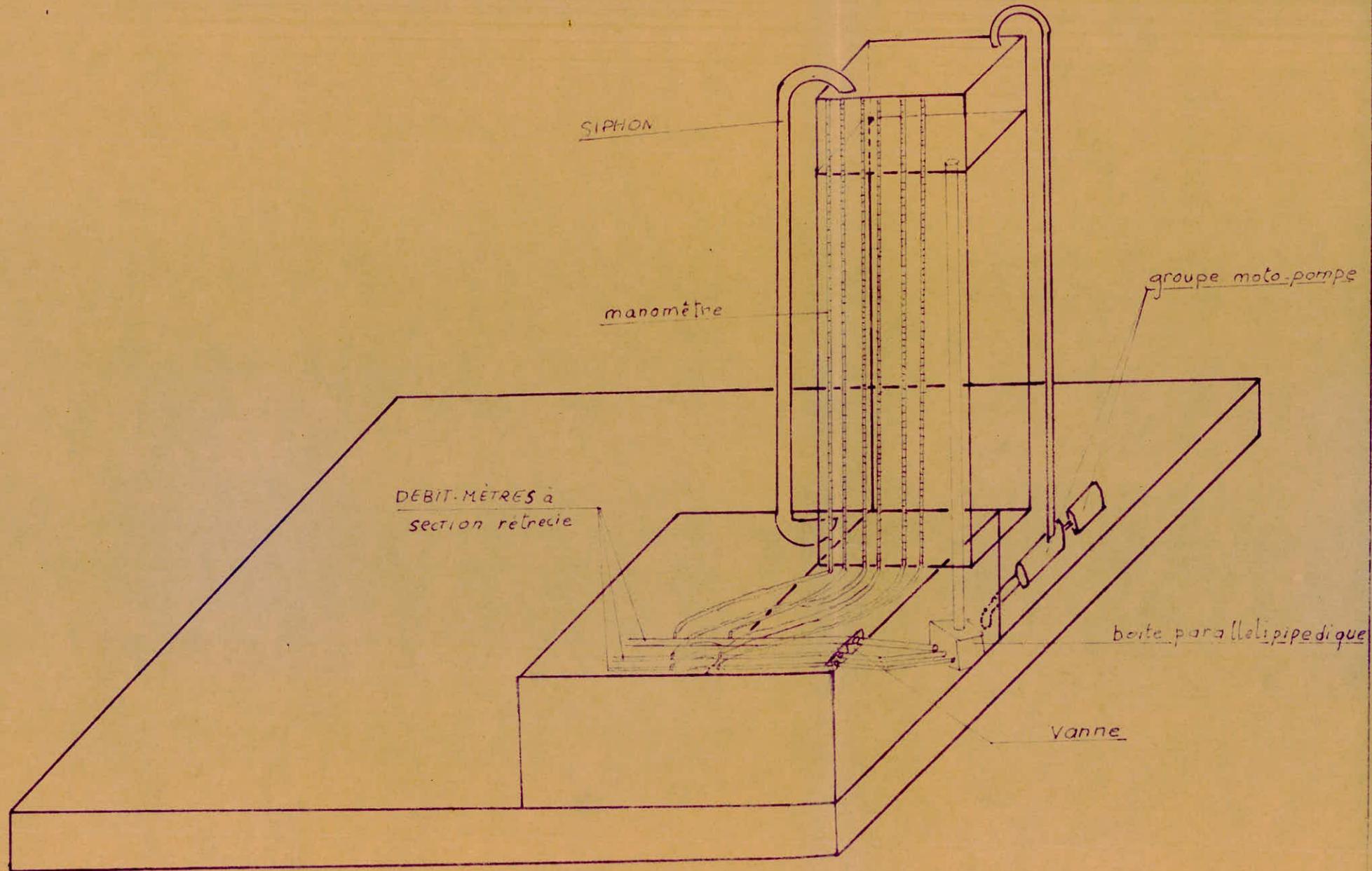
II) DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'OUVRAGE  
-----

Nous allons donner une description sommaire de l'ouvrage pour rendre plus familier les différents organes du mini-laboratoire.

D'abord à la base nous avons un grand bassin réservoir qui est tout le temps rempli d'eau. De ce bassin part un tuyau d'aspiration qui à l'aide d'une pompe centrifuge (actionnée par un moteur électrique) monte l'eau dans un bassin d'alimentation. Ce bassin doit avoir un niveau constant pour assurer le régime permanent et pour contrôler le débit. Pour cela on utilise un siphon autonivelateur, qui déverse dans le bassin réservoir. Du bassin d'alimentation descend un tuyau vertical qui débouche sur une boîte parallélépipédique. De cette boîte, partent trois tuyauteries dans lesquelles sont intercalées trois vannes. Ces tuyauteries alimentent trois venturimètres de différents diamètres. De ces venturimètres, on peut faire des mesures de pression à l'aide de manomètre différentielle dans la section rétrécie et l'amont de celle-ci. Pour vous donner un aperçu plus clair, nous avons fait un dessin d'ensemble.

-----ooooOoooo-----

# SCHÉMA D'ENSEMBLE



- DESCRIPTION DETAILLEE DE L'OUVRAGE -

SIPHON AUTONIVELLEUR:

Le fonctionnement du mini-laboratoire est conditionné par la possibilité d'alimenter des modèles et structures à essayer par un débit permanent contrôlé. Pour assurer le caractère permanent des appareils de contrôle de débit (venturimètres) doivent fonctionner moyennant une charge constante, ce qui nécessite à maintenir dans le bac d'alimentation un niveau constant; celui-ci est assuré par un siphon autonivelleur ayant :

- La capacité de déverser dans la réserve d'eau, un trop plein équivalent au débit total de la Station de Pompage.
- L'amorçabilité telle que tout débordement soit évité.

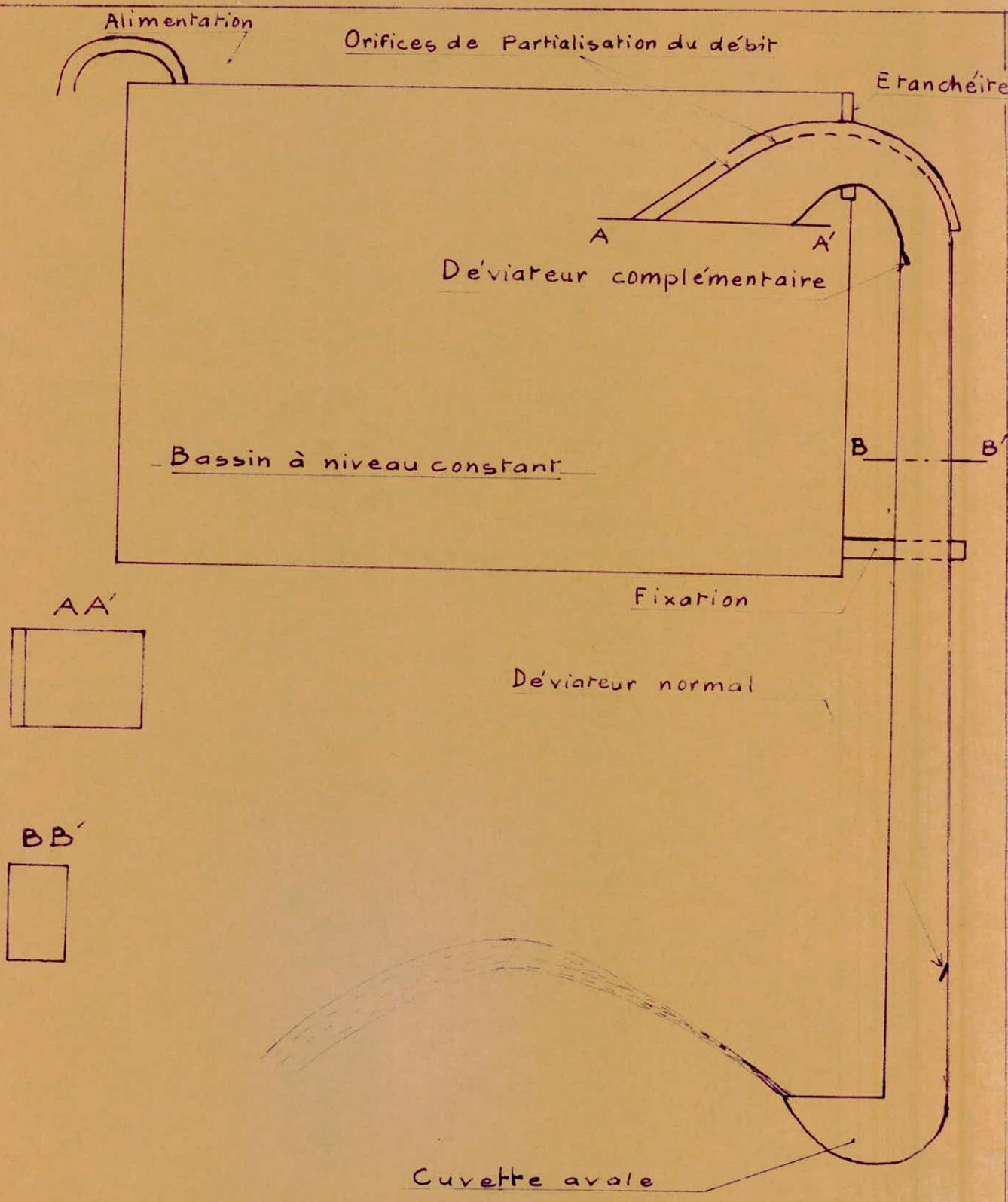
Avant de réaliser ce siphon, nous avons étudié les performances (débit, amorçabilité, rendement) de ce type de siphon sur un modèle réduit et extrapoler les résultats obtenus en application de la similitude de Reech-Froude au siphon réalisé à cet effet.

DESCRIPTION DU SIPHON: (Figure S.I.)

Le siphon a été totalement réalisé en plexiglas, matière relativement facile à modeler. La rugosité y est nulle, ce qui facilite d'ailleurs l'emploi des lois de similitude de REECH-FROUDE.

Le siphon se compose:

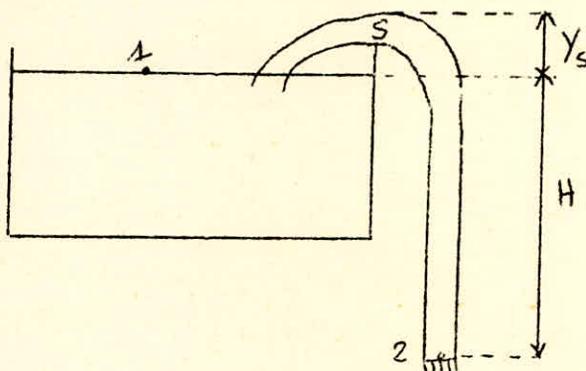
- d'une conduite à profil rectangulaire en forme de siphon.
- d'un col supérieur largement ouvert et comportant une échancrure triangulaire.
- d'une double cloison médiane dans le col supérieur portant une série d'orifices.
- de 2 déviateurs, un sur chaque paroi de la conduite droite du siphon.



DESCRIPTION D'UN SIPHON AUTONIVELLATEUR

PRINCIPE GENERAL DE FONCTIONNEMENT D'UN SIPHON:

Le siphon en général est une conduite forcée curviligne tel qu'il est représenté sur la figure suivante. Il conduit le liquide d'abord à un niveau supérieur à celui de la surface libre dans le récipient, change la direction dans la partie cintrée et déverse finalement par un orifice situé au dessous du niveau du plan liquide amont.



Il existe certaines limitations de ses possibilités de fonctionnement en raison des basses pressions qui se manifestent aux environs de son sommet S.

En supposant que le tube du siphon est entièrement plein de liquide, c'est à dire qu'au passage dans le siphon, la colonne liquide est continue, l'application de la loi de BERNOUILLI aux sections 1 & 2 conduit à l'équation de la charge:

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{\sum V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

ou f désigne le coefficient de frottement (abaque de Moody).

L " La longueur de la conduite .

D " Le diamètre de la conduite.

$\sum$  " La somme de tous les coefficients de pertes de charges singulières.

V " La vitesse du liquide dans le siphon.

En mettant en facteur la hauteur capable de la vitesse, l'équation ci dessus devient:

$$H = \frac{V^2}{2g} \left( 1 + \sum + \frac{fL}{D} \right)$$

Connaissant le débit et la section donc la vitesse et en supposant un certain  $f < 0,03$  on tire H.

La pression au sommet se détermine en application de l'équation de BERNOUILLI aux sections 1 & 5.

$$0 = \frac{V^2}{2g} + \frac{p_s}{\bar{\omega}} + \gamma_s + \sqrt{V'} \frac{V^2}{2g} + f \frac{L'}{D} \frac{V^2}{2g}$$

désignant la somme de tous les coefficients de pertes de charges singulières intervenant entre les sections 1 & 5. et  $L'$  la longueur de la conduite entre les mêmes points, on tire de l'équation précédente:

$$\frac{p_s}{\bar{\omega}} = -\gamma_s - \frac{V^2}{2g} \left( 1 + \sqrt{V'} + f \frac{L'}{D} \right)$$

Cette équation montre que la pression en 5 est négative et qu'elle diminue au fur et à mesure que  $\gamma_s$  et  $\frac{V^2}{2g}$  augmentent.

Si la valeur décroissante de  $p_s$  atteint sa limite constituée par la tension de vapeur ( $p_v$ ) les équations précédentes cessent d'être valables mais l'écoulement n'arrêtera que lorsque:

$$\bar{\omega}_s + p_v \geq p_a$$

Pratiquement le siphon ne fonctionne correctement que si la valeur de  $p_s$  est franchement supérieure à la tension de vapeur.

L'air et les autres gaz en solution dans l'eau se dégagent et s'accumulent sous l'effet de la basse pression en formant des bulles stationnaires dans la partie supérieure du siphon réduisant ainsi sa section utile.

#### FONCTIONNEMENT D'UN SIPHON AUTONIVELLATEUR A L'AMORCAGE:

L'essentiel de l'amorçage consiste à provoquer par un moyen quelconque une surélévation de l'eau à l'intérieur du siphon et à introduire ainsi une veine d'eau qui:

- soit constitue l'écoulement final recherché
- soit provoque l'amorçage lui même.

En effet, il est possible que dans certains cas, cette veine constituant l'écoulement initial remplisse entièrement l'intérieur du siphon:

L'amorçage est alors instantané.

Le plus souvent, cette veine initiale n'occupe que partiellement l'intérieur de l'appareil. Elle agit alors à l'aide d'un dispositif (déviateur) placé à l'intérieur du siphon comme de "Trompe à vide". Il se crée ainsi, dans cette conduite une dépression qui accélère l'introduction de l'eau, la veine initiale se gonfle alors au fur et à mesure, éliminant peu à peu l'air restant à la partie supérieure du siphon: L'amorçage est alors progressif.

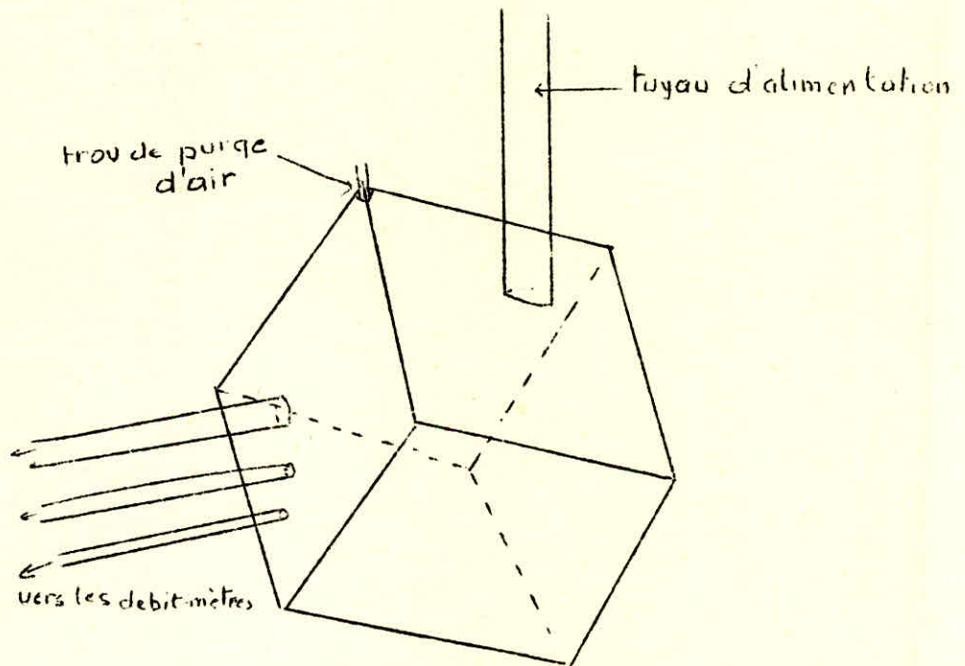
-----oooOooo-----

BOITE PARALLELIPIPEDIQUE:

En effet la forme de cette boîte n'est pas tout à fait parallé-  
lipipédique; elle a une forme assez particulière. Elle a été  
étudiée de manière à ce qu'on ait un point haut. Sur ce point  
on a percé un trou pour purger l'air qui pourra se créer au  
moment du remplissage.

Dans cette boîte, arrive le tuyau qui communique avec le bac  
d'alimentation, et qui amène l'eau dans cette boîte, et partent  
les trois tuyaux qui alimentent les venturimètres.

Elle est placée sur une paroi du bassin réservoir, dans une posi-  
tion inclinée.



LES VANNES:

Description: ce ne sont pas des vannes ordinaires. Tout d'abord ce sont des vannes forcées. Elles sont formées d'une boîte parallélépipédique dans laquelle coulisse une plaque.

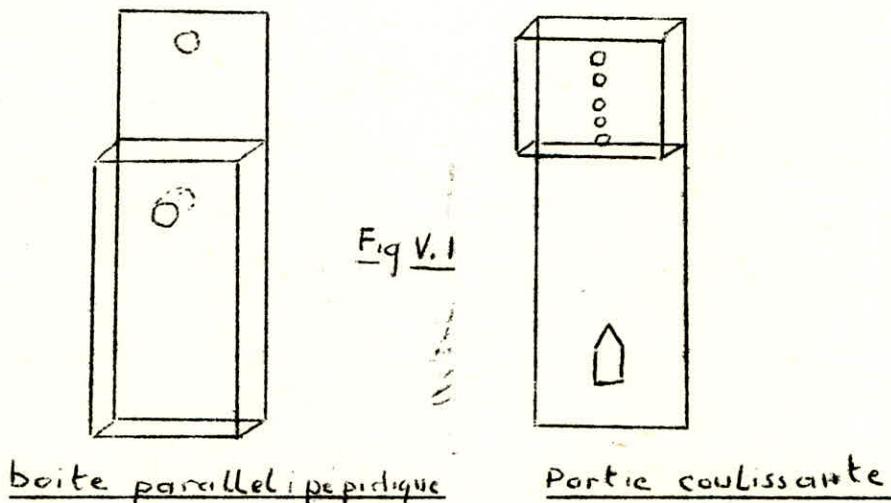
Ces vannes sont intercalées dans la tuyauterie à l'amont des débit-mètres (venturimètres) et servent à régler les débits.

La boîte parallélépipédique est percée de deux trous de part et d'autre, tandis que la partie coulissante est percée d'un trou triangulaire. (voir figure v. 1)

Fonctionnement:

Quand l'orifice de la plaque coulissante est au niveau des trous de la boîte parallélépipédique, le débit est maximum. A mesure qu'on descend la plaque coulissante, le débit diminue au fur et à mesure.

On manipule la plaque coulissante à l'aide d'un système de bras de levier: la plaque est percée à sa partie supérieure d'une rangée verticale de trous. On l'actionne à l'aide d'une tige qu'on passe à travers un trou situé sur la boîte.



LES MANOMETRES DIFFERENTIELS:

Ils sont constitués par des piézomètres ordinaires à eau.

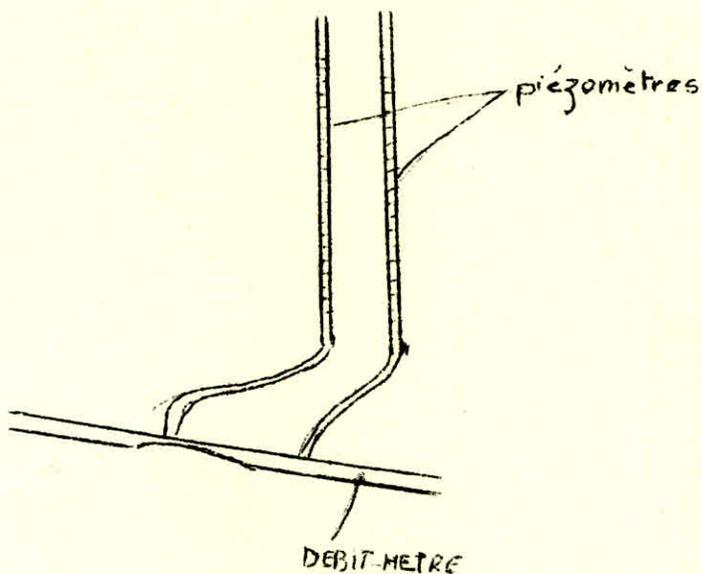
On a utilisé des tubes en plexiglas pour fabriquer ces piézomètres .Ces tubes sont rattachés par des raccords flexibles (munis de dispositifs de purge) transparents en nylon aux prises des pressions sur les débits mètres.

Ces prises de pression sont constituées par un orifice beaucoup plus faible que celui du tube du manomètre.Ceci élimine les fluctuations dans les tubes.

La lecture sur deux tubes déterminera la chute piézométrique

$Z$  intervenant dans le convergent, en raison de la transformation en énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pression.

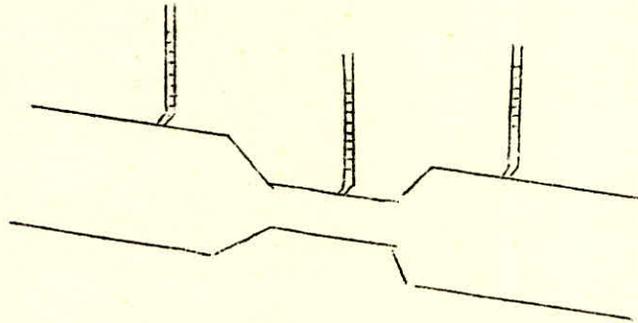
C'est en fonction de  $Z$  que nous pouvons contrôler le débit.



LES VENTURIMETRES:

- Phénomène de Venturi:

soit une conduite de section  $S$  variable parcourue par un fluide et pouvant présenter une inclinaison quelconque par rapport à l'horizontale (Fig.1).



Si on assimile cette conduite à un filet de courant, la vitesse  $V$  est uniforme dans une section quelconque. L'application du théorème de BERNOUILLI nous donne:

$$\frac{p^*}{\rho} + \frac{V^2}{2g} = cte$$

$$\text{avec } VS = cte$$

Si  $S \searrow$   $V \nearrow$  par suite  $p^* \searrow$  et inversement  $S$  et  $p^*$  varient donc dans le même sens.

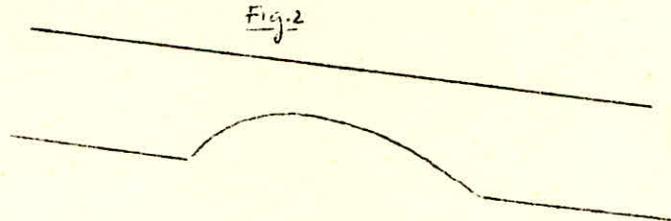
(Si la conduite était horizontale, on remplacerait  $p^*$  par  $p$ ).  
Des tubes piézométriques placés en diverses sections indiquent par conséquent des niveaux différents, niveaux d'autant plus bas que la section  $S$  est plus petite. Dans la partie la plus étroite de la conduite, il peut se produire ainsi des dépressions qui peuvent être importantes et qu'on utilise dans certains appareils: trompe à vide, éjecteur, etc... On utilise également cette propriété pour réaliser des débits mètres appelés tubes de venturi.

DEBIT-METRE A SECTION RETRECIE EN FORME DE SEGMENT:

Dans l'Hydraulique des conduites en charge, on mesure souvent le débit en produisant une variation de vitesse au moyen d'un rétrécissement du tuyau. Si l'on mesure le terme  $\frac{V^2}{2g}$  avant et dans le rétrécissement, on a la différence  $(V_2^2 - V_1^2) / 2g$  on peut déduire le débit  $Q$ . Le rétrécissement de la veine liquide peut être provoqué par un diaphragme (à bord tranchant), par une tuyère à bord arrondi ou par un tube de forme particulière inventé par Monsieur G. LAPRAY (Fig.2).

Ce tube n'a rien de commun avec le tube Venturi, si ce n'est qu'il est basé sur un rétrécissement graduel de la section suivi d'un élargissement graduel aussi, et qu'il sert également à la mesure des débits.

Les débits-mètres seront dans une position inclinée légèrement pour éliminer éventuellement les phénomènes de cavitations.



En principe, le débit-mètre à section retrécie consiste en un fort rétrécissement du tube suivi d'un élargissement qu'il prend la forme du tube.

Le grand avantage de ce débit-mètre consiste en la présence de faibles pertes de charges.

INCONVENIENTS DES VENTURIMETRES ORDINAIRES:

Afin d'éliminer toutefois les erreurs dues au phénomène de décollement (Fig.3) qui pourrait se produire dans la section rétrécie, on est obligé de prendre des prises de pression tout autour de cette section, (Fig.4).

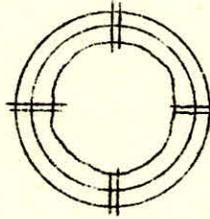


Fig. 3

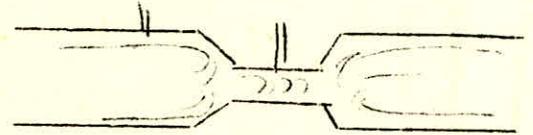
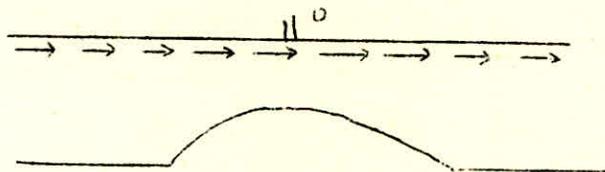


Fig. 4

Donc, la hauteur piézométrique qu'on aura, sera la moyenne arithmétique des différentes prises de pression.

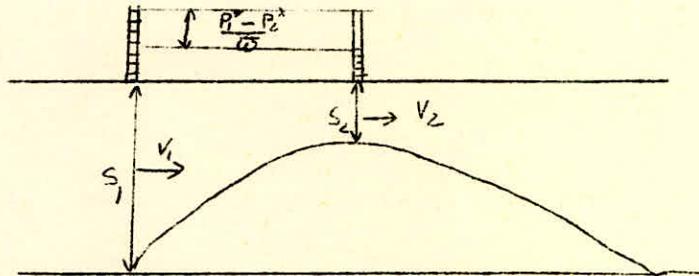
- Mais dans le cas des débits-mètres à section rétrécie en forme de segment, les filets de courant passant à proximité de la prise de pression ne sont pas déviés de leur direction primitive et restent rectilignes: ce qui exclue la formation des tourbillons pouvant affecter la valeur de la pression indiquée par le manomètre branché en O sur le tube (Fig.5).



Ce qui nous amène à ne prendre qu'une seule prise de pression dans la section rétrécie dans la partie où les filets de courant sont rectilignes et non perturbés.

CALCUL THEORIQUE DU DEBIT PASSANT DANS UN TUBE DE DEBIT-METRE  
A SECTION RETRECIE EN FORME DE SEGMENT/+

C'est une tuyauterie convergente -divergente qu'on intercale dans une section S, dont on veut déterminer le débit(Fig.6).



Entre l'amont et le col de section S<sub>2</sub> nous avons:

$$\frac{P_1^*}{\bar{w}} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2^*}{\bar{w}} + \frac{V_2^2}{2g}$$

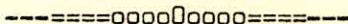
avec  $V_1 S_1 = V_2 S_2$

D'où: 
$$\frac{P_1^* - P_2^*}{\bar{w}} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} \left[ 1 - \frac{V_1^2}{V_2^2} \right] = \frac{V_2^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2 \right]$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{1 - \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2}} \sqrt{\frac{P_1^* - P_2^*}{\bar{w}}}$$

Et le débit de la conduite est donné par:

$$q_2 = S_2 V_2 = \frac{S_2 \sqrt{2g}}{\sqrt{1 - \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2}} \sqrt{\frac{P_1^* - P_2^*}{\bar{w}}}$$



### LE GROUPE MOTO-POMPE:

#### Principe de Fonctionnement:

Bien sûr, le groupe moto-pompe est composé, comme surnom l'indique d'un moteur (électrique) et d'une pompe centrifuge (Voir Fig. P1). Du point de vue physique, le fonctionnement d'une pompe consiste en ce qu'elle transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie Hydraulique, c'est à dire qu'elle transmet au courant liquide qui la traverse, une certaine puissance. La réserve d'énergie reçue par le liquide à l'intérieur de la pompe permet au courant de surmonter les pertes de charge et de s'élever jusqu'à une certaine hauteur.

La hauteur qui est créée par la pompe est donnée par la formule suivante:

$$H_P = \left( \frac{P_2}{\bar{\omega}} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_1}{\bar{\omega}} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

#### Caractéristiques de la Pompe:

Débit m<sup>3</sup>/s. Q = 4,5 l/s

Charge: H = 2 m

Vitesse de rotation: n = 1500 tr/min

Rendement: e = 70%

Le rendement de cette pompe tient compte de trois genres de charges qui ont lieu dans cette pompe: Les pertes Hydrauliques c'est à dire les pertes de charge dues aux frottements et à la formation de tourbillon, les pertes volumétriques qui sont causées par les fuites de liquide à travers les jeux de la pompe et les pertes mécaniques, c'est à dire les pertes dues aux frottements mécaniques dans les paliers.

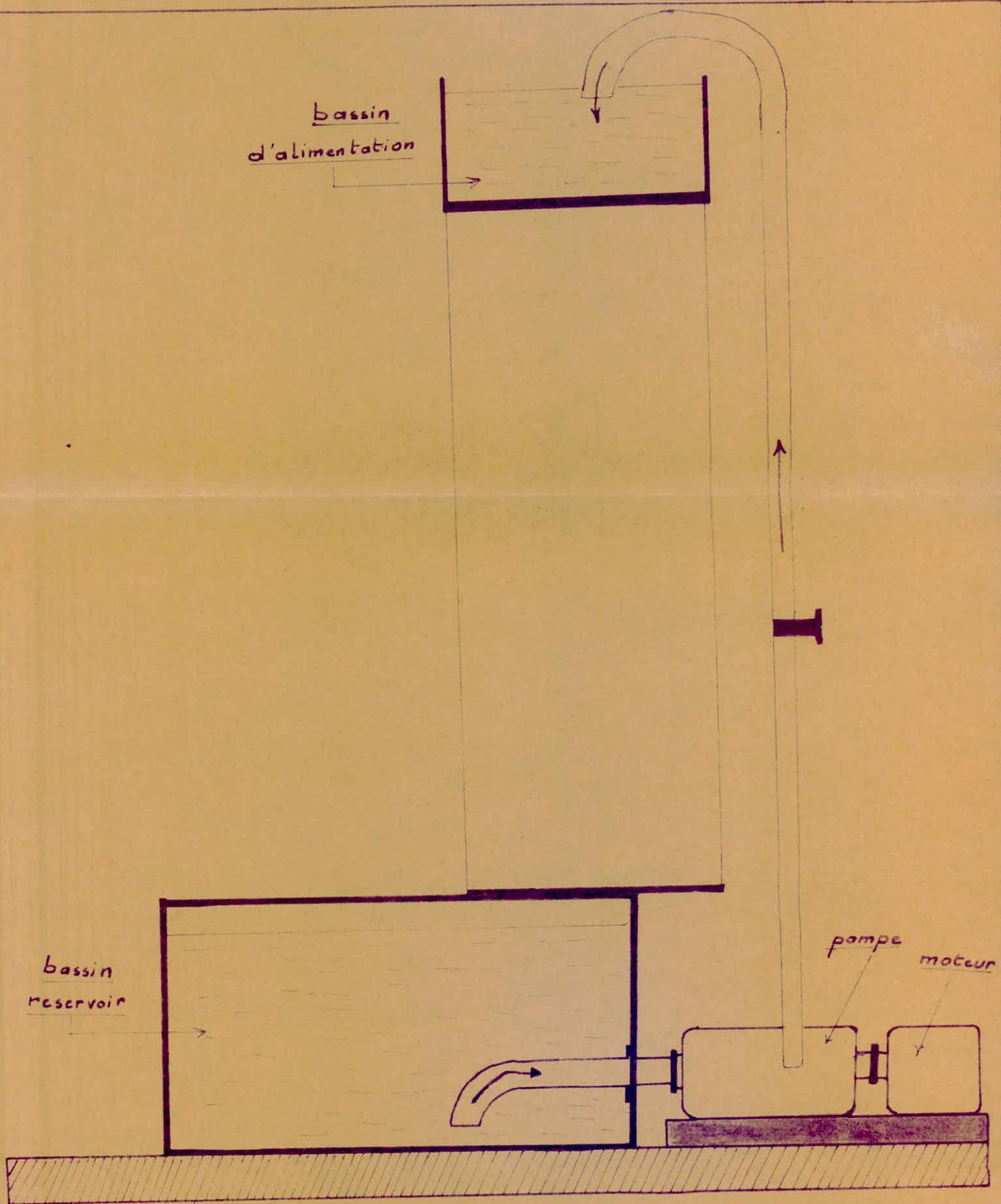


Fig P1

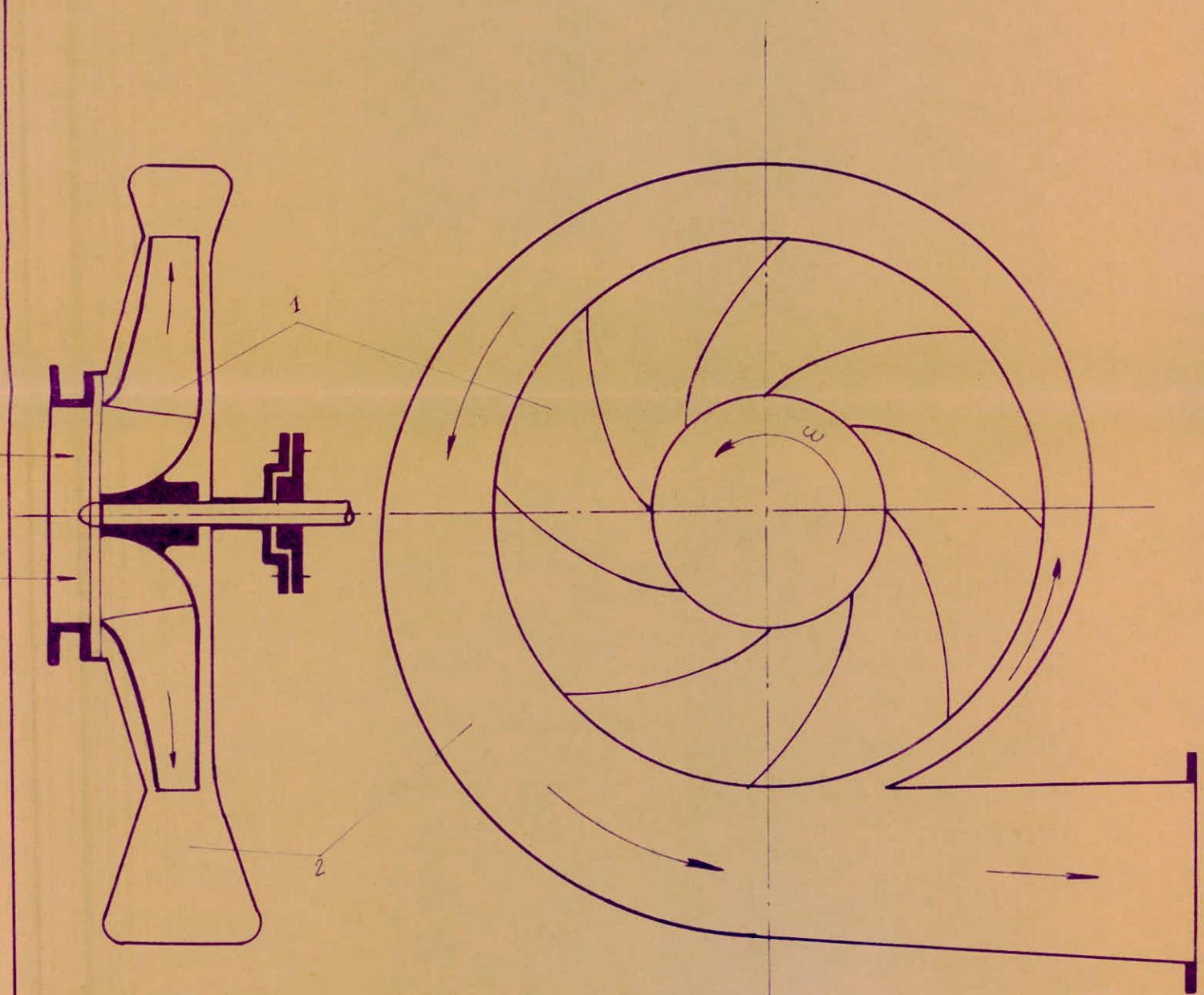
THEORIE D'UNE POMPE CENTRIFUGE:

Une pompe centrifuge tourne sous l'action d'un couple moteur appliqué sur son axe. Dans les turbines à réaction la pression de l'eau est transformée en vitesse, dans les pompes centrifuges au contraire c'est la vitesse de l'eau qui est transformée en pression. Une pompe centrifuge se compose essentiellement d'une roue mobile R ou rotor munie d'aubes sur son pourtour et d'un diffusier D (Fig. P<sup>2</sup>) qui est une roue fixe également munie d'aubes dites directrices et dont la courbure est inverse de celle des précédentes. L'ensemble est enfermé dans une bêche en forme de spirale C qui forme le corps de la pompe.

L'eau arrive du bief-aval par un tuyau d'aspiration A et pénètre latéralement par une ouïe O dans la roue R (au centre de celle-ci et perpendiculaire à la figure). Elle est projetée vers la périphérie où elle acquiert une grande vitesse en même temps que se produit vers le centre une dépression qui entretient l'aspiration dès que la pompe est amorcée.

L'eau traverse ensuite le diffusier D dont les canaux vont en s'élargissant vers l'extérieur et où elle abandonne la plus grande partie de sa vitesse qui se transforme en pression. Elle est enfin recueillie par la bêche C et pénètre dans le tuyau de refoulement r où elle monte jusqu'à une hauteur égale à celle représentant la pression qu'elle a acquise. On voit que la roue doit tourner d'autant plus vite que la hauteur d'élévation est plus grande.

La figure P.3 représente le diagramme polaire des vitesses à l'entrée de la roue et à la sortie. L'eau possède à l'entrée une vitesse absolue  $V_1$  qui se décompose en  $\vec{u}_1$  vitesse d'entraînement qui est tangente à la circonférence intérieure de la roue et  $\vec{v}_1$  vitesse relative, qui est la vitesse avec laquelle l'eau glisse sur l'aube. A la sortie, la particule considérée a une vitesse d'entraînement  $u_2$ , tangente à la circonférence extérieure de la roue, et une vitesse relative  $v_2$  tangente au dernier élément de l'aube; dès que la particule est sortie de la roue, ces deux vitesses se composent pour former la vitesse absolue  $V_2$  de sortie.



- 1. rotor
- 2. bache spirale

- Schéma d'une pompe centrifuge -

Fig. P.2

Toutes les pompes centrifuges n'ont pas de diffuseur; dans un certain nombre d'entre elles c'est la bêche qui en tient lieu c'est à dire opère la transformation de vitesse en pression. Suivant la direction de l'eau dans la roue, celle-ci est centrifuge (Fig.P.4/1.) hélico-centrifuge (Fig.P.4/2.) ou hélicoïde (Fig.P.4./3 et P.4/4.). La dernière de ces dispositions est celle d'une roue hélice. Dans une telle roue le filet moyen est animé d'un mouvement de translations parallèle à l'axe et un mouvement de rotations autour de cet axe, donc un mouvement hélicoïdal, d'où le nom donné à la roue.

Dans l'hélico-centrifuge, le mouvement d'abord hélicoïdal, tend à devenir centrifuge. Les roues centrifuges sont employées pour les hautes pressions et les faibles débits, les hélico-centrifuges et les hélicoïdes pour les faibles pressions et les débits forts.

On utilise des pompes centrifuges et hélico-centrifuges (dites aussi à écoulement mixte) pour des vitesses spécifiques entre 2400 et 31000. Le domaine d'application des pompes à hélice est  $24000 \leq N_{sp} \leq 52000$  en exprimant  $N$  en tours /mn. ( $N_{sp}$  = Vitesse spécifique)  $Q$  en litres par minute et  $H$  en mètres.

REMARQUE: La vitesse spécifique  $N_{sp}$  d'une série de pompes centrifuges homologues et définie comme la vitesse de l'une de celles-ci ayant des dimensions telles que le rendement  $\eta$  atteint sa valeur maximale pour un débit  $Q = 1$  élevé à la hauteur  $H = 1$

La figure P.5 représente les courbes caractéristiques: hauteur, rendement et puissance absorbée d'une pompe centrifuge en fonction du débit. Le rendement des pompes est plus faible, en général que celui des turbines en raison des pertes de charge occasionnées par la transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle de pression à la sortie du rotor.

On voit sur la figure P.4 les joues entre lesquelles sont fixées les aubes. Les roues sont quelquefois en fonte, mais le plus souvent en bronze ainsi que le diffuseur. Les arbres sont en acier et les corps de pompe en fonte.

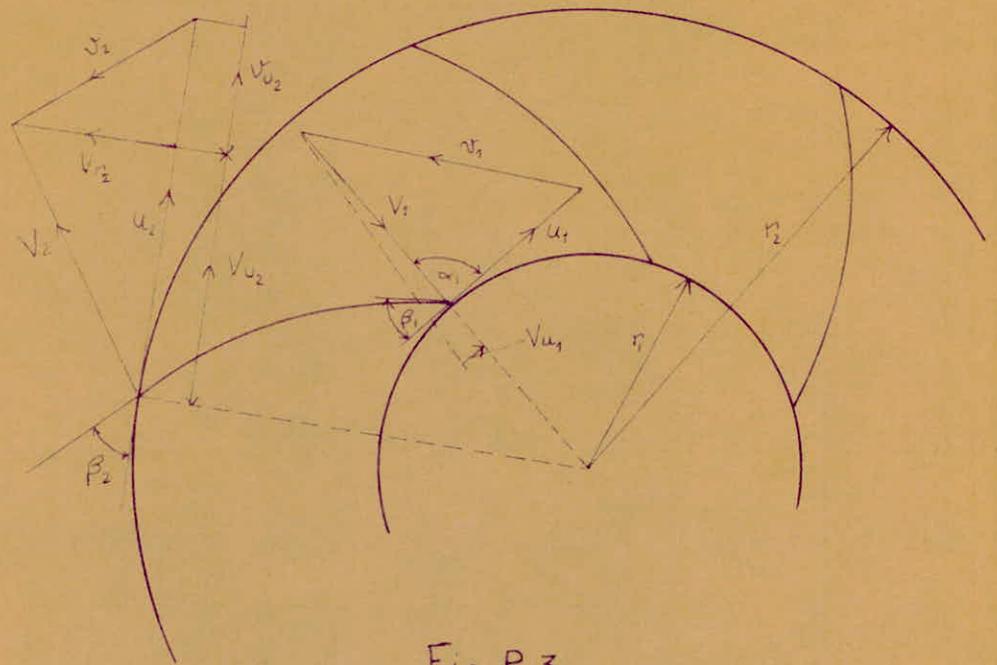
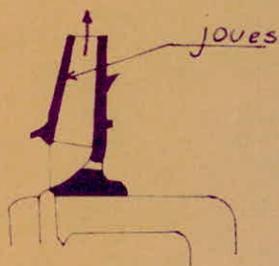
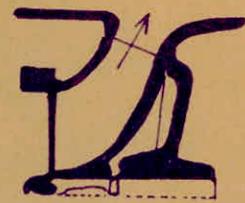


Fig. P.3

- Diagrammes polaires des vitesses à l'entrée de la roue et à la sortie. -

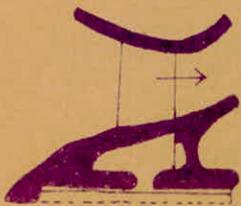


(1)

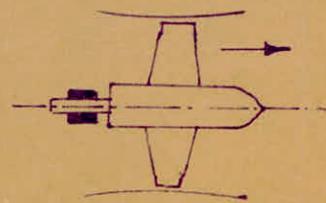


(2)

Fig. P.4



(3)



(4)

Par suite du jeu existant entre la roue R et le diffuseur D, de l'eau s'échappe entre les deux organes (Fig.P.6) et venant au contact des faces externes des deux joues J<sub>1</sub> et J<sub>2</sub> fait régner sur elles la pression de refoulement ; l'aire de J<sub>2</sub> étant plus grande que celle de J<sub>1</sub>, il en résulte une poussée axiale dirigée vers la gauche, c'est à dire vers l'ouïe O. Pour équilibrer cette poussée différents procédés sont employés, notamment celui qui consiste à diminuer la pression sur la face externe de J<sub>2</sub>. en perçant des trous dans cette face, près du noyau de la roue comme on le voit sur la Figure P.4 On peut également grouper deux roues sur le même arbre en les disposant en sens inverse (fig.P.7) on a ainsi une roue double à deux ouïes O et O'.

La figure P.8 donne, schématiquement l'installation d'une pompe centrifuge du pied de la conduite de refoulement on dispose un robinet vanne de réglage de débit et un clapet de retenue: une communication entre les deux faces de ce clapet fermé normalement par un robinet permet de remplir la pompe et la conduite d'aspiration s'il ya lieu. Le refoulement est raccordé avec la pompe par un cône de diffusion qui permet de dépasser du diamètre de l'orifice de la pompe à celui du refoulement, généralement plus grand, et dans lequel aussi, se termine la vitesse de l'eau en pression. Entre la pompe et la conduite d'aspiration on place également un cône de raccordement. Enfin, l'aspiration est terminée par un clapet de pied et une crépine. Les pompes centrifuges peuvent aspirer de 7 à 8 mètres, mais il y a intérêt à placer la pompe à faible distance du niveau aval. On y est d'ailleurs entraîné dans les pompes tournant à grande vitesse, car entre les niveaux d'aval et l'entrée de la roue distants verticalement de Z on a, en négligeant la vitesse au niveau d'aval et la perte de charge:

$$\frac{P_0}{\omega} = Z + \frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g}$$

P<sub>1</sub> et V<sub>1</sub> étant la pression et la vitesse à l'entrée du rotor, on en tire:

$$\frac{P_0}{\omega} = \frac{P_1}{\omega} - \left( Z + \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

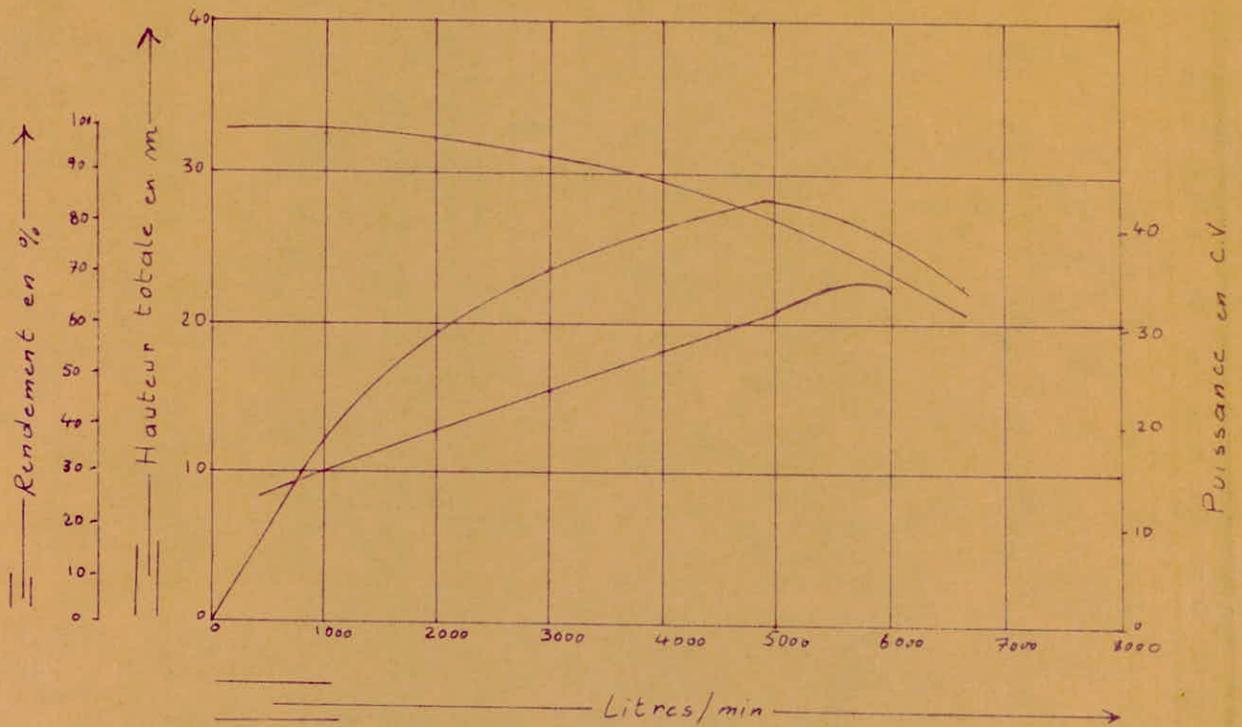


Fig. P.5

Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge-

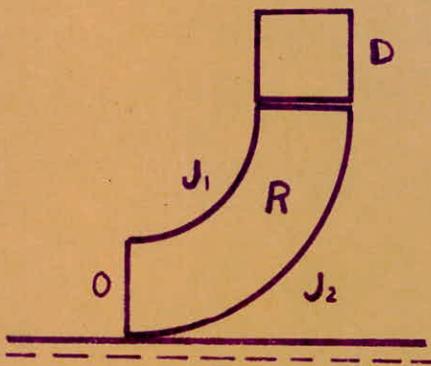


Fig. P.6

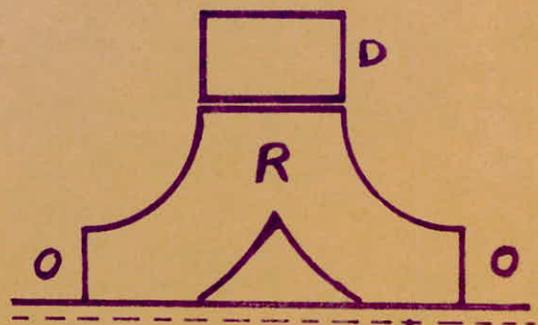


Fig. P.7

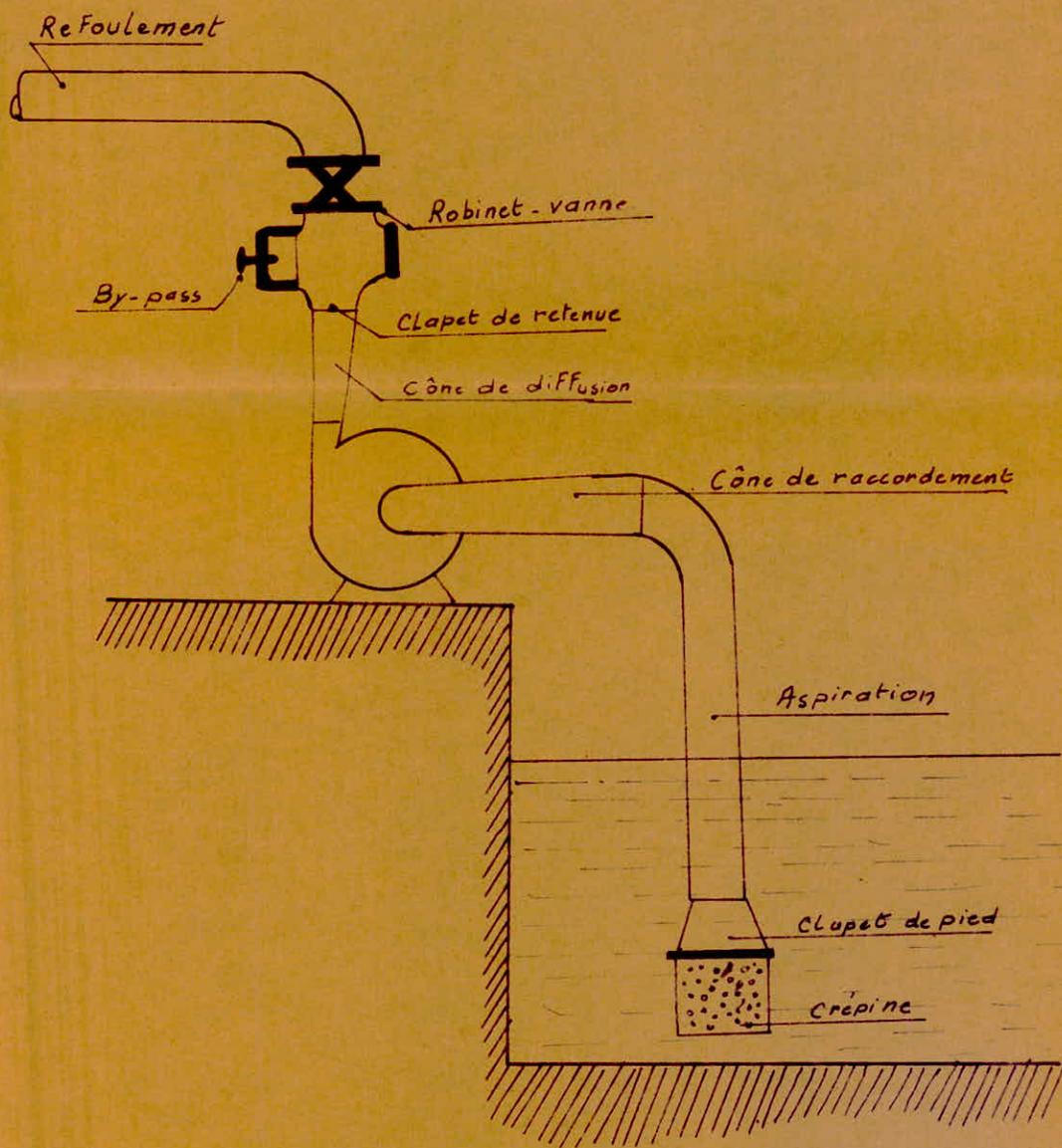
Pour les valeurs élevées de  $V_1$ , celle de  $Z$ , doivent être réduites de manière que  $P_0$  ne devienne pas négatives, auquel cas le liquide ne suivrait pas le mouvement de la roue; il y aurait CAVITATION. c'est à dire formation de vide. C'est pour prévenir ce phénomène qu'on adjoint quelquefois aux pompes centrifuges à grande vitesse une petite pompe auxiliaire spéciale qui injecte de l'eau sous pression dans l'ouïe de la pompe principale.

L'amorçage d'une pompe centrifuge peut se faire de différentes manières. Pour les petits modèles, on remplit d'eau la pompe et la conduite d'aspiration au moyen de l'entonnoir qui surmonte la pompe. Pour les modèles plus importants, on peut prévoir une petite canalisation spéciale commandée par un robinet, aboutissant à la partie supérieure de l'aspiration et alimenter par un réservoir ou un service d'eau sous pression. On peut aussi en ouvrant le robinet du by-passe de la Figure P.8, faire communiquer la conduite de refoulement avec la pompe et la conduite d'aspiration. on peut enfin faire le vide dans l'aspiration à l'aide d'un appareil spécial par exemple un éjecteur. Quelquefois, les pompes centrifuges sont noyées, c'est à dire installées entièrement dans l'eau, elles n'ont ni tuyau d'aspiration ni clapet de pied, et sont immédiatement amorçées; elles sont parfois, dans ce cas, à axe verticale.

#### EMPLOI DES POMPES CENTRIFUGES:

Les pompes centrifuges se sont beaucoup développées et l'on peut dire qu'elles conviennent aujourd'hui pour tous les usages.

Elles présentent de grands avantages par rapport aux autres systèmes. Tout d'abord, elles peuvent, à vitesse constante, élever les débits très variables, tout en conservant un bon rendement. N'ayant pas de joints elles conviennent même pour des eaux chargées de matières solides en suspension, par exemple des eaux boueuses. Elles sont très robustes et leur usure est lente, car tournant toujours dans le même sens les effets d'inertie, si fâcheux dans les machines alternatives ne se produisent pas. Elles sont moins encombrantes que les pompes à piston. Enfin, elles ont à débit et vitesse angulaire constants un couple résistant rigoureusement constant.



INSTALLATION d'une POMPE CENTRIFUGE

Fig. P. 8

Elles se prêtent très bien à l'entraînement par moteur électrique et turbine à vapeur. Ces machines étant précisément caractérisées par un couple moteur constant, celles ci ont en outre, comme les pompes centrifuges, une grande vitesse de rotation.

Le Rendement des pompes centrifuges est en général inférieur à celui des turbines en raison des pertes se produisant lors de la transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle de pression.

-----ooOoo-----

- H S S A I S E T R E S U L T A T S -

-----

- DISPOSITIFS D' ETALONNAGE -

1°/-GENERALITES:

Pour les petits débits, on recueille dans un récipient le volume d'eau écoulé pendant une durée  $t$ , et on en déduit le débit:  $Q = \frac{V}{t}$

Le volume  $V$  est mesuré directement dans la capacité jaugée, confectionnée à cette occasion.

Le temps  $t$  est observé à l'aide d'un chronomètre ordinaire.

2°/- APPAREILS D'ETALONNAGE: CAPACITE JAUGEE:

Cet appareil est un récipient composé de deux parties, la première métallique à section horizontale de  $6,25 \text{ dm}^2$  et l'autre en plexiglas à section horizontale de  $1 \text{ dm}^2$  (voir Figure).

La partie métallique est constituée d'un tronc inférieur, prismatique et d'un autre tronc supérieur de transition en forme de tronc de pyramide.

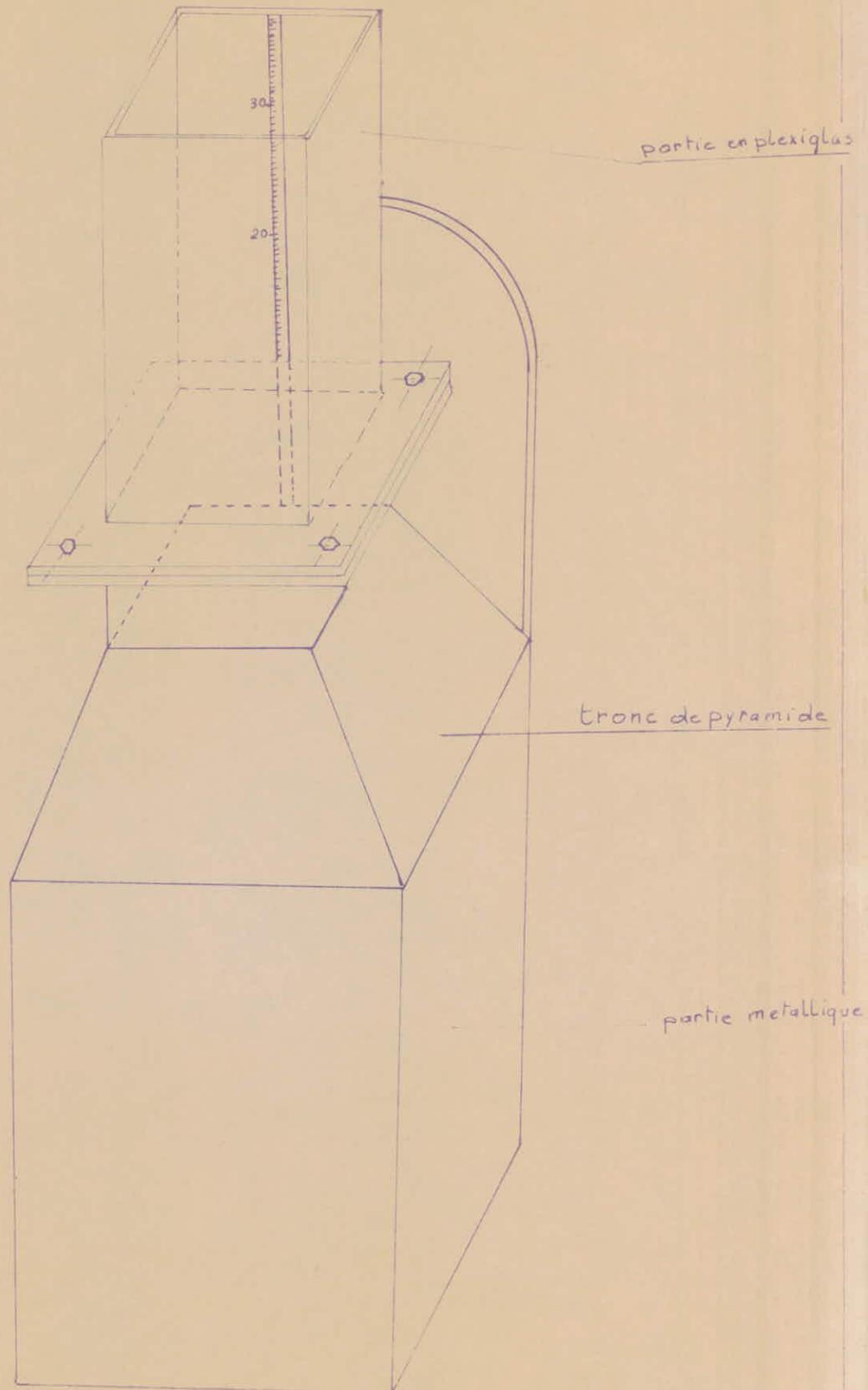
La partie en plexiglas, superposée à partie métallique, a pour section un carré de  $10 \text{ cm}$  sur  $10 \text{ cm}$ .

Une réglette graduée en position verticale permet la lecture des volumes contenus sachant:

- que la division de  $20 \text{ cm}$  correspond à un volume de  $28 \text{ litres}$ .
- que la différence de  $1 \text{ cm}$  lu sur la réglette correspond à  $1/10$  de litre.

-----oooOooo-----

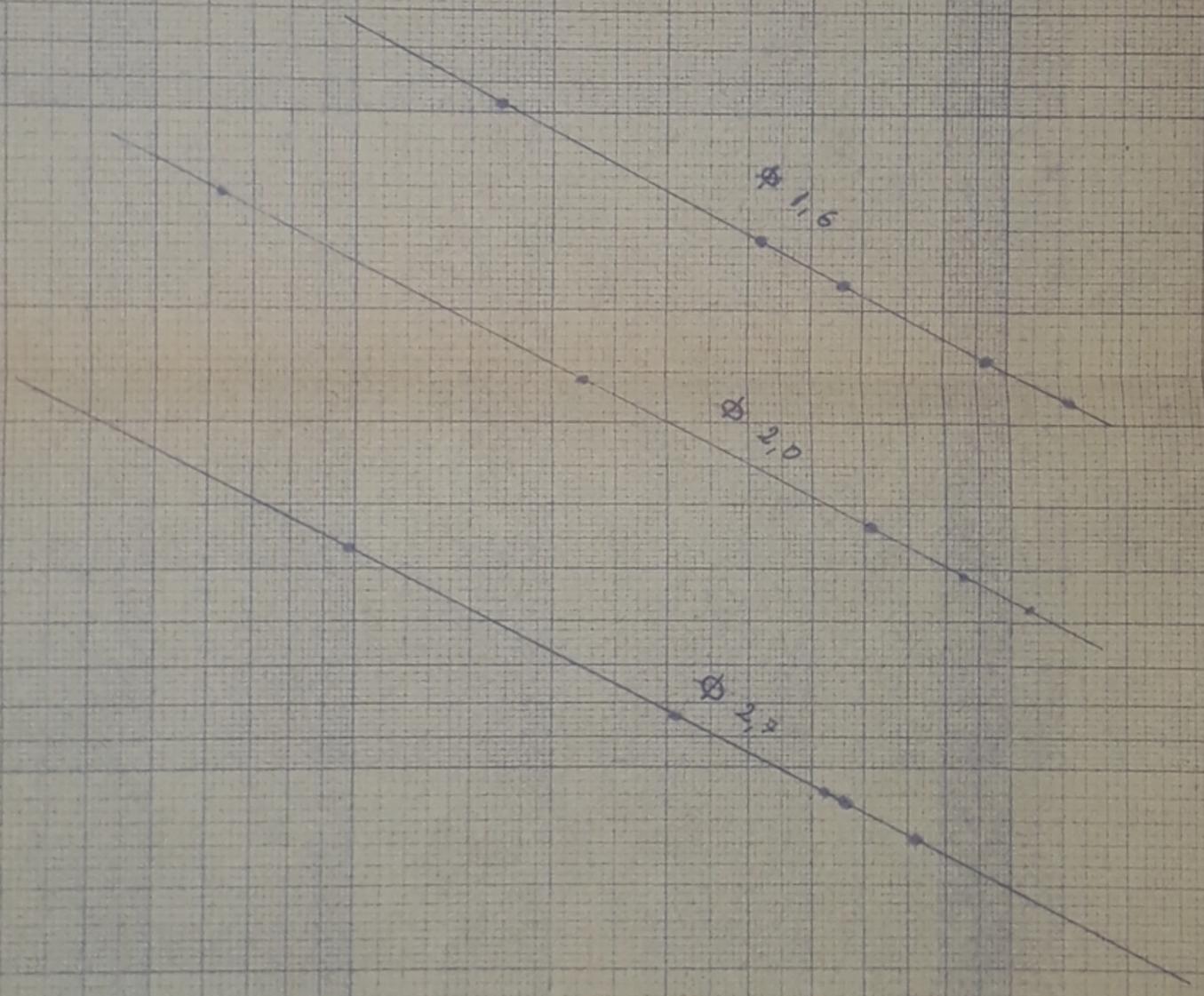
# CAPACITÉ JAUGÉE



COURBES D'ETALONNAGE DES DEBIT METRES  
A SECTIONS RETRICALS EN FORME DE SEGMENT

PRESSION DIFFERENTIELLE (cm) →

DEBIT  $dm^3/sec$  ( $l/sec$ ) →



TABLEAUX D'ÉTALONNAGE  
des débit-mètres à section rétrécie en forme  
de segment.

$\phi$  1,6 (cm)

TEMPS en s	VOLUME en l	Lectures manométriques		$\Delta_{2-1}$ cm	DEBIT en l/s
		$Z_0$ cm	$Z_1$ cm		
6,96	0,681	182,8	166	16,8	0,097
172,5	28	171	127	44	0,162
151,6	28	166	110	56	0,184
102,5	28	139	16	123	0,274
118	28	151,5	59,7	91,8	0,237

$\phi$  2,0

TEMPS en s	VOLUME en l	Lectures manométriques		$\Delta_{2-1}$ cm	DEBIT en l/s
		$Z_0$ cm	$Z_1$ cm		
6,4	0,866	186,4	180,3	6,1	0,135
48,1	28	117	10	107	0,582
54,3	28	132,5	48	84,5	0,515
64,5	28	148	87	61	0,434
108,2	28	174,5	152,5	22,0	0,258

$\phi$  2,7

TEMPS en s	VOLUME en l	Lectures manométriques		$\Delta_{2-1}$ cm	DÉBIT en l/s
		$Z_2$ cm	$Z_1$ cm		
60,8	28,26	174	165	9,8	0,466
35,4	29,73	144,6	114,5	30,1	0,84
21	27,6	72	1	71	1,285
25	28,3	107	51,2	55,8	1,132
24	28,5	105,3	52,7	52,6	1,108

CONCLUSION

Le dépouillement des essais effectués sur les dispositifs de mesure des débits du mini laboratoire donne, dans un système de coordonnées à division logarithmique, des points parfaitement alignés ayant une inclinaison rigoureusement égale à deux . Ce qui montre que ce nouveau type de débitmètre donne des résultats exceptionnellement précis et fidèles (c'est-à-dire dans tous les cas, on aura le même débit pour une même pression différentielle) nous attribuant cette haute qualité de ce nouveau débitmètre à l'absence totale de tout élément perturbateur (eau morte, phénomène de décollement , tourbillon) le long de la ligne de courant en contact avec les deux prises de pression.

Nous estimons que le minilaboratoire permettra de résoudre au prix de frais minimum et en temps très réduit, une grande série de problèmes pouvant être posés par les besoins de l'industrie et des travaux hydrauliques de tout ordre , chaque fois lorsque les pertes de charges linéaires pourront être laissées hors considération.

-----ooooo0oooo-----

-BIBLIOGRAPHIE-

- COURS D'HYDRAULIQUE DE Mr G.LAPRAY
- HYDRAULIQUE TECHNIQUE - C.JAEGER
- MECANIQUE EXPERIMENTALE DES FLUIDES - R.COMOLET
- THEORIE ET PRATIQUE DES MESURES HYDRAULIQUES

A.T.TROSKOLANSKI

-----oooo0oooo-----

