

2080

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE - HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'Obtention du Diplome d'Ingenieur d'Etat)

SUJET

ETUDE EXPERIMENTALE

DES CONDITIONS DES ECOULEMENTS

A TRAVERS UN EVACUATEUR EN Puits

Proposé Par :
BAHIDJ . B

Etudié par :
A - KESSALI
S - SAADI

Dirigé par :
BAHIDJ - B

PROMOTION : JANVIER 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE - HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'Obtention du Diplome d'Ingenieur d'Etat)

SUJET

ETUDE EXPERIMENTALE

DES CONDITIONS DES ECOULEMENTS

A TRAVERS UN EVACUATEUR EN Puits

Proposé Par :
BAHIDJ - B

Etudié par :
A - KESSALI
S - SAADI

Dirigé par :
BAHIDJ - B

PROMOTION : JANVIER 1987

Table des matières

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

I - Introduction	Page 1
II - Etude qualitative du fonctionnement	7
a - Les différents types d'écoulement	
1. Ecoulement dénoyé	7
2. Ecoulement par orifice - - - - -	7
3. Ecoulement en charge - - - - -	9
b. Description du passage d'un mode à un autre - - -	12
III - Etude théorique - - - - -	14
1. Ecoulement dénoyé	14
2. Ecoulement par orifice	14
3. Ecoulement en charge	15
IV - Analyse dimensionnelle et similitude	17
A - Analyse dimensionnelle	
1 - principaux critères	
2 - nombre de produits adimensionnels	18
3 - Calcul des produits adimensionnels	19
B - Similitude	21
1 - Impossibilité de la réalisation d'une Similitude de Froude et de Reynolds...	
V - Autre formulation théorique	25
1 - Ecoulement dénoyé	
2. Ecoulement par orifice - - - - -	26

3. Ecoulement en charge

Page 26

VI - Etude expérimentale

29

1. Description de l'installation d'essais

2. Détermination du débit passant par un deversoir triangulaire

32

a. étalonnage du deversoir

b. Procédure expérimentale

35

c. détermination de la courbe d'étalonnage

36

3. Essais

40

4. Résultats expérimentaux

40

a. Essais sur deversoir circulaire sans guideaux

42

b. Essais sur deversoir circulaire avec guideaux - 47

c. Essais sur deversoir avec plaque circulaire sans guideaux

50

d. Essais sur deversoir avec plaque circulaire plus guideaux

53

e. Essais sur deversoir en forme d'entonnoir

57

Conclusion

64

Dédicaces

A tous mes semblables, je dédie ce travail.

A. Kessali

En signe de respect et de reconnaissance, Je dédie
ce travail :

A ma mère pour son soutien moral .

A mon père pour son aide matérielle .

A toute ma famille .

A tous mes amis .

S - SAADI

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude à Mr. Bahidj qui a si généreusement partagé son temps et son savoir avec nous durant tout le semestre.

Nous remercions tous les professeurs et responsables ayant contribué à notre formation.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Chapitre I

Introduction.



L'évacuation des crues est le problème majeur posé par la construction des barrages.

Il faut en effet, assurer le passage de débits exceptionnellement élevés. En outre, ces masses d'eau doivent subir une chute égale à la hauteur du barrage.

La difficulté est donc double : tout d'abord assurer le passage de l'eau, puis détruire l'énergie cinétique ainsi libérée.

On sait que la dissipation d'énergie s'opère par un ressaut, soit, si les conditions le permettent par chute de jet en pleine eau.

Il existe deux types d'évacuateurs principaux : les évacuateurs de surface et les évacuateurs munis d'une prise d'eau à grande profondeur.

Parmi les évacuateurs de surface nous distinguons deux variantes :

- deversoirs rectilignes.
- deversoirs circulaires suivis d'un puits et d'une galerie horizontale.

Pour cette deuxième variante, le problème du passage de l'eau se concentre à l'entrée et la sortie de l'ouvrage. La suite éventuelle de celui-ci, en l'occurrence ^{La galerie} présente moins de difficultés. (fig I, 1).

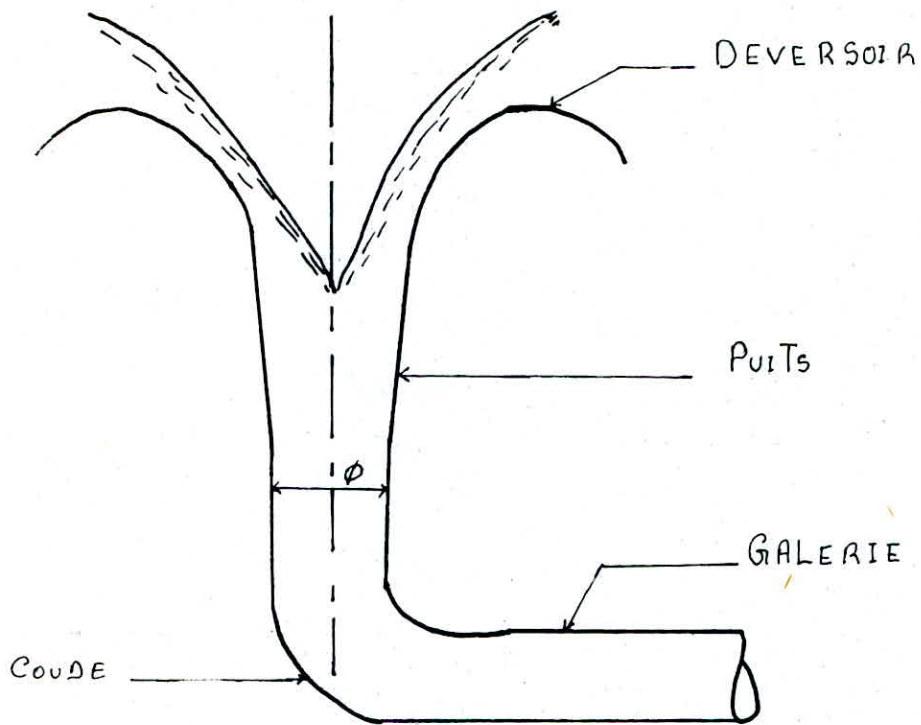


FIG (1,1)

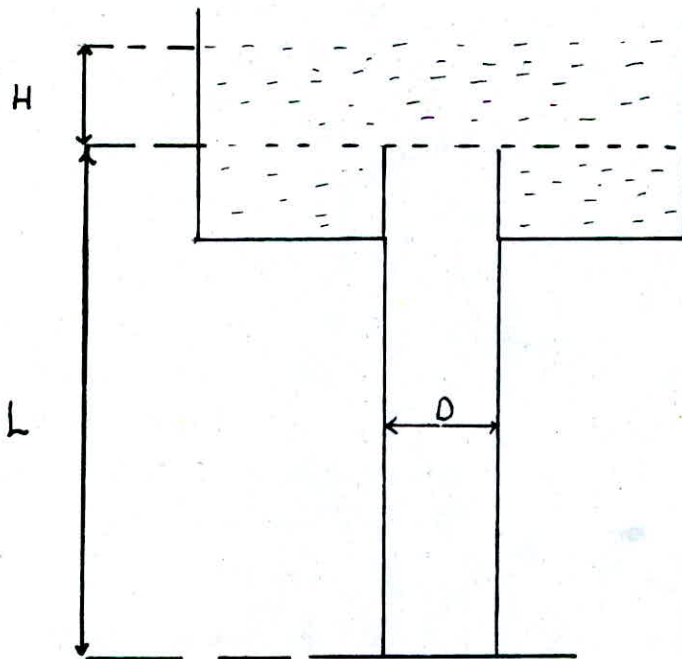


FIG (1,2)

En effet, ce type d'évacuateur présente les avantages suivants :

- Simplicité de l'ouvrage en génie-civil, dont les formes sont de révolutions et de dimensions réduites.
- Situation hors du barrage ; on évite ainsi la diminution de la section de couronnement du barrage. En outre, le parement aval et la fondation ne sont pas soumis aux effets de courants déversants importants.

L'ouvrage peut être implanté soit près des rives, soit dans une position quelconque de la retenue, d'où des longueurs variables du puits.

Notre étude se penchera sur les deversoirs circulaires-puits et ce sans faire intervenir la galerie qui fait l'objet d'une autre étude. Donc nous nous limiterons uniquement sur la partie supérieure représentant l'ouvrage, plus précisément le deversoir circulaire et le puits.

Quoi que l'on ait recours assez souvent à ce type d'ouvrage, il existe cependant une divergence de vues sur les formes souhaitables pour l'écoulement et sur le calcul du débit qui peut être évacué.

Raison pour laquelle nous allons essayer de mettre en lumière l'influence des différents éléments (amont et aval) constitutif d'un tel ouvrage, en choisissant plusieurs dispositifs lors de nos essais.

Pour le modèle, on désigne sous le nom de deversoir-puits le dispositif consistant une conduite de longueur variable alimentée à

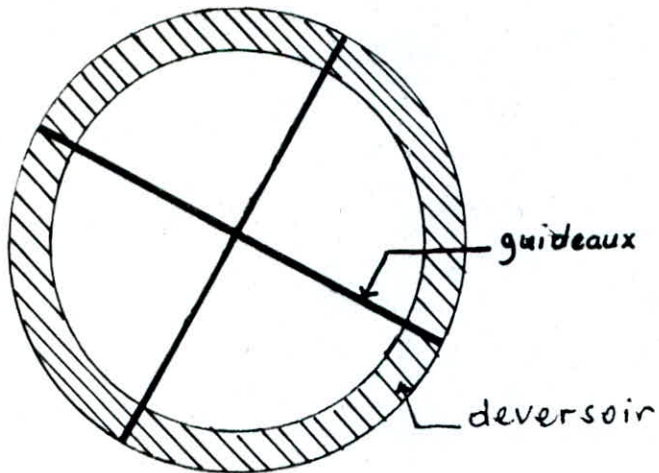
son extrémité supérieure par une cuve (fig I, 2) (Page 2). Dans la pratique, on utilise des guideaux. Nous allons voir dans notre étude l'importance de ces derniers en opérant une fois sans guideaux et l'autre avec.

Nos essais seront effectués sur :

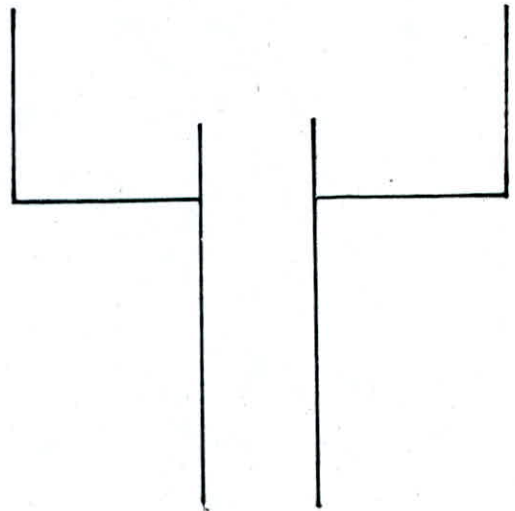
- de deversoir circulaire (fig I, 3)
- Sur ce dernier nous placerons une plaque circulaire horizontale (fig I, 4)
- Enfin, sur l'ensemble nous placerons un deversoir en forme d'entonnoir (de 45°), son diamètre supérieur est de 15,2 cm et le diamètre de base de 5,2 cm égal au diamètre du puits (fig I, 5).

Le but de cette étude est d'exposer les résultats expérimentaux obtenus et de voir l'influence des conditions amont et aval sur l'écoulement observé. Par ailleurs, on déterminera le débit d'engorgement qui correspond à la limite pratique des possibilités d'évacuation de l'ouvrage.

Vue de dessus

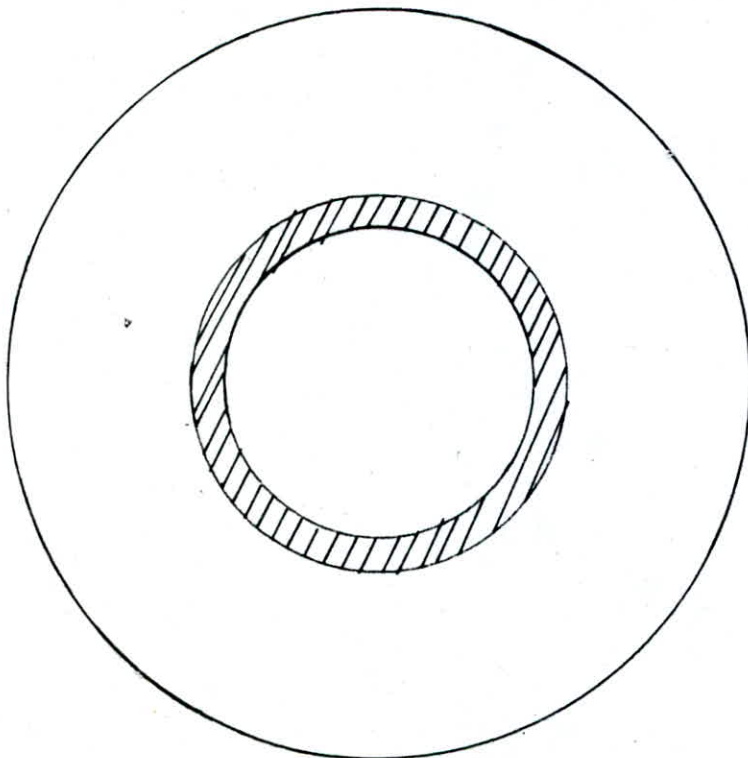


Vue en coupe

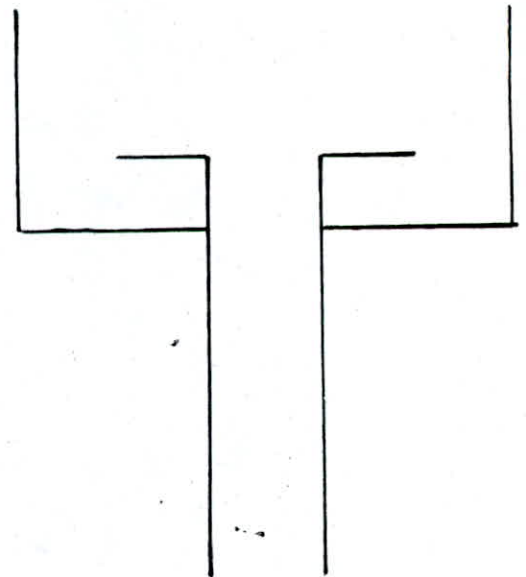


deversoir circulaire (fig I,3)

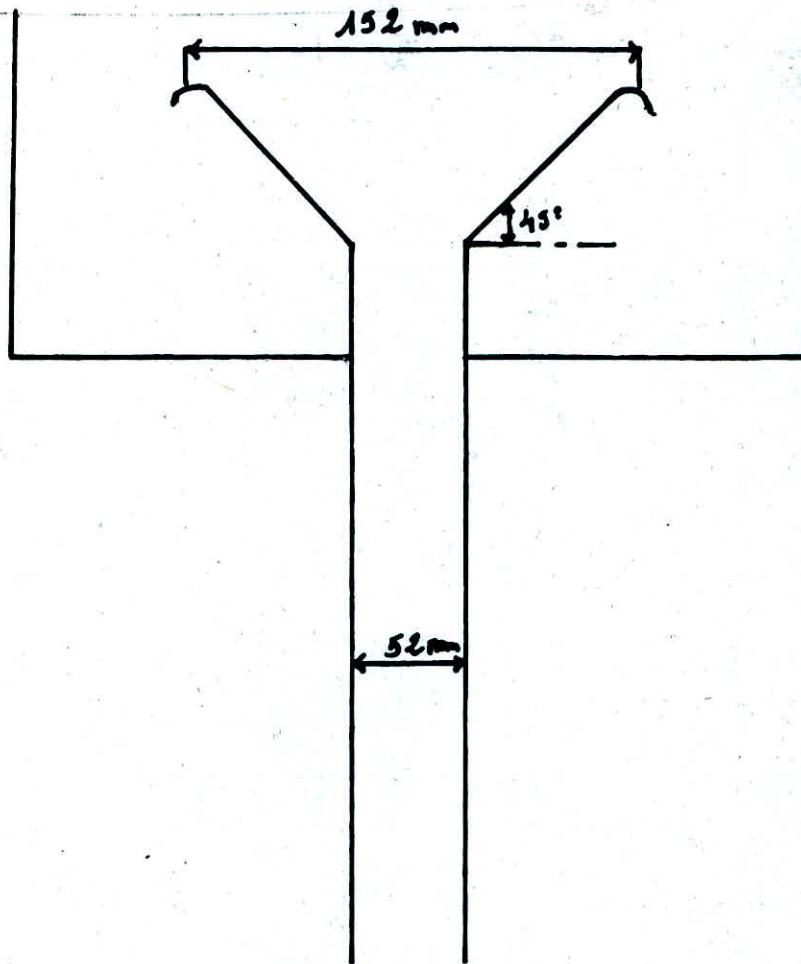
Vue de dessus



Vue en coupe



deversoir circulaire plus plaque circulaire (fig I,4)



deversoir en entonnoir (fig I, 5)

II - Etude qualitative du fonctionnement

a - Les différents types d'écoulement

Avant de rentrer dans le détail de l'étude quantitative, il convient de signaler la présence de trois modes d'écoulements dans l'étude de l'évacuateur de crues circulaires en puits.

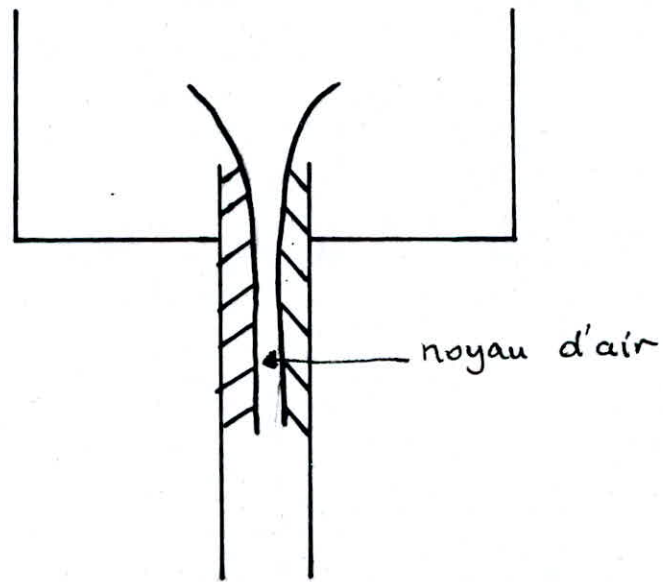
1 - Ecoulement dénoyé.

Pour de faibles débits correspond un écoulement dénoyé où l'eau tombe librement le long des parois du puits, laissant au centre un espace vide (noyau d'air), pour les valeurs de la charge au dessus du niveau normal de retenue qui correspond à la cote de la crête du deversoir (à partir de laquelle l'ouvrage commence à fonctionner). (voir fig II, 1) -

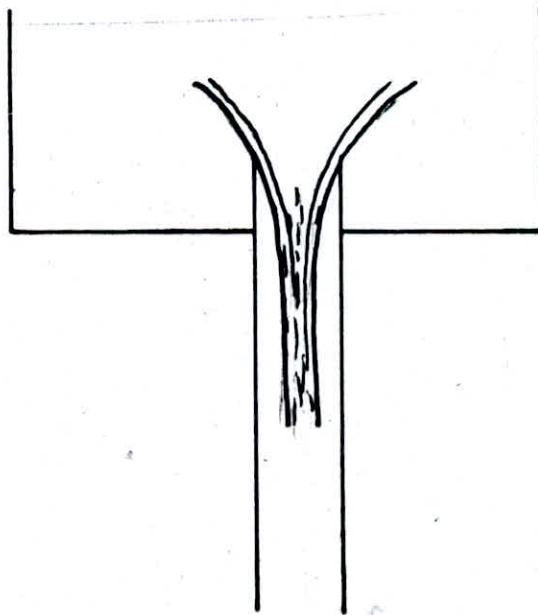
2 - Ecoulement par orifice.

Pour les débits assez élevés, on a un écoulement par orifice qui s'établit. La veine liquide aura la forme d'un anneau et ne touchera pas les parois du puits.

(voir la fig II, 2)



écoulement denoyé (par deversoir) (fig II, 1)



écoulement par orifice (fig II, 2)

3 - Écoulement noyé (en charge).

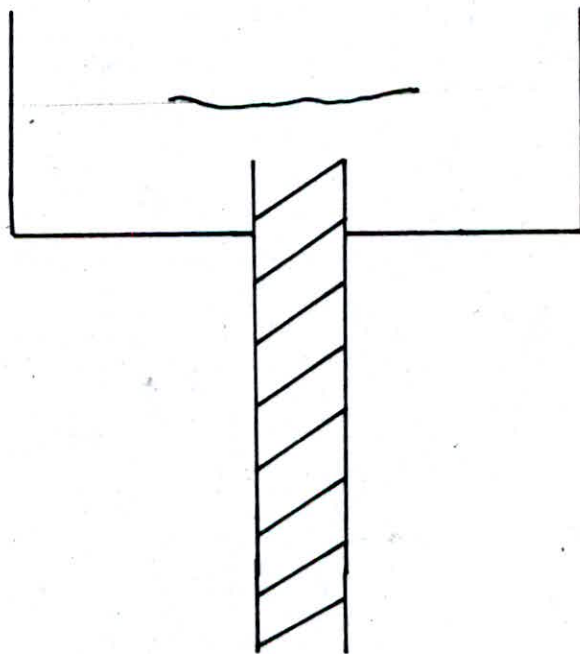
Pour les forts débits, un écoulement en charge apparaît.

Il y a un plan d'eau continu au dessus du deversoir circulaire et le puits est complètement en charge (La veine liquide occupe toute la section de la conduite). (fig II, 3)

A partir de ce moment, même une grande variation de la charge n'entraînerait qu'une faible augmentation du débit.

On assiste alors à un phénomène de saturation ou d'engorgement.

L'ouvrage fonctionne ainsi comme un orifice placé au bas d'un réservoir.



écoulement en charge (fig II, 3)

En reportant sur un graphique la fonction $Q = f(H)$

(Voir fig II, 4).

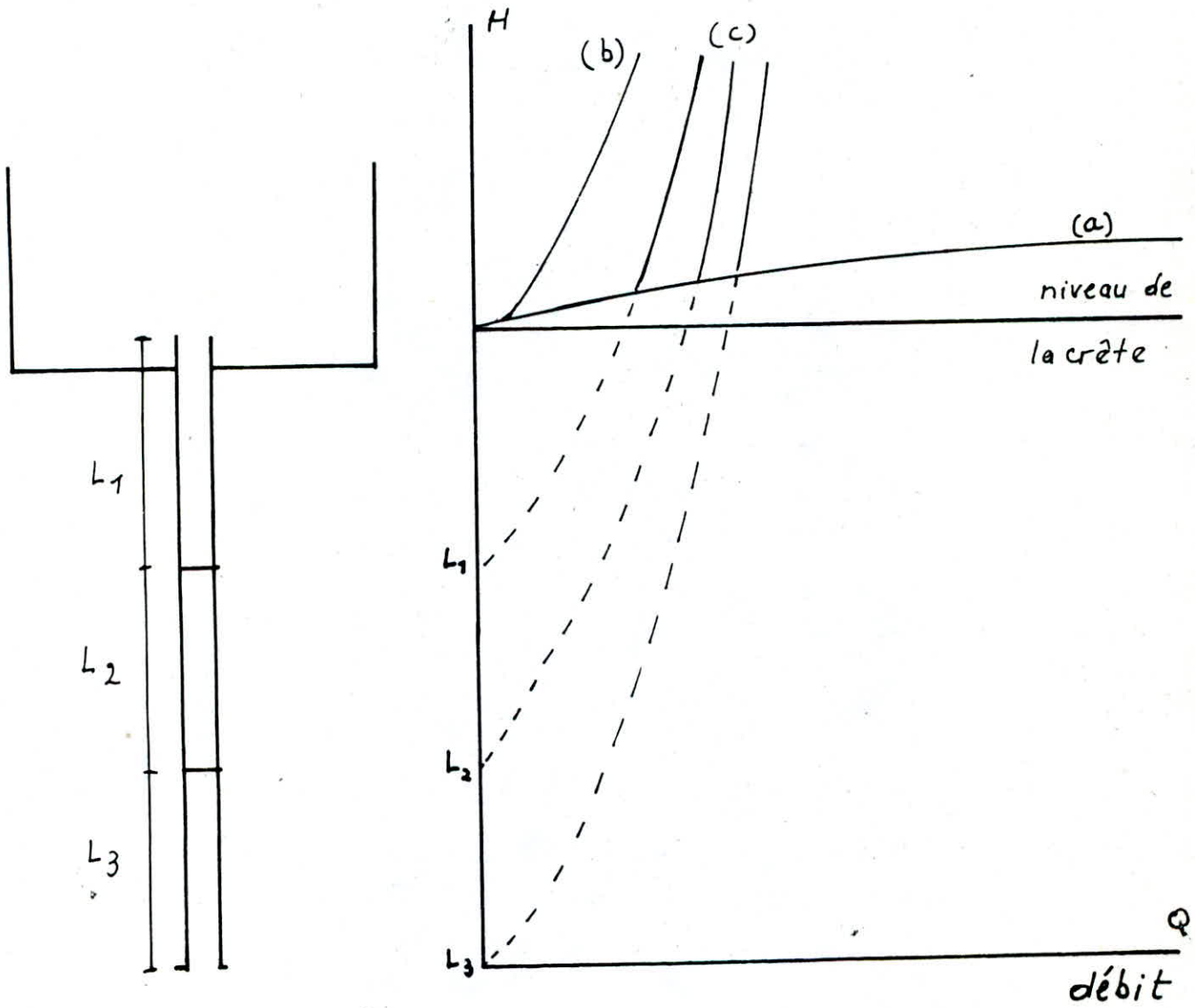
où Q est le débit évacué et H la charge sur l'extrémité supérieure du deversoir ; nous obtenons la caractéristique de tarage de l'ouvrage.

La courbe présente trois branches : une branche correspond à l'écoulement dénoyé où l'augmentation de la charge entraînerait une augmentation du débit. Cette courbe est similaire à la courbe de tarage d'un deversoir rectiligne.

Une autre correspond à l'écoulement par orifice, où l'augmentation de la charge entraînerait aussi l'augmentation du débit.

Enfin, la dernière branche correspond à l'écoulement en charge, où même une forte élévation de la charge n'entraîne qu'une faible augmentation du débit.

L'intersection entre les deux branches représentant l'écoulement en charge (noyé) et l'écoulement dénoyé donne le point d'engorgement qui correspond à la limite pratique des possibilités d'évacuation de l'ouvrage.



(fig II, 4)

- a écoulement par deversoir
- b écoulement par orifice
- c écoulement en charge

b - Description du passage d'un mode à un autre .

Si on fait croître la charge H , à partir de 0, d'une manière progressive, un écoulement par deversoir s'établit (la crête du deversoir étant constituée par l'arête d'entrée de la conduite). Le noyau d'air, qui au début, occupe une grande part de la section de la conduite, ira en diminuant jusqu'à s'annuler pour une certaine valeur de H . Au delà de cette valeur, le régime change brusquement et il s'établit un écoulement par orifice .

Notons aussi que l'écoulement par orifice peut être obtenu d'une manière artificielle, en introduisant la main ou un batonnet à proximité du deversoir ou encore en imprimant à la cuve de petites secousses .

La veine liquide garde la même forme quand on fait croître le débit .

En augmentant toujours le débit, à partir d'une certaine valeur, le régime change brusquement et un écoulement par conduite en charge s'établit (La conduite débite à plein).

La figure (II, 5) montre ces différents écoulements .

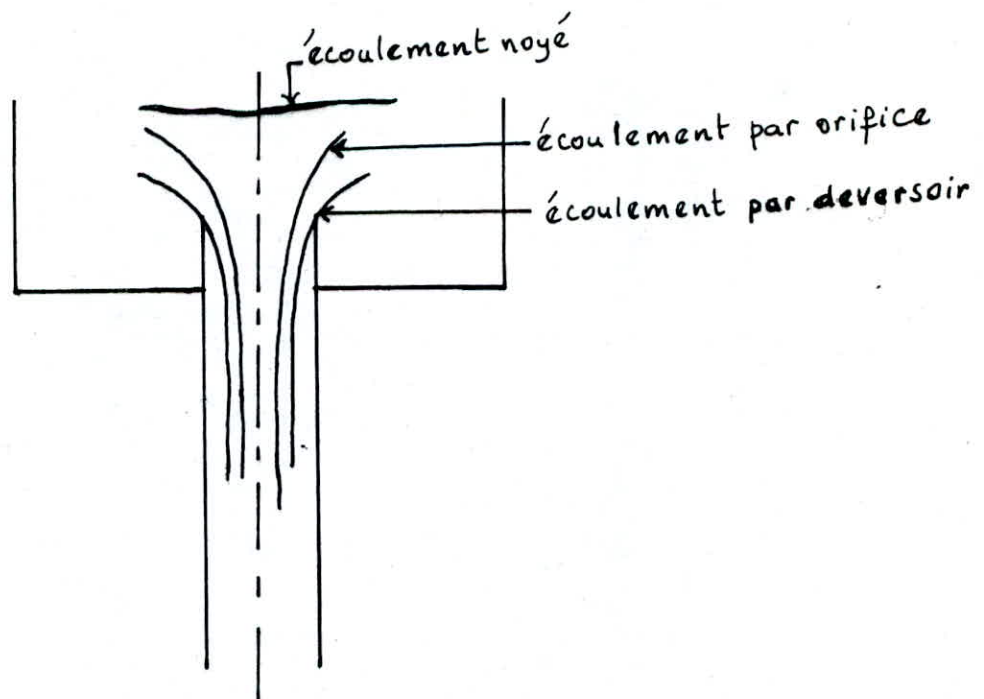
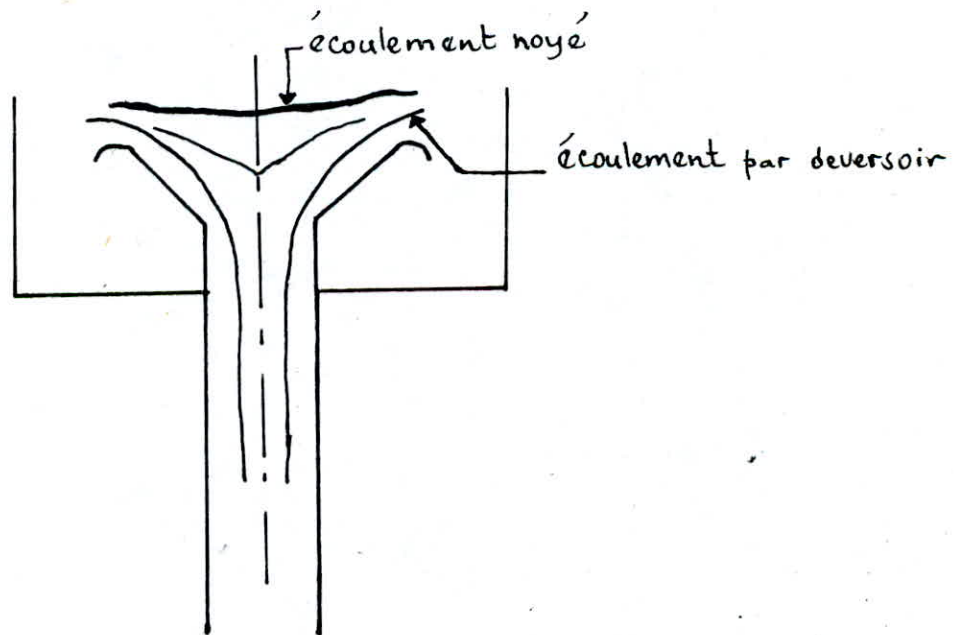


fig II, 5.



III - Etude théorique.

Les figures (II, 4 ; a, b etc) schématisent l'allure des divers types d'écoulement étudiés. (Voir page 11)

1. Ecoulement dénoyé.

Ainsi que nous l'avons dit dans l'étude qualitative, la branche dénoyée est la caractéristique de l'écoulement par dessus un deversoir rectiligne (branche a).

La formule qui sera utilisée dans ce cas est la même que celle des deversoirs rectilignes.

$$Q_{\text{dev.cir}} = \mu L \sqrt{2g} H^{3/2}$$

où $L = 2\pi R$ = périmètre du deversoir circulaire.

donc

$$Q_{\text{dev.cir}} = Q = \mu 2\pi R \sqrt{2g} H^{3/2} = \mu \pi D \sqrt{2g} H^{3/2}$$

2. Ecoulement par orifice

La formule du débit pour ce genre d'écoulement est donnée

comme suit :

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}$$

où S est la section de l'orifice $= \pi \frac{D^2}{4}$

et μ le coefficient de contraction.

Pour μ constant (on peut admettre une valeur de 0,6 et cela quelque soit la forme de l'orifice d'après LANCASTRE), on obtient une parabole à axe parallèle à l'axe de H et dont

le sommet est situé à l'origine - (branche b)

H est la charge à partir du centre de l'orifice - On considère que la vitesse d'approche est négligeable -

3 - Ecoulement en charge -

On peut déterminer grossièrement la valeur de la cote de saturation mais, rien ne vaut l'expérience sur modèle -

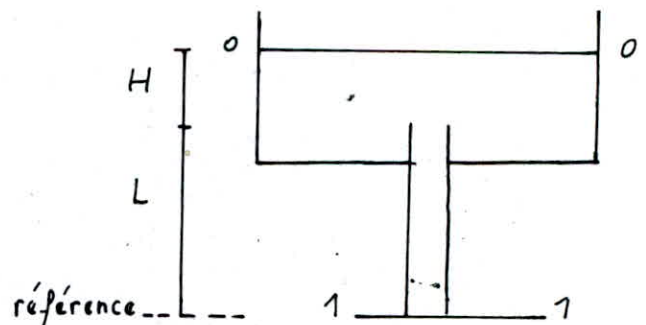
En outre, cela nous permet de parer à toute éventualité d'apparition d'autres phénomènes plus curieux d'écoulement ; phénomène qui porte le nom d'écoulement hélicoïdal.

En effet, on assiste pour une cote H souvent inférieure à la cote de saturation et pour des raisons de dissymétrie inhérente à tout écoulement réel ; à la naissance d'un écoulement hélicoïdal (Vortex) qui, en général réduit d'une manière considérable le débit.

En appliquant l'équation de Bernoulli entre la section (0-0) et (1-1) on obtient :

$$H + L = \frac{V^2}{2g} + \left\{ \frac{V^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \right.$$

où V est la vitesse moyenne dans la conduite -



ξ le coefficient de perte à l'entrée ($\xi =$ environ 0,5)
et λ le coefficient de frottement dans la conduite.

or nous avons $V = \frac{Q}{S}$

donc
$$V^2 = \frac{Q^2}{S^2}$$

où $S = \frac{\pi D^2}{4}$ est la section de la conduite

donc
$$S^2 = \pi^2 \frac{D^4}{16}$$

d'où

$$\begin{aligned} H + L &= \frac{V^2}{2g} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right] = \frac{Q^2}{2gS^2} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right] \\ &= \frac{16Q^2}{2g\pi^2 D^4} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right] = \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right] \end{aligned}$$

Si ξ est considéré comme constant, cette formule donne dans la présentation $Q = f(H)$ une parabole dont le sommet est situé sur l'axe de H à une distance L en dessous de l'origine. (branche C).

IV - Analyse dimensionnelle et similitude -

A - Analyse dimensionnelle -

1 - principaux critères

Les forces de pesanteur et d'inertie sont prépondérantes, ce qui implique la conservation du nombre de Froude entre le modèle et le prototype -

Par ailleurs, pour un écoulement en charge, les forces de viscosité ne sont pas négligeables, on doit donc respecter le nombre de Reynolds -

Les forces de la tension superficielle peuvent être négligées dans le phénomène envisagé -

Donc, les nombres de Froude et de Reynolds doivent intervenir dans la similitude -

Les paramètres géométriques, physiques et hydrauliques qui interviennent dans le phénomène sont :

$D, L, g, \nu, Q \text{ et } H$

Grandeurs	Symboles	Dimensions
diamètre du puits	D	L
longueur du puits	L	L
accélération de la pesanteur	g	$L T^{-2}$
viscosité cinématique	ν	$L^2 T^{-1}$
Débit	Q	$L^3 T^{-1}$
Hauteur d'eau dans la cuve	H	L

D'où la relation fonctionnelle =

$$f(D, L, g, \gamma, Q, H) = 0$$

2 - Nombre de produits adimensionnels -

En disposant les dimensions et les variables dans le tableau ci-dessous, on obtient la matrice dimensionnelle -

	Q	L	H	D	g	γ
L	3	1	1	1	1	2
T	-1	0	0	0	-2	-1

Le nombre de produits adimensionnels est égal au nombre de variables moins le rang de la matrice ci-dessus.

Il existe un déterminant d'ordre deux (2) différent de zéro.

$$\begin{vmatrix} 3 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = 0 + 1 = 1 \neq 0$$

Donc le rang de la matrice est $r=2$ et le nombre de produits adimensionnels est =

$$N_{\pi} = 6 - 2 = 4$$

Ce qui entraîne l'existence de quatre (4) nombres adimensionnels π_1, π_2, π_3 et π_4 linéairement indépendants entre et reliés par la relation

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) = 0$$

3. Calcul des produits adimensionnels.

D est la grandeur caractéristique de l'écoulement et Q décrit la dynamique du système, donc elles seront prises comme paramètres de base.

$$\pi_1 = Q^{x_1} D^{y_1} L = (L^3 T^{-1})^{x_1} (L)^{y_1} L = L^0 T^0$$

$$\pi_2 = Q^{x_2} D^{y_2} H = (L^3 T^{-1})^{x_2} (L)^{y_2} L = L^0 T^0$$

$$\pi_3 = Q^{x_3} D^{y_3} g = (L^3 T^{-1})^{x_3} (L)^{y_3} L T^{-2} = L^0 T^0$$

$$\pi_4 = Q^{x_4} D^{y_4} \nu = (L^3 T^{-1})^{x_4} (L)^{y_4} L^2 T^{-1} = L^0 T^0$$

1°

$$\left. \begin{array}{l} L: 3x_1 + y_1 + 1 = 0 \\ T: -x_1 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow y_1 = -1$$

$$\text{d'où } \pi_1 = \frac{L}{D}$$

2°

$$\left. \begin{array}{l} L: 3x_2 + y_2 + 1 = 0 \\ T: -x_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow y_2 = -1$$

$$\text{d'où } \pi_2 = \frac{H}{D}$$

3°

$$\left. \begin{array}{l} L: 3x_3 + y_3 + 1 = 0 \\ T: -x_3 - 2 = 0 \Rightarrow x_3 = -2 \end{array} \right\} \Rightarrow y_3 = 5$$

d'où

$$\pi_3 = g \frac{D^5}{Q^2}$$

4°

$$\left. \begin{array}{l} L: 3x_4 + y_4 + 2 = 0 \\ T: -x_4 - 1 = 0 \Rightarrow x_4 = -1 \end{array} \right\} \Rightarrow y_4 = 1$$

$$\text{d'où } \pi_4 = \frac{D^2}{Q}$$

d'où la relation fonctionnelle :

$$f\left(g \frac{D^5}{Q^2}, \frac{D^2}{Q}, \frac{H}{D}, \frac{L}{D}\right) = 0$$

Conformément à l'usage, il convient de prendre l'inverse de certains éléments, d'où

$$f\left(\frac{Q^2}{g D^5}, \frac{Q}{D^2}, \frac{H}{D}, \frac{L}{D}\right) = 0$$

On arrange les rapports de manière à avoir des valeurs standards.

Ainsi la relation devient :

$$f\left(\frac{Q}{\sqrt{g D^5}}, \frac{Q}{D^2}, \frac{H}{D}, \frac{L}{D}\right) = 0$$

Sachant que :

$$\ast \text{ Le nombre de Froude } F_r = \frac{Q}{\sqrt{g D^5}}$$

$$\ast \text{ le nombre de Reynolds } R_r = \frac{Q}{D^2}$$

donc la relation fonctionnelle devient

$$f\left(F, R, \frac{H}{D}, \frac{L}{D}\right) = 0$$

B - Similitude .

1 - Impossibilité de la réalisation d'une similitude de Froude et de Reynolds .

Dans les essais sur un modèle réduit à une échelle géométrique λ , la conservation simultanée des nombres de Froude et de Reynolds est pratiquement impossible car :

pour un point donné du modèle

$$F_m = \frac{V_m}{\sqrt{g L_m}}$$

et dans le point homologue du prototype .

$$F_p = \frac{V_p}{\sqrt{g L_p}}$$

L'égalité de ces deux nombres entraîne :

$$\lambda_L = \lambda_v^2 \Rightarrow \lambda_v = \sqrt{\lambda_L} \quad (*)$$

D'autre part, la conservation du nombre de Reynolds entre le modèle et le prototype donne

$$\frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p} \quad (R_m = R_p)$$

on obtient :

$$\lambda_p \lambda_v = \lambda_\nu$$

Or, on utilise le même liquide (eau), donc $\lambda_V = 1$

On a donc $\lambda_\ell \lambda_V = 1$ (**)

En remplaçant dans (**) λ_V par $\sqrt{\lambda_\ell}$ on obtient :

$$\lambda_\ell \sqrt{\lambda_\ell} = \lambda_\ell^{3/2} = 1$$

donc $\lambda_\ell = 1$

Il en résulte que le modèle est identique au prototype, donc il est impossible de réaliser en même temps les conditions de Froude et de Reynolds -

Or dans notre cas, on obtient un écoulement en charge, ce qui fait qu'on doit respecter le nombre de Reynolds -

Pour pallier à ce problème, on introduit la notion du nombre de Reynolds limite.

Appelons par λ^* le coefficient de frottement donné par la représentation $\lambda^* = f(R, \frac{\varepsilon}{D})$.

Si λ^* est indépendant de R , on est dans la zone de turbulence, c'est à dire qu'on a dépassé le seuil de Reynolds -

Donc pour un écoulement dans le prototype et dans le modèle tel que le seuil de Reynolds est dépassé, on est sûr que pour une même rugosité relative $\frac{\varepsilon}{D}$, la valeur du coefficient de frottement λ^* est la même dans l'un ou l'autre cas - L'essai pourra donc être réalisé en adoptant la similitude de Froude, même si les nombres de Reynolds prennent des valeurs différentes dans le modèle et dans le prototype.

En outre, le seuil de Reynolds limite le choix de l'échelle du modèle, en particulier il interdit l'utilisation d'échelle trop petites.

La valeur de l'échelle limite λ_{\min} imposée par le seuil de Reynolds est :

$$\lambda_{\min} = \left(\frac{R_{\lim}}{R_1} \right)^{2/3}$$

où R_1 le nombre de Reynolds dans le prototype.

Puisque le nombre de Reynolds n'est pas pris en compte dans la similitude, la relation fonctionnelle trouvée dans l'analyse dimensionnelle devient :

$$f \left(IF, \frac{H}{D}, \frac{L}{D} \right) = 0$$

Vu que la loi de l'étude est basée sur le produit adimensionnel IF qui met en évidence l'effet de l'inertie et de la pesanteur, on aura :

$$IF = f \left(\frac{H}{D}, \frac{L}{D} \right).$$

D'autant plus que dans le cas d'ouvrages courts découverts tel que celui considéré dans notre cas, les forces déterminant l'écoulement sont dues à la pesanteur et à l'inertie, les forces dues à la viscosité sont insignifiantes. Elles n'interviennent même pas dans les formules relatives au

phénomène. Ainsi les essais sur modèle concernant cette catégorie d'ouvrages, dits ouvrages courts doivent être exécutés suivant les lois de la similitude de Froude. (Voir polycopé de Mr LAPRAY).

Ce qui vient confirmer notre choix des lois de similitude de Froude.

V Autre formulation théorique

Comme nous l'avons dit dans l'étude théorique, il existe trois types d'écoulements qui seront donnés par une autre formulation résultant de l'analyse dimensionnelle du phénomène.

Les figures (V, 1 a, b, c) schématisent l'allure de ces divers écoulements.

1. Ecoulement dénoyé.

$$Q = \mu \pi D \sqrt{2g} H^{3/2}$$

Ayant cette équation, nous allons faire apparaître des nombres adimensionnels de part et d'autre de cette égalité, en divisant les deux membres par $\sqrt{g D^5}$

d'où

$$\frac{Q}{\sqrt{g D^5}} = \mu \pi \sqrt{2} \frac{D}{\sqrt{D^5}} H^{3/2} = \mu \pi \sqrt{2} \left(\frac{H}{D} \right)^{3/2}$$

donc

$$\frac{Q}{\sqrt{g D^5}} = \mu \pi \sqrt{2} \left(\frac{H}{D} \right)^{3/2}$$

où μ peut être variable et donné en fonction de $\frac{H}{D}$

Or $\frac{Q}{\sqrt{g D^5}}$ est un nombre de Froude

donc

$$F = \mu \pi \sqrt{2} \left(\frac{H}{D} \right)^{3/2}$$

2 - Ecoulement par orifice.

$$Q = \mu S \sqrt{2gH} = \mu \pi \frac{D^2}{4} \sqrt{2gH}$$

Comme pour l'équation précédente, nous allons la transformer en équation adimensionnelle en la divisant par $\sqrt{gD^5}$

d'où

$$\frac{Q}{\sqrt{gD^5}} = \mu \pi \frac{D^2}{\sqrt{gD^5}} \frac{\sqrt{2gH}}{4} = \mu \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \left(\frac{H}{D} \right)^{1/2}$$

On constate aussi que le rapport $\frac{Q}{\sqrt{gD^5}}$ est un nombre

de Froude, donc l'expression devient:

$$F = \mu \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \left(\frac{H}{D} \right)^{1/2}$$

Pour μ constant, on peut admettre une valeur de 0,6, on obtient une parabole à axe parallèle à l'axe de $\frac{H}{D}$ et dont le sommet est situé à l'origine.

3 - Ecoulement en charge (noyé)

A partir de l'équation trouvée dans l'étude théorique qui est:

$$H + L = \frac{V^2}{2g} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right] = \frac{Q^2}{2gS^2} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right]$$

$$= \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right]$$

En divisant les 2 membres par D on obtient:

$$\frac{H}{D} + \frac{L}{D} = \frac{Q^2}{gD^5} \frac{8}{\pi^2} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right]$$

Donc

$$\frac{Q^2}{g D^5} = \left(\frac{H}{D} + \frac{L}{D} \right) \frac{\pi^2}{8 \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right)}$$

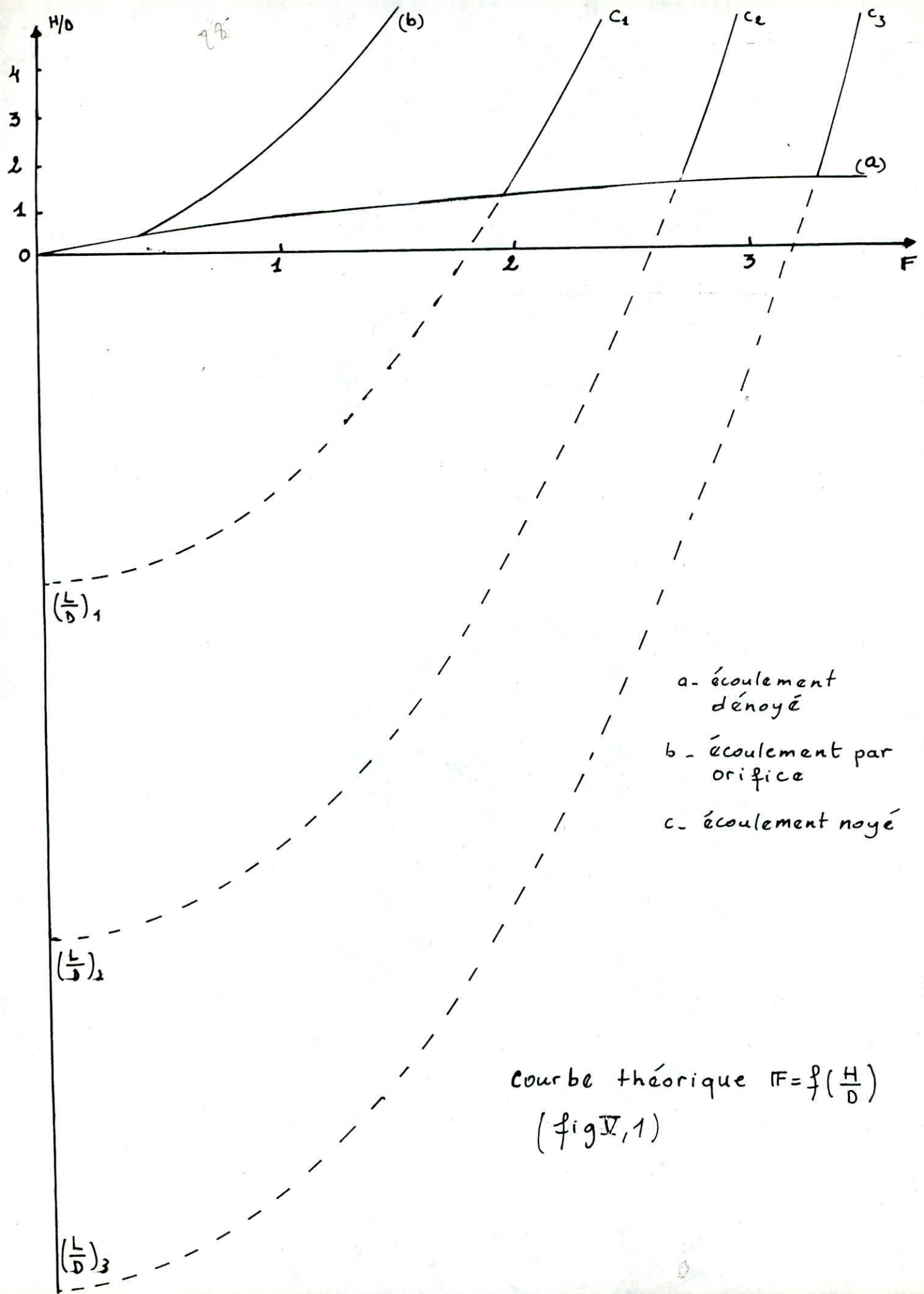
En élevant les deux membres à la puissance $\frac{1}{2}$ on obtient

$$\frac{Q}{\sqrt{g D^5}} = \left(\frac{H}{D} + \frac{L}{D} \right)^{1/2} \frac{\pi}{\sqrt{8}} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right]^{-1/2}$$

Et en la reportant à la même forme que l'équation précédente on aura :

$$IF = \left(\frac{H}{D} + \frac{L}{D} \right)^{1/2} \frac{\pi}{\sqrt{8}} \left[1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right]^{-1/2}$$

Si ξ est considéré comme constant ($\xi = 0,5$ environ), cette formule donne dans la présentation $IF = f\left(\frac{H}{D}\right)$ fig (V, 1, c) une parabole dont le sommet est situé sur l'axe de $\frac{H}{D}$ à une distance $\frac{L}{D}$ en dessous de l'origine.



V. Etude expérimentale

1- Description de l'installation d'essais

Une conduite en plexiglass de 52 mm de diamètre intérieur a été soumise aux essais. Celle-ci a été découpée en trois tronçons de 40 cm chacun, et seront assemblées par boulons suivant la longueur désirée (40, 80 et 120 cm).

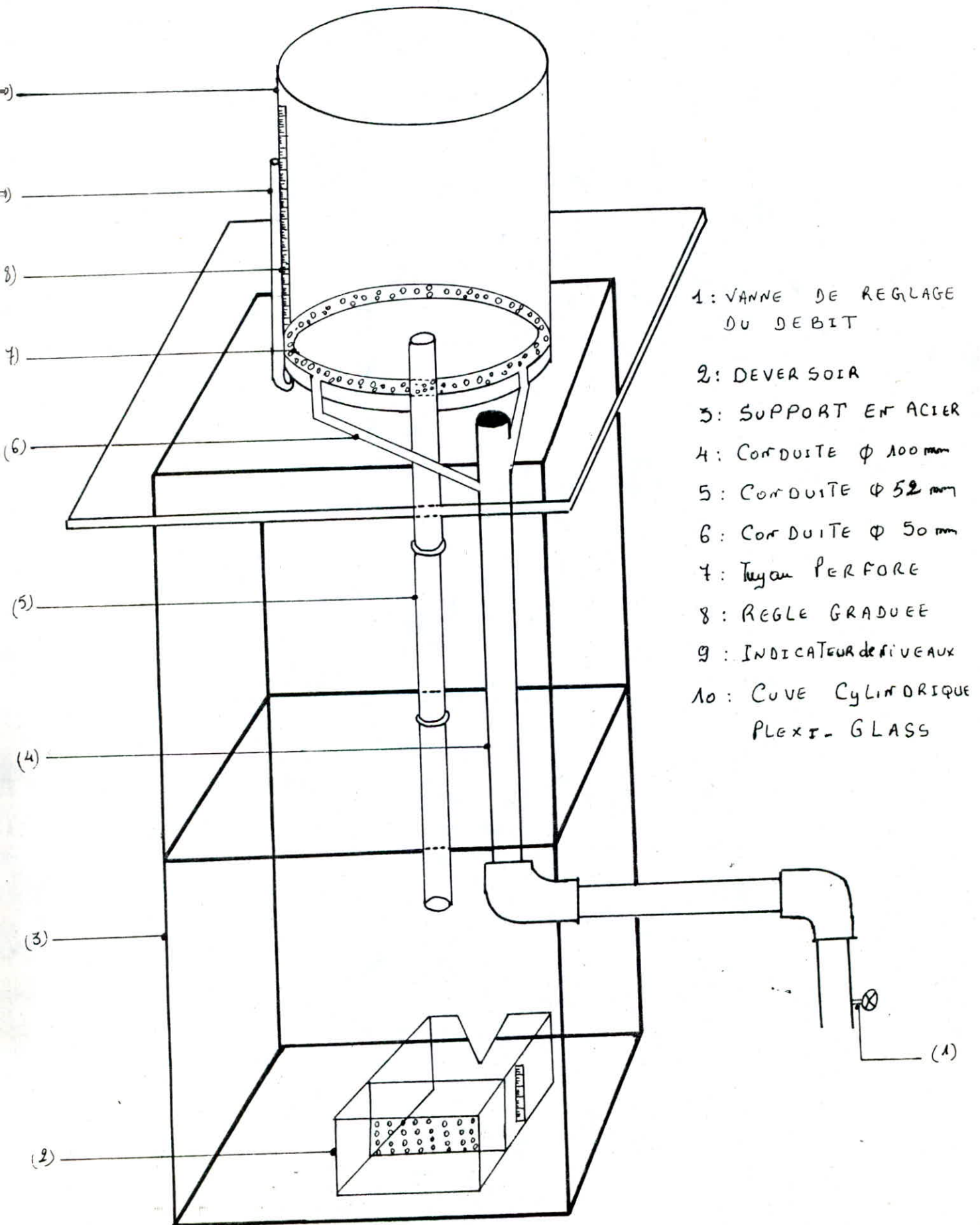
L'alimentation de la cuve est effectuée sous charge constante. La cuve d'essai est cylindrique de 60 cm de diamètre et de 80 cm de haut.

L'eau est amenée perpendiculairement au fond de la cuve par 2 tuyaux placés diametralement opposés pour assurer une certaine symetrie dans l'alimentation. Ces derniers sont alimentés par une conduite de 100 mm de diamètre.

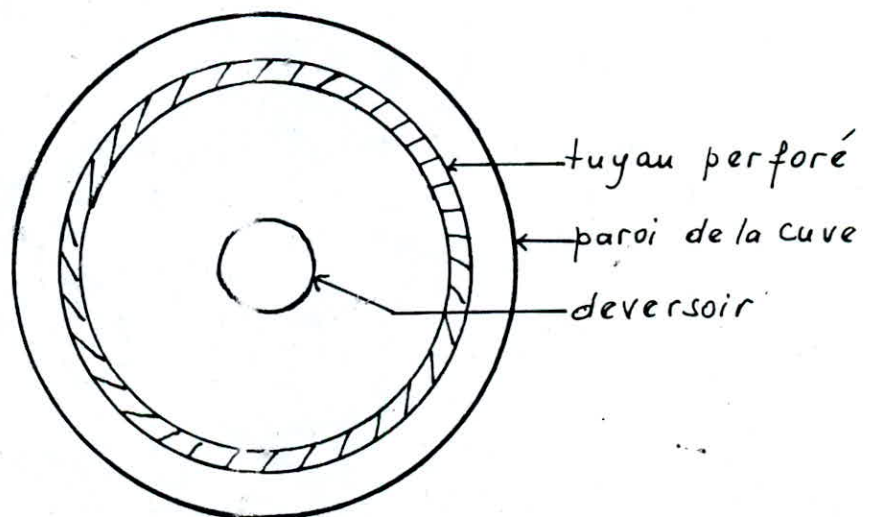
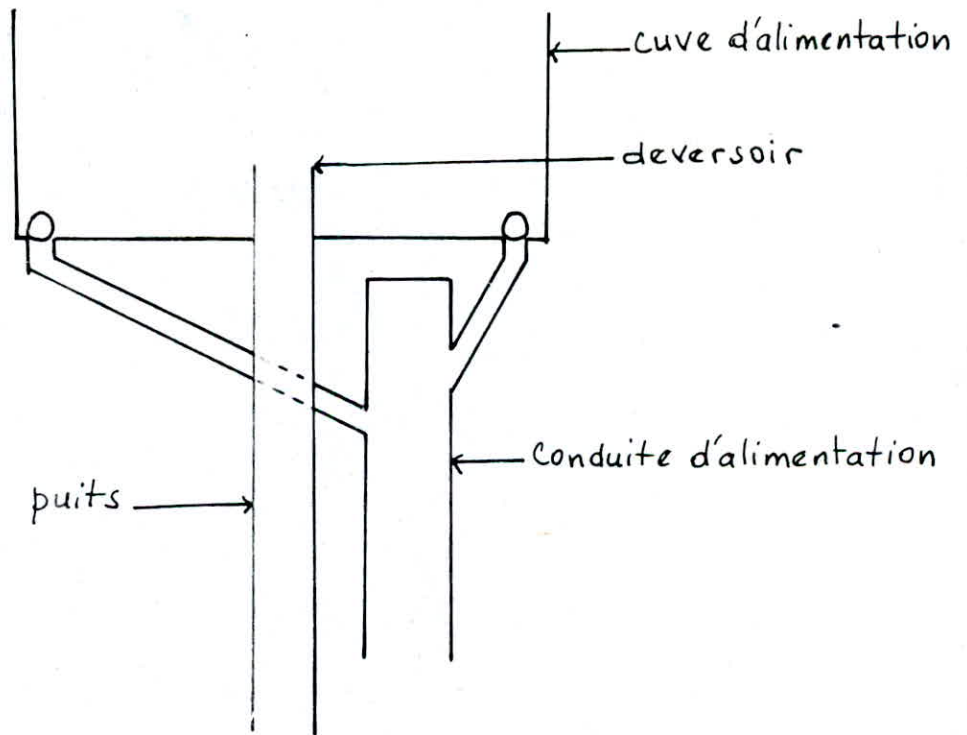
un petit tronçon en plexiglass de quelques centimètres, joue le rôle du deversoir circulaire. Il est placé juste sur l'extrémité supérieure des conduites (simulant le puits); un matelas d'eau sera donc créé pour atténuer les perturbations; d'où la diminution de la rotation de l'eau dans la cuve et par conséquent diminuer l'influence du vortex.

Les conduites débouchent à l'air libre par leur extrémité inférieure.

SCHEMA DU MODELE



modèle vu en coupe



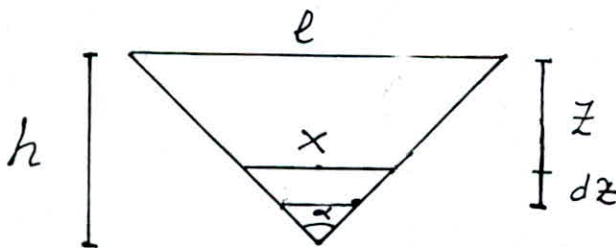
modèle vu de dessus

L'eau qui sortira, tombera dans le déversoir triangulaire qui nous donnera les débits en fonction de la nappe déversante. La charge H dans la cuve est lue sur un indicateur de niveau dont le raccord inférieur débouche dans la cuve, au dessus du niveau normal correspondant à la cote de la crête du déversoir circulaire. Celle-ci sera fixée et correspondra à $H=0$.

2. Détermination du débit passant par un déversoir triangulaire.

a. Etalonnage du déversoir triangulaire.

Le profil de l'échancrure d'un déversoir est un triangle dont la bissectrice intérieure à l'angle des deux joues latérales est généralement verticale par conséquent le triangle considéré est isocèle.



La vitesse moyenne dans la tranche x et de hauteur dz située à une profondeur z au dessous de la surface libre est approximativement égale $\sqrt{2gz}$.

Pi μ_1 est le coefficient de débit, le débit élémentaire à cette tranche sera

$$dQ = \mu_1 \times dz \sqrt{2gz}$$

D'après le théorème de Thalès on peut écrire =

$$\frac{x}{h-z} = \frac{l}{h} \Rightarrow x = \frac{l}{h} (h-z)$$

donc

$$dQ = \mu_1 \frac{l}{h} (h-z) \sqrt{2gz} dz$$

d'où

$$Q = \mu_1 \frac{l}{h} \int_0^h (h-z) \sqrt{2gz} dz$$

L'intégration donne en supposant que μ_1 reste constant un débit

$$Q = \frac{4}{15} \mu l h \sqrt{2gh}$$

Du fait que la longueur l est pratiquement difficile à mesurer, on la remplace par $2h \tan \frac{\alpha}{2}$.

On obtient ainsi =

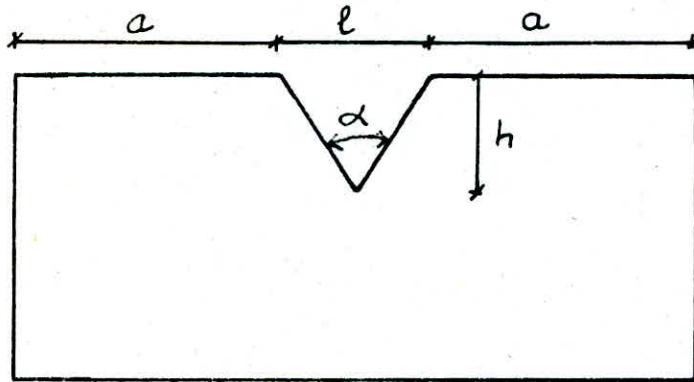
$$Q = \frac{8}{15} \mu h^2 \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2gh}$$

La valeur de μ varie en fonction du rapport $\frac{l}{h}$.

D'où le débit est de la forme :

$$Q = C h^{5/2}$$

deversoir triangulaire vu de face

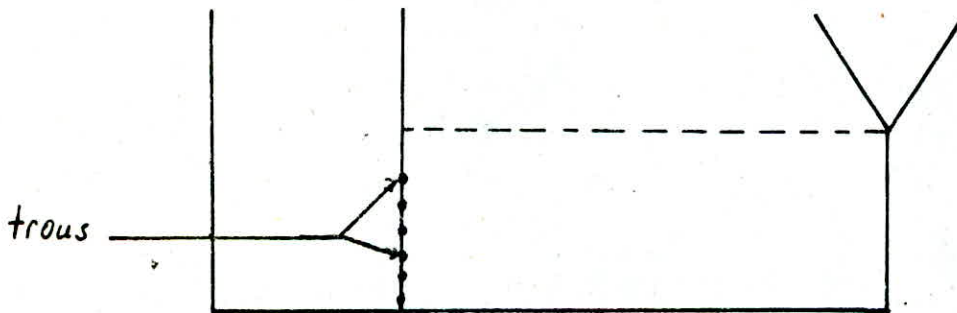


$$a = 12 \text{ cm}$$

$$l = 15 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$\alpha = 60^\circ$$



deversoir triangulaire vu en coupe.

b. Procédure expérimentale.

Le déversoir est placé sur une surface horizontale donc chaque hauteur d'eau lue dans le tube vertical sortant d'une des parois latérales du déversoir, dont le rôle est de donner avec plus de précision la position de la surface libre dans le déversoir, soit la même partout quelque soit la section verticale prise dans le dispositif - Une règlette permettant de faire la lecture des niveaux d'eau dans le déversoir est disposée juste à proximité du tube.

L'alimentation faite, une fois que le déversoir commence à fonctionner, après avoir atteint un niveau quelconque, on arrête l'alimentation et on attend jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'écoulement à travers le déversoir -

Cette opération nous permet de repérer le "zéro" du dispositif. Ceci étant fait, il ne reste plus que les mesures, en alimentant d'une manière progressive. Et une fois que l'écoulement permanent est obtenu, c'est à dire qu'il faut attendre jusqu'à ce que le niveau dans le déversoir se stabilise, on relève les hauteurs successives pour les différents débits -

On place ensuite la jauge sous la nappe déversante et on note le temps qu'on aura mis pour avoir un certain volume dans cette dernière. Pour chaque hauteur (à laquelle correspond un débit) on refait le même

procédé plusieurs fois de façon à diminuer l'erreur commise sur le débit (en faisant la moyenne de valeurs déterminées).

Pour notre cas, pour chaque débit correspond une hauteur h , ce qui nous permet de tracer une courbe d'étalonnage de la forme :

$$Q = ah^b$$

C - Détermination de la courbe d'étalonnage.

On fait un ajustement de puissance respectivement pour les débits Q_i et les hauteurs h_i , pour cela on passe directement à la linearisation de cette fonction ($Q = ah^b$) en appliquant le logarithme népérien.

D'où, on peut écrire :

$$\ln Q = b \ln h + \ln a \quad \text{avec } a > 0$$

Pour déterminer a et b , on utilise la méthode des moindres carrés.

On pose :

$$\ln Q = y$$

$$\ln h = x$$

$$\text{et } \ln a = B$$

$$b = A$$

d'où

$$y = Ax + B$$

avec :

$$A = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

et

$$B = \bar{Y} - A\bar{X}$$

Nous avons trouvé les valeurs de A et B qui sont :

$$A = 2,44$$

$$B = 0,61$$

d'où la formule d'étalonnage suivante :

$$Q = 0,61 h^{2,44} \quad Q \text{ en m}^3/\text{s} \text{ et } h \text{ en m}$$

* Calcul d'erreur :

$$\text{Nous avons } Q = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot z}{t}$$

$$\text{donc } \ln Q = \ln S + \ln z - \ln t$$

où S est la section de la jauge

z hauteur d'eau lue dans la jauge

et t le temps mis pour avoir un certain volume dans la jauge.

On passe à la dérivée :

$$d(\ln Q) = \frac{dQ}{Q} = \frac{dS}{S} + \frac{dz}{z} - \frac{dt}{t}$$

donc :

$$\Delta(\ln Q) = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta z}{z} + \frac{\Delta t}{t}$$

On prend $\frac{\Delta S}{S} = 1\%$

$$\text{et } \Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3 = 1 \text{ mm}$$

Δz_1 : erreur commise à la lecture

Δz_2 = erreur de la jauge

Δz_3 = erreur de la surface libre de l'eau

Puis $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 1s$

Δt_1 = erreur du chronomètre

Δt_2 = erreur de l'opérateur

Pour le calcul d'erreur sur le débit -

Puisque nous n'avons fait que trois mesures de débits, on prendra donc ces trois valeurs et on fait un calcul d'erreur pour les débits et les hauteurs h .

1° $Q_1 = 0,36 \text{ l/s}$; $t_1 = 76,8 s$

d'où $\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = \frac{1}{76,8} + 1\% + 0,01 = 3,3\%$

2° $Q_2 = 0,56 \text{ l/s}$ $t_2 = 48,39 s$

d'où $\frac{\Delta Q_2}{Q_2} = \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta z}{z} = \frac{1}{48,39} + 0,01 + 0,01$
 $= 4\%$

3° $Q_3 = 0,68 \text{ l/s}$ $t_3 = 41,76 s$

$\frac{\Delta Q_3}{Q_3} = \frac{1}{41,76} + 0,01 + 0,01 = 4,3\%$

L'erreur pour h sera donnée comme suit =

$$\Delta L_n h = \frac{\Delta h}{h}$$

avec $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = 2 \text{ mm}$

Δh_1 = erreur du deversoir

Δh_2 = erreur de lecture

Δh_3 = erreur commise par l'influence de la tension superficielle.

d'où $\frac{\Delta h_1}{h_1} = \frac{2}{45} = 4,4\%$ (h_1 mesuré est de 4,5 cm)

$$\frac{\Delta h}{h_2} = \frac{2}{55} = 3,6\%$$

et

$$\frac{\Delta h}{h_3} = \frac{2}{60} = 3,3\%$$

Le tableau ci-après résulte de la courbe expérimentale et nous permettra de trouver la courbe ajustée.

Le coefficient de corrélation r est donné par

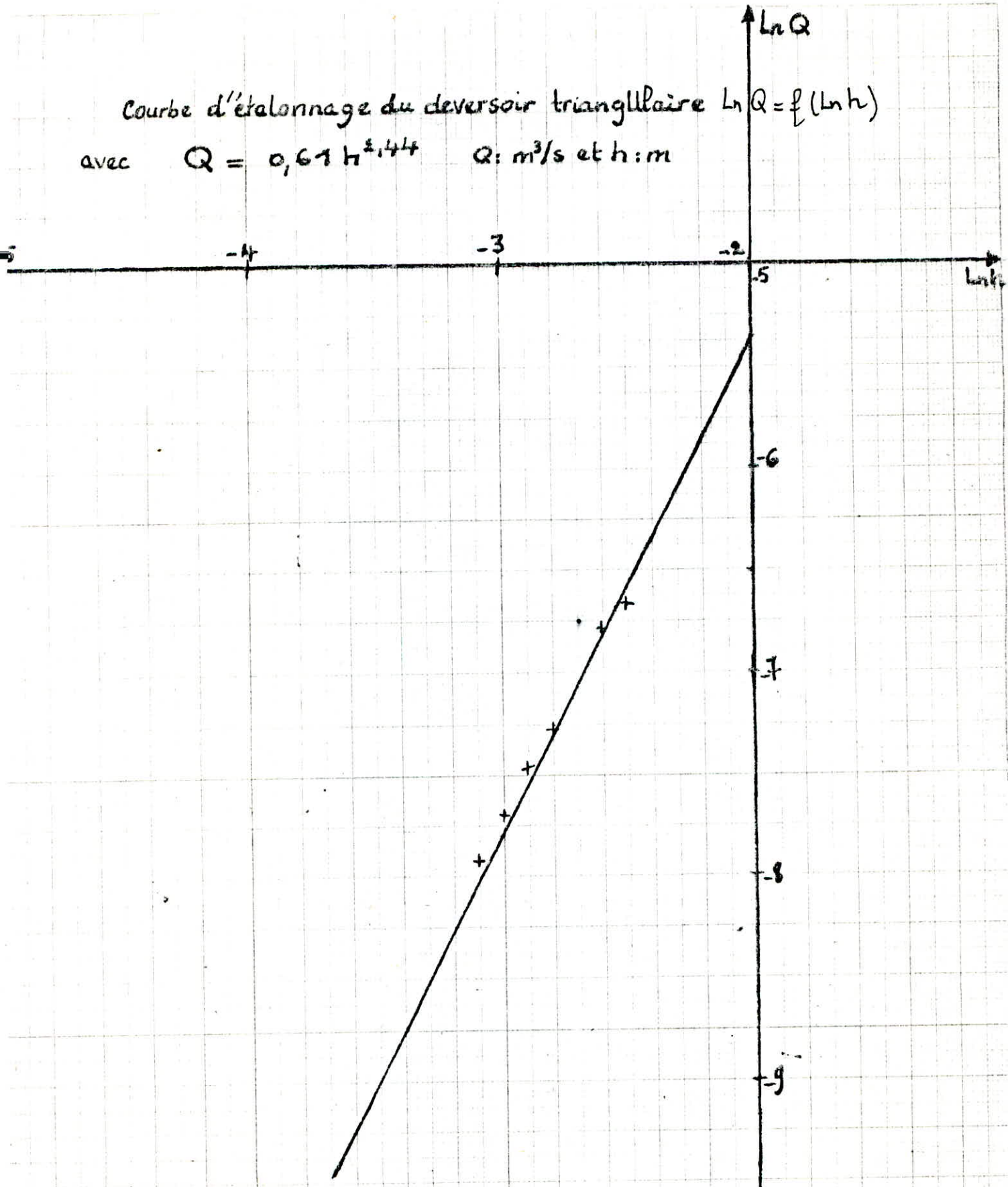
$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} = \frac{10,17}{\sqrt{4,18 \times 2462}} \approx 1$$

Tableau d'étalonnage du deversoir triangulaire

$Q. 10^{-3}$	$\log Q: y$	$h. 10^{-2}$	$\log h = x$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,02	-10,81	1,5	-4,12	-1,07	1,14	3,07
0,06	-9,72	2	-3,91	-0,86	0,73	1,56
0,08	-9,43	2,5	-3,68	-0,63	0,39	0,96
0,12	-9,02	3	-3,5	-0,45	0,20	0,5
0,13	-8,56	3,5	-3,35	-0,3	0,09	0,20
0,26	-8,25	4	-3,28	-0,16	0,02	0,056
0,36	-7,93	4,5	-3,1	-0,05	0,002	0,001
0,45	-7,70	5	-2,99	+0,06	0,003	0,012
0,56	-7,48	5,5	-2,9	0,15	0,022	0,063
0,68	-7,29	6	-2,8	0,25	0,06	0,152
0,8	-7,13	6,5	-2,73	0,32	0,10	0,246
0,95	-6,95	7	-2,65	0,4	0,16	0,38
1,1	-6,81	7,5	-2,59	0,46	0,21	0,50
1,28	-6,66	8	-2,52	0,53	0,28	0,657
1,47	-6,52	8,5	-2,46	0,59	0,34	0,814
1,7	-6,37	9,0	-2,4	0,65	0,42	0,99
$\bar{y} = -7,91$		$\bar{x} = -3,05$		$\Sigma = 4,180$		$\Sigma = 10,17$

Courbe d'étalonnage du deversoir triangulaire $\ln Q = f(\ln h)$

avec $Q = 0,61 h^{2,44}$ $Q: m^3/s$ et $h: m$



3 - Essais .

Lors de nos premiers essais, nous avons constaté que l'alimentation n'était pas suffisante, du fait que nous avons utilisé une conduite d'alimentation de petit diamètre d'une part et à l'existence de plusieurs coudes (grande perte de charge) d'autre part .

Nous avons constaté aussi que la surface libre dans la cuve était perturbée d'où une grande fluctuation dans la mesure des hauteurs H dans la cuve .

Comme remède, nous avons utilisé une conduite d'alimentation de grand diamètre (100mm) ayant le minimum de coudes . Par ailleurs, nous avons utilisé un tronçon de conduite en plexiglass (15 cm) de même diamètre que le puits (5,2cm) en saillie au dessus du fond de la cuve d'alimentation . Nous avons créé par conséquent un matelas d'eau pour diminuer les perturbations à l'intérieur de la cuve .

4 - Résultats expérimentaux .

Dans ce paragraphe, nous allons, à la lumière de nos expériences qui sont au nombre de cinq (05), voir quels sont les écoulements qui se produisent et quelles en sont leurs caractéristiques .

Pour chaque débit correspond une valeur de la charge dans la

Cuve d'alimentation, ce qui nous permet de tracer une courbe d'étalonnage de la forme $Q = a_1 H^{b_1}$.

Or, nous travaillons en adimensionnel donc la courbe d'étalonnage sera de la forme : $IF = a \left(\frac{H}{D} \right)^b$

avec $IF = \frac{Q}{\sqrt{g D^5}}$

On fait un ajustement de puissance, pour cela on passe à la linearisation de cette fonction en appliquant le logarithme népérien. On utilise la méthode des moindres carrés.

d'où $\ln IF = b \ln \left(\frac{H}{D} \right) + \ln a$

On pose :

$$\ln IF = Y$$

$$\ln \left(\frac{H}{D} \right) = X$$

$$b = A$$

et

$$\ln a = B$$

On obtient donc

$$Y = AX + B$$

avec

$$A = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

et

$$B = \bar{y} - A\bar{x}$$

Le coefficient de corrélation r est donné par :

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

a - Essais sur deversoir circulaire sans guideaux

Les résultats de cet essai sont portés dans l'estableaux (1), ils contiennent en outre toutes les données qui nous permettent de trouver la courbe ajustée $TF = f\left(\frac{H}{D}\right)$ de la forme $TF = a\left(\frac{H}{D}\right)^b$.

Nous remarquons qu'il existe deux modes d'écoulement un correspond à la branche a et l'autre aux branches b, après avoir tracé la courbe à partir des résultats expérimentaux.

* Pour la branche d'équation $TF = a\left(\frac{H}{D}\right)^b$, on trouve par la méthode des moindres carrés décrites auparavant

$$TF = 2,04 \left(\frac{H}{D}\right)^{1,65}$$

Elle correspond à l'écoulement par deversoir et qu'elle ne dépend pas du rapport $\frac{L}{D}$. En effet, en augmentant la valeur de $\frac{L}{D}$, la courbe ne subira pas d'influence, mais elle ne fait que se prolonger.

* Pour les branches b (b_1 , b_2 et b_3), on trouve par la même méthode =

* branche b_1 : $TF = 0,62 \left(\frac{H}{D}\right)^{0,57}$

* branche b_2 : $TF = 0,66 \left(\frac{H}{D}\right)^{0,51}$

* branche b_3 : $TF = 0,7 \left(\frac{H}{D}\right)^{0,46}$

Ces branches correspondent à l'écoulement en charge.

Tableau 1-1 (branche a)

H/D	$\log H/D = X$	F	$\log F = Y$	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})(X - \bar{X})$
0,1	-2,3	0,05	-2,99	-0,72	0,518	-1,1	1,21	0,792
0,11	-1,77	0,1	-2,30	-0,19	0,036	-0,48	0,168	0,077
0,22	-1,51	0,15	-1,89	0,07	0,005	0	0	0
0,25	-1,38	0,2	-1,60	0,2	0,04	0,29	0,084	0,058
0,27	-1,30	0,25	-1,38	0,28	0,078	0,51	0,260	0,142
0,28	-1,27	0,30	-1,20	0,38	0,096	0,61	0,476	0,214
$\bar{X} = -1,58$			$\bar{Y} = -1,89$		$\Sigma = 0,773$		$\Sigma = 2,1981$	$\Sigma = 1,280$

$a = 2,04$

$b = 1,65$

$r = 0,98$

d'où $TF = 2,04 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,65}$

Tableau 1-2 (branche b₁)

H/D	$\log H/D = X$	F	$\log F = Y$	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})(X - \bar{X})$
0,33	-1,10	0,35	-1,04	-0,766	0,586	0,375	0,141	0,288
0,46	-0,77	0,4	-0,91	-0,436	0,190	0,244	0,060	0,107
0,58	-0,54	0,45	-0,79	-0,206	0,042	0,122	0,015	0,026
0,71	-0,34	0,5	-0,69	-0,006	0	0	0	0
0,83	-0,18	0,55	-0,59	+0,154	0,0237	0,0707	0,005	0,011
0,95	-0,05	0,6	-0,51	+0,284	0,080	0,152	0,0233	0,434
1,13	+0,122	0,65	-0,43	+0,212	0,044	0,230	0,053	0,049
1,2	+0,192	0,7	-0,35	+0,152	0,023	0,309	0,095	0,047
$\bar{X} = -0,334$			$\bar{Y} = -0,665$		$\Sigma = 0,978$		$\Sigma = 0,571$	$\Sigma = 0,962$

$a = 0,62$

$b = 0,57$

$r = 0,91$

d'où $TF = 0,62 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,57}$

Tableau 1-3 (branche b2)

H/D	$\log H/D = x$	F	$\log F = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})(x - \bar{x})$
0,35	-1,04	0,4	-0,91	-0,665	0,442	0,298	0,089	0,199
0,48	-0,73	0,45	-0,79	-0,355	0,126	0,176	0,031	0,063
0,61	-0,49	0,5	-0,69	-0,115	0,013	0,077	0,006	0,009
0,73	-0,31	0,55	-0,59	+0,065	0,0042	0,02	0,0004	0,0013
0,86	-0,15	0,6	-0,51	+0,225	0,0506	0,1	0,01	0,0225
0,93	-0,010	0,65	-0,43	+0,365	0,133	0,19	0,0324	0,0657
1,11	+0,10	0,7	-0,35	+0,275	0,075	0,258	0,067	0,0715
$\bar{x} = -0,375$		$\bar{y} = -0,61$		$\Sigma = 0,843$		0,2358		0,432

$$a = 0,66$$

$$b = 0,51$$

$$r = 0,96$$

$$d'o\grave{u} \quad IF = 0,66 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,51}$$

Tableau 1-4 (branche b3)

H/D	$\log H/D = x$	F	$\log F = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})(x - \bar{x})$
0,37	-0,99	0,45	-0,79	-0,54	0,29	0,228	0,052	0,124
0,49	-0,71	0,5	-0,69	-0,26	0,06	0,126	0,016	0,033
0,62	-0,47	0,55	-0,59	-0,02	0,0004	0	0,00	0,0006
0,74	-0,30	0,6	-0,51	+0,15	0,022	0,044	0,002	0,007
0,87	-0,13	0,65	-0,43	+0,32	0,102	0,126	0,016	0,041
0,99	0,10	0,7	-0,35	+0,35	0,122	0,207	0,043	0,073
$\bar{x} = -0,45$		$\bar{y} = -0,56$		$\Sigma = 0,536$		0,129		0,219

$$a = 0,7$$

$$b = 0,46$$

$$r = 1$$

$$d'o\grave{u} \quad IF = 0,7 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,46}$$

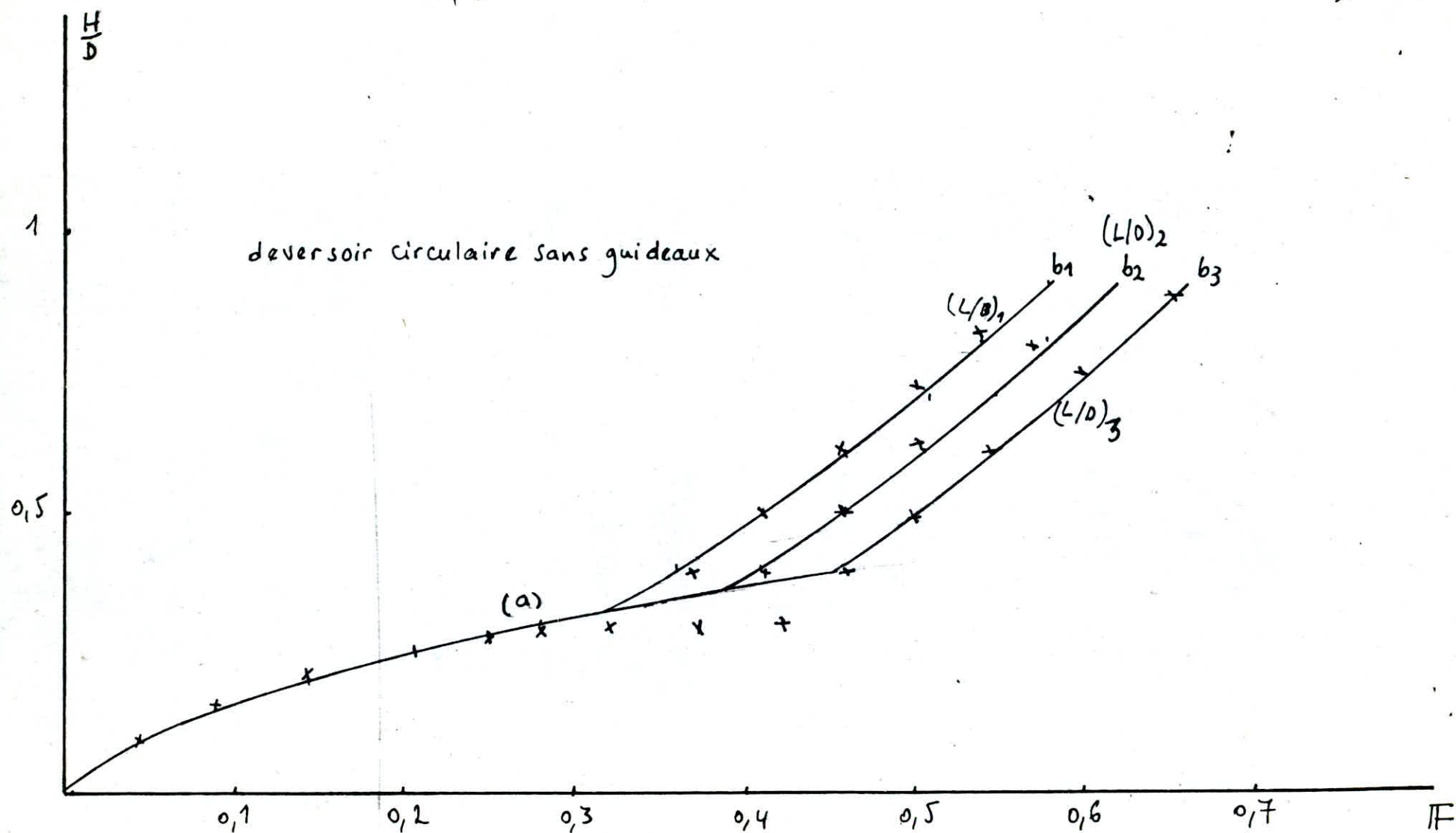
L'intersection des branches (b_1, b_2 et b_3) avec la branche a donne les points d'engorgement qui sont au nombre de trois. Le premier point d'engorgement se situe à une valeur de IF d'environ 0,33.

Le deuxième point d'engorgement se trouve à une valeur de IF d'environ 0,39.

Enfin le troisième point d'engorgement est à une valeur de $IF = \frac{Q}{\sqrt{gD^5}}$ d'environ 0,46.

On remarque que, ainsi que cela résulte de la formule théorique d'un écoulement en charge, les branches b (b_1, b_2, b_3) s'échelonnent dans l'ordre croissant des rapports $\frac{L}{D}$.

On constate aussi que, dans ce cas l'écoulement par orifices n'a pu être obtenu.



b. Essais sur deversoir circulaire avec guideaux.

Les résultats expérimentaux figurent dans les tableaux 2.

Les résultats nous permettent de trouver l'allure de la courbe expérimentale. On fait un ajustement par la méthode des moindres carrés.

Nous remarquons l'existence de deux types d'écoulement : un correspond à la branche (a) et l'autre à la branche (b)

* Pour la branche (a) on trouve :

$$TF = 4,8 \left(\frac{H}{D} \right)^2$$

Suivant les débits croissants (d'où TF croissants), les points dessinent la même courbe et ceci quelle que soit la longueur du puits utilisée. Donc, elle ne dépend pas du rapport $\frac{L}{D}$.

* Pour la branche (b) on trouve :

$$TF = 0,68 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,65}$$

Quand la valeur de TF atteint 0,30 environ, il y a changement de régime, l'écoulement par orifice s'établit.

TF augmente avec $\frac{H}{D}$ indépendamment du rapport $\frac{L}{D}$ suivant la formule de $TF = 0,68 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,65}$.

Tableau 2-1 (branche a)

H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,10	-2,3	0,05	-2,93	-0,50	0,25	-0,96	0,921	0,479
0,16	-1,83	0,1	-2,30	-0,03	0,000	-0,27	0,072	0,008
0,18	-1,71	0,15	-1,89	+0,09	0,008	+0,14	0,019	0,012
0,20	-1,6	0,20	-1,60	+0,2	0,04	+0,43	0,184	0,086
0,21	-1,56	0,25	-1,38	+0,24	0,057	+0,66	0,422	0,156
$\bar{x} = -1,8$			$\bar{y} = -2,032$		$\Sigma = 0,355$		$\Sigma = 1,618$	$\Sigma = 0,741$

$a = 4,8$

$b = 2$

$r = 0,97$

d'où $IF = 4,8 \left(\frac{H}{D} \right)^2$

Tableau 2-2 (branche b)

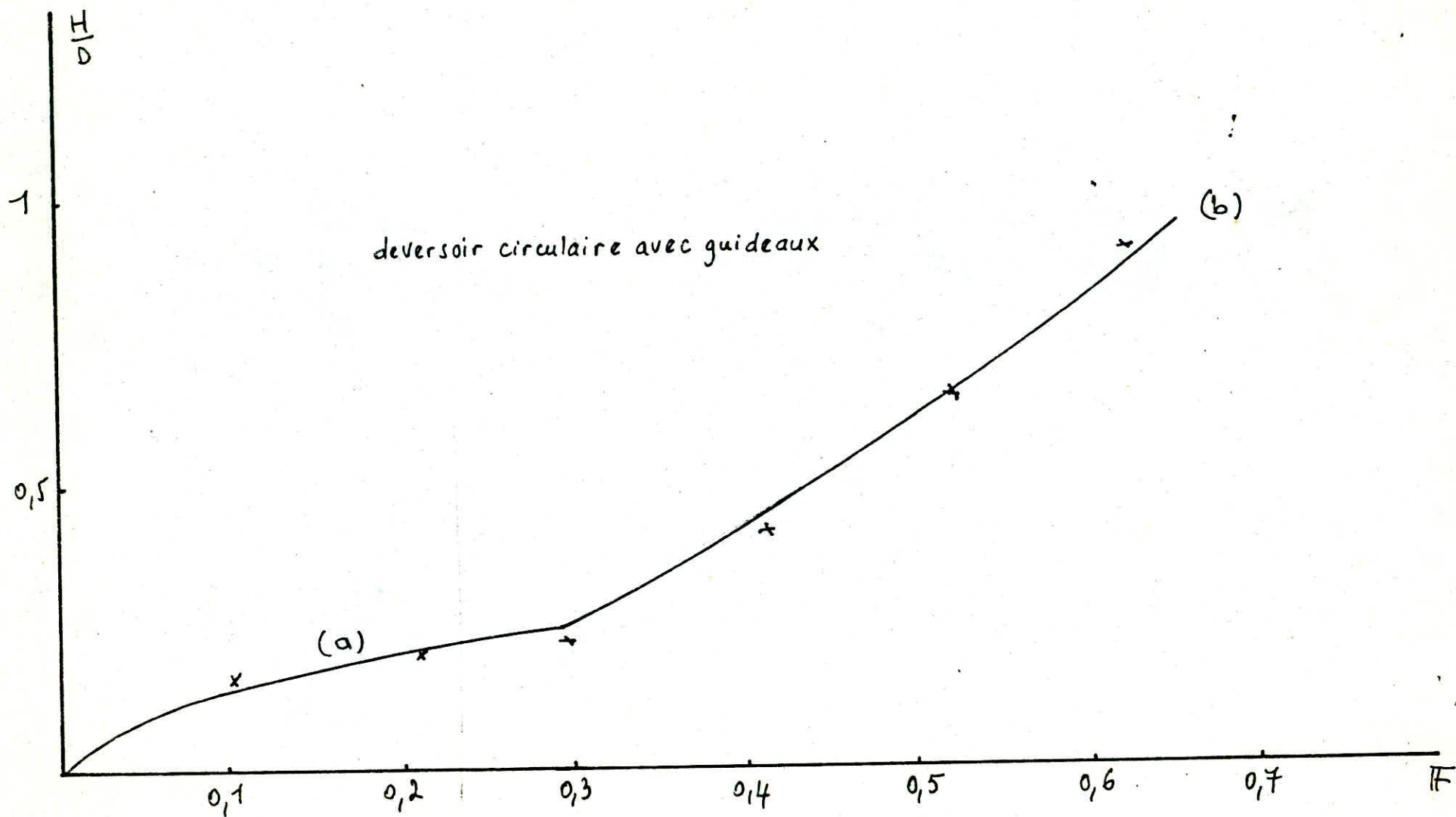
H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,38	-0,96	0,40	-0,91	-0,593	0,351	0,298	0,089	0,177
0,49	-0,71	0,45	-0,79	-0,343	0,011	0,176	0,031	0,061
0,60	-0,51	0,50	-0,69	-0,143	0,020	0,077	0,006	0,011
0,71	-0,34	0,55	-0,59	+0,027	0	0	0,000	0,000
0,84	-0,17	0,60	-0,51	+0,197	0,038	0,094	0,009	0,019
0,98	-0,02	0,65	-0,43	+0,347	0,120	0,176	0,031	0,062
1,15	+0,139	0,70	-0,35	0,228	0,051	0,256	0,066	0,059
$\bar{x} = -0,367$			$\bar{y} = -0,61$		$\Sigma = 0,592$		$\Sigma = 0,232$	$\Sigma = 0,389$

$a = 0,68$

$b = 0,65$

$r = 1$

d'où $IF = 0,68 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,65}$



C - Essais sur le deversoir avec plaque circulaire sans guideaux

Sur le même dispositif précédent, on ^{place une} plaque circulaire de 120 mm de diamètre, à fleur de l'extrémité supérieure du deversoir circulaire, pour que les conditions d'alimentation soient radiales ou très proches. En premier lieu nous n'utiliserons pas de guideaux.

Dans le tableau 3, sont portés les résultats de nos essais. L'allure de la courbe expérimentale nous montre l'apparition d'un seul mode d'écoulement.

Après avoir fait l'ajustement par la méthode déjà citée, On obtient :

$$IF = 2,12 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,6}$$

IF augmente avec $\frac{H}{D}$ sans que les écoulements par orifice ou en charge apparaissent, cela est dû essentiellement au manque d'eau dans l'alimentation.

La courbe n'est pas influencée par la longueur du fruit, c'est à dire que IF augmente avec $\frac{H}{D}$ indépendamment du rapport $\frac{L}{D}$.

Tableau 3

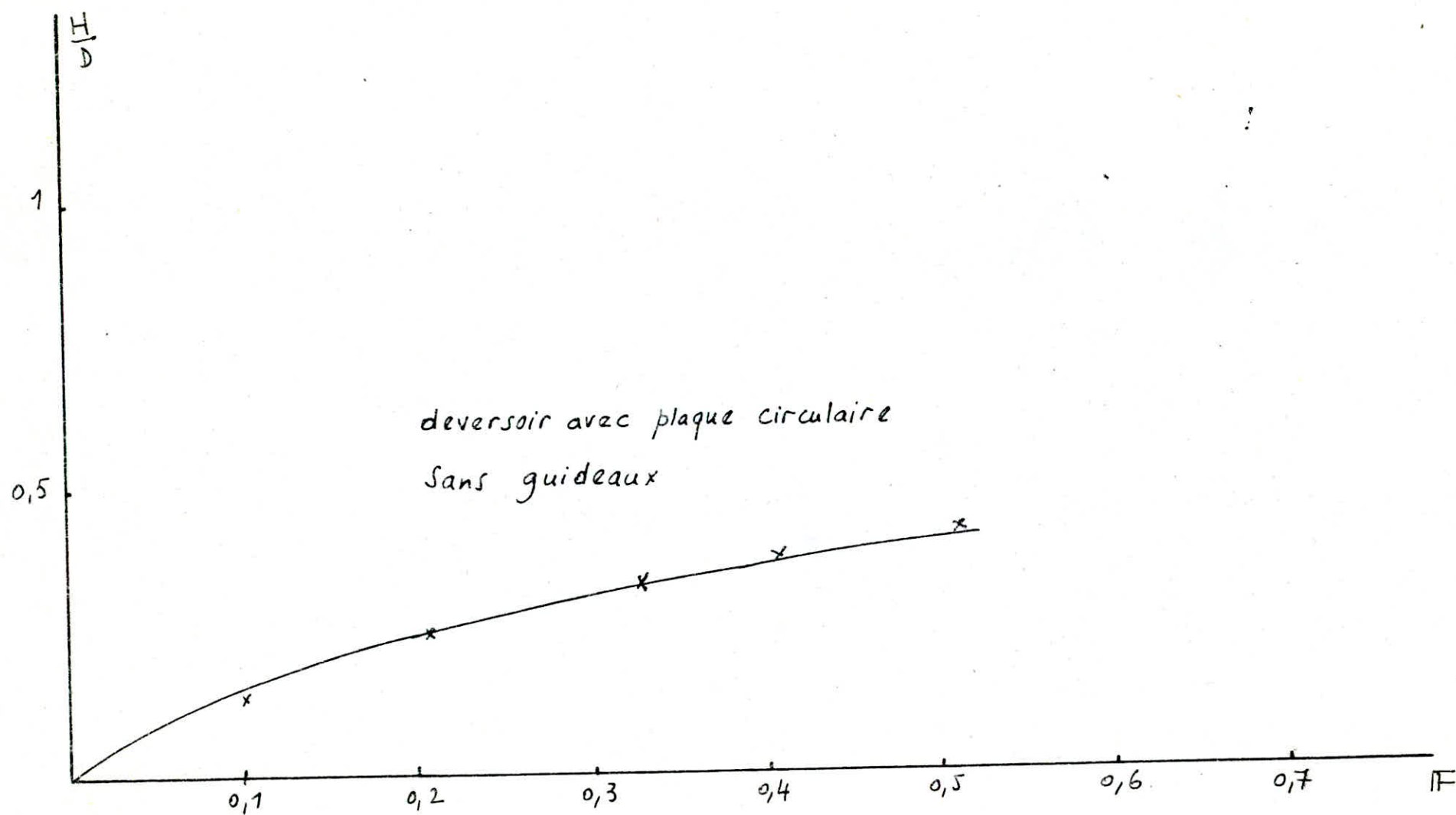
H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})(x - \bar{x})$
0,14	-1,96	0,1	-2,3	-0,82	0,67	-1,23	1,512	1,008
0,24	-1,42	0,2	-1,6	-0,28	0,078	-0,53	0,280	0,148
0,31	-1,17	0,3	-1,2	-0,03	0,001	-0,13	0,016	0,0040
0,37	-0,99	0,4	-0,92	+0,15	0,022	0,16	0,025	0,021
0,41	-0,89	0,5	-0,69	+0,25	0,062	0,38	0,144	0,095
0,44	-0,82	0,6	-0,51	+0,32	0,102	0,56	0,313	0,179
0,45	-0,79	0,7	-0,35	+0,35	0,122	0,72	0,518	0,252
$\bar{x} = -1,14$			$\bar{y} = -1,07$		$\sum = 1,057$		$\sum = 2,808$	$\sum = 1,710$

$$a = 2,12$$

$$b = 1,6$$

$$r = 0,99$$

d'où $IF = 2,12 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,6}$



d. Essais sur le deversoir avec plaque circulaire avec guideaux

Nous opérons de la même façon qu'auparavant, à part que cette fois-ci nous ajoutons à l'ensemble des guideaux.

Les résultats de cet essai sont portés dans les tableaux 4.

La courbe expérimentale nous montre l'existence de deux types d'écoulement: branche (a) et branches (b_1, b_2).

Après avoir fait l'ajustement on trouve :

* Pour la branche (a)

$$IF = 1,82 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,47}$$

En utilisant les trois tronçons de conduite, la même courbe est obtenue, d'où son indépendance du rapport $\frac{L}{D}$.

Cette ^{courbe} correspond à l'écoulement par deversoir.

* Pour la branche (b_1)

$$IF = 0,67 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,42}$$

* Pour la branche (b_2)

$$IF = 0,74 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,35}$$

Ces branches correspondent à l'écoulement en charge.

L'intersection de la branche (a) avec b_1 et b_2 donne les deux points d'engorgement

Le premier se situe à une valeur de IF d'environ 0,38.

Le deuxième se trouve à une valeur de IF d'environ 0,46.

On remarque que pour $(L/D)_3$ l'engorgement n'apparaît pas.

Tableau 4-1 (branche a)

H/D	$\lg H/D = x$	IF	$\lg IF = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})^2$
0,09	-2,40	0,05	-2,99	-0,785	0,616	1,217	0,956	1,483
0,16	-1,83	0,1	-2,30	-0,215	0,046	0,525	0,113	0,276
0,2	-1,60	0,15	-1,89	+0,015	0,000	0,063	0,001	0,004
0,23	-1,46	0,20	-1,60	+0,155	0,024	0,167	0,026	0,028
0,25	-1,38	0,25	-1,38	+0,235	0,055	0,093	0,021	0,007
0,26	-1,34	0,30	-1,20	+0,275	0,075	0,570	0,157	0,325
0,27	-1,30	0,35	-1,049	+0,315	0,099	0,223	0,071	0,050
$\bar{x} = -1,615$		$\bar{y} = -1,712$		$\Sigma 0,915$		$\Sigma 1,345$		$\Sigma 2,173$

$$a = 1,82$$

$$b = 1,47$$

$$r = 0,95$$

d'où

$$IF = 1,82 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,47}$$

Tableau 4-2 (branche b₁)

H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,37	-0,99	0,45	-0,79	-0,53	0,348	0,228	0,052	0,135
0,47	-0,75	0,5	-0,69	-0,35	0,122	0,126	0,016	0,045
0,6	-0,51	0,55	-0,59	-0,11	0,012	0,00	0,00	0,003
0,74	-0,30	0,6	-0,51	+0,1	0,01	0,044	0,002	0,005
0,83	-0,11	0,65	-0,43	+0,29	0,0841	0,126	0,016	0,037
1,3	+0,26	0,7	-0,35	+0,14	0,0196	0,204	0,042	0,029
$\bar{x} = -0,4$			$\bar{y} = -0,56$		$\Sigma = 0,595$		$\Sigma = 0,128$	$\Sigma = 0,254$

$$a = 0,67$$

$$b = 0,42$$

$$r = 0,92$$

d'où

$$IF = 0,67 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,42}$$

Tableau 4-3 (branche b₂)

H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,32	-1,13	0,5	-0,69	-0,52	0,270	0,176	0,031	0,092
0,43	-0,84	0,55	-0,59	-0,23	0,052	0,0707	0,005	0,017
0,56	-0,58	0,6	-0,510	+0,03	0,000	0	0	0,00
0,70	-0,35	0,65	-0,43	+0,26	0,067	0,083	0,007	0,022
0,86	-0,15	0,7	-0,356	+0,46	0,211	0,164	0,027	0,074
$\bar{x} = -0,61$			$\bar{y} = -0,514$		$\Sigma = 0,6$		$\Sigma = 0,07$	$\Sigma = 0,205$

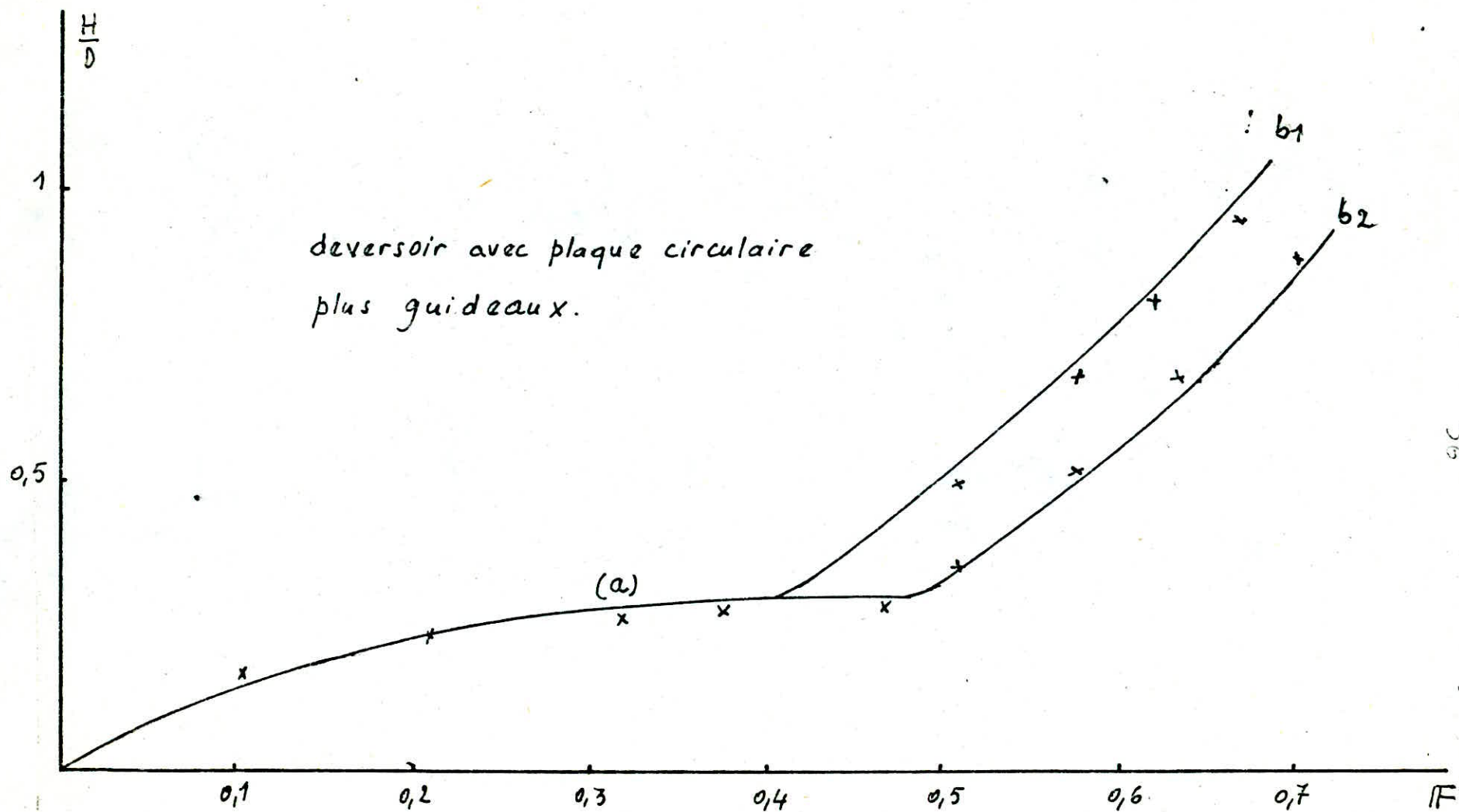
$$a = 0,74$$

$$b = 0,35$$

$$r = 1$$

d'où

$$IF = 0,74 \left(\frac{H}{D} \right)^{0,35}$$



c - Essais sur deversoir en forme d'entonnoir.

Nous avons réalisé ce deversoir de manière à ce que son diamètre de base corresponde au diamètre du puits, avec une inclinaison de 45° . Son diamètre supérieur est de 15,2 cm.

Les résultats de nos essais figurent dans le tableau 5. La courbe expérimentale nous montre l'existence d'un seul type d'écoulement.

Après avoir fait l'ajustement on obtient :

$$IF = 6,39 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,49}$$

On constate que le nombre IF est d'autant plus grand que le rapport $\frac{H}{D}$ est grand.

Cette courbe correspond à l'écoulement par deversoir ; et l'engorgement n'est pas atteint, cela est dû au fait que l'alimentation n'est pas suffisante.

Tableau 5

H/D	$\log H/D = x$	IF	$\log IF = y$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,06	-2,81	0,1	-2,3	-0,84	0,705	1,219	1,486	1,024
0,1	-2,3	0,2	-1,6	-0,33	0,108	0,517	0,268	0,171
0,13	-2,04	0,3	-1,2	-0,07	0,0049	0,114	0,013	0,008
0,16	-1,83	0,4	-0,91	+0,14	0,0196	0,161	0,026	0,023
0,18	-1,71	0,5	-0,69	+0,26	0,0676	0,387	0,150	0,101
0,21	-1,6	0,6	-0,51	+0,37	0,136	0,567	0,322	0,210
0,22	-1,51	0,7	-0,35	+0,46	0,211	0,728	0,530	0,335
	$\bar{x} = -1,97$		$\bar{y} = -1,08$		$\Sigma = 1,252$		$\Sigma = 2,795$	$\Sigma = 1,872$

$$a = 6,39$$

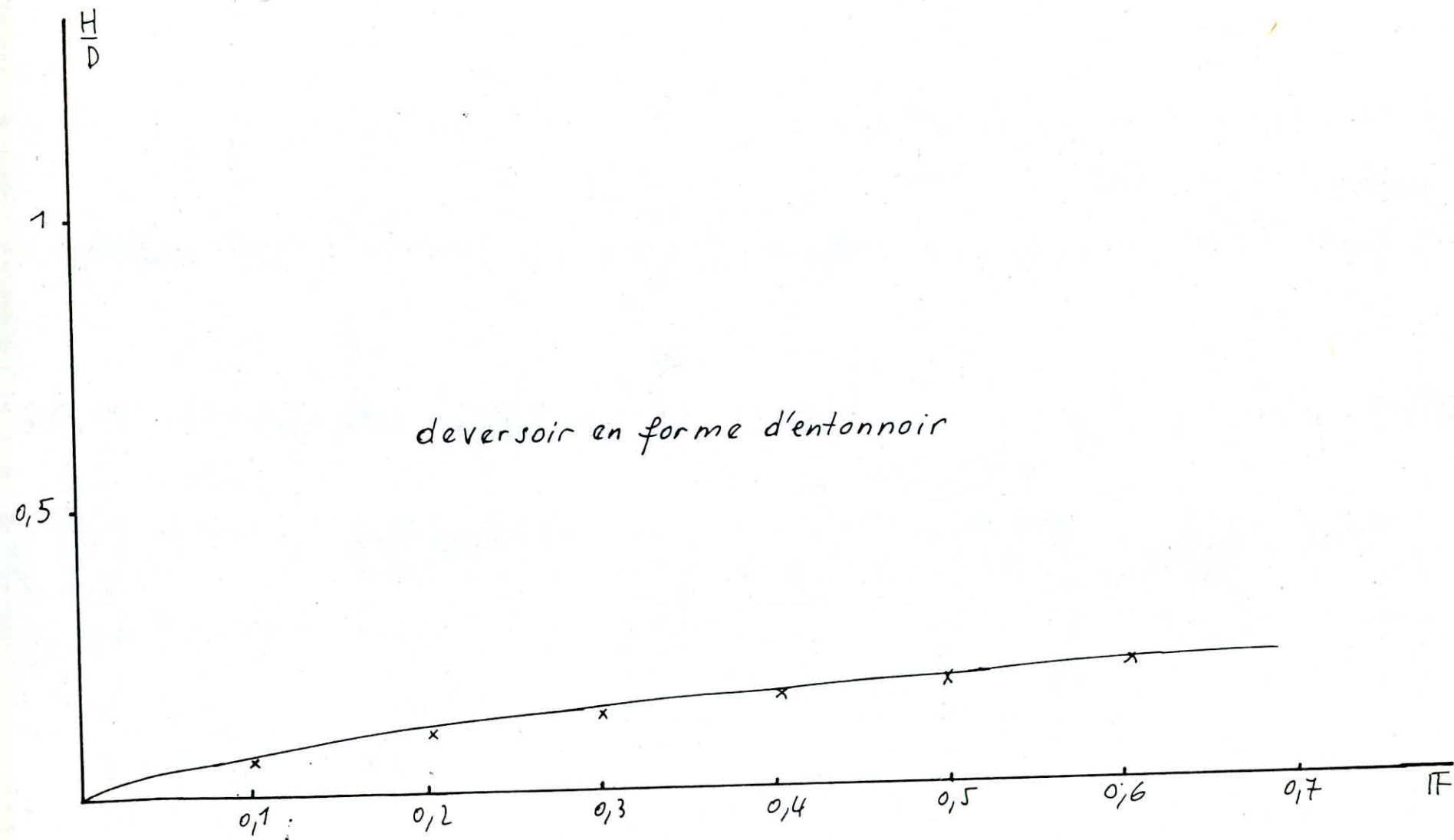
$$b = 1,49$$

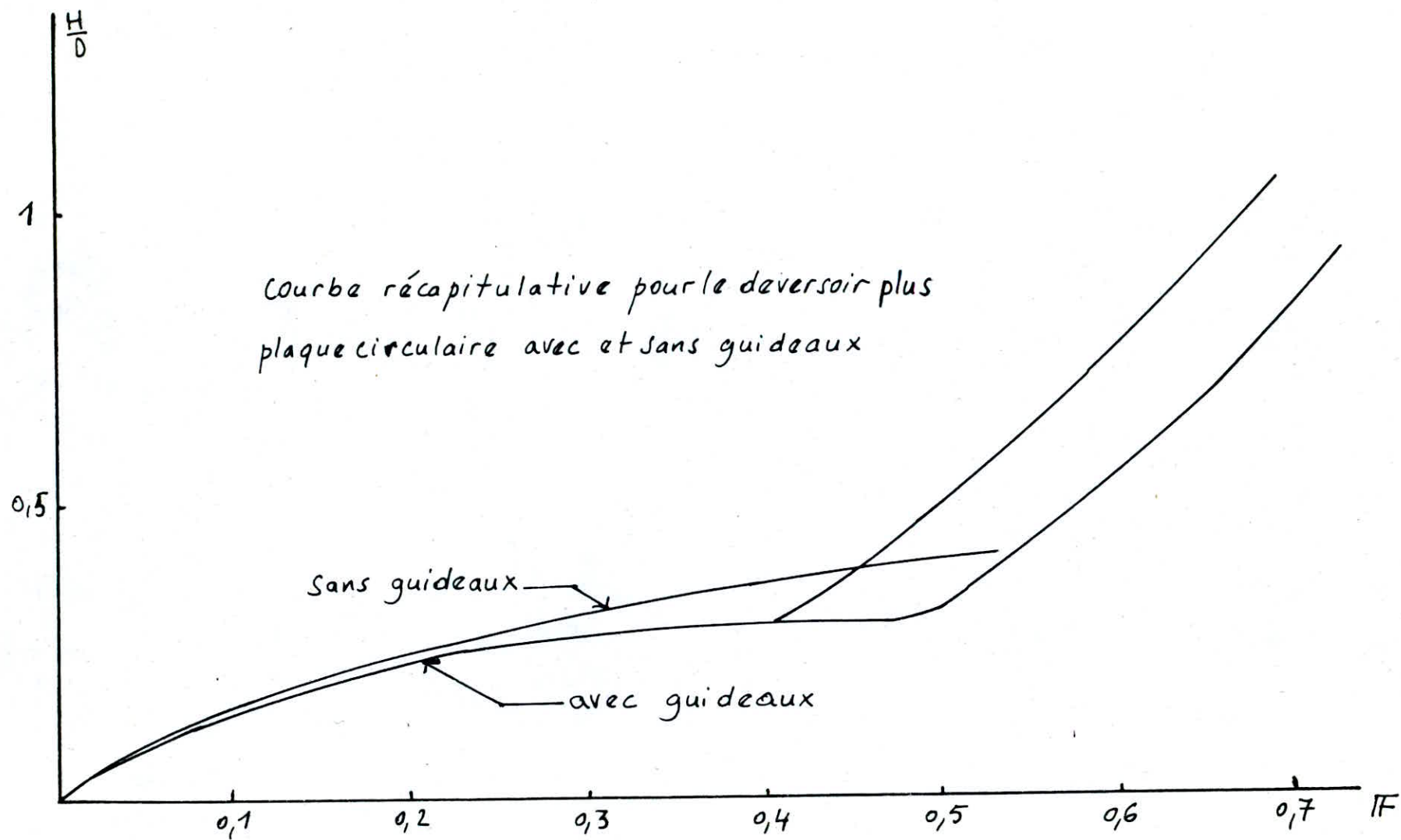
$$r = 1$$

d'où

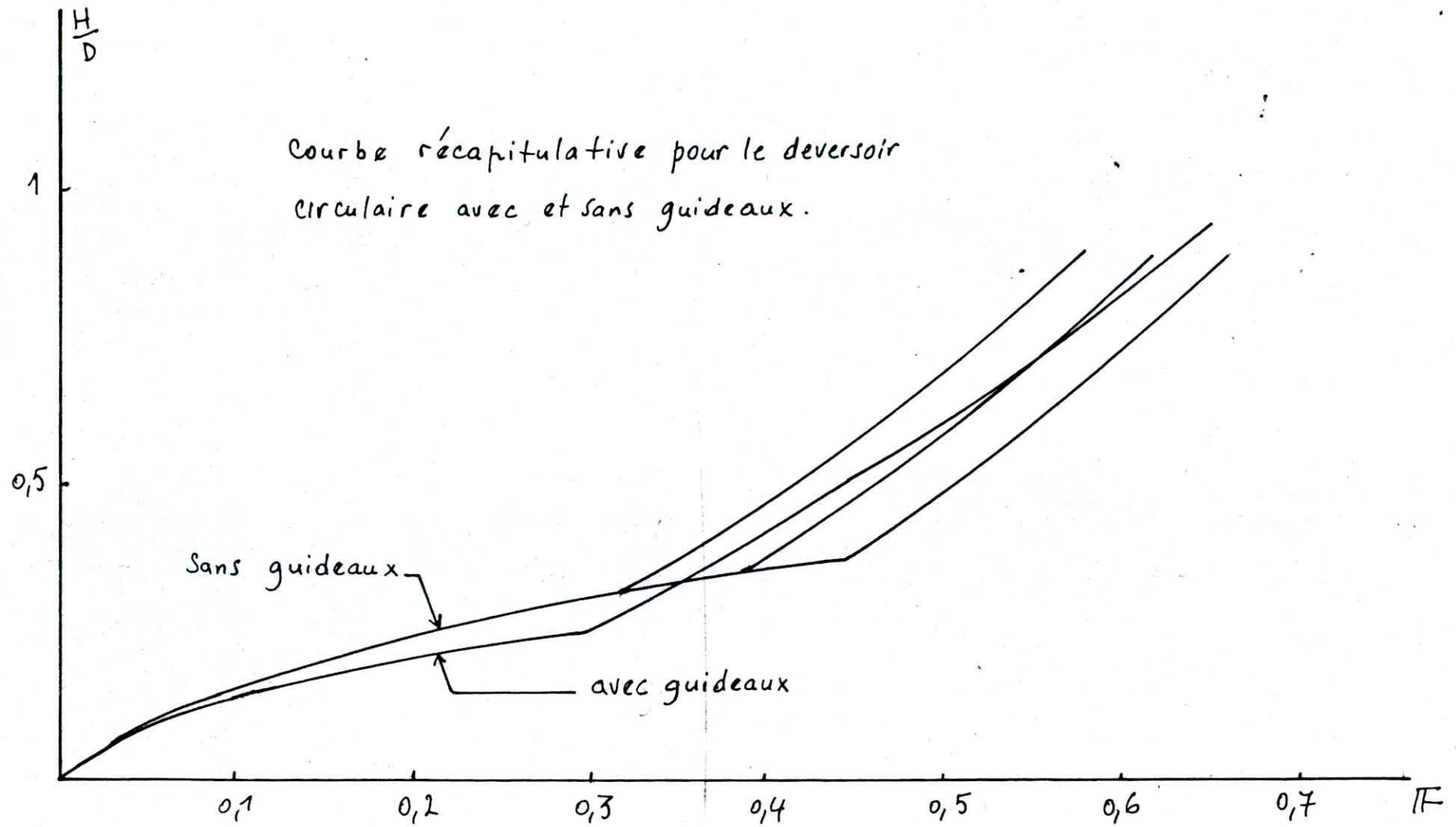
$$IF = 6,39 \left(\frac{H}{D} \right)^{1,49}$$

53

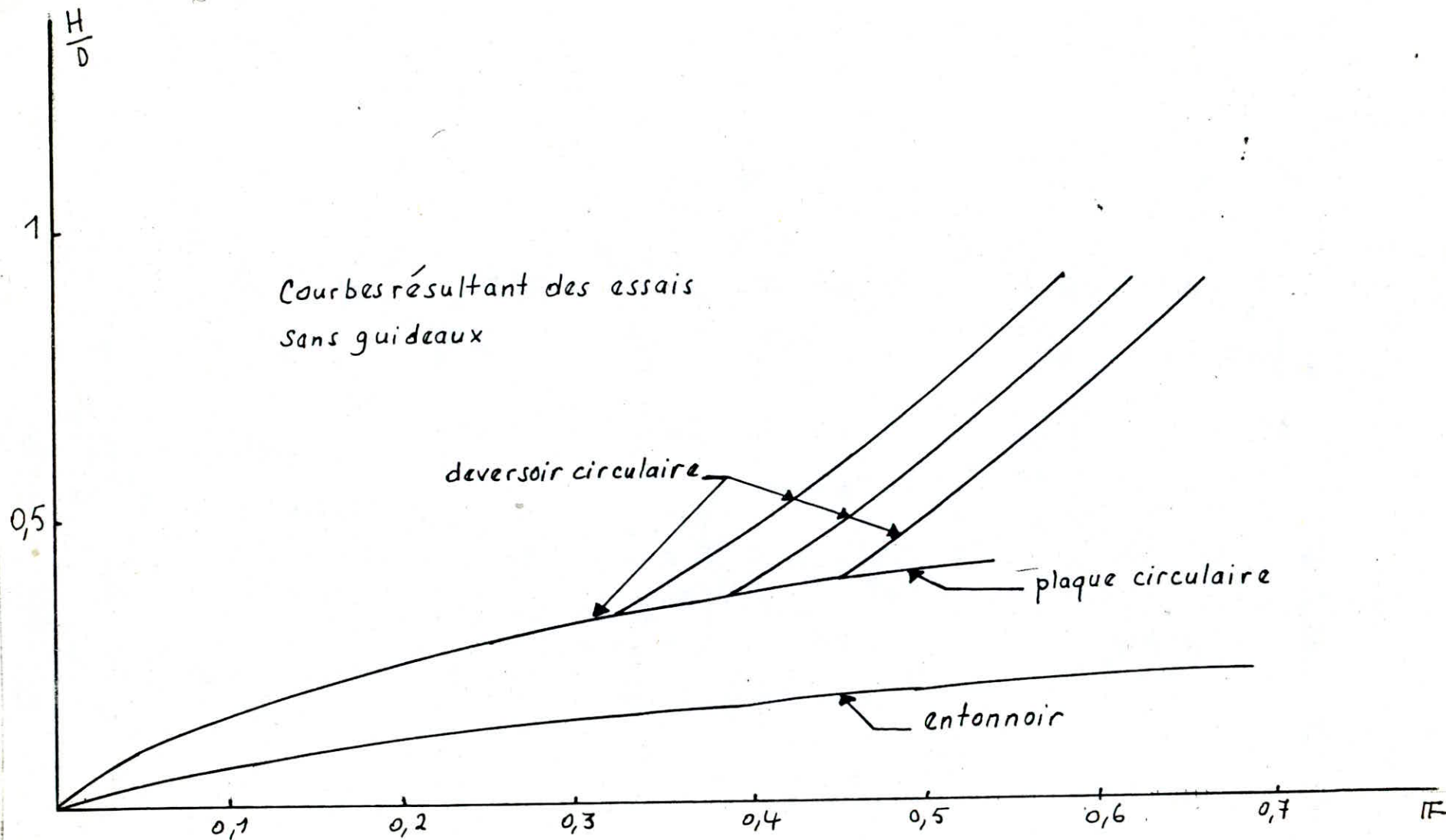


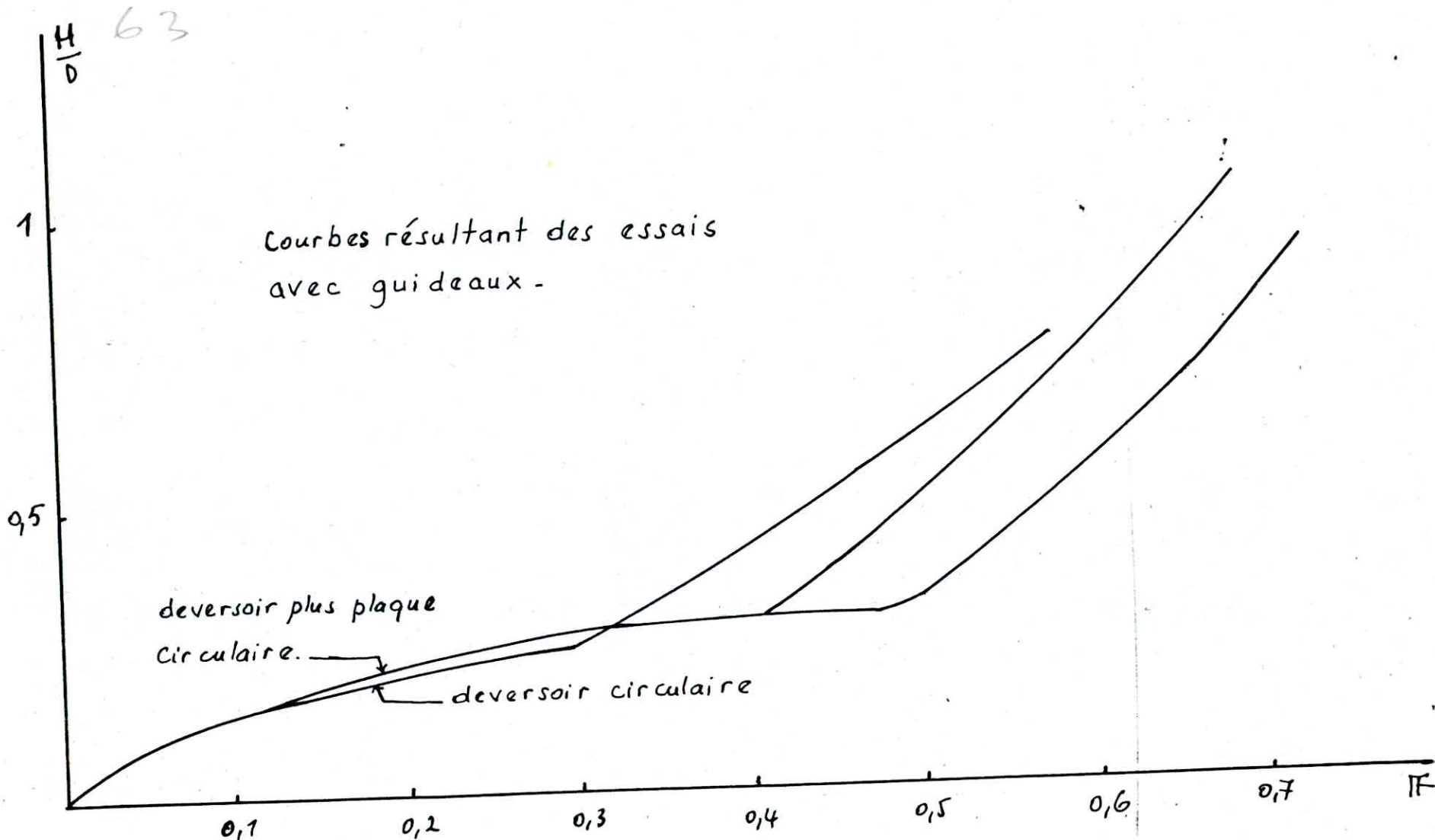


61



62





Conclusion

Dans les mêmes conditions d'alimentation, nous avons pu mettre en charge ou noyer les différents types de deversoirs, sauf le deversoir avec plaque circulaire plus guideaux et entonnoir. Ce dernier a la capacité d'évacuation la plus importante par rapport aux autres.

A la lumière de nos résultats, nous pouvons dire que plus la longueur du puits est grande plus la capacité d'évacuation de l'ouvrage est grande. C'est à dire que, le point d'engorgement se situe à des valeurs de IF plus grandes quand le rapport $\frac{L}{D}$ augmente, tel que le montrent les courbes relatives aux essais (a) et (d).

Nous avons constaté par ailleurs que, les trois modes sont indépendants entre eux, c'est à dire, les causes susceptibles de modifier l'un d'eux n'agissent pas sur les autres.

En effet, l'écoulement par deversoir n'est influencé que par les conditions amont. En d'autres termes, il n'est influencé que par les modifications faites au deversoir : changement de profil de la crête, ou du diamètre du deversoir et présence de guideaux.

Par contre, l'écoulement en charge est déterminé par les conditions "aval", c'est à dire par les conditions d'écoulement sous charge : perte de charge dans le puits. Donc, les débits sont contrôlés par la géométrie du puits. Pour l'écoulement par orifice, les débits sont contrôlés par le seuil deversant, plus précisément par la forme du deversoir envisagé. Cet écoulement ne peut être obtenu que pour les deversoirs à entrée vive. En effet, pour les deversoirs à crête arrondie, la nappe deversante épouse la forme de celui-ci, par conséquent, il n'y aura pas de contraction. Il serait donc inutile, du fait de l'indépendance entre ces écoulements, d'augmenter le diamètre du deversoir pour accroître le débit d'engorgement d'un tel évacuateur.

Enfin, l'utilisation des guideaux augmente la capacité d'évacuation des dispositifs (différents deversoirs) essayer, ainsi que le montrent les courbes récapitulatives.

En remarque, on notera que la mise en charge de l'entonnoir n'apparaît pas du fait que le système d'alimentation utilisé ne nous permet pas d'avoir de gros débits.

Bibliographie.

- A. Lencastre : Manuel d'hydraulique générale.
Edition Eyrolles - Paris - 1982.
- M. Carlier = Hydraulique générale et appliquée
Edition Eyrolles - Paris - 1972.
- A. Lencastre = Deversoirs circulaires en puits
Houille blanche - N° 1 - 1985.
- A. Gardel = Bulletin technique de la Suisse Romande.
Les deversoirs circulaires - 31-12-1949.
- S. ALAM = Aménagement de Vieux-Pré
Houille blanche N° 3/4 - 1983.
- W.E. WAGNER : Morning-glory shaft spillways.
American society of civil engineers - Avril 1954
- G. Hajdin = Two Contributions to spillway designing based on
experimental studies.
13^e Congrès des grands barrages - 1979.
- A. SCHLAG = Recherches expérimentales sur l'écoulement
par deversoir - puits.
Houille blanche N° 2 - 1969.
- Lenghaar = Analyse dimensionnelle et théorie des
maquettes - (disponible à la bibliothèque
de l'ENP).
- LAPRAY = polycopé d'hydraulique générale (ENP)

