

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **HYDRAULIQUE**

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

*Etude et conception sur modèle
reduit d'un siphon regulateur
de niveau*

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

Pr. G. LAPRAY

ARAB. R.

Pr. G. LAPRAY

BOUAMRA. A.

PROMOTION : Janvier 1985

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
«O»

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
«O»

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
«O»

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE
«O»

PROJET DE FIN D'ETUDES
«O»

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

THEME

*Etude et conception sur modèle
reduit d'un siphon regulateur
de niveau*

Proposé par :

Pr. G. LAPRAY

Etudié par :

ARAB R.

BOUAMRA A.

Dirigé par :

Pr. G. LAPRAY

tudiants : Bouamra Ali
Arabi Rabah

Promoteur : Dr. G. LAPRAY

دراسة على نموذج مصغر لمثعب منظم لمنسوب الماء
ملخص الموضوع

موضوع هذه الأطروحة هو دراسة على نموذج مصغر لمثعب منظم لمنسوب الماء، مكون من الزجاج الوفاقي. إن استقرار منسوب الماء في حوض التسوية يعتمد أساساً على وضعية الأنبوب الآخذ للهواء المتصل بقعر المثعب عند العمل بالتجزئي.

Etude et conception sur modèle réduit
d'un siphon régulateur de niveau

Resumé du sujet

La présente thèse consiste à l'étude sur modèle réduit d'un siphon régulateur de niveau réalisé en plexiglas. La stabilisation du niveau du plan d'eau dans le bassin d'alimentation dépend essentiellement de la position du tube de prise d'air qui est relié au sommet du siphon lors du fonctionnement en partielisé.

Study and conception of a siphon level
regulator on the small model.

Subject summary

The present thesis consist the study of a siphon level regulator on the small model made of plexiglas. The stabilization of the level water in the supplying basin depends essentially on the position of the air inlet tube linking at the top of the siphon, at the time of the partially functioning.

/_) E /_) I C A C E S

-----ooo-----

Je dedie ce modeste travail en signe de respect
et de reconnaissance

à ma mère , pour sa profonde tendresse

à mon père , pour son sacrifice à mon égard

à mes frères

à mes soeurs

à tous mes amis

-----o R A B A H o-----

/) E /) I C A C E S

-----ooo-----

Je dedie ce modeste travail en signe de respect
et de reconnaissance .

- à ma mère , pour sa profonde tendresse
- à mon père , pour tous les efforts qu'il a
déployé pour me voir enfin reussir
- à ma soeur unique et à son fils unique
- à tous mes amis

-----o A L I o-----

/ (E /) /) E R C I E M E N T S
-----ooo-----

/) / ous tenons à remercier vivement notre promoteur ' Docteur G. L A P R A Y ' pour l'aide efficace qu'il nous a apporté pour l'élaboration de ce mémoire .

/) / ous tenons également à lui exprimer notre profonde gratitude pour l'importance qu'il accorde au laboratoire d'hydraulique ,

/) / os vifs remerciements vont également à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation

à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin .

... / ..

S O M M A I R E

-----000-----

Chapitre I /

Introduction	
1. Généralités	1
2. But de projet	
3. Introduction aux essais sur modèles réduits	4
4. Lois de similitude	6
Similitude de Reech-Fronde	7

Chapitre II /

1. Principe général de fonctionnement des siphons	9
2. Détermination de la charge H	11
3. Pression au sommet du siphon	13

Chapitre III /

1. Constitution du modèle réduit	16
2. But et fonctionnement des organes	16
3. Fonctionnement du siphon régulateur de niveau	21
Temps d'ammorçage	21
Partialisation du débit	24
Différents types de fonctionnement	28

Chapitre IV /

1. Loi de variation des hauteurs H et H' en fonction du débit	28
2. Loi de variation des pressions dans le siphon	30

Chapitre V /

* Résultats des essais	32
1. Caractéristiques du siphon régulateur de niveau	32
2. Evaluation du coefficient de frottement	33
3. Etalonnage du débit -mètre à segment	34
4. Ajustement de courbe	39
5. Programme pour le calcul de a et b	40
6. Stabilisation du niveau du plan d'eau lors du fonctionnement en partialisé	46
Tableau de mesures	48



Chapitre VI /

1. Détermination du coefficient de contraction	54
2. Détermination du coefficient du débit	55
3. Coefficient d'efficacité	58
4. Oscillations entre le bassin d'alimentation et le bassin secondaire	60

Chapitre VII /

* Projet du prototype	67
1. Calcul du débit du deversoir	69
2. Dimensionnement du prototype	72

C O N C L U S I O N ...

 UT DU  ROJET
-----OOO-----

// autre projet de fin d'étude consiste à l'étude
sur un modèle réduit d'un siphon régulateur
de niveau.

Ce modèle fait en plexiglas est conçu et réaliser
par le professeur Mr G. LAPAY .

Il aura pour rôle de :

- Stabiliser le niveau du plan d'eau
- Maintenir l'égalité entre le débit entrant
et le débit sortant

... / ..

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

-----oOo-----

GENERALITES :

✱

Généralement , les barrages doivent comporter des ouvrages annexes qui sont susceptibles d'évacuer le débit de la plus grande crue à redouter , ces ouvrages annexes sont appelés : évacuateur de crue .

La submersion d'un barrage en terre au passage d'une forte crue a toujours des conséquences catastrophiques allant de la destruction de l'ouvrage à la demolition des constructions à l'aval et à l'inondation des terres agricoles . Pour éviter de telles catastrophes, il est donc nécessaire de prévoir un évacuateur de crue qui sera calculé de façon à ce que la surelevation du plan d'eau de la retenue n'atteint pas la crête du barrage .

✱ ✱

- Un évacuateur de crue comporte trois parties :
- un ouvrage de réglage de débit situé en tête de l'évacuateur qui permet d'ajuster le débit évacué au débit naturel , donc de régler le niveau de la retenue à la côte désirée
 - Un ouvrage d'évacuation qui conduit l'eau de l'amont à l'aval du barrage .
 - Un ouvrage de disposition d'énergie , car l'eau arrive à l'aval du barrage avec une grande vitesse en provoquant des affouillements qui peuvent nuire à sa stabilité, donc il s'avère qu'il est nécessaire de prévoir une installation qui dissipe cette énergie .

...../ ...

L'emplacement des deversoirs de superficies dépend essentiellement du débit de crue à évacuer et les possibilités offertes pour le logement du deversoir et l'acheminement de la crue vers l'aval du barrage

Dans certains cas où le débit à évacuer est très important ,le déversoir prendra des dimensions prohibitives .

Ce problème est donc solutionné par l'utilisation du siphon qui est susceptible de véhiculer le même débit et qui aura sa largeur réduite jusqu'à 40 fois par rapport à celle du déversoir

/)/ous établirons plus loin le coefficient d'efficacité du siphon en le comparant au déversoir .

...../..

INTRODUCTION AUX ESSAIS SUR MODELES REDUITS

-----000-----

Lorsqu'on étudie le projet d'un ouvrage hydraulique (prise d'eau, évacuateur de crue, siphon), on commence par préciser l'ordre de grandeurs de ces dimensions en se basant sur celles des ouvrages analogues existants et en tenant compte de l'application à l'écoulement considéré des formules théoriques ou empiriques de l'hydraulique classique .

/))ais généralement les résultats qu'on obtient ainsi-

ne peuvent le satisfaire complètement en raison , d'une part, de l'approximation très grossière des formules utilisées et, d'autre part, de la nécessité de schématiser le phénomène considéré ou de négliger certains paramètres pour pouvoir lui appliquer là où les formules sont utilisées.

L'idée vient tout naturellement d'essayer de voir en petit comment cela se passe en grand . C'est ce qui constitue le principe des essais sur modèles réduits qui ont pris un développement considérable non seulement en hydraulique mais dans d'autres branches de la mécanique notamment en aérodynamique .

Le faveurs dont bénéficient ces essais s'expliquent par les facilités qu'offrent les mesures effectuées au laboratoire , la plus grande précision qu'autorisent les appareils de mesure utilisés .

En outre, les modèles réduits permettent d'effectuer aisément de nombreuses expériences , de les répéter en cas de nécessité en faisant varier tel ou tel paramètre du problème (étude systématique du comportement de l'écoulement pour différentes pressions , différentes formes de telle ou telle partie de l'ouvrage) .

/))ais un problème essentiel se pose alors ,dans quelle mesure et suivant quelles lois les resultats obtenus sur le modèle peuvent -ils être transposés dans l'écoulement naturel en vraie grandeur (qu'on appelle le prototype)? Autrement dit, si le modèle est géométriquement semblable au prototype ; les dimensions linéaires homologues du modele et du prototype étant dans le rapport (échelle du modèle) , et si en outre dans le modèle les caractéristiques de l'écoulement qui interessent l'ingénieur (débits, vitesse pressions ,etc..) sont réduites par rapport à celles du prototype suivant des rapports différents (etc pourque les résultats obtenus sur le modèle soient transposables dans la réalité ,il faut d'abord que les rapports susvisés soient bien déterminés et constants qu'ils ne changent pas,par exemple ,quand on modifie les conditions d'écoulement (débits,pressions ,etc..) ensuite il faut que ces rapports soient connus en fonction de l'échelle λ .

Si ces conditions sont réalisés , on a dans le modèle un écoulement semblable à l'écoulement réel dans le prototype . La réalisation de ces conditions résulte de l'application des lois de similitude.

LOIS DE SIMILITUDE ...

-----00000-----

I-SIMILITUDE GEOMETRIQUE

C'est le rapport des dimensions linéaires homologues du modèle (L_2) et du prototype (L_I)

$$\lambda = \frac{L_2}{L_I}$$

II-SIMILITUDE CINEMATIQUE

La similitude cinématique exige que les vitesses et les accélérations soient dans un rapport défini et constant en tous les points correspondants des deux écoulements .

Soient :

t_I = Le temps mis à parcourir une distance L_I dans le prototype

t_2 = Le temps mis à parcourir la distance L_2 homologue de L_I dans le modèle

= Echelle du modèle $\lambda = \frac{L_2}{L_I}$

= Echelle des temps $\lambda_t = \frac{t_2}{t_1}$

= Echelle des vitesses $\lambda_v = \frac{v_2}{v_1}$

= Echelle des accélérations $\lambda_a = \frac{a_2}{a_1}$

On peut écrire les relations suivantes :

$$v_1 = \frac{L_1}{t_1} ; \quad v_2 = \frac{L_2}{t_2}$$

En divisant membre à membre :

$$\frac{V_1}{V_2} = \lambda^v = \frac{L^2}{L_1} \cdot \frac{t_1}{t_2} = \frac{\lambda}{\lambda^t}$$

III- SIMILITUDE DYNAMIQUE :

Les mouvements du liquide dans le prototype et dans le modèle sont provoqués par des forces . Pour que les deux systèmes (modèle et prototype) soient dynamiquement semblables, il est donc nécessaire que toutes les forces agissant en des points homologues du modèle et du prototype soient dans le même rapport .

Les principales forces qui interviennent en hydraulique sont les suivantes :

- Les forces d'inertie
- Les forces de turbulence
- Les forces de pesanteur
- Les forces de viscosité

* La SIMILITUDE DE REECH-FRONDE

Elle est très fréquemment utilisée dans les études sur modèles réduits .

Elle intervient notamment pour la plupart des écoulements à surface libre qu'il s'agisse d'écoulements non turbulents sur des ouvrages courts (déversoir, seuil, ressant....) dans lesquels le frottement visqueux à la paroi ne joue qu'un rôle très faible par rapport à la pesanteur, la pression et l'inertie ou d'écoulement très turbulents dans lesquels les forces de viscosité sont également négligeables par rapport aux forces d'inertie, de turbulence et de pesanteur

La condition de Reech-Fronde impose :

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda}$$

Cette condition revient donc à réaliser un écoulement possédant le même nombre de Froude aux points homologues du modèle et du prototype .

$$F = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot L_1}} = \frac{V_2}{\sqrt{g \cdot L_2}}$$

En combinant les similitudes géométriques, cinématique et dynamiques, il est facile d'établir les rapports de toutes les grandeurs caractérisant l'écoulement dans le modèle et le prototype .

Temps	$\lambda_t = \sqrt{\lambda}$
Vitesse.....	$\lambda_v = \sqrt{\lambda}$
Débits.....	$\lambda_q = \lambda^{5/2}$
Accélérations.....	$\lambda_a = 1$
Forces.....	$\lambda_f = \lambda^3$
Pressions.....	$\lambda_p = \lambda$

PRINCIPE GENERAL DE FONCTIONNEMENT DES SIPHONS

-----000-----

Le siphon est un cas particulier d'évacuation en charge. Il est constitué par une conduite épousant schématiquement la forme de la digue et dont l'amorçage est réalisé automatiquement par la surelevation du plan d'eau de la retenue ; Son débit est proportionnel à la puissance $\frac{1}{2}$ de la charge , qui est dans ce cas la différence entre la côte de la retenue et celle du niveau de restitution. Le dessin de principe d'un siphon à basse chute est donné dans la figure ci-dessous. (extraite de " Design of small dams")

La partie supérieure forme un convergent depuis l'entonnement jusqu'à la section verticale la plus haute. L'aire de la section d'entonnement peut être de 2 à 3 fois celle de cette dernière .

La section verticale supérieure contrôle le débit , on recommande une courbure du siphon telle que :

$$\frac{R}{C} = 2,5$$

D

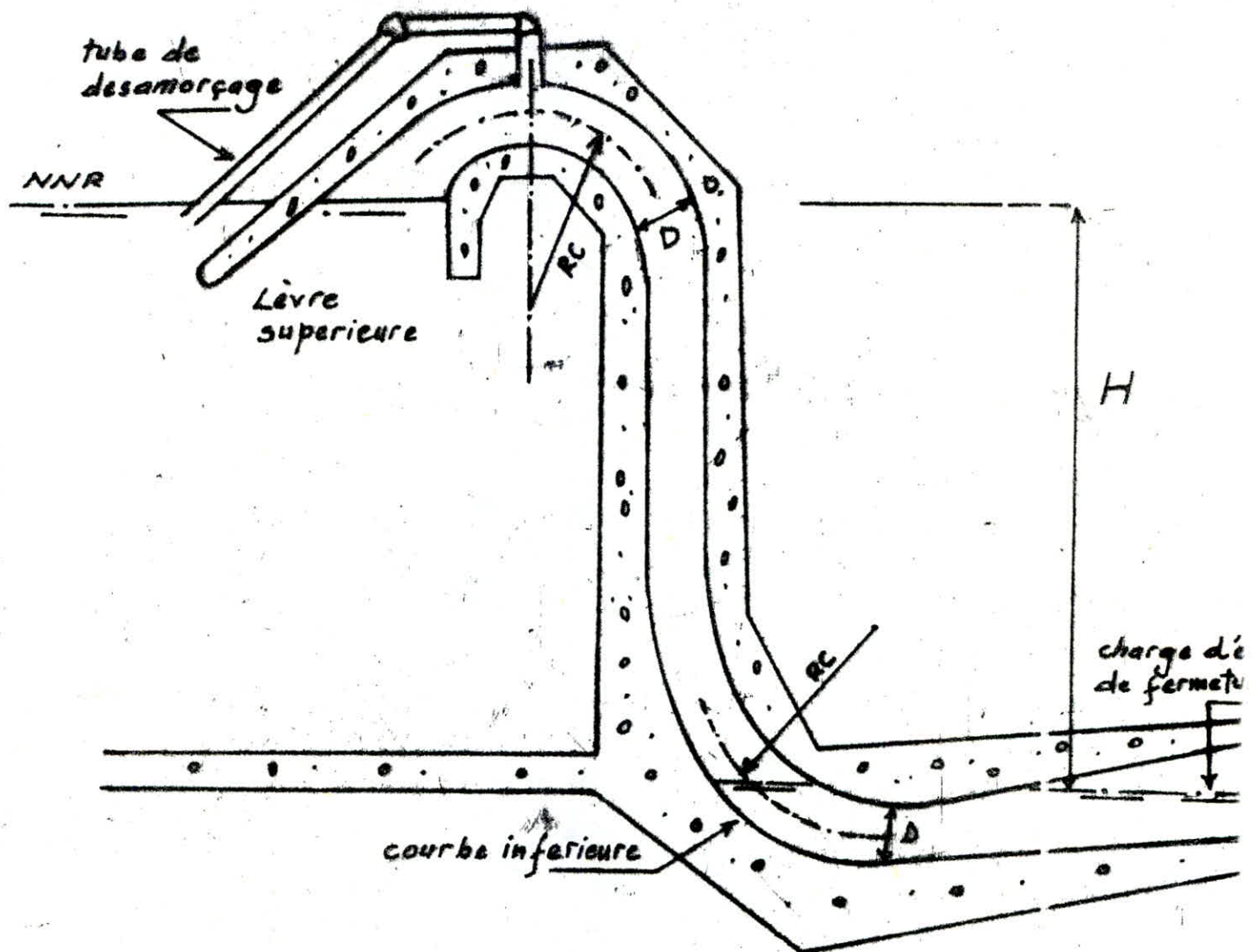
La courbe inférieure est réalisée avec le même rayon de courbure RC . L'aire de la section reste constante .

Un tube de désamorçage placé au sommet : de l'ouvrage relie la section supérieure au réservoir en plongeant à quelques centimètres sous le niveau normal des eaux . Ce tube permet un arrêt progressif de l'effet de siphon et amortit les vibrations . Il est préférable de la m d'un robinet de réglage

La section du tube doit être au minimum de $I/24$ de celle du siphon .

La partie supérieure du siphon doit plonger à une profondeur sensiblement égale au diamètre D , sous le niveau normal des eaux , et ce , pour éviter l'entraînement d'air

SIPHON A FAIBLE CHARGE ET A FORT. DEBIT

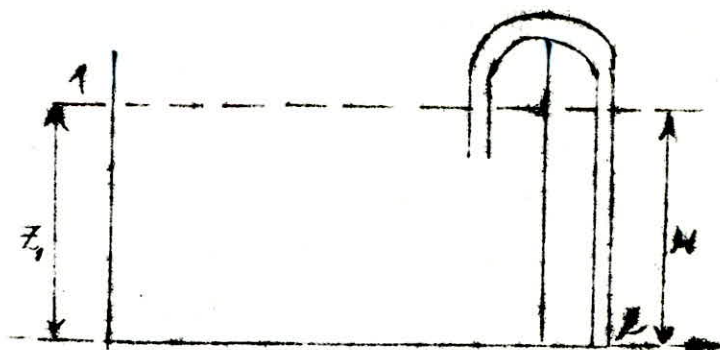


Extrait de : design of small dams

DETERMINATION DE LA CHARGE H oooo

En admettant que le conduit du siphon est entièrement plein d'eau ,c'est à dire qu'au passage du siphon la colonne liquide est contenue .

L'application de l'équation de Bernoulli aux sections I et 2 conduit au resultat suivant



$$Z_1 + \frac{P_1}{\bar{W}} + \frac{\alpha V^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\bar{W}} + \frac{\alpha V^2}{2g} + P.d.c \dots(I)$$

Le niveau du plan d'eau de la retenue reste constant, donc $V_1 = 0$

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

L'équation (I) devient :

$$Z_1 - Z_2 = \frac{\alpha V^2}{2g} + P.d.c$$

$$P.d.c = \Delta H_s + \Delta H_l$$

où:

ΔH_s : perte de charge singulière

ΔH_l : perte de charge linéaire

avec :

$$\Delta H_s = \gamma \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta H_l = \frac{f \cdot L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(\text{Darcy-weissbach})$$

L'équation précédente devient :

$$Z_1 - Z_2 = \alpha \left(\frac{V^2}{2g} + \gamma \frac{V^2}{2g} + \frac{f}{D} \cdot L \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$H = Z_1 - Z_2$$

donc :

$$H = \alpha \left(1 + \gamma + \frac{f \cdot L}{D} \right) \cdot \frac{V^2}{2g}$$

où :

f : Coefficient de frottement qui est repéré sur le diagramme de moody

L : Longueur total du conduit

D : Diamètre hydraulique du conduit

γ : Coefficient de P.d.e singulière

α : facteur de correction de l'énergie cinétique

V : vitesse moyenne à l'intérieur du conduit

g : accélération de la pesanteur .

LA PRESSION AU SOMMET DU SIPHON

-----000-----

La pression qui s'exerce au sommet du siphon est obtenue en appliquant l'équation de Bernoulli au section I et S

$$Z_1 + \frac{P_1}{W} + \frac{V^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{W} + \frac{V^2}{2g} + P.d.c... (I)$$

$$P_1 = P_{abs} = P_{atm}$$

$$P_2 = P_{abs} = P_{atm} + P_s$$

$$P.d.c = Y' \cdot \frac{V^2}{2g} + \frac{f}{D} \cdot L' \cdot \frac{V^2}{2g}$$

L'équation (I) devient :

$$Z_1 - Z_2 = \frac{P_s}{W} + \alpha \left(\frac{V^2}{2g} + Y' \cdot \frac{V^2}{2g} + \frac{f}{D} \cdot L' \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$-y = \frac{P_s}{W} + \alpha \left(1 + Y' + \frac{f \cdot L'}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

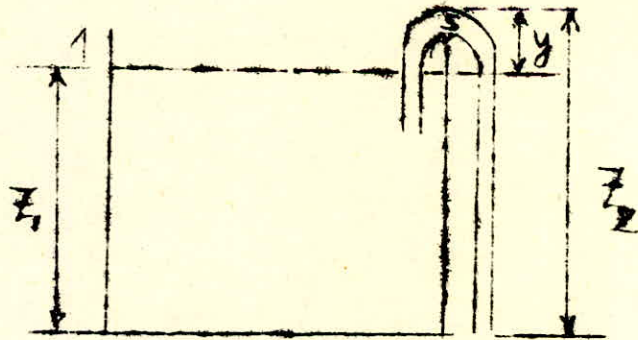
donc P_s sera égale à :

$$\frac{P_s}{W} = -y - \alpha \left(1 + Y' + \frac{f \cdot L'}{D} \right) \frac{V^2}{2g} (2)$$

où :

P_s : pression au sommet du siphon

L' : Longueur du tronçon compris entre l'entrée et le sommet



L'équation (2) montre d'une façon évidente que P_s est négative et diminue au fur et à mesure que $V/\sqrt{2g}$ et y croient .

Si la pression P_s décroît jusqu'à atteindre la valeur limite constituée par la tension de vapeur P_v , l'air et les autres gaz en solution dans l'eau se dégageront et s'accumuleront sous l'effet de la basse pression en formant des bulles stationnaires dans la partie supérieure du siphon réduisant ainsi la section utile. Pratiquement le siphon ne fonctionne correctement que si la valeur de P_s est franchement supérieure à celle de la tension de la vapeur .

/)/ous venons de voir que la pression dans le modèle est négative . Si le rapport de la similitude géométrique est très faible , la pression dans le prototype pourra devenir inférieure à la tension de vapeur du liquide à la température considérée ; l'absence de continuité qui en résulte dans la masse liquide constitue alors une limite à l'utilisation de la similitude .

Ainsi , le modèle peut fonctionner à merveille en raison de faible dénivellement ne provoquant qu'un faible décroissement de la pression à l'intérieur du conduit, alors que dans le prototype géométriquement semblable mais beaucoup plus grand , les fortes dénivellations peuvent occasionner un décroissement de la pression tel que la valeur de celle ci devient inférieure à la tension de vapeur ayant pour conséquence l'interruption de l'écoulement .

Les grands siphons travaillent continuellement
sont pourvus dans la plupart des cas de pompes à vides
qui sont destinées à désaérer le sommet.

La plus basse pression se présente légèrement à l'aval
du sommet en raison du frottement et les pertes de
charges singulières .

CONSTITUTION DU /)/)ODELE REDUIT

-----000-----

Le modèle réduit qui a fait l'objet de notre étude est constitué des organes suivants

- I- Un siphon de liaison
- 2- Un siphon régulateur de niveau
- 3- Une vanne coulissante
- 4- un bassin d'alimentation
- 5- un bassin secondaire réglable
- 6- Quatre tubes de prise de pression
- 7- Un débit-mètre à segment

* But et fonctionnement des organes :

I- Siphon de liaison :

Il a pour but de véhiculer l'eau du bassin d'alimentation vers le bassin secondaire réglable .

La gamelle fixe solidaire au bassin permet de maintenir le siphon de liaison toujours amorcé lorsque le niveau à l'amont descend trop bas . L'amorçage du siphon consiste à aspirer par le tube souple placé à son sommet L'entrée d'air dans le siphon diminue la section du liquide au niveau du sommet entraînant ainsi un accroissement de la vitesse et une augmentation des pertes de charge singulières .

Les dimensions du siphon de liaison doivent être assez importantes pour que les pertes de charge soient assez faibles et pour minimiser les effets des oscillations entre le bassin et la gamelle .

CONSTITUTION DU /))ODELE REDUIT

-----000-----

Le modèle réduit qui a fait l'objet de notre étude est constitué des organes suivants

- 1- Un siphon de liaison
- 2- Un siphon régulateur de niveau
- 3- Une vanne coulissante
- 4- un bassin d'alimentation
- 5- un bassin secondaire réglable
- 6- Quatre tubes de prise de pression
- 7- Un débit-mètre à segment

* But et fonctionnement des organes :

I- Siphon de liaison :

Il a pour but de véhiculer l'eau du bassin d'alimentation vers le bassin secondaire réglable .

La gamelle fixe solidaire au bassin permet de maintenir le siphon de liaison toujours amorcé lorsque le niveau à l'amont descend trop bas . L'amorçage du siphon consiste à aspirer par le tube souple placé à son sommet L'entrée d'air dans le siphon diminue la section du liquide au niveau du sommet entraînant ainsi un accroissement de la vitesse et une augmentation des pertes de charge singulières .

Les dimensions du siphon de liaison doivent être assez importantes pour que les pertes de charge soient assez faibles et pour minimiser les effets des oscillations entre le bassin et la gamelle .

2- Siphon régulateur de niveau :

Il comprend les éléments suivants :

- a- Une conduite à profil rectangulaire de forme curviligne
- b- Un col supérieur largement ouvert comportant un orifice de 13 mm de diamètre ,surmonté d'un tube souple reliant le tube de prise d'air affecté en biseau
- c- Une double cloison médiane dans la partie supérieur comportant des orifices
- d- Un déviateur sur la ~~par~~ paroi inférieur du siphon
- e- Quatre petits orifices exécutés sur le profil pour la prise de pression

On verra plus loin le fonctionnement de ce siphon

3- Vanne coulissante :

Elle permet le réglage fin du débit en obturant plus ou moins l'entrée dans le bassin . L'étranglement de cette dernière a pour conséquence l'augmentation de la pression dans le débit-mètre

4- Bassin d'alimentation :

Il joue le rôle d'une retenue , il provoque l'amorçage du siphon lorsque le niveau d'eau dans le ~~siphon~~ bassin dépasse celui du seuil .

Dimensions :

Longueur = 58,5 Cm

Largeur = 28,4 Cm

Hauteur = 60 Cm

Volume = 0,099 M3 = 99 l

5- Bassin secondaire réglable :

Il supporte le siphon régulateur de niveau ,
il possède un intérêt pratique car il nous
permet d'obtenir un niveau à l'amont situé à
différentes positions .

Sans toutefois , modifier la gamme de débit ,
le débit maximum véhiculé par le siphon est
indépendant de la position de ce bassin .

Dimensions :

Longueur = 19,2 Cm

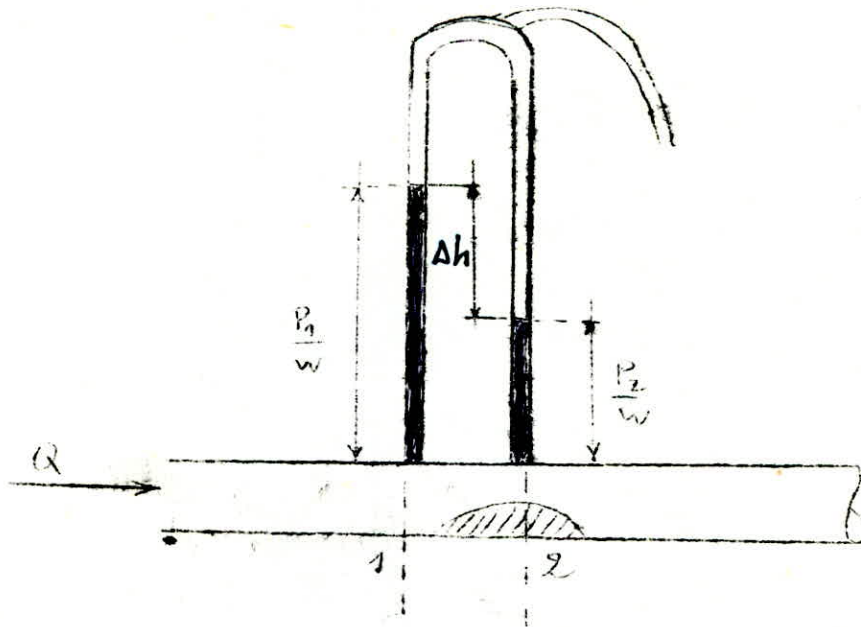
Largeur = 8,8 Cm

Hauteur = 28 Cm

Volume = 0,00473 M³ = 4,73 l

6- Le débit-mètre à segment :

C'est un appareil deprimogène , il nous permet
de déterminer le débit dans la conduite par la
mesure d'une dépression provoquée par un rétréci-
-sissement en forme de segment .



La conduite circulaire à une section A_1 , Le Rétrécissement a une section A_2

En appliquant le théorème de Bernoulli aux sections 1 et 2, tout en négligeant les pertes de charges entre ces dernières, on peut écrire :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Rightarrow \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

En vertu de l'équation de continuité on a

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow V_1^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 V_2^2$$

donc ;
$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{V_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]$$

sachant que :
$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \Delta h$$

et le débit véhiculé par la conduite est : $Q = A_2 V_2 \dots \dots \dots (1)$

on peut écrire alors :
$$\Delta h = \frac{V_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]$$

d'où :
$$V_2 = \sqrt{2g \cdot \Delta h} / \sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}$$

Le débit sera égale à :
$$Q = A_2 \cdot \frac{\sqrt{2g \cdot \Delta h}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} = \frac{\sqrt{2g} \cdot \sqrt{\Delta h}}{\sqrt{1 - \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2}}}$$

en posant :
$$C_d = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{1 - \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2}}}$$

La relation (I) devient :

$$Q = C_d \cdot \Delta h^{0,5}$$

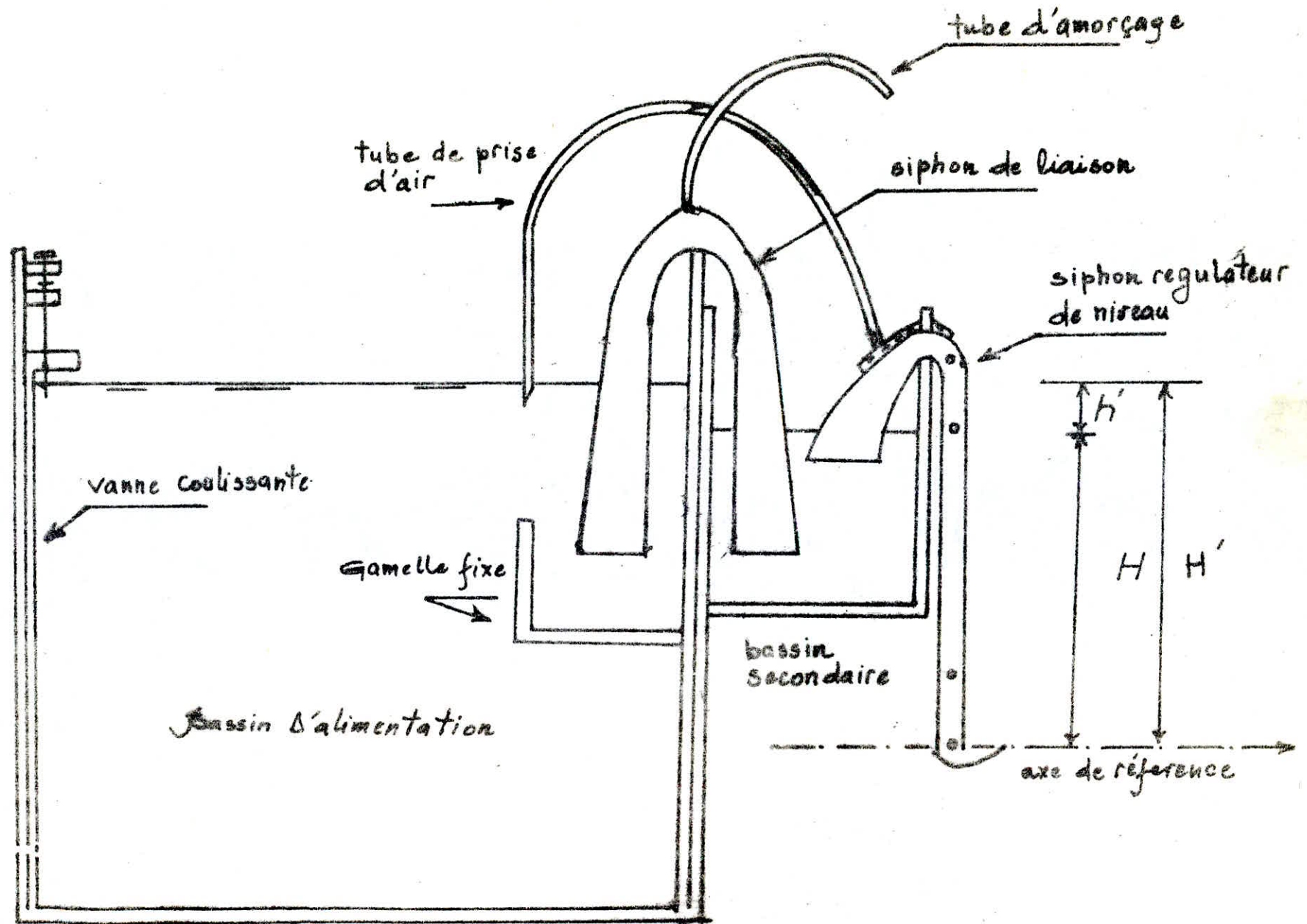
C_d : est appelé coefficient de débit

h : différence des hauteurs piézométriques

L'étalonnage du débit-mètre a permis de trouver

l'équation de la courbe ajustée qui sera déterminé plus loin .

Schéma Du Modèle Réduit



FONCTIONNEMENT DU SIPHON REGULATEUR DE NIVEAU

-----ooo-----

Lorsque le niveau du plan d'eau atteint la côte du seuil ,l'eau commence à se déverser dans le siphon Dans certains cas,il est possible que la veine liquide remplisse entièrement l'intérieur du conduit et provoque l'amorçage.

Toutefois ces cas sont rares ,car la veine d'eau reste souvent collée à la paroi inférieure du siphon. Donc pour diminuer le temps d'amorçage ,il faut empêcher la veine d'eau de rester collée à la paroi du siphon .

A cet effet , on a prévu un déviateur destiné à projeter la veine d'eau contre la paroi supérieure du conduit ,ainsi la lame d'eau obture le siphon en entraînant l'air qu'il contient .

Cependant ,il se crée dans le siphon une dépression qui accélère l'introduction de l'eau ,la veine initiale se gonfle progressivement éliminant peu à peu l'air restant dans la partie supérieure.

Le siphon se remplit entièrement d'eau,il est amorcé.

* TEMPS D'AMORCAGE

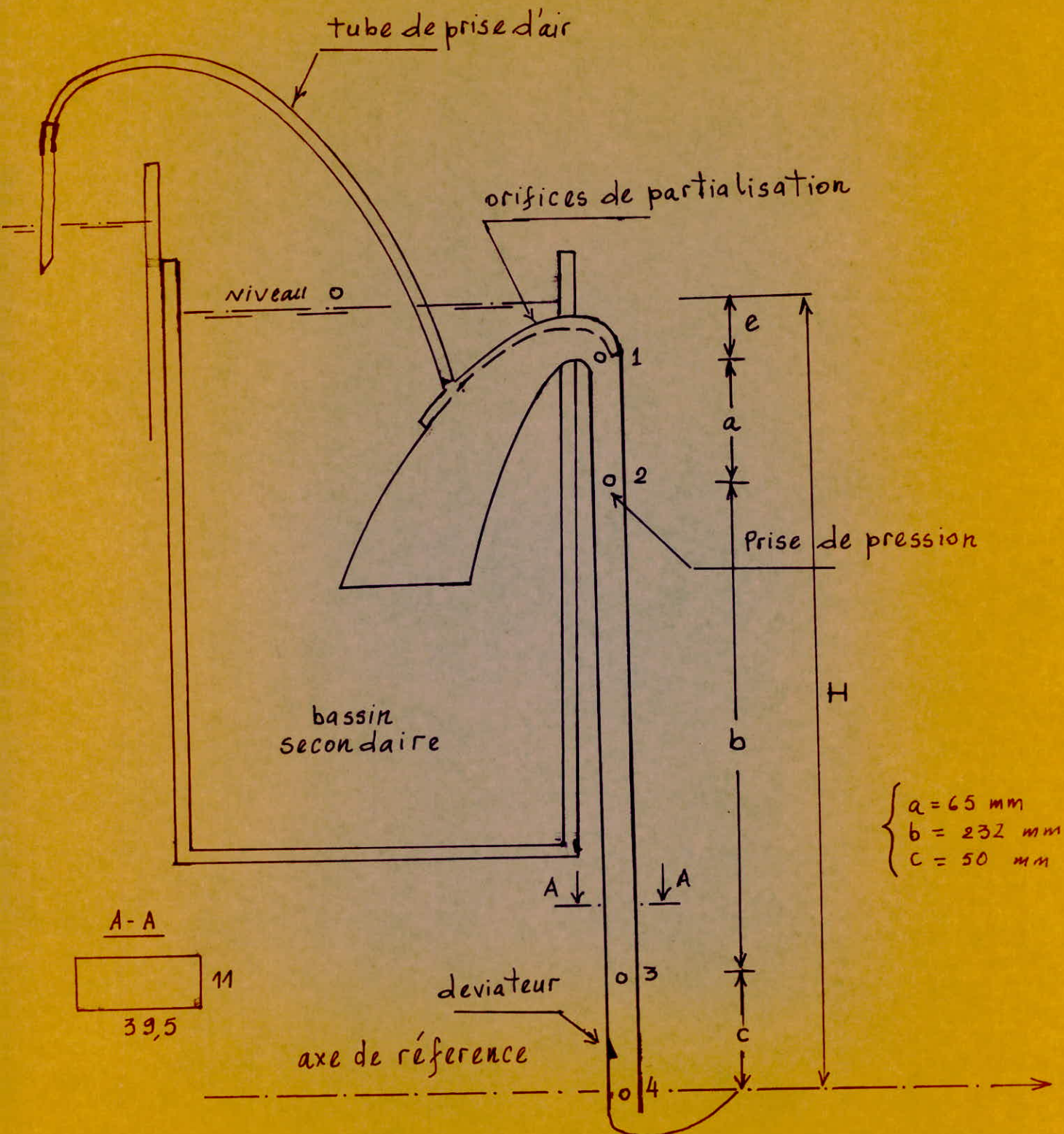
Le temps d'amorçage est pratiquement la durée de pompage de l'air interne. Pour déterminer ce temps il faut connaître la loi propre du pompage d'air , c'est à dire , la variation du débit d'air éjecté à l'aval en fonction du débit d'eau dans le siphon.

Pour déterminer la loi de pompage d'air ,il aurait
fallu construire plusieurs siphons d'essais
pour de grands débits.

L'entraînement de l'air,faible au début ,croit très
rapidement passe par un maximum , : décroît et
devient nul pour l'amorçage total . cette dernière
considération n'est pas toujours varifiée car il peut
rester quelques bulles d'air dans le siphon.

Dans le temps total de l'amorçage ,la phase la plus
importante est le début car le débit d'air est très
faible et le volume d'air à évacuer est le plus grand
Pour réduire ce temps , on a été amené à placer un
déviateur ayant la largeur du siphon ,qui sert à renvoyer
la lame déversante contre la paroi supérieure du conduit
balayant ainsi la quasi totalité de l'air.

Siphon Regulateur De Niveau



PARTIALISATION DU DÉBIT ...

-----000-----

Lorsqu'on examine la courbe de pompage de l'air , on constate que le système puisse être stable dans la zone des débits d'air décroissants mais qu'il n'en est pas forcément de même pour la zone des débits d'air croissants .

En général, la zone stable correspond au moins à un débit d'air compris entre les $\frac{2}{3}$ et la totalité du débit maximum.

Lorsqu'il s'agit d'une série de siphons indépendants (régulateurs de niveau) , cette restriction n'est pas gênante car il suffit de décaler les niveaux d'amorçage de chaque siphon.

TOUTEfois , cette manière de résoudre l'instabilité n'est possible que si le décrement à évacuer est relativement important .

Pour les décrements faibles, on a réalisé un dispositif qui résout d'une manière satisfaisante le problème. Ce dispositif de partialisation consiste en une double cloison médiane portant une série d'orifices et un tube de prise d'air affuté en biseau disposé au sommet du siphon régulateur de niveau .

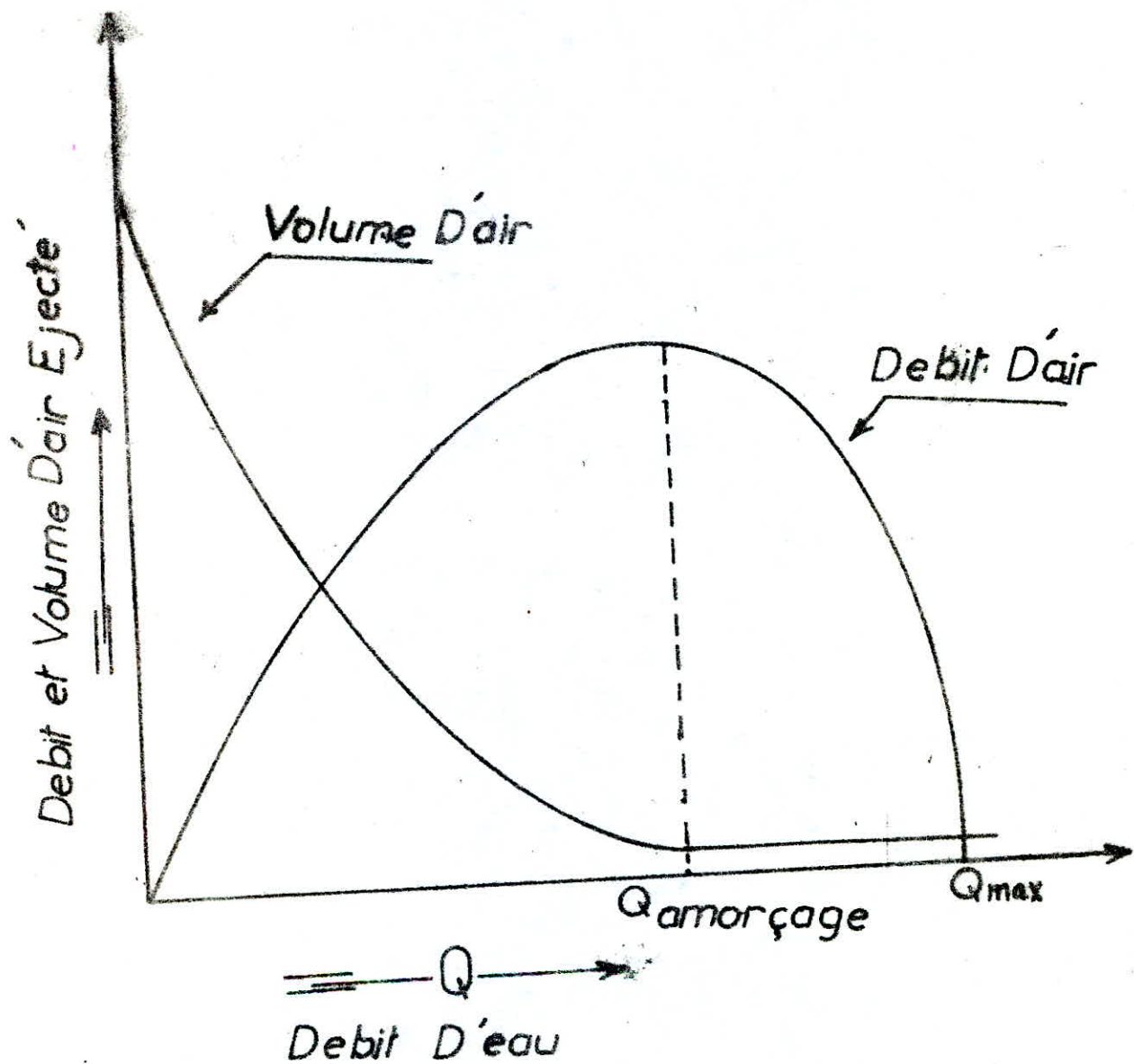
Pour diverses positions du tube de prise d'air , nous distinguons trois cas de fonctionnement .

I ér cas:

Pour des débits relativement importants , le niveau du plan d'eau varie en fonction du débit .

Le tube de prise d'air est noyé, le siphon débite à plein tube , il fonctionne sans entrée d'air.

Loi De Pompage De L'air Dans Le Siphon



2 ème cas :

Pour des débits moyens, la hauteur H diminue progressivement, le niveau du plan d'eau se stabilise lorsqu'il atteint l'entrée du tube de prise d'air, le siphon fonctionne avec entrée d'air, il débite simultanément de l'eau et de l'air. On dit qu'il fonctionne en partialisé.

3 ème cas :

Lorsque le tube de prise d'air est entièrement sorti, le niveau du plan d'eau reste au-dessus de la cote du seuil du siphon régulateur de niveau, ce dernier fonctionne en déversoir, il véhicule des débits faibles.

/// Nous obtenons désamorçage du siphon lorsque le débit évacué sera inférieur au débit minimum, car il est plus facile au siphon de pomper de l'air que de pomper de l'eau.

Lorsque le tube de prise d'air est entièrement sorti, le niveau du plan d'eau reste au-dessus de la cote du seuil du siphon, le siphon fonctionne en déversoir, il véhicule des débits faibles.

/// Nous obtenons par :

Q_a : le débit d'alimentation

Q_H : le débit véhiculé par le siphon régulateur de niveau lorsque celui-ci fonctionne sans entrée d'air ; le niveau du plan d'eau se stabilise à la hauteur H

Q_{max} : Le débit maximum véhiculé par le siphon

Q_{min} : Le débit minimum véhiculé par le siphon lorsqu'il est sur le point de se désamorcer

DESCRIPTION DE TOUS LES DIFFERENTS CAS DE FONCTIONNEMENT

1) $QH \leq Q_a \leq Q_{max}$: Le siphon débite à plein tube , la hauteur du plan d'eau dans le bassin secondaire passe de H_1 à H_2 tel que $H_2 > H_1$ où H_2 représente la hauteur obtenue pour un débit $QH_2 = Q_a$

2) $Q_{min} < Q_a < QH$: Le siphon fonctionne en partialisé

3) $Q_a \leq Q_{min}$: Le siphon fonctionne périodiquement tout en débitant à plein tube .

* Fonctionnement en partialisé :

Le niveau d'eau se stabilise à l'entrée du tube de prise d'air ; le siphon véhicule de l'eau et de l'air.

Le débit minimum (Q_{min}) croît en fonction de la profondeur à laquelle est plongé le tube de prise d'air

La loi de variation du débit minimum en fonction de la hauteur du plan d'eau H est déterminée expérimentalement pour une série de mesures .

* * Fonctionnement en déversoir :

Le tube de prise d'air est entièrement sorti , le siphon fonctionne en déversoir pour de faibles débits

* * * Fonctionnement périodique :

Si le tube de prise d'air est noyé jusqu'à une position inférieure à la cote du seuil et si $Q_a \leq Q_{min}$

Le siphon fonctionne périodiquement tout en débitant à plein tube .

SIPHON FONCTIONNANT SANS ENTREE D'AIR

-----000-----

Loi de variation des hauteurs H et H' en fonction du débit.

/)/ous avons vu précédemment que la charge H dans le siphon s'exprime par la relation suivante :

$$H = \left[1 + \gamma + \frac{f L_0}{D_0} + \frac{f L}{D} \right] \propto \frac{V_s^2}{2g}$$

Vs : La vitesse de l'eau à la sortie du siphon

Vs : Cc.V

V : vitesse de l'eau à l'intérieur du conduit

Cc : coefficient de contraction (Cc > I)

L'équation ci-dessus devient

$$H = \left[1 + \gamma + \frac{f L_0}{D_0} + \frac{f L}{D} \right] \propto C_c^2 \frac{V^2}{2g}$$

avec : $Q = C_d \Delta h^{0.5}$

$$H = \left[1 + \gamma + \frac{f L_0}{D_0} + \frac{f L}{D} \right] \propto \frac{C_c^2 C_d^2 \Delta h}{2g A^2}$$

En supposant les faibles variations du coefficient de frottement qui sont négligeables , on peut écrire :

$$H = K_c \Delta h \dots \dots \dots (*)$$

où K_c désigne la pente de la droite $H = f(\Delta h)$

$$K_c = \left[1 + \gamma + \frac{f L_0}{D_0} + \frac{f L}{D} \right] \propto \frac{C_c^2 C_d^2}{2g A^2}$$

L'équation ci-dessus montre que la loi de variation de H (hauteur du plan d'eau dans le bassin secondaire) en fonction de Δh se présente sous une forme LINEAIRE

Il est donc plus commode d'étudier d'abord cette loi puis de déduire les variations de H en fonction du débit

$$H = K_0 \Delta h = K_0 \frac{Q^2}{C_d^2}$$

La loi de variation de H' (hauteur du plan d'eau dans le bassin) en fonction du débit tient compte des pertes de charges dans le siphon de liaison , elle est exprimée par la relation suivante :

$$H' = K'_0 \Delta h = K'_0 \frac{Q^2}{C_d^2}$$

$$H' = H + h'$$

h' : p.d.c dans le siphon de liaison

Loi de variation des pressions dans le siphon en fonction du débit

-----000-----

Désignons par e la différence de niveaux entre les points 0 et I (fig 2) ; le siphon est seulement rempli d'eau .

L'application du théorème de Bernoulli aux sections 0 et I , nous conduit au résultat suivant :

$$\frac{P_1}{w} = e - \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D_1} \right) \propto \frac{V^2}{2g}$$

avec : $V = \frac{Q}{A}$ et $Q = C_d \Delta h^{0,5}$

L'équation devient

$$\frac{P_1}{w} = e - \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D_1} \right) \propto \frac{C_d^2 \Delta h^2}{2g A^2}$$

L_0 et D_0 désignent respectivement la longueur et le diamètre hydraulique moyen du tronçon compris entre l'entrée et le sommet du siphon

L_1 : longueur du conduit entre le sommet et le point I

On remarque que : $e = H - H_1 = K_0 \Delta h - H_1$

H_1 : cote du point I

H : cote du plan d'eau dans le bassin secondaire

En remplaçant l'expression de e dans l'équation ci-dessus , on obtient :

$$\frac{P_1}{w} = -H_1 + K_0 \Delta h - \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D} \right) \propto \frac{C_d^2}{2g A^2} \Delta h^2$$

$$\text{or : } K_0 = \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D} \right) \propto \frac{C_d^2}{2g A^2}$$

$$\frac{P_1}{w} = -H_1 + \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D}\right) (C^2 - 1) \times \frac{C^2}{2gA^2} \Delta h$$

EN POSANT :

$$M_1 = \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_1}{D}\right) (C^2 - 1) \times \frac{C^2}{2gA^2}$$

Donc.

$$\frac{P_1}{w} = -H_1 + M_1 \Delta h$$

/)/ nous montrerons également et d'une manière générale pour un point quelconque i situé dans le conduit du siphon à la cote H_i

$$\frac{P_i}{w} = -H_i + M_i \Delta h$$

où H_i désigne la cote du point i

M_i : la pente de la droite $\frac{P}{w} = f(\Delta h)$

$$M_i = \left(1 + \gamma + \frac{fL_0}{D_0} + \frac{fL_i}{D}\right) (C^2 - 1) \times \frac{C^2}{2gA^2}$$

RESULTATS DES ESSAIS

-----000-----

I- Caractéristiques du siphon régulateur de niveau

- Largeur : 3,95 cm
- Epaisseur: 1,10 cm
- Section : 4,345 cm²
- Diamètre hydraulique : $D = \frac{4 A}{P} = \frac{4 \cdot 4,345}{2(3,95 + 1,10)}$

$$D = 1,72 \text{ cm}$$

- Débit maximum : $Q_{\max} = 0,851 \text{ l/s}$
- Vitesse maximum : $V_{\max} = \frac{Q}{A} = \frac{0,851 \cdot 10^{-3}}{4,345 \cdot 10^{-4}}$

$$V_{\max} = 1,95 \text{ m/s}$$

- Nombre de Reynolds :

$$R = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{1,95 \cdot 1,72 \cdot 10^{-2}}{10^{-6}} = 3,35 \cdot 10^4$$

ce qui implique: Régime de transition

* Evaluation du coefficient de frottement :

Lorsque le siphon débite à plein tube , le débit varie entre deux limites :

$$0,606 \text{ l/s} \leq Q \leq 0,851 \text{ l/s}$$

Par conséquent le nombre de Reynolds correspondant aura pour valeur :

$$R_{\min} = \frac{Q_{\min} \cdot D}{A \cdot \nu} = \frac{0,606 \cdot 10^{-3} \cdot 1,72 \cdot 10^{-2}}{4,345 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6}} = 2,39 \cdot 10^4$$

$$R_{\max} = 3,35 \cdot 10^4$$

ce qui implique $2,39 \cdot 10^4 \leq R \leq 3,35 \cdot 10^4$

Le coefficient de frottement f est déterminé à l'aide du diagramme de Moody , qui sera reperé sur la courbe correspondant aux conduites lisses .

$$R_{\max} = 3,35 \cdot 10^4 \text{ ----- } f_{\min} = 0,0228$$

$$R_{\min} = 2,39 \cdot 10^4 \text{ ----- } f_{\max} = 0,0245$$

Nous pouvons également déterminer f en utilisant la formule de Blazuis applicable aux conduites lisses

$$f = \frac{0,316}{R^{0,25}}$$

$$f_{\min} = \frac{0,316}{(3,35 \cdot 10^4)^{0,25}} = 0,0233$$

$$f_{\max} = \frac{0,316}{(2,39 \cdot 10^4)^{0,25}} = 0,0254$$

On constate que le coefficient de frottement varie, légèrement nous adoptons pour valeur moyenne :

$$f = 0,02365$$

ETALONNAGE DU DEBIT - METRE A SEGMENT

-----000-----

L'étalonnage a été effectué en faisant passer différents débits que nous avons déterminés par mesure volumétrique. Le débit est donné par le quotient du volume d'eau recueilli dans une capacité jaugee par le temps de remplissage

$$Q = \frac{V}{t} = (l/s)$$

A chaque débit qui passe dans l'appareil correspond à une différence des hauteurs piézométriques Δh

/)/ous disposons ainsi une série de valeurs de débit Q et des Δh y correspondants, et qui nous a permis de tracer la courbe d'étalonnage.

Théoriquement la courbe du débit Q en fonction de Δh a pour équation :

$$Q = a \cdot \Delta h^b$$

avec : $a = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}}}$ et $b = 0,5$

Ayant les valeurs numériques des sections A_1 et A_2 le coefficient a serait alors déterminé.

Toute fois dans la pratique, les mesures que l'on effectue sont inévitablement affectées d'erreurs, par voie de conséquence les coefficients rencontrés dans les formules théoriques sont eux aussi affectés d'erreurs.

On dispose alors d'un ensemble de points :

$(\Delta h_i ; Q_i)$ $i = 1 \dots n$ déterminés expérimentalement il s'agit de trouver l'équation de la courbe représentant le débit en fonction de Δh , et qui satisfait le mieux les points trouvés.

Cela revient à effectuer un ajustement puissance puisque la fonction $Q = a \Delta h^b$ est une fonction puissance

Cependant , il serait commode de linéariser cette fonction en introduisant le logarithme .

On écrit alors :

$$\log Q = b \log \Delta h + \log a$$

Les coefficients a et b dits de regression sont donnés par les formules ci-dessous obtenues en appliquant la méthode des moindres carrés .

$$\log y = \log a + b \log x$$

$$b = \frac{\sum \log x_i \cdot \log y_i - \frac{\sum \log x_i \sum \log y_i}{n}}{(\sum \log x_i)^2 - \frac{(\sum \log x_i)^2}{n}}$$

$$a = \exp \left[\frac{\sum \log y_i}{n} - b \frac{\sum \log x_i}{n} \right]$$

$$r = \frac{\sum (\log x_i)(\log y_i) - \frac{\sum \log x_i \sum \log y_i}{n}}{\left[\sum (\log x_i)^2 - \frac{(\sum \log x_i)^2}{n} \right] \left[\sum (\log y_i)^2 - \frac{(\sum \log y_i)^2}{n} \right]}$$

r : coefficient de correlation .

000

Introduire :

Exécuter :

- 36 -

TABLEAU D'ETALONNAGE DU DEBIT- METRE A SEGMENT

-----000-----

h (cm)	V (l)	t (s)	Q (l/s)
27,4	29,78	35	0,851
25,2	31,43	39	0,806
25,1	26,99	34	0,794
23,7	30,73	39,5	0,778
22,0	29,96	40	0,749
21,6	25,90	35	0,740
19,8	26,98	38	0,710
19,3	32,38	46	0,704
18,2	28,64	42	0,682
16,7	29,20	45	0,648
15,1	30,52	49	0,623
14,2	30,10	50	0,615
14,1	30,32	50	0,606

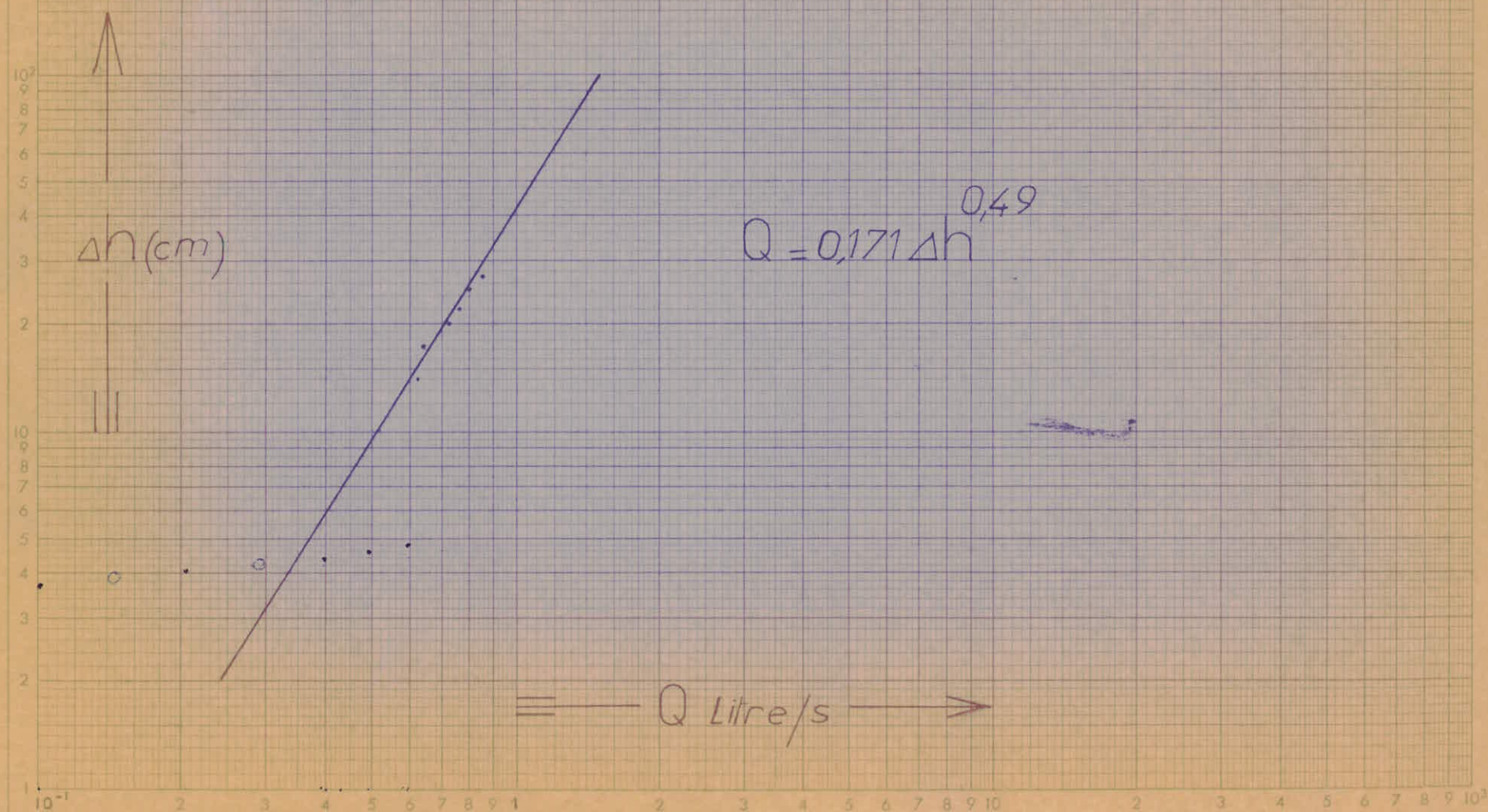
L'ajustement puissance a donné :

$$Q = 0,171 \cdot \Delta h^{0,49}$$

Pour déterminer Δh correspondant aux grands débits , il suffit de prolonger la courbe $\Delta h = f (Q)$ représentée sur repère à divisions logarithmiques , ou bien d'utiliser l'équation de la courbe ajustée précédente

$r = 0,989$, l'ajustement est bon

Courbe d'étalonnage du debit-mètre à segment



I) AJUSTEMENT PUISSANCE

Cet ajustement a été utilisé pour l'étalonnage du débit-mètre à segment qui se présente sous la forme suivante :

$$Y = a X^b$$

Les coefficients a et b sont déterminés par la méthode des moindres carrés .

Le même procédé sera appliqué pour la détermination de la fonction $\bar{H} = f(\Delta h)$ lors du fonctionnement en partialisé et en deversoir

$$H = a \Delta h^b$$

2) AJUSTEMENT LINEAIRE

Les variations de H et H' en fonction de Δh sont approximées par une équation de premier degré de la forme

$$Y = ax + b$$

Les valeurs de x et y sont déterminées après avoir effectué une série de mesures

Les coefficients a et b sont donnés par les formules suivantes qui sont obtenues par la méthode des moindres carrés

$$A = \frac{\sum Y}{h} - b \frac{\sum X}{h}$$

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{h}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{h}}$$

Le degré de perfection de l'ajustement de la droite de regression est donnée par la formule suivante :

$$r^2 = \frac{(\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{h})^2}{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{h}) (\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{h})}$$

Toutes les sommations ci-dessus sont effectuées pour

$i = 1 \dots \dots \dots n$

n = étant le nombre d'expérience

PROGRAMME POUR LA DETERMINATION DE a ET b EXECUTE SUR UN
MINI- ORDINATEUR DE TYPE TI 59

-----ooo-----

```

LBLA STO 01 R/S LBL STO 02 R/S LBLC RCL 01 SUM 03
RCL 01 X SUM 04 RCL 02 SUM 05 RCL 02 X SUM 06 RCL
01 X RCL 02 = SUM 07I SUM 08 R/S LBLD RCL 07
-RCL 03 X RCL 05 ÷ RCL 08 = STO 09 RCL 04 - RCL 03 X
RCL 08 = STO 10 RCL 09 ÷ RCL 10 = STO 11 RCL 05 - RCL 11
X RCL 03 ) ÷ RCL 08 = STO 12 RCL 09 X ÷ RCL 10 ÷ ( RCL 06 -
RCL 05 X ÷ RCL 08 ) = STO 13 R/S LBE STO 00 X RCL 11
+ RCL 12 = STO 20 R/S LBL A' STO 20 - RCL 12 = ÷
RCL 11 = STO 00 R/S

```

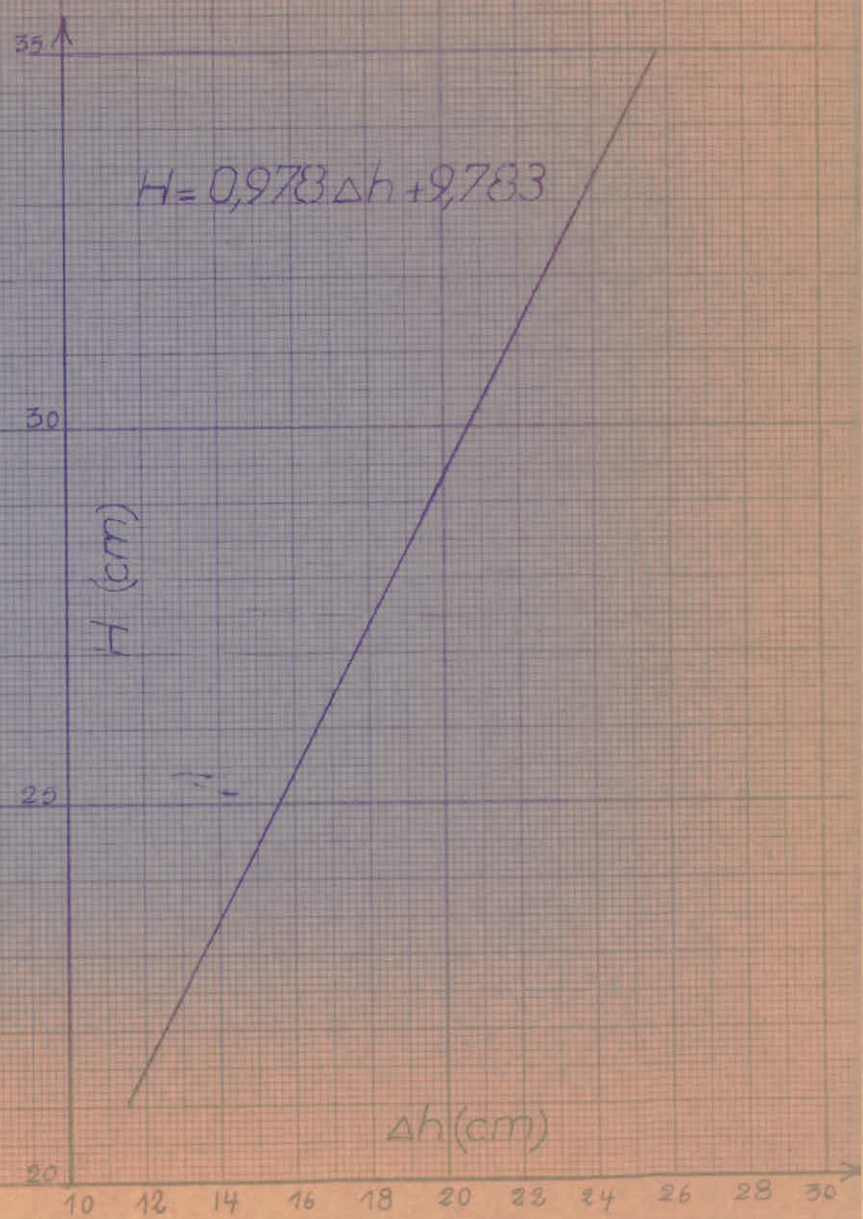
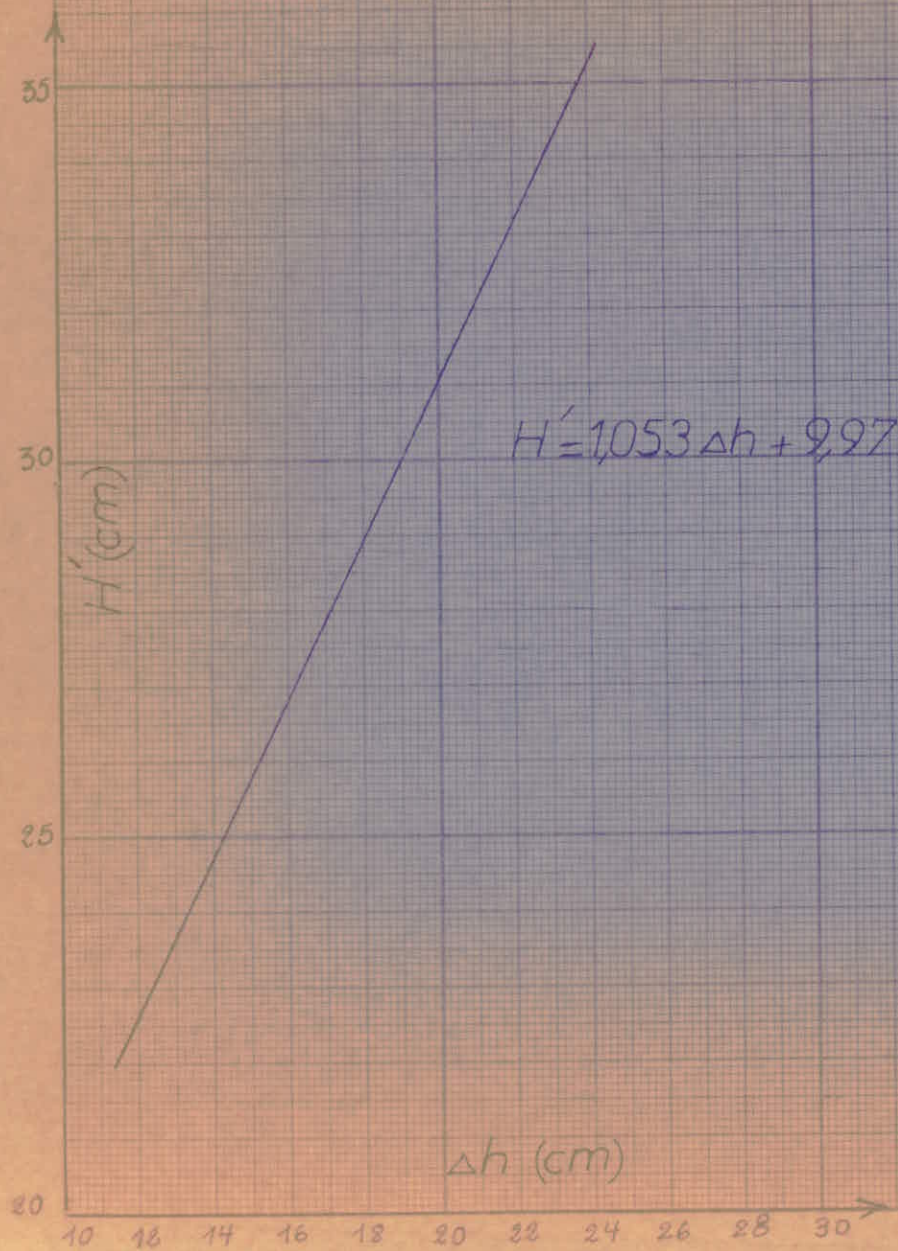
Introduire :

X ₁ → A	Y ₁ → B C
X _i → A	Y _i → B C

Exécuter :

D → r ² → I3	RCL 08 → n
	RCL 11 → a
	RCL 12 → b

Fonctionnement Sans Entrée D'air



((/ VARIATIONS DES HAUTEURS H et H' EN FONCTION DU DEBIT

-----000-----

TABEAU DES MESURES/

hauteurs piezométriques		Δh $= h_1 - h_2$	H'	H
h_1 (cm)	h_2 (cm)	(cm)		
78,8	43,9	28,9	37,5	35,4
71,1	45,0	26,1	37,0	35,1
70,3	45,5	24,8	36,5	34,5
69,2	46,3	22,9	35,5	33,4
68,5	46,6	21,9	34,3	32,2
67,7	47,2	20,5	33,0	31,0
66,9	47,6	19,3	31,2	29,5
66,1	47,9	18,2	29,9	28,4
64,9	48,5	16,4	28,5	27,0
64,2	48,7	15,5	26,5	25,2
63,3	48,8	15,1	24,5	23,5
62,4	49,2	13,2	22,7	21,5
52,2	49,1	13,1	22,0	21,0

L'Ajustement linéaire a permis d'obtenir les résultats suivants :

- Hauteur du plan d'eau dans le bassin d'alimentation

$$H' = 1,053 \Delta h + 9,971$$

- Hauteur du plan d'eau dans le bassin secondaire

$$H = 0,978 \Delta h + 9,783 \text{ implique } K_0 = 0,978$$

- Pertes de charge dans le siphon de liaison

$$h' = H' - H = 0,075 \Delta h + 0,188$$

FONCTIONNEMENT EN DEVERSOIR

-----000-----

TABEAU DE MESURES /

Hauteurs piezométriques		Δh $= h_1 - h_2$	H'	H	h
h_1 (cm)	h_2 (cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
93,3	78,3	15,0	36,4	35,5	3,5
92,6	78,6	14,0	36,0	35,1	2,9
92,3	78,8	13,5	35,7	34,9	2,7
91,9	79,3	12,6	35,5	34,7	2,5
90,5	80,1	10,4	34,7	34,0	1,6
89,4	80,8	8,6	34,0	33,3	1,1
88,5	81,5	7,0	33,5	33,0	0,8
87,6	82,2	5,4	32,9	32,4	0,2
86,6	83,4	3,2	32,5	32,3	0,1

L'ajustement puissance a donné les résultats suivant s

$$h = 0,006 \Delta h^{2,38} \dots\dots\dots (I)$$

h: Charge d'eau au-dessus du seuil du siphon

$$h = H - H_{\text{seuil}} = H - 32,2$$

La hauteur du plan d'eau dans le bassin secondaire se régale à :

$$H = h + 32,2 = 0,006 \Delta h^{2,38} + 32,2$$

On a vu auparavant que :

$$Q = 0,171 \Delta h^{0,49}$$

On tire de (I) : $\Delta h = 166,66 h^{0,42}$

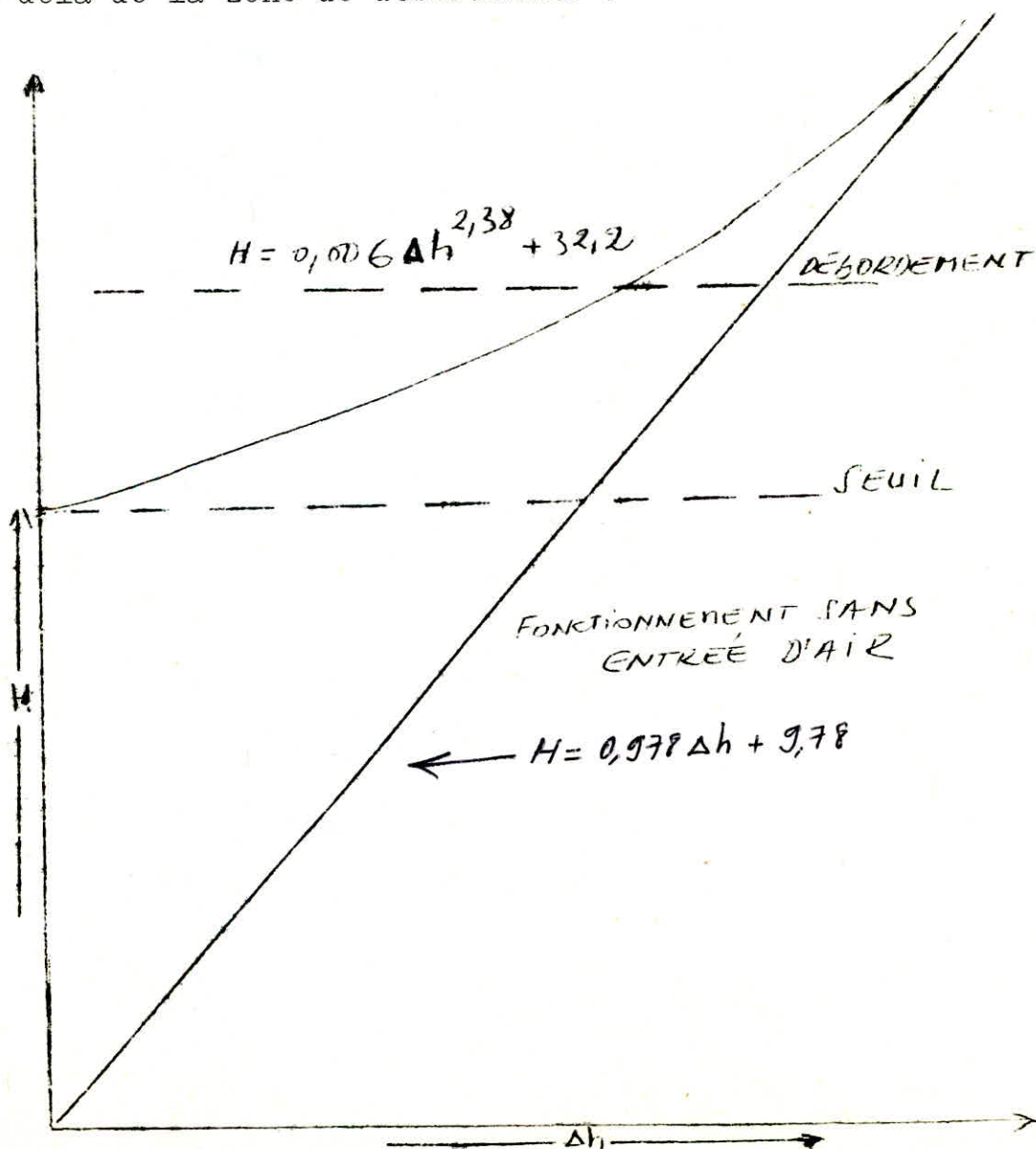
implique $Q = 2,09 h^{0,21} \dots\dots\dots Q = \text{exprime en l/s}$

h = " en cm

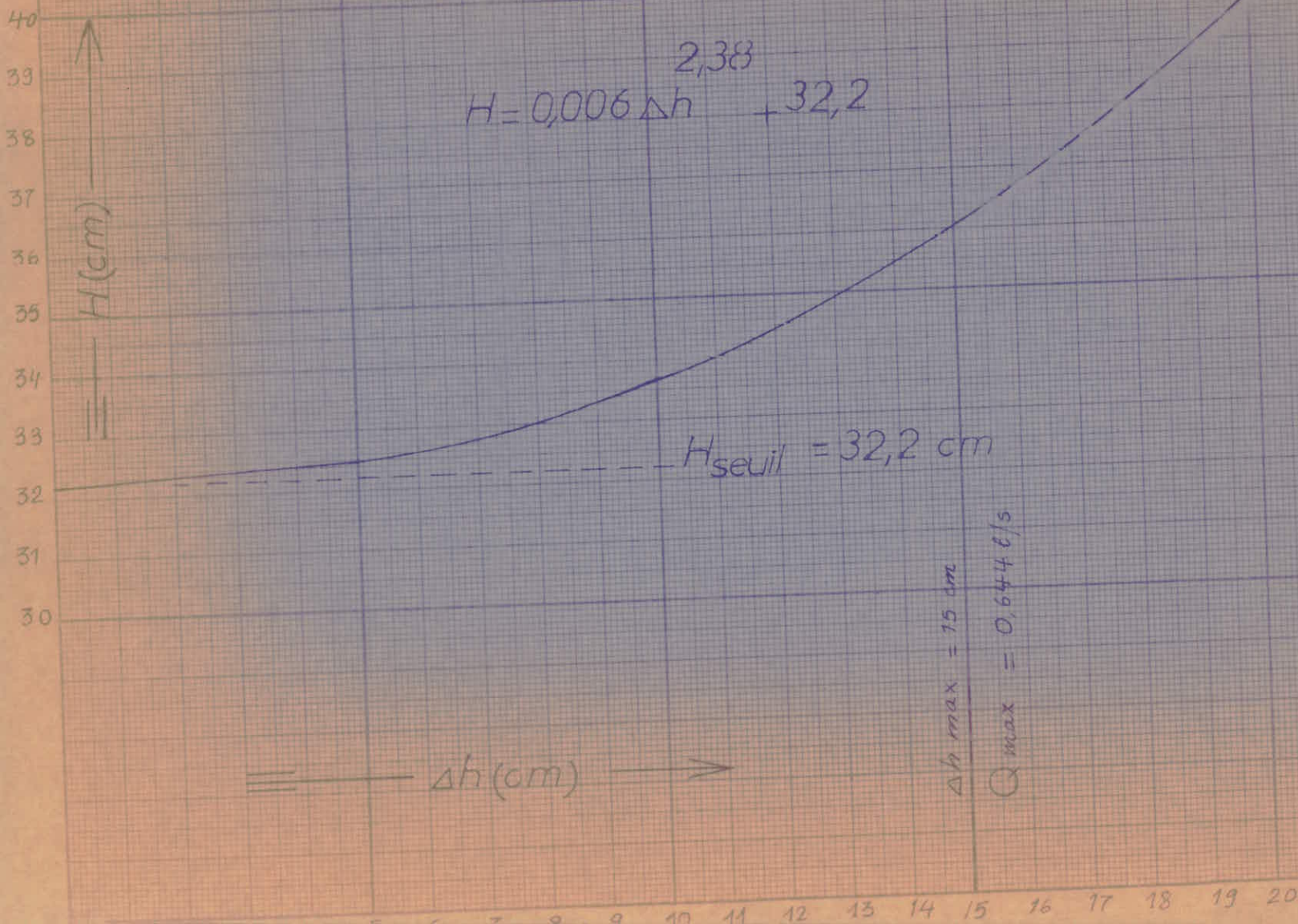
Lorsque le débit d'eau croît , alors du fonctionnement en deversoir , le débit d'air pompé croît aussi , atteint un maximum et diminue (courbe de la loi de pompage d'air) nous approchons donc le fonctionnement sans entrée d'air malgré le tube de prise d'air entièrement sorti .

La courbe caractérisant le fonctionnement en deversoir approche asymptotiquement la courbe de fonctionnement sans entrée d'air pour des débits importants

- /)/ous avons imaginé l'allure de la courbe $h = f(\Delta h)$ au delà de la zone de débordement .



Fonctionnement En Deversoir



STABILISATION DU NIVEAU DU PLAN D'EAU LORS DU FONCTIONNEMENT EN PARTIALE.

-----000-----

Le bassin d'alimentation est alimenté d'un débit Q_a , le siphon de liaison s'amorce au moyen du tube d'amorçage il véhicule l'eau du bassin d'alimentation vers le bassin secondaire supportant le siphon régulateur de niveau , ce dernier s'amorce lorsque le niveau du plan d'eau se trouve au-dessus de la cote du seuil du siphon .

Si le débit d'alimentation Q_a est supérieur que le débit maximum véhiculé par le siphon régulateur de niveau c'est à dire $Q_a > Q_{max}$; on constate que la hauteur du niveau du plan d'eau augmente progressivement . Pour éviter le débordement du bassin , on doit nécessairement diminuer le débit Q_a pour devenir inférieur au débit Q_{max} .

Cependant , on observe la variation du niveau du plan d'eau qui diminue d'avantage , parceque dans ce cas le débit Q_a est inférieur au débit véhiculé par le siphon la hauteur H diminue progressivement qui provoque par la suite le desamorçage respectif du siphon de liaison et du siphon régulateur de niveau .

Donc comment peut-on obtenir un niveau constant dans le bassin d'alimentation qui nous permet de maintenir l'égalité entre le débit entrant et le débit sortant ? La solution proposée à ce problème , est l'emploi du siphon régulateur de niveau. Une double cloison médiane comportant des orifices est placée à son sommet , ces orifices auront pour rôle la répartition uniforme de l'air introduit par le tube de prise d'air dont l'extrémité est affutée en biseau.

§ OBSERVATION DU PHENOMENE :

Le tube de prise d'air est noyé à une profondeur h , lorsque le débit Q_a sera inférieur au débit Q_{max} véhiculé par le siphon , on constate avec toute évidence l'abaissement du niveau du plan d'eau dans le bassin . En ce moment le siphon fonctionne dans entrée d'air et il débite à plein tube .

/))ais une fois , le niveau d'eau atteint l'entrée du tube de prise d'air , et plus précisément la moitié de la partie affutée en biseau , il se stabilise à une hauteur H et ne subissant aucune variation.

L'admission de l'air par le tube provoque le fonctionnement en partialisé c'est à dire ~~dans~~ le siphon débite de l'air et de l'eau .

Cette stabilisation nous permet d'obtenir l'égalité entre le débit entrant au bassin et le débit sortant par le siphon régulateur de niveau .

FONCTIONNEMENT EN PARTIALISE

-----ooo-----

VARIATIONS DES HAUTEURS H et H' en FONCTION DU DEBIT

Hauteurs piezométriques		Δh $= h_1 - h_2$	H' (cmm)	H (cm)
h_1 (cm)	h_2 (cm)			
98,4	74,1	24,3	37,0	35,3
97,0	74,2	22,8	35,3	33,3
96,6	74,3	22,3	34,1	32,2
96,6	74,5	21,8	33,2	31,5
95,0	75,5	19,5	32,7	31,0
93,8	76,5	17,3	32,0	30,4
93,1	76,9	16,2	31,1	30,0
92,2	77,6	14,6	30,5	29,5
90,3	78,9	11,4	29,5	28,7
89,3	79,9	9,4	28,5	27,5

Les resultats de l'ajustement linéaire sont :

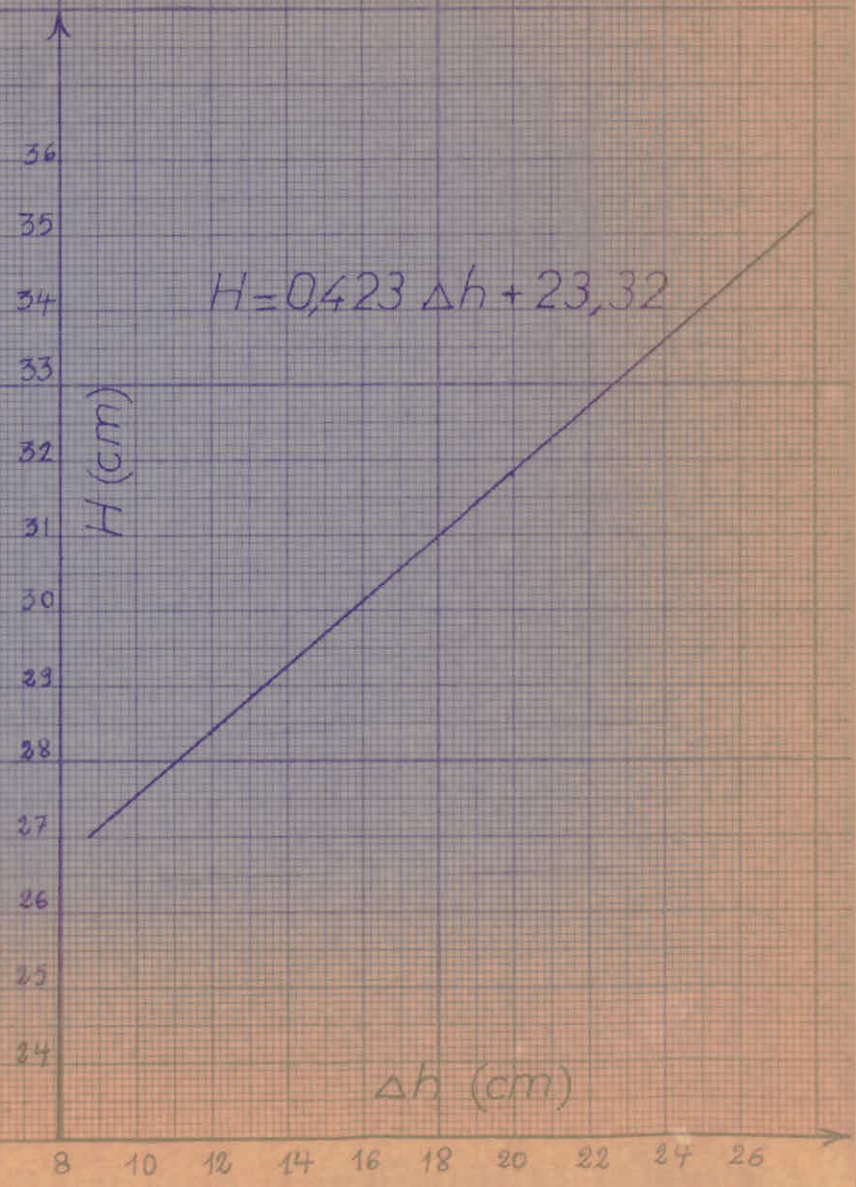
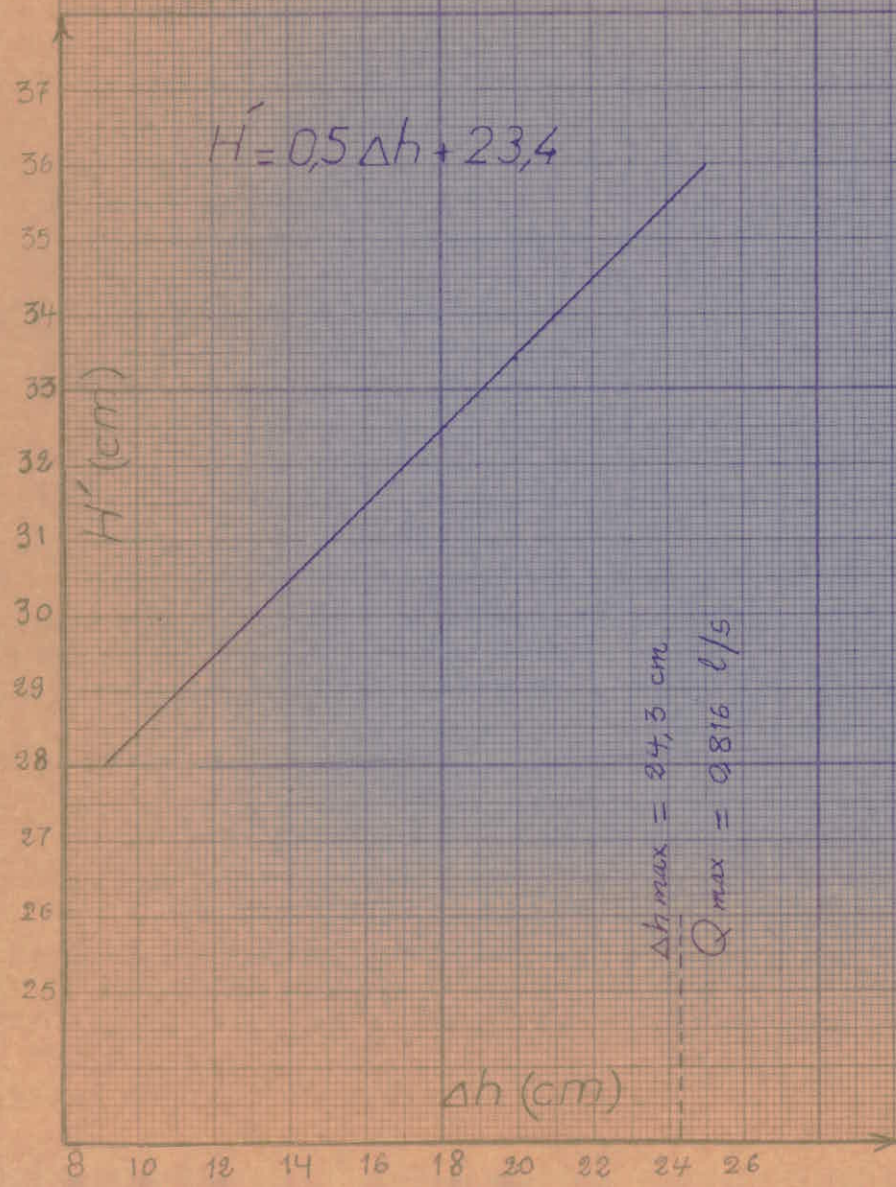
$$H' = 0,5 \Delta h + 23,40$$

$$H = 0,423 \Delta h + 23,32$$

$$H' = 18,38 Q^{2,041} + 23,40$$

$$H = 15,55 Q^{2,041} + 23,32$$

Fonctionnement En Partialisé



(VARIATIONS DES PRESSIONS DANS LE SIPHONS

Δh (cm)	$\frac{P_1}{W}$ (cm)	$\frac{P_2}{W}$ (cm)	$\frac{P_3}{W}$ (cm)	$\frac{P_4}{W}$ (cm)
24,8	- 19,8	- 16,8	0,4	4,2
22,4	- 20,2	- 17,0	0,5	4,0
21,2	- 21,1	- 18,0	0,2	3,9
20,4	- 22,0	- 18,0	0,0	3,8
19,8	- 21,6	- 18,0	0,0	3,7
19,4	- 23,0	- 18,3	- 0,2	3,7
19,0	- 23,1	- 19,0	- 0,5	3,6
17,8	- 22,7	- 18,8	- 0,4	3,6
16,8	- 22,9	- 19,0	- 0,5	3,5
16,3	- 23,5	- 19,4	- 1,0	3,5
16,1	- 23,6	- 19,6	- 1,0	3,4

L'ajustement linéaire a donné les résultats suivants

$$\frac{P_1}{W} = 0,4858 \Delta h - 31,584$$

$$\frac{P_2}{W} = 0,3281 \Delta h - 24,675$$

$$\frac{P_3}{W} = 0,1751 \Delta h - 3,633$$

$$\frac{P_4}{W} = 0,0835 \Delta h + 2,111$$

* Les valeurs de M_i :

$$M_4 = + 0,4858$$

$$M_2 = 0,3281$$

$$M_3 = 0,1751$$

$$M_1 = 0,0835$$

* *

((/ ariations des pressions en fonction du débit :

$$Q = 0,171 \Delta h^{0,49} \quad \text{implique} \quad \Delta h = 36,766 \cdot Q^{2,041}$$

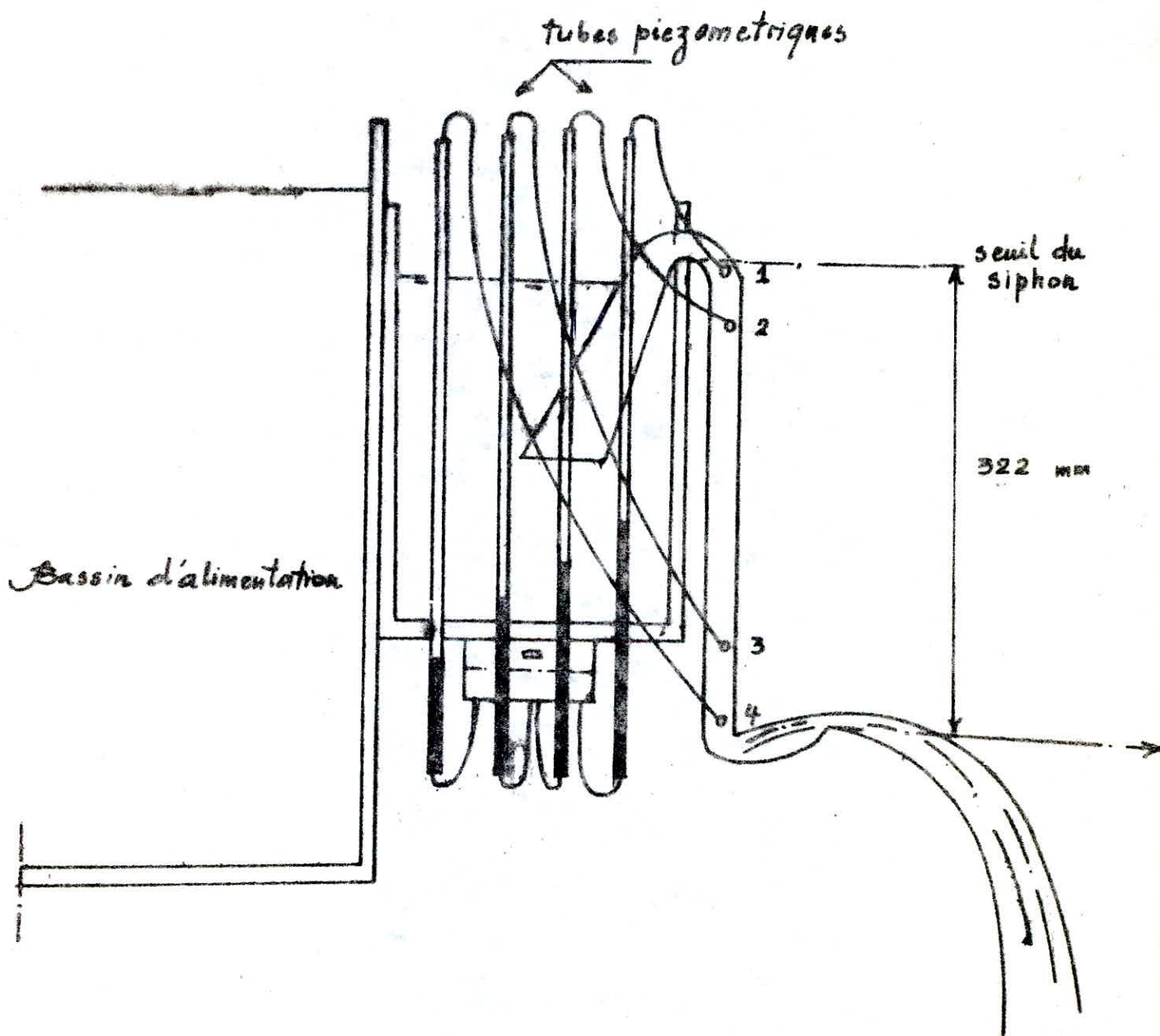
$$\frac{P_1}{W} = 17,86 \cdot Q^{2,041} - 31,684$$

$$\frac{P_2}{W} = 12,06 \cdot Q^{2,041} - 24,675$$

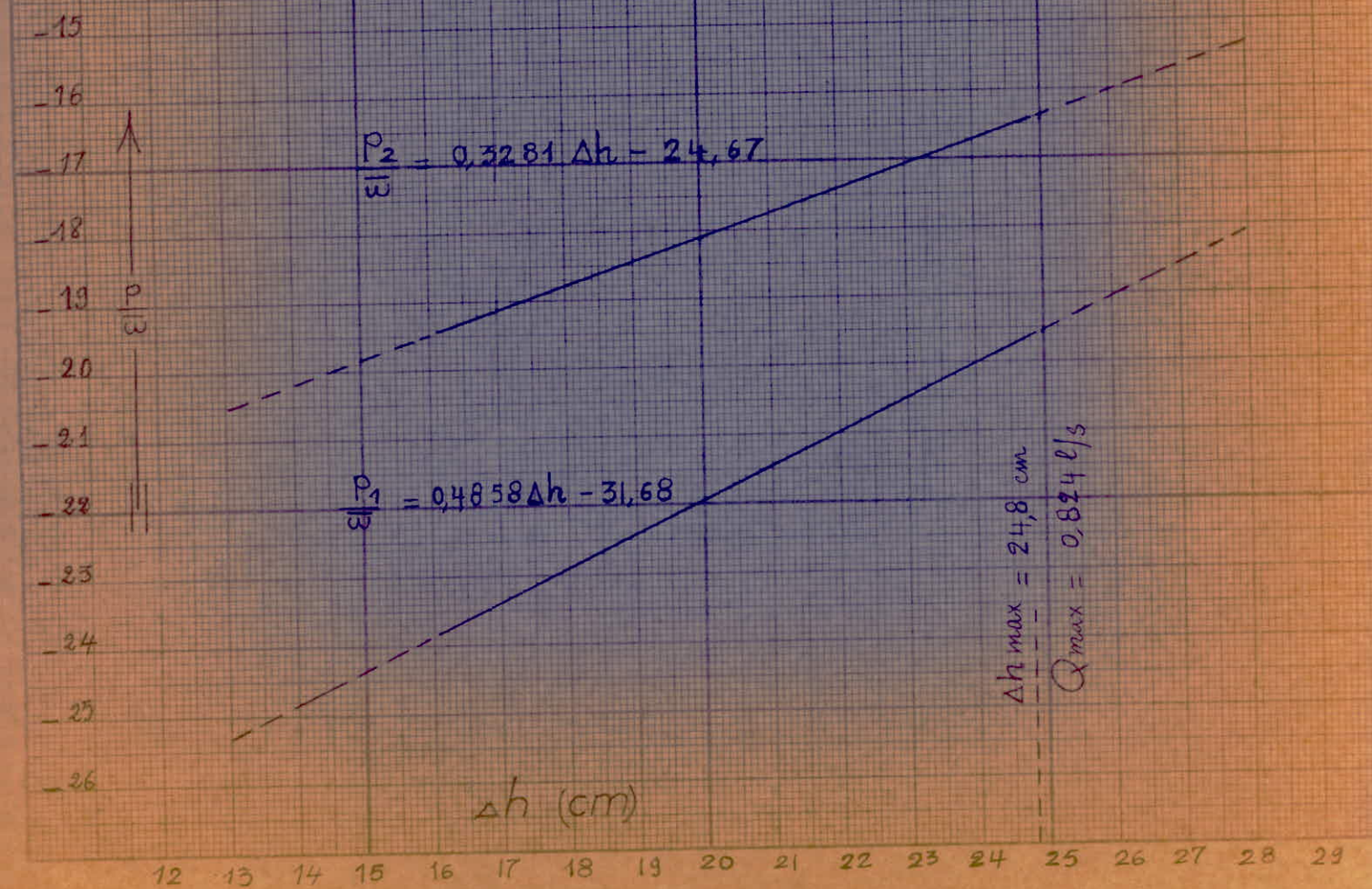
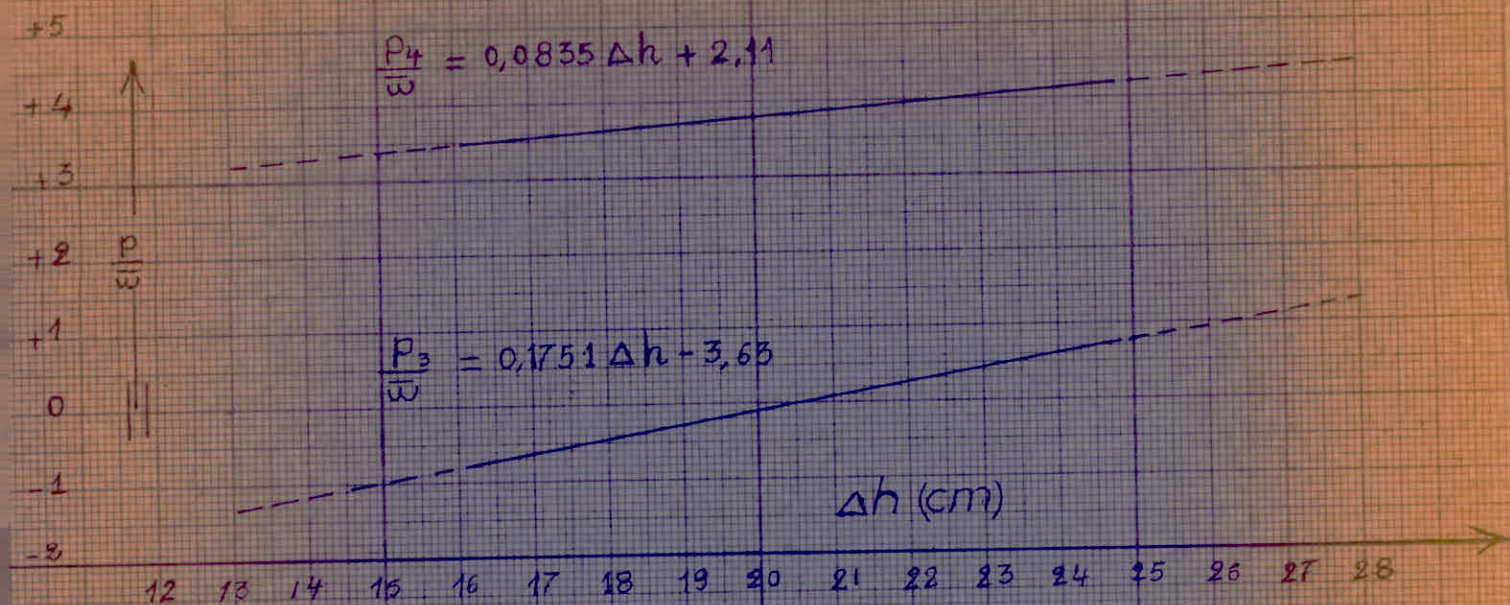
$$\frac{P_3}{W} = 6,43 \cdot Q^{2,041} - 3,633$$

$$\frac{P_4}{W} = 3,06 \cdot Q^{2,041} + 2,111$$

Variations Des Pressions Dans Le Siphon



Variations Des Pressions Dans Le Siphon



//) DETERMINATION DU COEFFICIENT DE CONTRACTION

-----ooo-----

Ce coefficient tient compte du retrecissement de la la section du tube de courant à la sortie du siphon .
Il est défini comme étant le rapport des sections du tube de courant juste avant et après la sortie

$$C_c = \frac{A}{A'}$$

A : section du siphon

A' : section contractée à la sortie

Détermination de C_c à partir de M_i :

$$M_i = \left(I + Y + \frac{f l_o}{D_o} + \frac{f l_i}{D} \right) \left(C_c^2 - I \right) \frac{\alpha C_d^2}{2gA^2}$$

$$\text{avec } K_o = \left(I + Y + \frac{f l_o}{D_o} + \frac{f l_i}{D} \right) \frac{\alpha C_c^2 C_d^2}{2gA^2}$$

$$\text{d'où } C_d^2 = K_o \frac{I}{\left(I + Y + \frac{f l_o}{D_o} + \frac{f l_i}{D} \right)} \cdot \frac{2gA^2}{\alpha C_c^2}$$

En remplaçant l'expression de C_d^2 dans M_i on trouve

$$M_i = K_o \frac{C_c^2 - I}{C_c^2} \quad \text{d'où} \quad C_c^2 = \frac{-K_o}{M_i - K_o}$$

On a vu précédemment que :

$$M_1 = 0,4858$$

$$M_2 = 0,3281$$

$$M_3 = 0,1751$$

$$M_4 = 0,0835$$

$$\text{Avec } K_o = 0,978$$

$$\text{On aura:} \quad \begin{array}{ll} C_1 = 1,40 & ; \quad C_2 = 1,22 \\ C_3 = 1,10 & ; \quad C_4 = 1,045 \end{array}$$

On prendra une valeur moyenne de C_c :

$$C_c = 1,19$$

COEFFICIENT DU DEBIT

Le niveau du plan d'eau est maintenu à la hauteur H , la vitesse moyenne d'une particule de fluide y correspond est donnée par la formule de Torricelli :

$$V = \sqrt{2.g.H}$$

C'est une vitesse théorique , mais pour tenir compte des faibles pertes de charge et de l'inégale répartition des vitesses, on introduit un coefficient C_v dit coefficient de vitesse .

La vitesse V s'écrit alors :

$$V = C_v \sqrt{2.g.H}$$

En portant $V = C_v \sqrt{2.g.H}$ dans l'équation suivante :

$$H = \alpha \left(I + Y + \frac{f l_0}{D_0} + \frac{f l}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

Le coefficient sera :

$$C_v = \frac{I}{\left(I + Y + \frac{f l_0}{D_0} + \frac{f l}{D} \right)}$$

Le debit à la sortie du siphon est, en vertu de l'équation de continuité :

$$Q = V_s . A' = A C_v . \sqrt{2gH}$$

A et A' désignent respectivement la section contractée du tube de courant et la section du siphon à la sortie .

En introduisant le coefficient de contraction C_c , la vitesse à la sortie du siphon s'écrit alors :

$$V_s = C_c C_v \sqrt{2.g.H}$$

On a :

$$Q = V_s . A' = C_c . C_v . A' \sqrt{2.g.H}$$

En posant $m = C_c C_v$

L'expression de Q sera :

$$Q = m . A' \sqrt{2.g.H}$$

Le coefficient m est appelé coefficient de débit

$$V_s = m \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = m V_0$$

$$\text{ce qui implique } m = \frac{V_s}{V_0}$$

/)/ous pouvons évaluer le coefficient de débit m en mesurant la vitesse à la sortie du siphon correspondant au débit maximum

$$Q_{\max} = 0,851 \text{ l/s}$$

$$H_{\max} = 36 \text{ cm}$$

$$V_{\max} = \frac{Q}{A} = \frac{0,851 \cdot 10^{-3}}{1,1 \cdot 3,95 \cdot 10^{-4}} = 1,95 \text{ m/s}$$

La vitesse Torricellienne est :

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,36} = 2,66 \text{ m/s}$$

Le coefficient de vitesse est :

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{V_{\max}}{V_0}$$

$$C_v = \frac{1,95}{2,66} = 0,73$$

/)/ous mesurons la vitesse V_s à la sortie du siphon en considérant les équations horaires du mouvement d'une particule de fluide :

$$X = V_{0x} \cdot t$$

$$Y = V_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

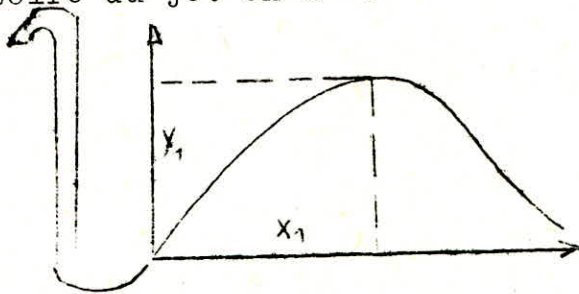
Au sommet de la trajectoire du jet on a :

$$t = t_1$$

$$X = X_1$$

$$Y = Y_1$$

$$V_y = 0$$



En portant ces valeurs dans les équations précédentes

On obtient :

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 Y}{g}}$$

$$V_{0x}^2 = \frac{g X_1^2}{2 Y_1}$$

$$V_{0y}^2 = 2 g Y_1$$

$$V_s = \sqrt{V_{0x}^2 + V_{0y}^2}$$

Pour un débit maximum on a :

$$X_1 = 0,19 \text{ m}$$

$$Y_1 = 0,07 \text{ m}$$

$$V_{0x}^2 = 2,53$$

$$V_{0y}^2 = 1,37$$

$$V_s = \sqrt{2,53 + 1,37} = 1,97 \text{ m/s}$$

Le coefficient de débit aura pour valeur :

$$m = \frac{V_s}{V_0} = \frac{1,97}{2,66} = 0,74$$

COEFFICIENT D'EFFICACITE

-----ooo-----

Le coefficient d'efficacité c'est le rapport des largeurs du deversoir (rectangulaire) et du siphon qui évacuent un même débit .

$$K_{eff} = \frac{L}{l}$$

* EXPRESSION DU COEFFICIENT D'EFFICACITE :

- 1) Le débit véhiculé par le siphon $Q_s = C_v \cdot e \cdot l \cdot \sqrt{2gH}$
 e et l sont les dimensions transversales du siphon
 H : charge dans le siphon
 C_v : coefficient de vitesse

- 2) Le débit véhiculé par le deversoir :

$$Q_d = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1,5}$$

$$Q_s = Q_d \text{ implique } C_v \cdot e \cdot l \cdot \sqrt{2gH} = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1,5}$$

$$K_{eff} = \frac{L}{l} = \frac{C_v \cdot e}{m} \sqrt{\frac{H}{h^3}}$$

Le coefficient d'efficacité peut atteindre des valeurs très importantes pour de grands débits .

Exemple :

Le débit véhiculé par le siphon régulateur de niveau sous une charge $H_2 = 0,40$ m est $Q_2 = 0,8$ l/s .
 Les dimensions transversales de siphon sont :

$$e_2 = 1,1 \text{ cm} , \quad l_2 = 3,95 \text{ cm}$$

Le débit véhiculé par un siphon qui a une section semblable, au modèle sous une charge $H_1 = 4$ m est :

$$Q_I = \frac{Q_2}{\lambda_Q}$$

$$\lambda_Q = \lambda_x \lambda_y \lambda_z$$

$$\lambda_t = \sqrt{\lambda_z} \quad (\text{SIMILITUDE DE REEHL-FROUDE})$$

$$S: \left\{ \begin{array}{l} \lambda_x = \lambda_y = 0,02 \\ \lambda_z = 0,1 \end{array} \right. \lambda_Q = \lambda_x \lambda_y \lambda_z^{0,5} \Rightarrow \lambda_Q = 1,265 \cdot 10^{-4}$$

$$Q_I = \frac{0,8 \cdot 10}{1,265 \cdot 10} = 6,324 \text{ M/S}$$

$$l_I = \frac{3,95}{0,02} = 197,5 \text{ cm}$$

$$e_I = \frac{1,1}{0,02} = 55 \text{ cm}$$

$$H_I = \frac{40}{0,1} = 400 \text{ cm}$$

Ce même débit sera véhiculé par un deversoir de longueur L et dont la hauteur du plan d'eau au-dessus du seuil est h

En supposant que : $m = 0,5$; $h = 0,4 \text{ m}$

$$Q = 0,5 \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,4^3} = 6,324 \text{ m}^3/\text{s}$$

.....d'où $L = 11,3 \text{ m}$

$$K_{\text{eff}} = \frac{11,3}{1,97} = 5,73$$

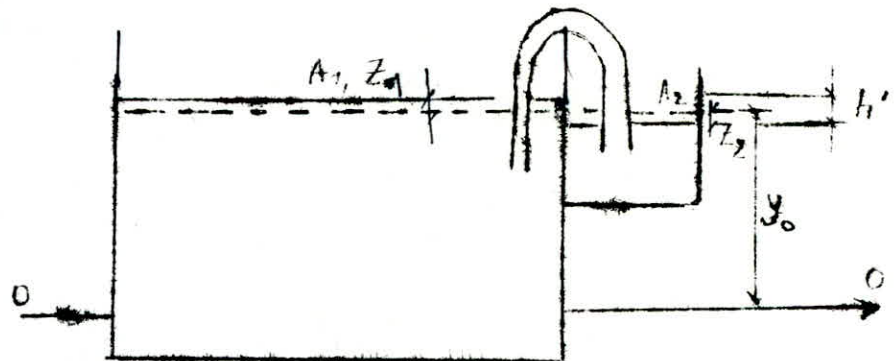
Pour une hauteur $h = 0,1$ $L = 90,34 \text{ m}$

$$K_{\text{eff}} = 46$$

/)/ous voyons à travers cet exemple que le coefficient d'efficacité peut atteindre des valeurs assez grandes les siphons sont donc des ouvrages économiques .

OSCILLATIONS ENTRE LE BASSIN D'ALIMENTATION
ET LE BASSIN SECONDAIRE.....

-----ooo-----



La perte de charge occasionné par le fluide dans le siphon de liaison est : $h' = H' - H$

Lorsque le siphon régulateur de niveau est morcé, le débit dans le siphon de liaison devient négligeable et h' tend vers zéro .

Les niveaux des plans d'eau dans les deux bassins oscillent de part et d'autre d'une position d'équilibre située à la cote y variable telle que :

$$y = y_0 + \frac{Q_a}{A_1 + A_2} t$$

où y_0 désigne la cote de la position d'équilibre correspondant au début des oscillations au moment de l'interruption de l'écoulement .

Q_a : Débit d'alimentation

A_1 et A_2 : Les surfaces respectives du plan d'eau du bassin d'alimentation et du bassin secondaire .

Considérons la colonne de liquide en ^{mouvement} ~~moment~~ continue dans le siphon à l'instant t

Désignons par A et L respectivement la section et la longueur moyenne du siphon .

z : Le déplacement de la particule de fluide dans le siphon

Ecrivons le bilan des forces appliquées à la colonne liquide

- Force due à l'inertie : $\rho . A . L . \frac{d^2 z}{dt^2}$

- Resultante des forces qui provoquent le mouvement :

$$\rho . A . g . (z_I + z_2)$$

- En supposant que la résistance s'opposant au mouvement du liquide est proportionnelle au carré de la vitesse et que le coefficient de frottement f reste constant .

La résultante des forces qui freinent le mouvement est :

$$\rho . A . g . L e . \frac{f}{2gD} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2$$

En vertu du 2^o axiome de Newton , on obtient l'équation différentielle du mouvement .

$$A.L. \frac{d^2 z}{dt^2} = A.g \left(\frac{z}{I} + \frac{z}{2} \right) - g.A.L.e \frac{f}{2gD} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2$$

$$\text{On a : } z.A = z_I . A_I = z_2 . A_2$$

Après simplification , l'équation devient :

$$\frac{dz^2}{dt^2} - \frac{f Le}{2LD} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 + \frac{A}{L} g \left(\frac{I}{A_I} + \frac{I}{A_2} \right) z = 0$$

Préférons de donner la solution graphique de cette équation différentielle élaborée par Monsieur G.LAPRAY cette méthode permet d'obtenir des résultats beaucoup plus expéditifs et avec une bonne précision .

En posant :

$$\varphi = f. \frac{Le}{L.D} . Z$$

Où : f : Coefficient de frottement

Le : Longueur équivalente

L : Longueur géométrique

D : Diamètre hydraulique

Z : Déplacement de la particule de fluide

Les surfaces A_I et A_2 des plans d'eau des deux bassins sont

$$A_I = 1660 \text{ Cm}^2 ; A_2 = 170 \text{ Cm}^2$$

Les déplacements Z_I et Z_2 des plans d'eau sont liés la relation suivante :

$$Z_I A_I = Z_2 A_2 \text{ implique } Z_I = \frac{A_2}{A_I} Z_2$$

$$\text{d'où } Z_I \equiv 0,102 . Z_2$$

Le déplacement de la particule de fluide dans le siphon de liaison est :

$$Z = \frac{A_2}{A} Z_2$$

A : Section du siphon de liaison

$$\text{d'où } \varphi = f . \frac{Le A_2}{L.D.A} . Z$$

$$\text{d'où } \varphi = \frac{f \cdot L_e \cdot A_z}{L \cdot D \cdot A} \cdot Z$$

* Calcul du déplacement au début des oscillations dans le siphon de liaison .

Données :

$$1. \text{ Débit : } \Delta h = 21,9 \text{ Cm implique } Q = 0,171 \cdot 21,9 \quad 0,49$$

$$\text{soit } Q = 0,775 \text{ l/s}$$

2. $h' =$ Perte de charge entre les deux bassins

$$h' = 2,1 \text{ Cm}$$

3. Longueur équivalente aux pertes de charge singulières est :

$$L_{ey} = Y \cdot D / f$$

$$\text{avec : } D = 4 \cdot A / P = 4 \cdot 18 / 17 = 4,23 \text{ Cm} = 0,042 \text{ m}$$

f : coefficient de frottement correspondant aux conduites lisses

ΣY : Somme des coefficients de pertes de charge singulières

$$\Sigma Y = Y_{\text{entrée}} + Y_{\text{coude}} + Y_{\text{sortie}}$$

$$Y_{\text{entrée}} = 0,5$$

$$Y_{\text{sortie}} = 1$$

$$Y_{\text{coude}} = \frac{\alpha}{90} \left[0,131 + 1,847 \left(D / 2\rho \right)^{3,5} \right]$$

avec :

D : Diamètre de la conduite =

$$D = 4 \text{ Cm}$$

ρ : Rayon de courbure

$$\rho = 5,7 \text{ Cm}$$

$$\alpha = 141^\circ$$

$$\text{donc : } Y_{\text{coude}} = 141/90 \left[0,131 + 1,847 \left(4/114 \right)^{3,5} \right] = 0,279$$

$$\text{ce qui implique } Y = 1 + 0,279 + 0,5 = 1,78$$

4. Calcul du nombre de Reynolds :

$$R = V.D/\nu = Q.D/A.\nu = \frac{0,775 \cdot 10^{-3} \cdot 0,042}{18 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6}} = 1,88 \cdot 10^4$$

Ayant la valeur de R, on peut tirer f moyennant le diagramme de Moody.

$$f = 0,0265$$

Ley sera égale à :

$$Ley = Y.D/f = 1,78 \cdot \frac{0,042}{0,0265} = 2,82 \text{ m}$$

5. Longueur équivalente totale est :

$$Le = L + Ley$$

$$= 0,7 + 2,82 = 3,52 \text{ m}$$

$$6. /) /ous avons : \left. \begin{array}{l} Z_I + Z_2 = h' \\ A_I Z_I = A_2 Z_2 \end{array} \right\}$$

$$A_I = 1660 \text{ Cm}$$

$$A_2 = 170 \text{ Cm}$$

$$h' = 2,1 \text{ Cm}$$

Le système devient :

$$\left. \begin{array}{l} Z_I + Z_2 = 2,1 \\ 1660 Z_I = 170 Z_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} Z_I = 0,2 \text{ Cm} \\ Z_2 = 1,9 \text{ Cm} \end{array}$$

* Le déplacement initial d'une particule dans le siphon de liaison est Z

$$A.Z = A_2 \cdot Z_2 \quad Z = \frac{A_2}{A} \cdot Z_2 = \frac{170}{1660} \cdot 1,9 =$$

$$Z = 17,9 \text{ Cm}$$

$$\text{d'où } \varphi_0 = f \cdot Le / L \cdot Z/D = 0,0265 \cdot 3,52 / 0,7 \cdot \frac{0,179}{0,042}$$

$$\varphi_0 = 0,56$$

On repère dans le diagramme les valeurs consécutives de la fonction :

$$\varphi_1 = 0,41$$

$$\varphi_2 = 0,32$$

$$\varphi_3 = 0,26$$

Les déplacements y correspondantes dans le siphon de liaison sont :

$$Z_I = \frac{L}{f} \cdot \frac{D}{Le} \cdot \varphi_1 = 0,315 \cdot 0,41 = 0,131 \text{ m}$$

$$Z_2 = 0,315 \cdot \varphi_2 = 0,315 \cdot 0,32 = 0,10 \text{ m}$$

$$Z_3 = 0,315 \cdot \varphi_3 = 0,315 \cdot 0,26 = 0,082 \text{ m}$$

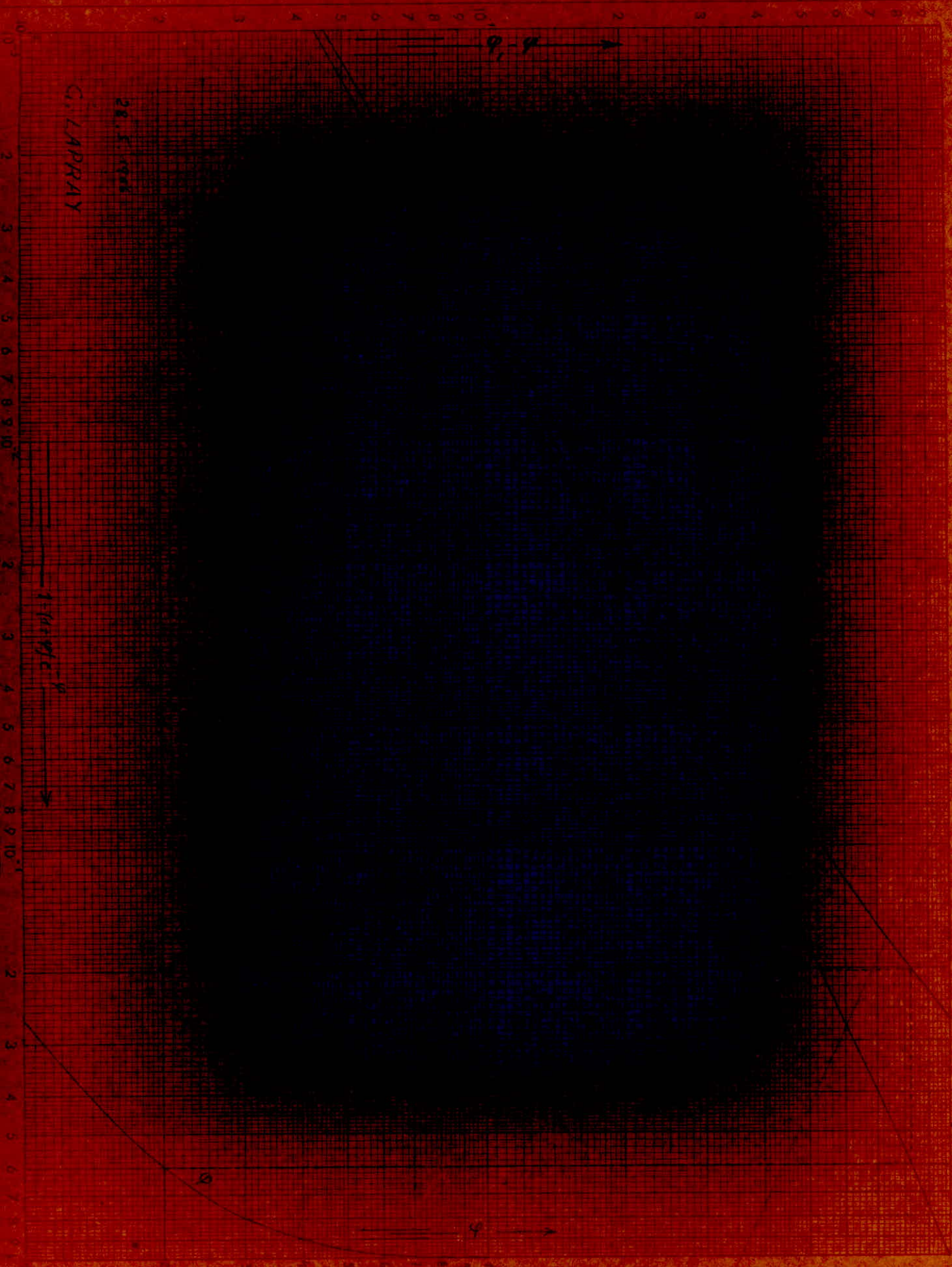
* Les déplacements dans le bassin secondaire :

$$Z_{2I} = \frac{A}{A_2} \cdot Z_I = \frac{18}{170} \cdot 0,131 = 0,0138 \text{ m}$$

$$Z_{22} = \frac{A}{A_2} \cdot Z_2 = 0,106 \cdot 0,10 = 0,0106 \text{ m}$$

$$Z_{23} = \frac{A}{A_2} \cdot Z_3 = 0,106 \cdot 0,082 = 0,0087 \text{ m}$$

LAPRAY 900x



28.5.1908

G. LAPRAY

$\frac{1}{10} \phi$

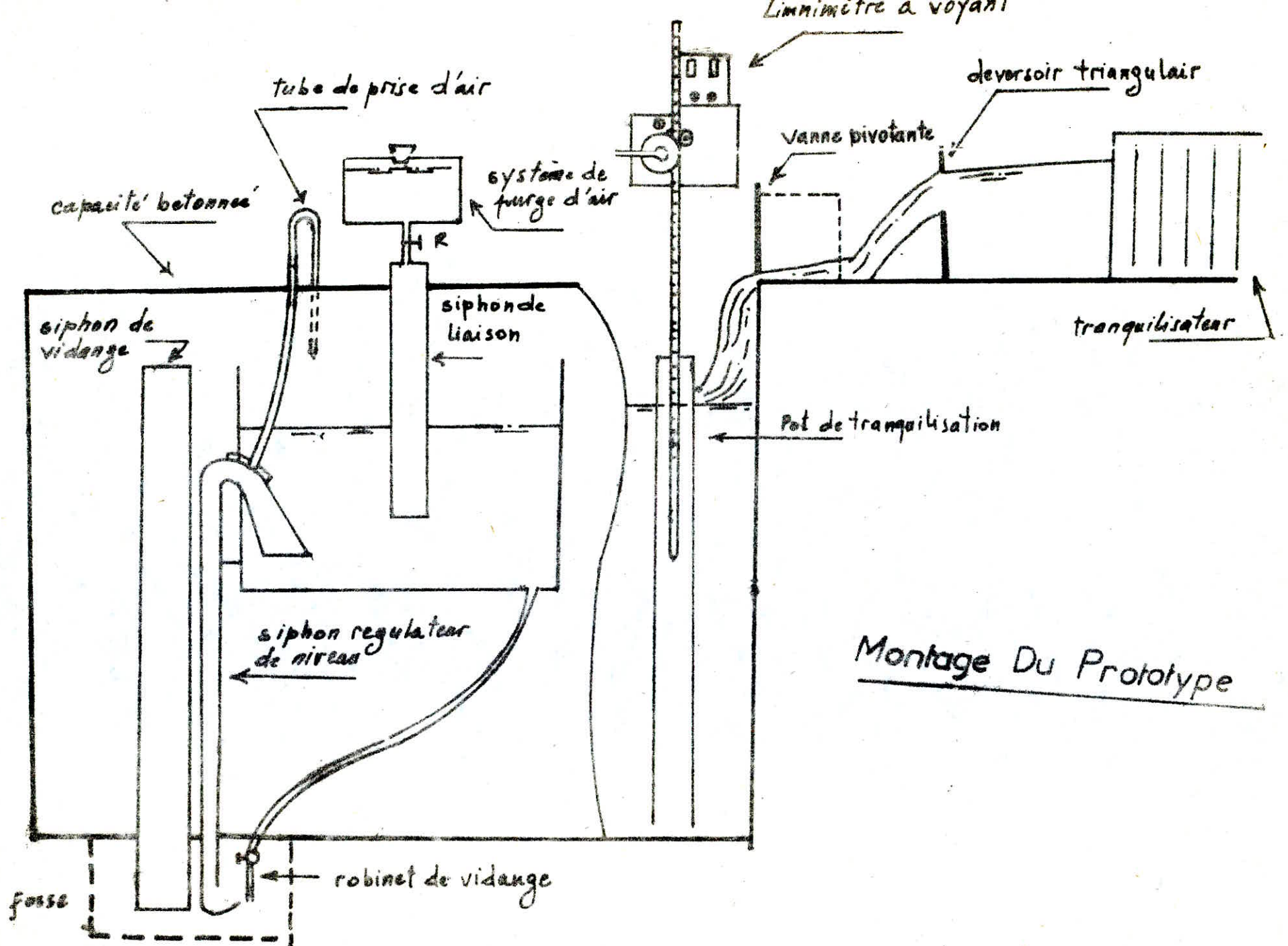
PROJET DU PROTOTYPE

-----000-----

On dispose au laboratoire hydraulique d'un déversoir triangulaire destiné à la mesure du débit d'alimentation d'une capacité bétonnée et ce, par la détermination de la hauteur du plan d'eau mesurée à partir du seuil à l'aide d'un limnimètre à voyant .

Outre cela , cette petite installation est équipée d'un d'un siphon de vidange qui traverse la paroi de la capacité bétonnée et débouche à l'extérieur dans une fosse et d'une vanne pivotante qui commande le débit .

- Le prototype du siphon régulateur de niveau sera placé à l'extérieur de la capacité bétonnée tout en la juxtaposant , cette dernière représente pour nous le bassin d'alimentation (voir schéma du modèle réduit) qui sera lié au bassin secondaire supportant le siphon régulateur de niveau par le siphon de liaison .
- On constate aisément que l'avantage de ce siphon outre son rôle de stabilisateur de niveau , c'est qu'il peut être réaliser sans avoir recours à échancre la paroi de la la capacité bétonnée , ni de procéder à des modifications sur elle .



((ALCUL DE DEBIT DU DEVERSOIR TRIANGULAIRE -----000-----

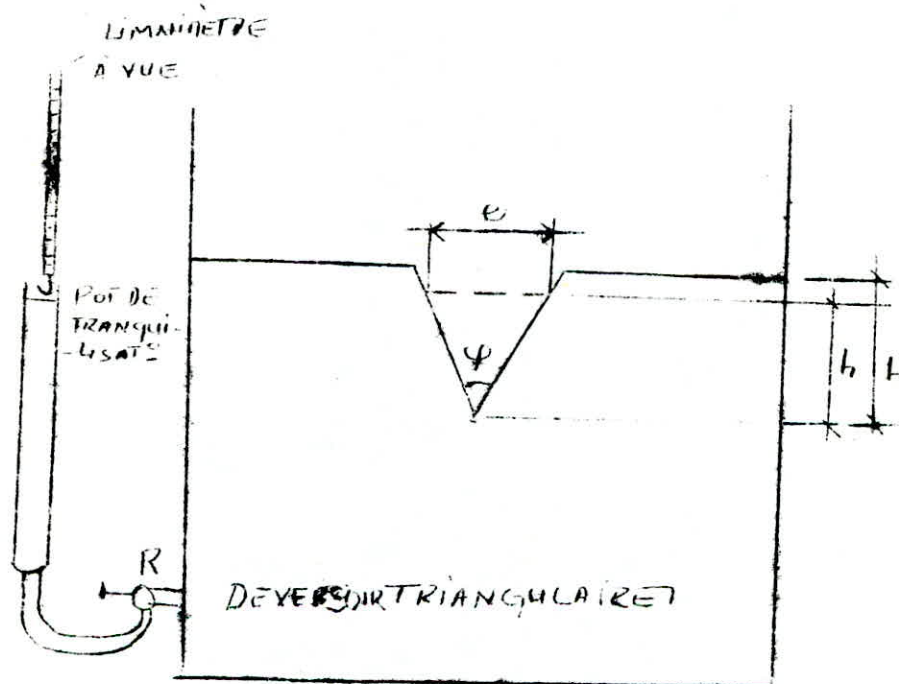
Hypothèses: Le fluide est parfait

L'écoulement est permanent et irrotationnel

Pour vérifier ces hypothèses , il faut que la nappe d'eau présente une surface lisse avec seulement quelques stries dans le sens du courant ; d'où l'emploi de tranquillisateur.

Il faut aussi que la nappe deversante ne touche que l'arête amont et soit décollée de la paroi de façon que la face inférieure soit soumise à la pression atmosphérique (ceci explique le biseau de la tôle du deversoir) .

Pour la détermination du débit passant par la section de contrôle , on doit faire appel à la formule générale exprimant la condition du régime critique d'un écoulement permanent uniforme à la surface libre .



R = ROBINET DE PURGE

$$\frac{Q^2}{g A_k^3} = + I \dots \dots \dots (h = k, H = H_k)$$

$$e_k = 2 k \operatorname{tg} \varphi/2 \dots \dots \dots (1)$$

$$A_k = K^2 \operatorname{tg} \varphi/2 \dots \dots \dots (2)$$

en remplaçant (1) et (2) dans la première relation on trouve :

$$\frac{2 \cdot Q^2}{g k^5 \operatorname{tg}^2 \varphi/2} = I \quad \text{implique} \quad k = h = \left(\frac{2 \cdot Q^2}{g \operatorname{tg} \varphi/2} \right)^{0,2}$$

On a :

$$H = H_k = k + \frac{V_k^2}{2g}$$

$$\text{avec } V_k = \frac{Q}{A_k} = \frac{Q}{k^2 \operatorname{tg} \varphi/2}$$

$$\text{donc : } H_k = k + \frac{Q^2}{2g k^4 \operatorname{tg}^2 \varphi/2} = k + k \cdot \frac{Q^2}{2g k^5 \operatorname{tg}^2 \varphi/2}$$

$$H_k = k + \frac{k}{4} = \frac{5}{4} k$$

$$\text{d'où } h = k = \frac{4}{5} H = 0,8 H$$

* L'expression du débit :

$$\text{On tire de (3) : } Q = (g/2)^{0,5} h^{2,5} \operatorname{tg} \varphi/2$$

On remplace h par 0,8 H on peut écrire :

$$Q = (g/2)^{0,5} (0,8 H)^{2,5} \operatorname{tg} \varphi/2$$

$$Q = 1,267 H \operatorname{tg} \varphi/2$$

L'étalonnage du deversoir triangulaire a permis

d'obtenir par ajustement puissance l'équation suivante

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \varphi/2 H^{2,47}$$

$$\varphi = 53^\circ 8' \dots \dots \dots Q = 0,66 H^{2,47}$$

Cet étalonnage a été effectué pour qu'il nous permette de contrôler le débit qui sera véhiculé par le siphon en prototype .

Tableau d'étalonnage du déversoir triangulaire

$$\Psi = 53^{\circ} 8'$$

h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)
234	18,33	286	30,28	338	45,92	390	55,70
235	18,52	287	30,53	339	46,25	391	66,10
236	18,71	288	30,79	340	46,64	392	66,51
237	18,90	289	31,05	341	46,98	393	67,00
238	19,13	290	31,31	342	47,31	394	67,41
239	19,32	291	31,57	343	47,64	395	67,83
240	19,52	292	31,88	344	47,98	396	68,24
242	19,91	294	32,41	346	48,72	398	69,08
243	20,11	295	32,68	347	49,06	399	69,58
244	20,35	296	32,95	348	49,40	400	70,00
245	20,55	297	33,27	349	49,75	401	70,42
246	20,76	298	33,54	350	50,16	402	70,85
247	20,96	299	33,81	351	50,50	403	71,27
248	21,17	300	34,09	352	50,85	404	71,78
250	21,62	302	34,69	354	51,55	406	72,64
251	21,83	303	34,97	355	51,90	407	73,08
252	22,04	304	35,25	356	52,33	408	73,51
253	22,25	305	35,53	357	52,68	409	74,03
254	22,51	306	35,81	358	53,04	410	74,47
255	22,72	307	36,09	359	53,40	411	74,91
256	22,94	308	36,43	360	53,76	412	75,35
257	23,15	309	36,72	361	54,19	413	75,79
258	23,37	310	37,01	362	54,55	414	76,23
259	23,59	311	37,29	363	54,91	415	76,76
260	23,85	312	37,59	364	55,28	416	77,21
261	24,08	313	37,93	365	55,65	417	77,65
262	24,30	314	38,23	366	56,02	418	78,11
264	24,75	316	38,82	368	56,83	420	79,10
265	25,02	317	39,11	369	57,20	421	79,56
266	25,25	318	39,47	370	57,58	422	80,01
267	25,48	319	39,77	371	57,95	423	80,47
268	25,71	320	40,07	372	58,40	424	80,93
269	25,94	321	40,37	373	58,78	425	81,48
270	26,22	322	40,68	374	59,16	426	81,95
272	26,69	324	41,35	376	59,93	428	82,88
273	26,93	325	41,66	377	60,39	429	83,35
274	27,17	326	41,97	378	60,78	430	83,82
275	27,41	327	42,28	379	61,17	431	84,38
276	27,69	328	42,59	380	61,56	432	84,85
277	27,94	329	42,97	381	61,95	433	85,38
278	28,18	330	43,28	382	62,34	434	85,80
280	28,67	332	43,92	384	63,21	436	86,85
281	28,97	333	44,24	385	63,61	437	87,33
282	29,22	334	44,62	386	64,01	438	87,82
283	29,47	335	44,94	387	64,41	439	88,30

DIMENSIONNEMENT DU PROTOTYPE

-----000-----

I) SIPHON DE LIAISON

Il sera réalisé en plexiglas et rigidisé à l'aide d'ossature métallique, en outre, il est doté d'un système de purge qui permet l'évacuation des bulles d'air se trouvant éventuellement au sommet du siphon.

/)ous prenons pour rapport de similitude $\lambda = 0,2$.

$$\frac{L_2}{L_1} = \lambda \quad \text{implique} \quad L_1 = \frac{L_2}{\lambda} = \frac{5}{0,2} = 25 \text{ cm}$$

$$e_2 / e_1 = \lambda \quad \text{implique} \quad e_1 = e_2 / \lambda = \frac{4,2}{0,2} = 21 \text{ cm}$$

L : largeur du siphon

e : épaisseur du siphon

II) Siphon régulateur de niveau :

$$Q_2 \text{ max} = 0,851 \text{ l/s}$$

$$\lambda Q = \lambda^{2,5} = 0,2^{2,5}$$

$$Q_1 \text{ max} = Q_2 \text{ max} / \lambda^{2,5} = \frac{0,851}{(0,2)^{2,5}} = 0,851 \cdot 5 = 4,255 \text{ l/s}$$

* Section transversale :

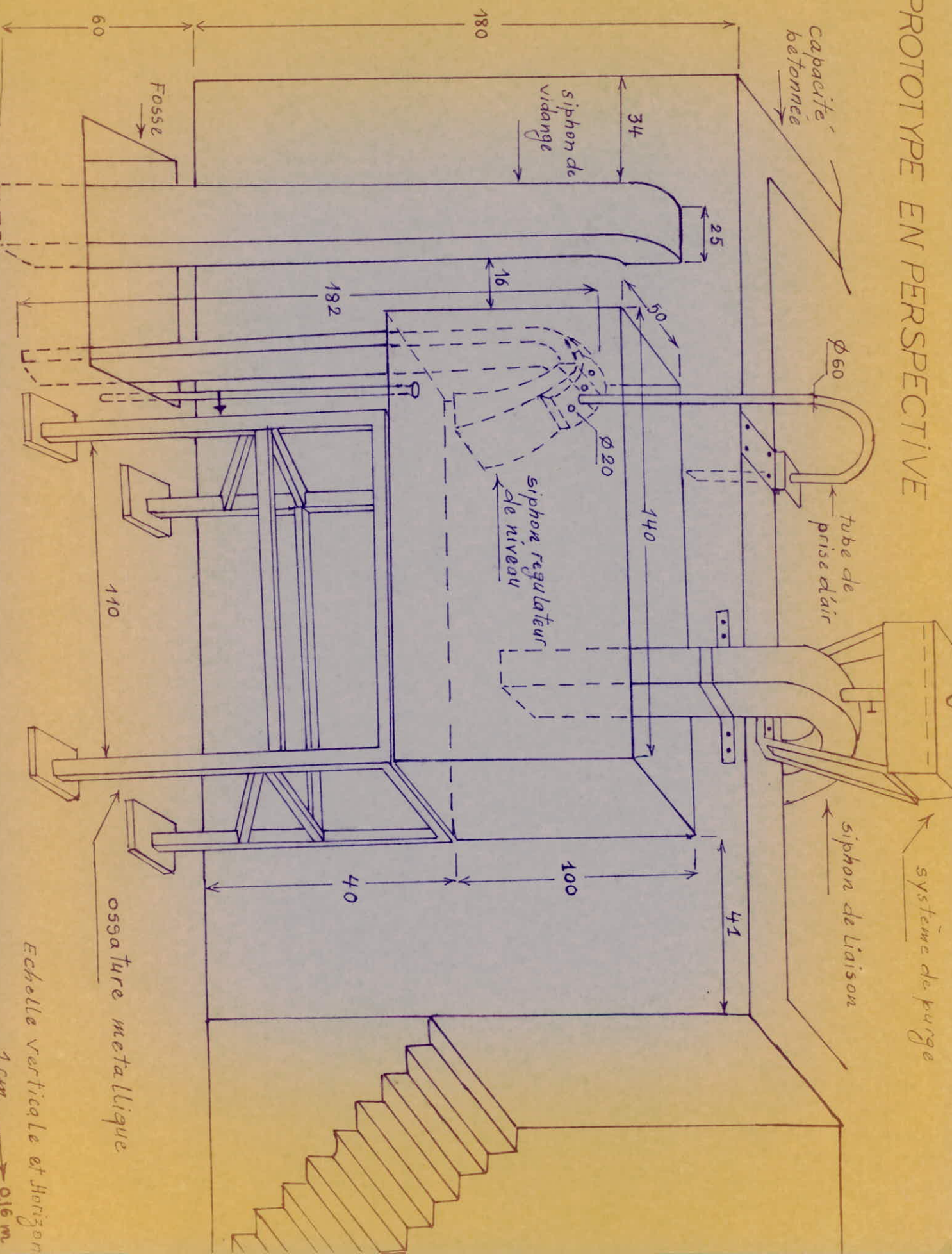
$$e_1 = e_2 / \lambda = \frac{1,1}{0,2} = 5,5 \text{ cm}$$

$$L_1 = L_2 / \lambda = \frac{3,95}{0,2} = 19,75 \text{ cm}$$

$$* \text{ Longueur totale : } l_1 = l_2 / \lambda = \frac{36,4}{0,2} = 182 \text{ cm}$$

$$* \text{ Vitesse : } V_1 \text{ max} = V_2 / \lambda = \frac{1,95}{\sqrt{0,2}} = 4,36 \text{ m/s}$$

PROTOTYPE EN PERSPECTIVE



Echelle Verticale et Horizontale

1 cm. → 0,16 m.

C O N C L U S I O N /

Au terme de cette étude , et à titre d'information nous citons deux applications de siphon et leurs caractéristiques :

- Le barrage de FERGOUG en Algérie est équipé d'un siphon évacuateur d'essai qui débite 60 M³/s avec 2 m de largeur .
- La centrale de champ sur Drac en France est équipé de siphons doublés d'une cheminée d'équilibre déversante réglant le niveau dans la chambre d'eau .
Leur débit total est de 28 M³/S en 6 éléments hydrauliquement indépendants , avec un temps d'amorçage de 20 secondes .

Pour ces grandes applications , il faut prévoir des grilles d'entrée pour empêcher les corps flottants d'obstruer les siphons .

...../..

H) I B L I O G R A P H I E
-----ooo-----

× Cours d'hydraulique de Mr G. LAPRAY

× Hydraulique générale et appliquée M. Cartier

..../ ..

