

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : *HYDRAULIQUE*

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONTRIBUTION A L'ETUDE  
DU SOUTIRAGE  
SELECTIF**

PROPOSE PAR:

**Mr REMINI**

ETUDIE PAR:

**Mr AMIRECHE  
Mohamed**

DIRIGE PAR:

**Mr REMINI  
Mr BERKANI**

PROMOTION  
JUN 1993

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية  
MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : *HYDRAULIQUE*

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONTRIBUTION A L'ETUDE  
DU SOUTIRAGE  
SELECTIF**

PROPOSE PAR:

*Mr REMINI*

ETUDIE PAR:

*Mr AMIRECHE  
Mohamed*

DIRIGE PAR:

*Mr REMINI  
Mr BERKANI*

PROMOTION  
JUN 1993

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

{قل ان صلاتي و نسكي و محياي و مماتي لله رب  
العالمين لا شريك له و بذلك أمرت و انا اول المسلمين}

صدق الله العظيم

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: *Hydraulique.*

sujet

Contribution à l'étude du soutirage sélectif

Proposé par:  
M<sup>o</sup> REMINI BOUALEM

Etudié par:  
M<sup>o</sup> AMIRECHE MED

Dirigé par:  
M<sup>o</sup> REMINI BOUALEM  
M<sup>o</sup> BERKANI MILOUD

تتضمن هذه الأطروحة دراسة تجريبية حول الظروف المثلى لا استخراج إختيار في وسط مانع متكون من طبقتين متقاربتين الكثافة. لقد وضعنا قوانينا للاستخراج بتدفق أقصى عن طريق فتحة مستطيلة و عن طريق ممص. بالإضافة إلى هذا تتضمن هذه الدراسة استعراضا لفعالية الممص با لنسبة لغيره من أعضاء التحصيل.

Résumé:

Nous présentons ici une étude <sup>théor</sup> expérimentale sur les conditions optimales de soutirage sélectif, dans un milieu constitué de deux couches fluides superposées de densité voisines.

Nous avons établis les lois de soutirage du débit maximal par une fente rectangulaire et par un siphon, la démonstration de l'efficacité du siphon sur les autres organes de prise, est exposée dans cette étude.

Abstract :

The present work, consists the theoretical and experimental study on optimal conditions of selective withdrawal in a middle composed of two fluid layers differing slightly in density.

We have established laws on the withdrawal of maximal rate by rectangular split and by syphon.

In the end, we have presented a demonstration of the syphon efficacy in the selective withdrawal relatively to others intakes.

**\*\*\* DEDICACES \*\*\***

Je dédie ce modeste travail :

- \* A ma chère mère
- \* A mon cher père
- \* A mon frère Kamel pour qui je souhaite tous le bonheur et la réussite
- \* A tous mes frères et soeurs

\* A ma deuxième famille , celle qui ne connut de moi que l'itinéraire:

\* Laid, Maïdjid , Mustapha, Samir, Hicham, Nasser Eddine, Ammar , Redha , Farid, Kamel , Abdelkader , Larbi Khalil, Chafik, Yassine, Ibrahim, Abelhak Mohamed, Kamel CHORFI, Hicham,

\* A tous ceux qui me sont chers (es)

\* A tous les défenseurs de l'authenticité

\* A tous ceux qui croient à :

" Une université algérienne, pionnière et épanouie "

\* A tous les " CHOUHADA " de cette "Oumma " ceux, que Dieu leur a offert : la plus grande " CHAHADA "

\*\* REMERCIEMENTS \*\*

A l'occasion de la présentation de ce projet de fin d'études, je tiens à remercier Mr REMINI pour m'avoir guidé durant toutes les étapes de ce travail et surtout de m'avoir aidé lors des essais et dans la réalisation du modèle expérimental.

Je remercie aussi: Mr BERKANI pour les conseils qu'il m'a prodigué et qui m'ont énormément servi dans cette étude.

J'exprime mes profonds sentiments de gratitude aux responsables du laboratoire d'Hydraulique de l'E . N . P : Mr BENZIADA et Mr MESSAHLI, et le technicien : Mr SAÏD pour avoir tous veillé afin qu'il ne me manque rien durant les expériences.

Je n'oublierai jamais les personnes qui m'ont aidé lors de ma difficulté, je leur exprime ici ma profonde gratitude.

Je remercie toute personne qui m'a appris : une idée, une lettre ou un savoir.

Louange à Dieu, souverain Maître de l'univers.

\*\*\* SOMMAIRE \*\*\*

CHAPITRE I - Introduction :	10-
I - 1 - Introduction .....	11 -
I - 2 - Généralités sur le soutirage sélectif...	12 -
I - 3 - But et objectif de l'étude .....	13 -
I - 4 - Les schémas possibles d'utilisation .....	14 -
CHAPITRE II - Généralités sur les siphons :	15-
II - 1 - But du chapitre .....	16 -
II - 2 - Le siphon évacuateur .....	16 -
II - 3 - Les siphons de drainage et d'irrigation.	20 -
II - 4 - Fonctionnement .....	21 -
II - 5 - Equations du siphon .....	23 -
CHAPITRE III - Etude théorique :	27
III - 1 - Présentation du problème .....	28 -
III - 2 - Modélisation et validité .....	28 -
III - 3 - Définition de l'aspiration limite .....	29 -
III - 4 - Description et analyse du phénomène ...	30 -
III - 5 - Schémas de calcul .....	32 -
III - 6 - Notations .....	33 -
III - 7 - Equations fondamentales .....	33 -
III - 8 - Facteurs physiques fondamentaux .....	38 -
III - 9 - Analyse dimensionnelle .....	39 -

CHAPITRE IV - Travaux et recherches sur les soutirages sélectifs	40 -
IV - 1 - Introduction	41 -
IV - 2 - Les travaux de Craya (1949)	41 -
2 - a - Cas d'une fente avec un fond à l'infini.	42 -
2 - b - Influence de l'ouverture de la prise.	43 -
IV - 3 - Recherches expérimentales de Gariel (1949)	44 -
3 - a - Experience	45 -
3 - b - Résultats	46 -
3 - c - Conclusion.	47 -
IV - 4 - Travaux de Davidian et Glover (1956)	48 -
IV - 5 - Les travaux de Harleman (1958-1959)	48 -
5 - a - Influence de l'ouverture de la fente (1958)	48 -
5 - b - Cas d'une prise d'aspiration circulaire dans un plan horizontal (1959)	49 -
IV - 6 - Travaux de Huber (1960)	54 -
IV - 7 - Conclusion et tableau récapitulatif	55 -

CHAPITRE V - Etude expérimentale :	- 56 -
V - 1 Introduction .....	- 57 -
V - 2 Description de l'installation.....	- 58 -
V - 3 La réalisation du modèle expérimental .....	- 62 -
V - 4 Description de la manipulation .....	63 -
V - 5 Protocole de mesure .....	63 -
V - 6 Courbes à tracer .....	64 -
 CHAPITRE VI - Résultats expérimentaux et analyses :	 - 66 -
VI - 1 Analyse qualitative .....	- 67 -
VI - 2 Analyse quantitative .....	- 71 -
VI - 2.1 Présentation des résultats .....	- 71 -
VI - 2.2 Estimation des incertitudes .....	- 75 -
VI - 2.3 Position de l'interface et commentaire ...	- 79 -
VI - 2.4 Lois de l'aspiration limite et commentaire	- 80 -
a) cas de la fente.....	- 80 -
b) cas du siphon .....	- 81 -
VI - 3 efficacité du siphon .....	- 82 -
VI - 3.1 Comparaison du siphon avec les autres	- 82 -
organes de prise.....	- 85 -
VI - 3.2 Condition d'efficacité .....	- 86 -
VI - 4 Recomendations .....	- 89 -
VI - 5 Morale	- 89 -

NOTATIONS

- $\rho$  : densité de la couche supérieure du fluide.  
 $\rho + \Delta\rho$  : densité de la couche inférieure du fluide.  
 $a$  : ouverture de la fente, [dm].  
 $b$  : distance du fond du plan de référence, [dm]  
 $h$  : cote de l'interface où la vitesse d'approche  $V$ , [dm]  
 $H$  : hauteur équivalente [dm]  
 $H_1$  : la cote entre le pied du siphon et l'interface en amont [dm].  
 $p$  : cote entre le fond et le pied du siphon [dm]  
 $d_H$  : diamètre hydraulique du siphon [dm]  
 $Q$  : débit total ( $\rho / s$ )  
 $q$  : débit linéaire [l/dm.s]  
 $g$  : accélération terrestre  
 $g'$  : accélération réduite  
 $d$  : diamètre d'une prise circulaire (en annexe: densité).  
 $\varepsilon$  : coefficient de rabattement  
 $\alpha$  : coefficient de correction de l'énergie cinétique  
 $c$  : distance entre la bouche et le pied du siphon.

## **chapitre I :**

### **Introduction**

## I - 1) INTRODUCTION.

Des couches fluides stratifiées se présentent souvent dans la nature. L'extraction de l'une à l'exclusion des autres devient aujourd'hui une nécessité économique et un large champ d'application dans les professions d'engineering.

En effet cette technique de soutirage sélectif est utilisée dans les différentes sortes de centrales énergétiques, dans la protection de vastes périmètres cultivables et dans la lutte contre l'envasement des retenues et notamment en industrie chimique.

Les recherches dans ce domaine ont généralement pour but les lois qui permettent la détermination des conditions un soutirage optimale. La nature de l'organe de prise est l'élément essentiel dans l'amélioration de ces conditions.

Dans cette étude nous contribuons à ces efforts d'abord en complétant la loi de soutirage sélectif limite dans le cas d'une fente rectangulaire, ensuite en étudiant l'efficacité du siphon comme nouvelle sorte de prise dans domaine.

## I - 2) Généralités sur le soutirage sélectif :

Le besoin de maîtriser la technique du soutirage sélectif dans les milieux fluides stratifiés se fait sentir de plus en plus aujourd'hui dans les professions d'engineering. L'existence de couches fluides stratifiées est en fait une conséquence hydrostatique de la variation verticale de densité; cette variation est due généralement au gradient de température, à la concentration de sédiments en suspension ou à la dissolution de quantités de sel.

Les domaines d'engineering concernés par l'étude des écoulements de couches fluides stratifiées est assez large, pour cela, et afin de démontrer la nécessité économique de la maîtrise d'un tel phénomène, nous allons citer particulièrement les domaines d'utilisation du soutirage sélectif.

- En réalité, c'est l'utilisation de la stratification thermique qui existe dans les mers tropicales comme source d'énergie dans les centrales thermiques qui a soulevé le problème du degré de sélectivité d'un fluide présentant un gradient de densité par l'intermédiaire d'une prise. Pour le refroidissement des centrales nucléaires, il est nécessaire de soutirer les eaux froides de profondeur dans les lacs, et les retenues. D'autres structures de contrôle sont utilisées afin de soutirer l'eau froide pour la condensations dans les centrales électriques à vapeur.

La réduction de l'envasement des retenues par la chasse des eaux turbides dans un barrage est toujours suggérée pour le prolongement de la durée de vie de cet aménagement.

Dans un estuaire le mélange des eaux saumâtre avec l'eau douce fluvial pose un sérieux problème aux nombreux prises d'eau douce ou d'eau salée.

Dans toutes ces applications, il s'agit de fluides miscibles, essentiellement incompressibles, de faible différence de densité et de viscosité voisines.

On peut ajouter d'autres applications dans le cas de fluides non miscibles et de viscosités différentes, comme c'est le cas dans la séparation des produits pétroliers et des eaux dans les réservoirs de stockage de pétrole. Bien d'autres cas de séparation entre deux liquides se présentent fréquemment en industrie chimique.

### I - 3) - But et objectif de l'étude :

Notre étude a pour but essentiel de déterminer les lois qui lient le débit maximal possible lors d'un soutirage sélectif, la différence de densité et la charge du fluide sélectionné, et ce dans le cas de soutirage par une fente rectangulaire (écoulement bidimensionnel), et celui de l'aspiration par un siphon (écoulement tridimensionnel), ensuite nous évaluerons l'efficacité de ces prises, et nous déterminerons les conditions optimales de leurs fonctionnement.

Ainsi nous contribuons efficacement dans l'étude du soutirage sélectif : ceci paraît nettement visible si on sait que le siphon n'a jamais été utilisé pour cette fin, et que nous venons d'ajouter une nouvelle sorte de prise de soutirage dont nous fûmes les premiers à étudier et évaluer son efficacité.

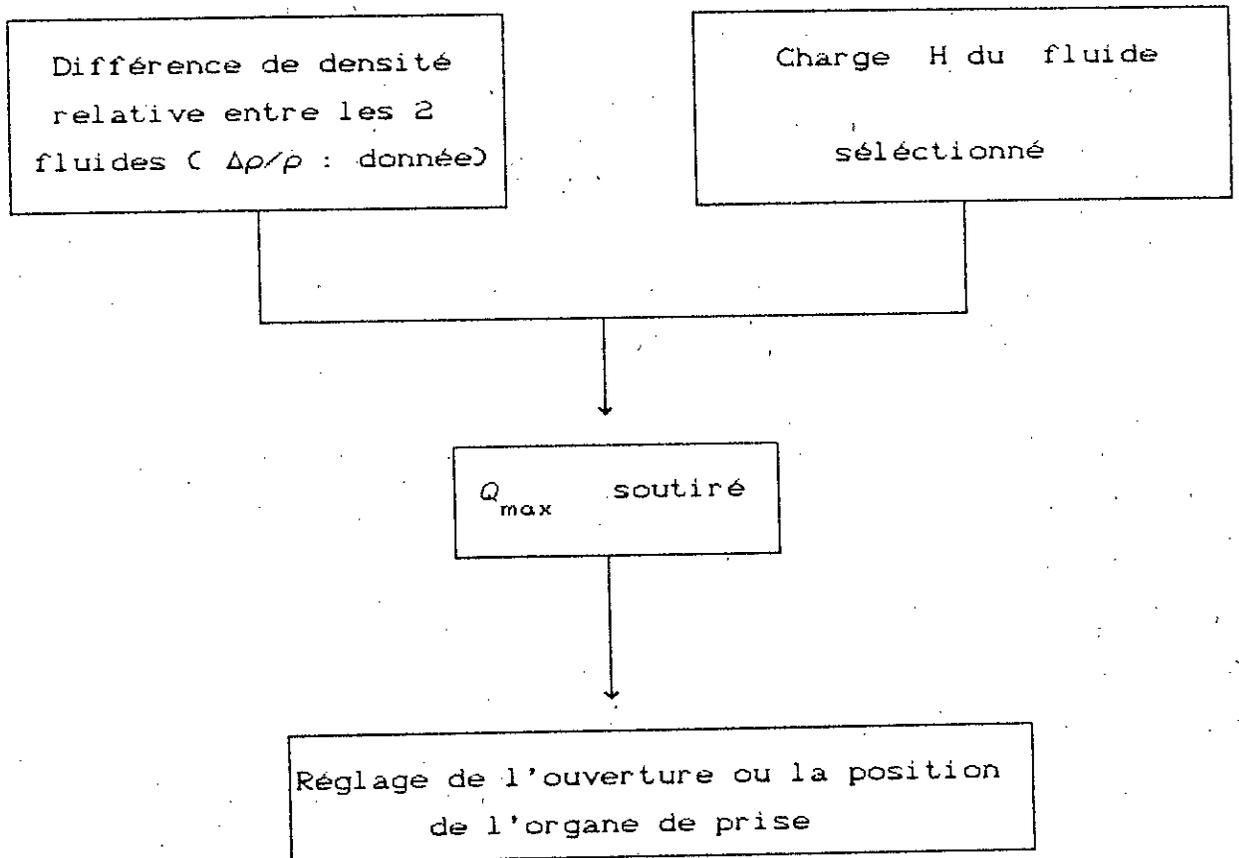
En effet, l'idée d'utiliser le siphon dans le soutirage sélectif est assez évidente car la dépression engendrée par un siphon ne se limite pas à la différence entre la pression intérieure du fluide et la pression atmosphérique, elle la dépasse à la différence de cotes entre la surface du fluide et le pied du siphon. Cette importante dépression relativement à celles créées par les autres prises, paraît donner au siphon un avantage dont la démonstration est l'un des objectifs essentiels de cette étude.

La visualisation du phénomène d'interface entre deux couches de fluides superposées, l'une en mouvement et l'autre en arrêt a constitué aussi l'un des buts de cette étude et évidemment la réalisation d'un modèle expérimental.

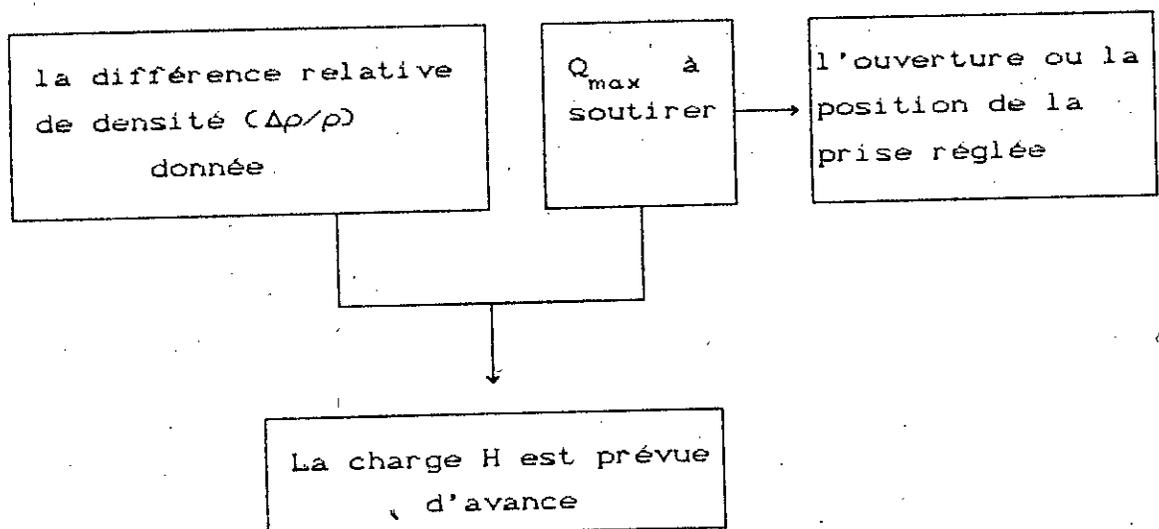
I - 4) Les schémas possibles d'utilisation :

2 cas essentiels peuvent se présenter en application.

a)



b)



## **chapitre II :**

# **Généralité sur les Siphons**

## II Chapitre : Généralités sur les Siphons.

---

### II-1 But du chapitre :

---

Dans ce chapitre nous exposerons les différents domaines d'utilisation du siphon, son mode de fonctionnement et les équations de bases et enfin les précautions qu'il faut prendre pour éviter la cavitation au sommet du siphon.

Le but que nous avons visé en écrivant ce chapitre est d'une part rappeler l'une des raisons qui nous a motivé pour l'élaboration de cette étude et d'autre part essayer de donner les bases essentielles aux ingénieurs voulant appliquer nos résultats notamment ceux qui concernent le soutirage s'électif par un siphon.

### II-2 Le siphon évacuateur :

---

Le siphon est un cas particulier d'évacuateur en charge. Il est constitué par une conduite épousant schématiquement la forme de la digue et dont l'amorçage est réalisé automatiquement par la surélévation du plan d'eau de la retenue. Son débit est proportionnel à la puissance  $1/2$  de la charge, qui est dans ce cas la différence entre la cote de la retenue et celle du niveau de restitution. Il peut donc être très important. L'écoulement se produit comme dans un tuyau coudé. FIG (2-1).

Le dessin du principe d'un siphon à basse chute est donné dans la figure (2-2) (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 2 à 3 fois celle de cette dernière.

La section verticale supérieure contrôle le débit. On recommande une courbure du siphon telle que :  $\frac{rc}{d} = 2,5$ .

Un tuyau d'évacuation de l'air entraîné est placé un peu avant la section verticale basse.

Cette disposition assure une fermeture hydraulique de la base du siphon en créant à l'intérieur un vide partiel. Le tube évacue l'air entraînés sans créer de perte de charge ce qui diminue le temps d'amorçage.

Un tube de désamorçage peut être placé au sommet de l'ouvrage relie la section supérieure en 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. Sa section doit être au minimum de 1/24 de celle du siphon. Il est bon de le munir d'un robinet de réglage [5]

Le siphon évacuateur est aussi utilisé dans les petites digues destinée à stocker l'eau dans les réservoirs d'irrigation. (Fig 2-3).

#### Avantages du siphon évacuateur :

1) Le siphon demande une longueur plus réduite que l'évacuateur en surface, c.a.d en utilisant la même longueur le siphon évacue un débit beaucoup plus important.

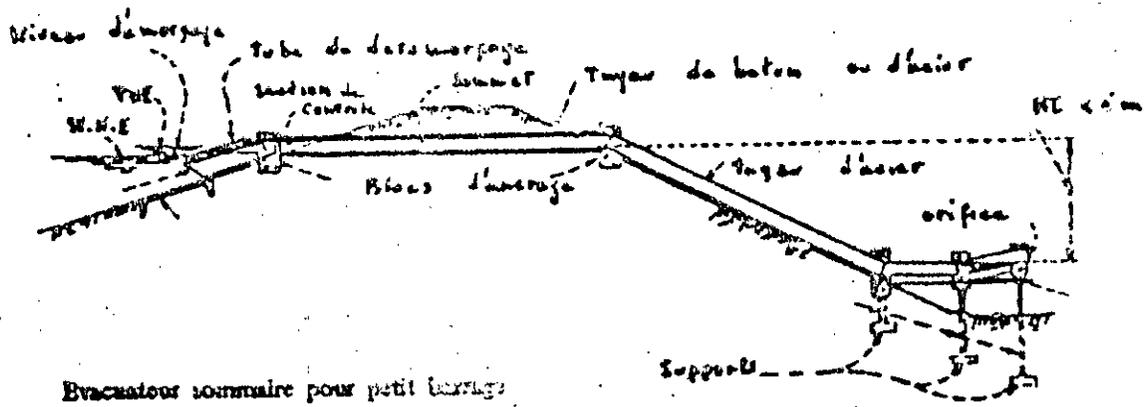
2) Le niveau d'eau dans la retenue est relativement constant ; pour une grand débit, seulement une petite hauteur de débordement est nécessaire. [7]

3) Le réglage du débit est simplement possible avec des petits robinet (valves) d'aération au sommet du siphon.

4) Le siphon évacuateur d'un réservoir est d'un prix modéré par rapport aux types d'évacuateur. [8].

Désavantages :

- 1) Les vibrations engendrées par l'amorçage et le désamorçage nuit la construction de barrage, pour ça on conçoit des siphons à des niveaux variables.
- 2) Les fuites pouvant être causées dans le corps de la digue du barrage.



(évacuateurs à siphon)

Fig 2-1

SIPHON A FAIBLE CHARGE  
ET A FORT DEBIT

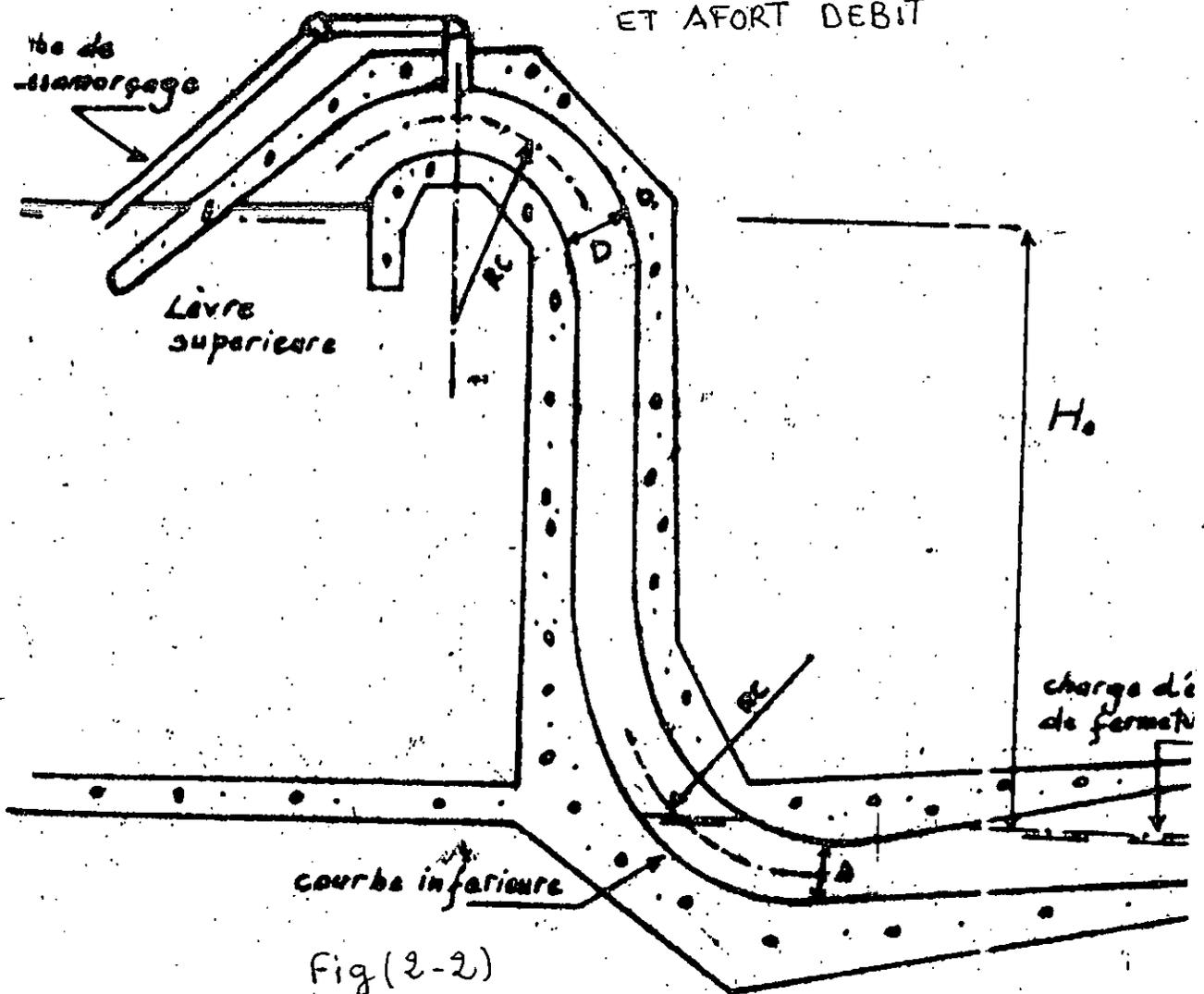
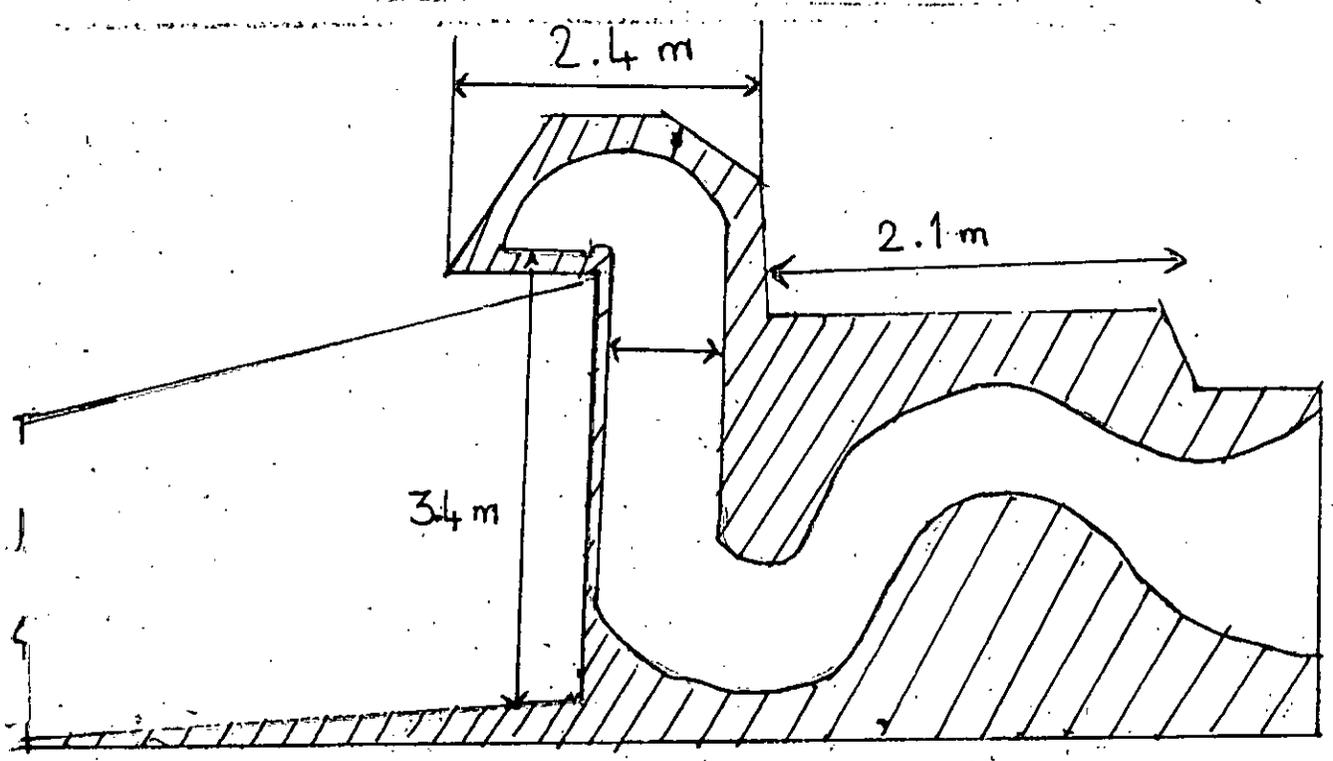


Fig (2-2)



Projet BoTse (U.S.A)  
Fig (2-3)

### II-3 Les siphons de drainage et d'irrigation :

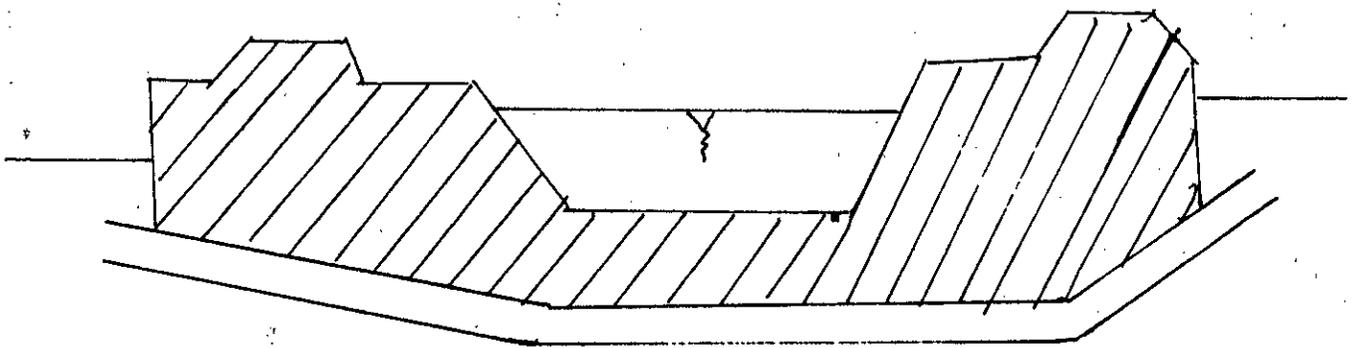
---

Lors de la préparation d'un plan pour un projet d'irrigation les siphons sont prévus en des points où un canal se croise avec un autre canal, ou alors un drain croise un autre drain ou parfois même lors de l'intersection des canaux et des drains avec des rivières ou des torrents.

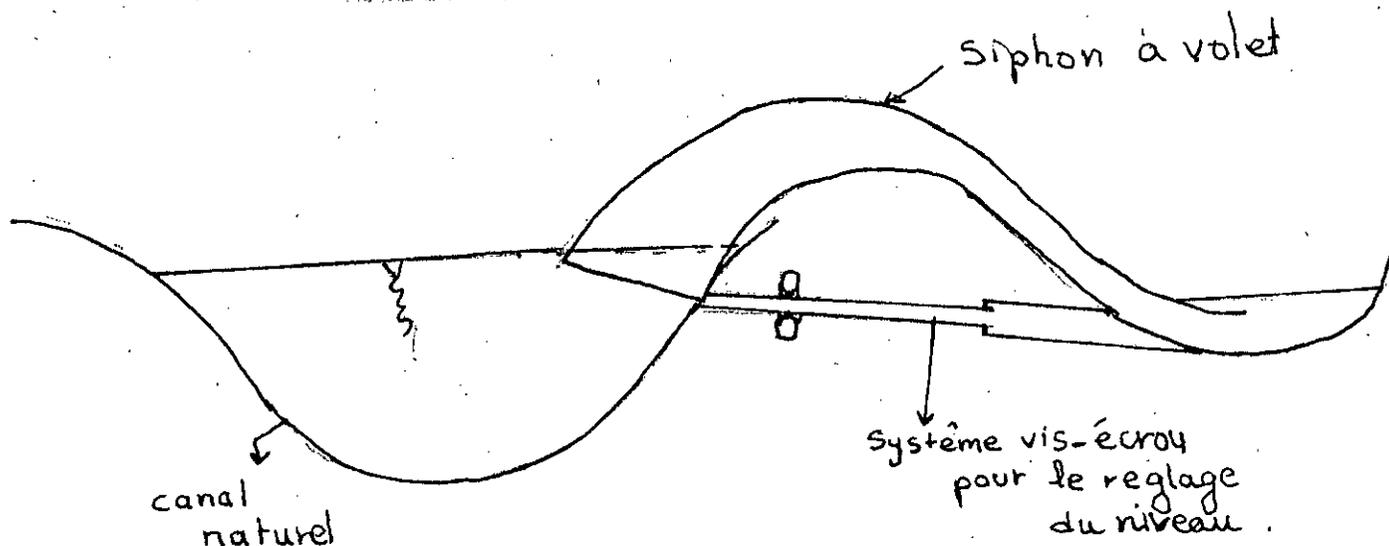
Le but d'un siphon est de transporter un débit d'eau d'un cours à un autre pour cela, un ou plusieurs tuyaux d'acier sont prévus comme c'est montré sur la Figure (2-4), ou alternativement, le siphon peut être composé de maçonnerie ou de conduite en béton. [7].

Il arrive que le siphon soit conçu pour des fins industrielles, de production d'énergie, de consommation humaine.

Pour ces différentes fins on utilise souvent un "siphon à volet" qui permet la prise d'eau avec un débit constant grâce au réglage à volonté du niveau par certains dispositifs tels que : le flotteur et le servo-moteur. Fig (2-5). [10].



(Fig 2-4)



(Fig 2-5)

#### II-4 Fonctionnement :

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 prévoit un deviateur 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.

On peut décrire tout les cas de fonctionnement comme suit :

**a) Fonctionnement en partialisé :**

---

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

Le débit minimum ( $Q_{min}$ ) croit 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 est déterminée expérimentalement pour une série de mesures.

**b) Fonctionnement en déversoir :**

---

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

**c) Fonctionnement périodique :**

---

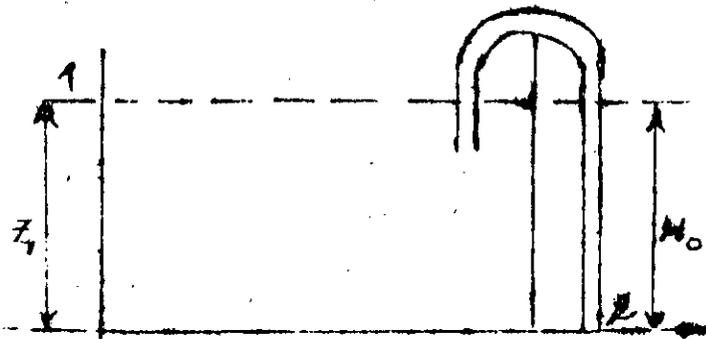
Si le tube de prise d'air est noyé jusqu'à une position inférieure à la côte du seuil et si le débit d'alimentation est inférieur au débit  $Q_{min}$ , le siphon fonctionne périodiquement tout en débitant à plein tube.

II-5 Equations du siphon :

DETERMINATION DE LA CHARGE  $H_0$

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



$$Z_1 + \frac{P_1}{W} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{W} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + P.D.C \dots\dots (I)$$

Le niveau du plan d'eau de la retenue reste constant, donc  $v_1 = 0$

$$P_1 = P_2 = P \text{ atm}$$

L'équation (I) devient :

$$Z_1 - Z_2 = \alpha \frac{v^2}{2g} + P.D.C$$

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

où :

$\Delta H_s$  : perte de charge singulière

$\Delta H_l$  : perte de charge linéaire

avec :

$$\Delta H_s = Y \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_1 = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (\text{DARCY - WEISSBACH})$$

L'équation précédente devient :

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

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

où :

f : coefficient de frottement qui est repéré sur le diagramme de MOODY

L : Longueur totale du conduit .

D : Diamètre hydraulique du conduit .

Y : coefficient de pertes de charge singulières

$\alpha$  : 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

La pression qui s'exerce au sommet du siphon est obtenue en appliquant l'équation de Bernouilli aux sections 1 et S :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\bar{w}} + \frac{V^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\bar{w}} + \frac{V^2}{2.g} + p.d.c \quad (1)$$

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

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

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

L'équation (1) devient :

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

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

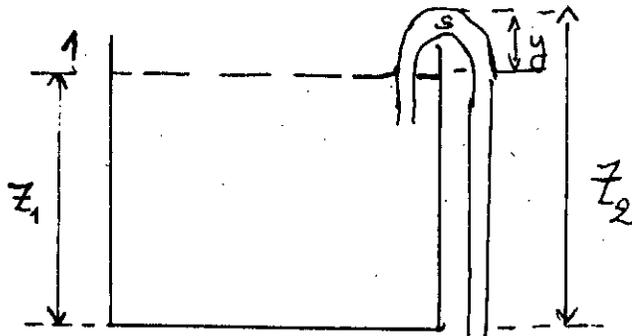
donc  $P_s$  sera égale à :

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

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  $V^2/2g$  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 ne fonctionne correctement que si la valeur de  $P_s$  est franchement supérieure à celle de la tension de la vapeur.

Nous 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 travaillant<sup>a</sup> continuellement sont pourvus dans la plupart des cas de pompes à vides qui 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 raisons du frottement et les pertes de charges singulières.

## **chapitre III :**

### **Etude Théorique**

### 1<III - 1 PRESENTATION DU PROBLEME :

On trouve souvent, dans la nature, des eaux dont les densités sont très voisines, mais qui gardent leurs individualités propres. Elles se présentent donc en couches superposées, d'où il est parfois nécessaire de soutirer l'une d'elle à l'exclusion de toute autre. En réalité les différences de densités sont dues aux gradients de température, à la salinité ou aux variations dans la qualité de sédiments en suspension.

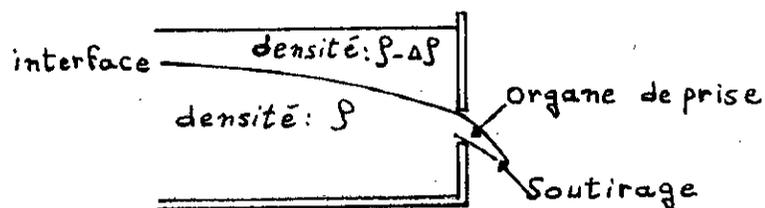
Le problème de soutirage sélectif est rencontré dans les centrales thermiques ou dans la protection de vastes périmètres cultivables et plus fréquemment dans le soutirage des eaux turbides dans les barrages.

Le soutirage de la couche de fluide sélectionnée, se fait par une prise et ceci jusqu'à un débit limité, si nous dépassons ce débit la couche adjacente commence à être entraînée; ce débit critique ( ou limite ) est déterminé en fonction des variables adimensionnelles propres aux liquides , et de la géométrie du phénomène, et par conséquent, la nature de l'organe de prise dont l'efficacité a constitué l'objet de plusieurs recherches auxquelles nous contribuons aujourd'hui en étudiant le siphon comme une nouvelle sorte de prise dans le soutirage sélectif.

### III - 2 MODELISATION ET VALIDITE :

\*Dans cette étude nous considérons le cas simple de deux couches superposées de liquides de densités différentes  $\rho$  et  $\rho - \Delta\rho$ ; on effectue le soutirage de la couche inférieure du liquide dense par un organe de prise situé sur la paroi verticale d'un canal ouvert .

Fig ( 3-1 )



\* L'attaque mathématique directe du cas où la densité varie d'une façon continue est délicate ,pour cela nous avons choisi d'étudier le cas simple et fondamental de deux couches superposées , plus abordable par le calcul , et étant la base de tout autre calcul.

\* En effet cette modélisation représente bien la réalité lorsqu'il s'agit du soutirage dans un barrage en période de crues , ou pendant l'arrivée de celle-ci dans les petites retenues agricoles; elle peut meme représenter certaines opérations fréquemment répétées en industrie chimique .

\* Comme en définitive , les phénomènes de densités apparaissent comme fondamentaux indépendamment de la cause des variations de densités , nous avons choisi de faire nos expériences avec des eaux de salinités différentes plus faciles à manier que des eaux à température différentes ou à concentrations de sédiments en suspension , variables ..

\*\*\* Remarque importante: Nous traitons ci dessous le cas du soutirage de fluide inférieur dont la masse spécifique est plus grande .

Il va de soi que les résultats obtenus s'appliquant aussi bien au soutirage du fluide léger de la couche supérieure , si l'on renverse les figures .

### III-3 DEFINITION DE L'ASPIRATION LIMITE :

Lorsque le débit aspiré est suffisamment fort les deux liquides participent à l'écoulement ; si l'on diminue progressivement l'appel du débit , l'expérience montre qu'à partir d'un certain moment la quantité aspirée du liquide le moins dense devient très faible .

IL est vraisemblable que ce débit résiduel de liquide inférieur, ainsi que la formation d'une couche intermédiaire qui apparaît alors, sont des conséquences de la miscibilité des liquides; nous admettons qu'en dessous d'un certain débit, ou au delà d'une certaine hauteur, que nous appellerons conditions limites d'aspiration, le liquide supérieur ne participe vigoureusement plus à l'écoulement; notre analyse s'appliquera dans le plus parfaitement au cas de deux fluides non miscibles.[1]

La recherche des lois de l'aspiration limite, ou de leur forme, fera l'objet de cette étude théorique.

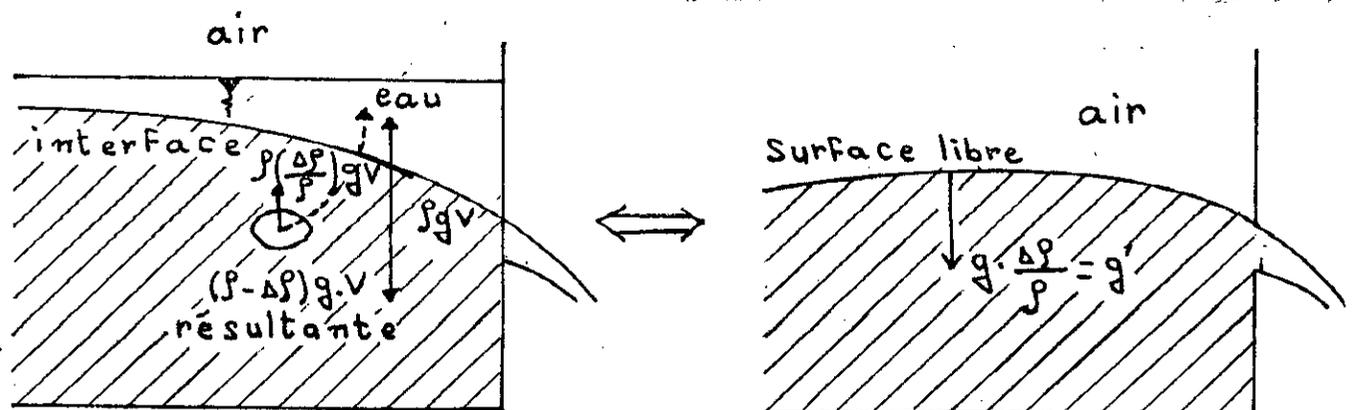
### III - 4 ETUDE DU SOUTIRAGE SELECTIF DANS 2 COUCHES SUPERPOSEES :

#### III - 4 -1 Description et analyse du phénomène :

Le mécanisme du phénomène se présente comme suit:

Au voisinage de la prise il règne un appel de particules liquides; d'autres part une particule du liquide le moins dense supposée isolée au milieu du liquide le plus lourd subit une poussée d'Archimède tendant à la faire monter vers son lieu d'origine. ( Fig 3-2 )

L'équilibre de l'interface apparaît alors comme un compromis entre l'aspiration qui l'attire vers l'orifice et la pesanteur, qui tend à l'étaler vue la différence de densité.



Fig(3-2)

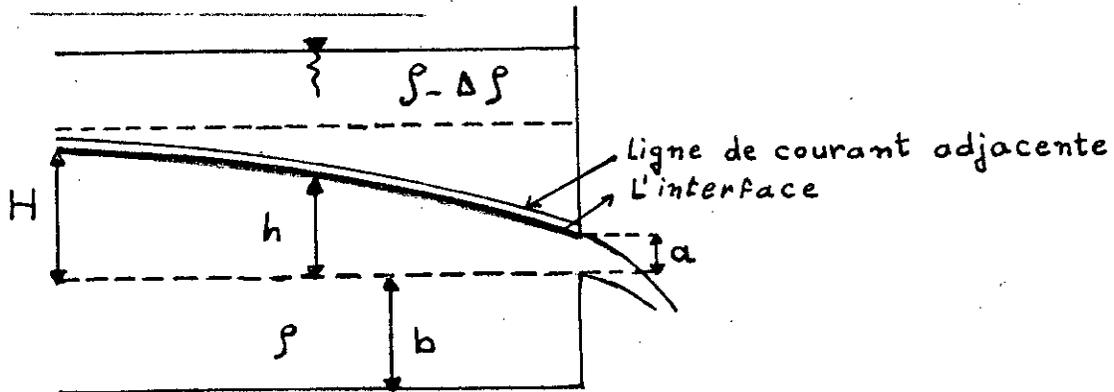
l'interface peut-être considérée comme une surface libre sous l'action d'une pesanteur réduite  $\frac{\Delta\rho}{\rho}.g$  ( Fig 3-2 ) et

l'écoulement paraît comme un fleuve interne soumis à une pesanteur réduite et dont la hauteur dépend du débit aspiré et de la différence relative des densités.

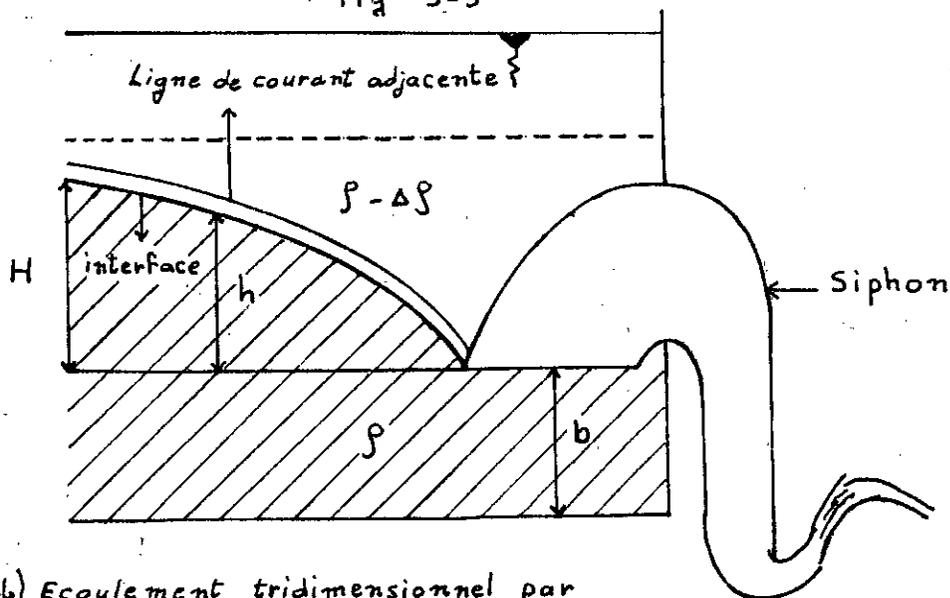
Au moment du soutirage critique, l'interface devient pratiquement verticale au droit de la prise ,la recherche du débit critique revient donc à la recherche des conditions pour lesquelles les variations de l'interface au droit de la prise sont infiniment grandes pour une variation très faible du débit. Ce problème est très semblables à celui de la détermination des conditions critiques de passage de l'écoulement torrentiel dans les canaux à surface libre.

Les premières études sur le soutirage sélectif ont montré que l'essentiel de ce phénomène critique est un problème d'hydrodynamique où la viscosité n'intervient pratiquement pas. La raison réside surtout dans le fait que d'une part les gradients transversaux de vitesse sont peu importantes, et la pesanteur très réduite à laquelle est soumise l'interface entraîne des variations de pentes très importantes sous l'effet de faibles variations de vitesse; ceci n'est qu'une confirmation de la prépondérance des forces de pesanteur réduite (forces de volume engendrées par le gradient de densité) sur les forces de viscosité ; c'est pour cette raison qu'on ne tient pas compte de la viscosité et des pertes de charge ( linéaires ). Ces considérations constituent dans la plupart des recherches le fil directeur de toute approche théorique.

III - 4 - 2 Schéma de calcul :



Ecoulement bidimensionnel par une fente  
Fig 3-3



(fig 3-4) Ecoulement tridimensionnel par un siphon

III - 4 - 3 Notation :

- Le plan de référence : est le plan horizontal, passant par le point le plus bas de la section d'aspiration dans le cas de la fente, et celui passant par la bouche du siphon dans le cas de l'écoulement tridimensionnel.

-  $\rho$  : masse spécifique : du fluide lourd que l'on soutire, et  $\rho - \Delta\rho$  celle du fluide léger superposé.

- h : désignant la cote de l'interface, où la vitesse d'approche est : V.

- Distance du fond : Nous appellerons b la distance du fond au plan de référence.

- Dimensions de la prise d'aspiration :

- Dans le cas d'une aspiration par une fente horizontale placée dans un plan vertical, donnant lieu à un écoulement bidimensionnel, nous appellerons  $a$  : la hauteur du passage de la fente.

- Dans le cas d'un siphon dont la section est rectangulaire  $L$  et  $l$  désignent respectivement la longueur et la largeur de cette section.

- Débit :  $Q$  : désignera le débit critique total de soutirage.

$q$  : désignera le débit critique linéaire de soutirage dans le cas d'un écoulement bidimensionnel (fente).

III - 4 - 4 EQUATION FONDAMENTALE :

L'écoulement étant permanent, le fluide incompressible, si nous appliquons le théorème de Bernoulli dans le fluide inférieure : ( à l'interface ).

$$P + \rho \frac{v^2}{2} + \rho g h = \text{cste} \quad ( 3-1 )$$

et dans le fluide supérieure immobile ( sur la ligne de courant adjacente à l'interface )

$$P + ( \rho - \Delta\rho ) g h = \text{cste} \quad ( 3-2 )$$

La condition de continuité de pression, fait que la pression est la même sur l'interface et sur la ligne de courant adjacente. En effet l'équilibre de l'interface renforce l'hypothèse de continuité de pression à ce niveau

La différence entre ( 3-1 ) et ( 3-2 ) donne:

$$h + \frac{v^2}{2g \frac{\Delta\rho}{\rho}} = \text{cste} = H \quad ( 3-3 )$$

Nous appellerons cette dernière constante  $H$  la hauteur équivalente au repos du liquide lourd.

La hauteur équivalente  $H$  est la hauteur où affleurerait le niveau de liquide lourd dans un tube de prise de pression totale débouchant dans sa partie supérieure dans le liquide léger au repos. ( Fig 3-5 ).

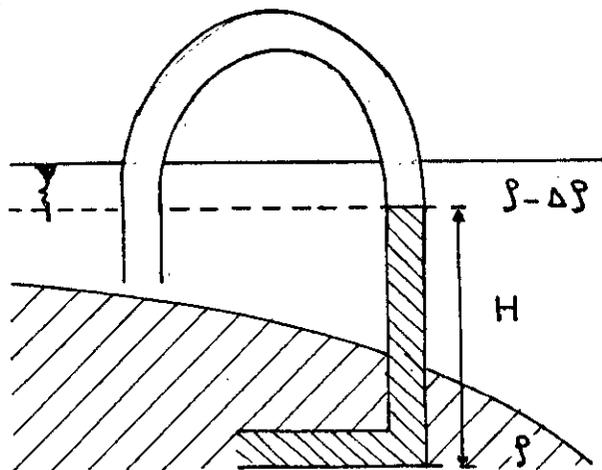


Fig 3-5

Dans le cas d'un écoulement bidimensionnel avec une couche inférieure s'étendant à des profondeurs infinies,  $H$  est tout simplement la cote de l'interface assez loin de la prise d'aspiration (pour que la vitesse d'approche y soit nulle), c'est là un facteur déterminant du succès ou de l'échec de l'expérimentation dans ce domaine.

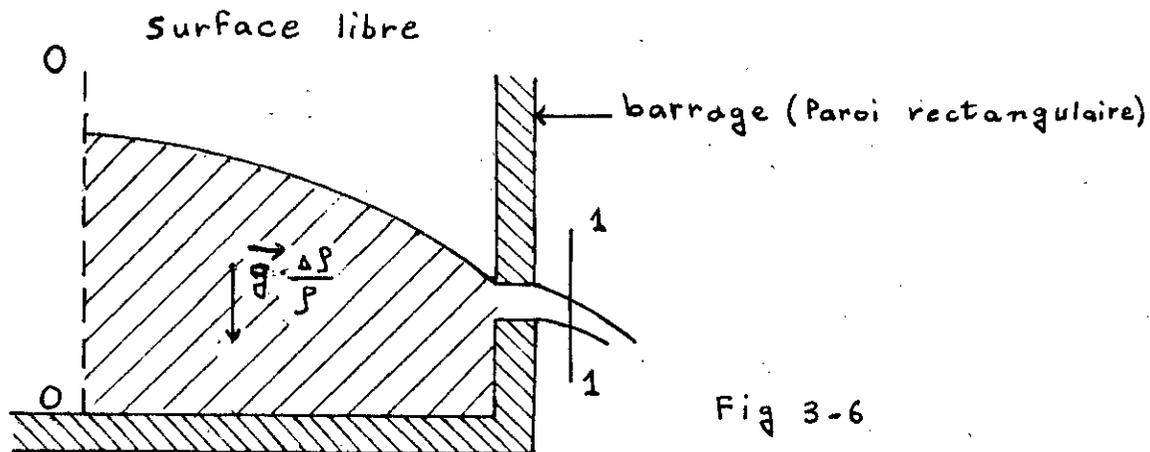
Si nous examinons bien l'équation ( 3-3 ) de l'interface, nous remarquerons que cette équation n'est autre que celle d'un écoulement à surface libre soumis à une accélération :  $g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho}$

et alors les raisonnements faits dans le cas où l'écoulement est soumis à la gravitation terrestre  $g$ , peuvent être refaits pour une pesanteur réduite  $g'$ , on va même jusqu'à définir un nombre adimensionnel:

$$F_L = \frac{q^2}{g'H^3}$$

qu'on appellera nombre de Froude densimétrique ou réduit, et qui jouera un rôle essentiel dans la détermination des conditions limite d'aspiration.

### III - 4 - 5 DEBIT LIMITE A TRAVERS UNE FENTE RECTANGULAIRE :



L'équation ( 3-3 ) montre que dans le cas d'aspiration de la couche inférieure, l'écoulement à travers l'ouverture de la prise d'eau ( dans notre cas à travers une fente ) ressemble à l'écoulement à surface libre à travers un barrage ( à mince paroi ou à paroi épaisse ), la pesanteur est remplacée par une pesanteur réduite:

$$g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad \left( \text{avec } \frac{\Delta\rho}{\rho} < 1 \right).$$

Ecrivons l'équation de Bernoulli entre les sections ( 0-0 ) et ( 1-1 ) Fig ( 3-6 ) on obtient:

$$H = a + \alpha \frac{v^2}{2g'}$$

$\alpha$ : coefficient de correction de l'énergie cinétique moyenne à l'énergie cinétique total.

avec:

a: hauteur de la fente.

$V_a$ : vitesse moyenne à travers la fente.

$$V_a = \frac{1}{\alpha} \sqrt{2g'(H-a)}$$

d'où:

$$Q = \frac{1}{\alpha} l \cdot a \cdot \sqrt{2g'(H-a)}$$

Posons  $a = \epsilon \cdot H$ ;  $\epsilon$  est appelé le degré d'abaissement de la hauteur d'eau (rien à voir avec le coefficient de contraction)

$$\epsilon = \frac{a}{H} < 1.$$

$$\text{On pose: } C = \frac{\alpha}{\epsilon \sqrt{1-\epsilon} \cdot \sqrt{2g}}$$

On aura:

$$H = C \left[ \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}} \right]^{2/3} \quad [3-5]$$

L'équation ( 3-5 ) représente la loi qui lie, le débit linéaire critique, les densité, et la hauteur limite d'aspiration, et peut s'écrire:

$$\frac{q^2}{g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot H^3} = \frac{1}{C^2} = F_L \quad ( 3-6 )$$

Le coefficient  $C$  et  $F_L$  sont déterminés suivant les points expérimentaux sur un graphique en  $H$  et

$$\frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}}}$$

Sa constance est une particularité du phénomène de l'aspiration limite, elle est prouvée par l'expérience dans le cas d'une fente.

La difficulté essentielle dans l'estimation théorique de  $F_L$  réside dans l'influence de la distance du fond au plan de référence  $b$  sur l'écoulement, et aussi dans le rôle masqué de certains paramètre géométrique dans le phénomène; c'est pour cela d'ailleurs qu'on a toujours recours à l'expérience afin de cerner le problème et représenter le phénomène même de soutirage sélectif et aboutir à des constantes proches de la réalité.

\* Dans le cas où le fond est supposé à l'infini: ( $\frac{b}{H} = \infty$ ), M<sup>r</sup> PAUL GARIEL a vérifié les études théorique de M<sup>r</sup> CRAYA et il a pu énoncé la loi suivante:

<< Dans l'écoulement plan en puits de deux couches homogènes superposées, il existe une hauteur limite d'aspiration au delà de laquelle le liquide inférieure ( dans notre cas supérieur ) n'est plus aspiré. Cette hauteur limite est proportionnelle à la racine cubique de la différence de densité qui existe entre les deux couches >> [2]

Remarque:

( Dans les études expérimentales de M<sup>r</sup> GARIEL on aspirait la couche supérieure d'eau où la densité est égale à 1; pour que cette loi soit valable dans le cas où on aspire un autre liquide ou même la couche inférieure, il est indispensable qu'on remplace le terme " différence de densité " par le terme "différence de densité relative ".

La question qui se pose:

cette même loi est elle valable dans le cas où le fond est situé à une distance finie du plan de référence ( $\frac{b}{H} = \text{cste}$ ) et jusqu'à quelle limite? sinon à quelle loi alors obéit le phénomène d'aspiration limite? quelle sont les paramètres à prendre en compte alors?

L'analyse dimensionnelle que nous exposerons ci-après demeure le premier pas à faire avant la réponse à cette question .

### III - 5 FACTEURS FONDAMENTAUX DANS LE SOUTIRAGE SELECTIF:

Le phénomène de soutirage sélectif paraît obéir à deux sortes de paramètres:

a - Paramètres physiques:

en relation avec les fluides mêmes, et avec les conditions imposées et déterminantes de l'expérience, ces paramètres sont:

- Densités ( $\rho - \Delta\rho$ ) et  $\rho$  des deux liquides
- Charge totale: H.
- Débit limite: débit linéaire  $q$  si l'on considère un écoulement plan à travers une fente, débit total  $Q$ , s'il s'agit d'un écoulement à trois dimensions.

b - Paramètres géométriques:

ils influencent la forme des lignes de courant, le coefficient de correction  $\alpha$ , l'importance des pertes de charges.

- Distance du fond: b.
- Ouverture de la fente: a (écoulement bidimensionnel).
- Caractéristiques du siphon: (écoulement tridimensionnel).
- Diamètre hydraulique:

$$d_H \quad \left( d_H = \frac{4 \cdot A}{P} \text{ A et P étant respectivement l'aire et le périmètre mouillé de la section du siphon quelque soit sa forme} \right).$$

- P: Hauteur entre le pied du siphon et le fond du canal.
- b: Distance du fond à la bouche du siphon qui est dans ce cas notre plan de référence.

III - 6 ANALYSE DIMENSIONNELLE:

L'analyse dimensionnelle montre qu'en négligeant les pertes de charges, en considérant les facteurs physiques et géométriques cités précédemment, on peut considérer les quantités adimensionnelles suivantes:

$$F_T = \frac{Q^2}{\frac{\Delta\rho}{\rho} g H^5}, \quad \frac{b}{H}, \quad \frac{d_H}{H}, \quad \frac{P}{H} \quad (\text{écoulement tridimensionnel}).$$

et:

$$F_L = \frac{q^2}{g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot H^3}, \quad \frac{b}{H}, \quad \frac{a}{H} \quad (\text{écoulement bidimensionnel}).$$

La condition limite pour ne pas soutirer le liquide supérieure quand on aspire dans le liquide inférieur s'exprime (bien sûr si elle existe) certainement par une relation du genre.

$$f_1 \left( F_T, \frac{b}{H}, \frac{d_H}{H}, \frac{P}{H} \right) = 0.$$

ou:

$$f_2 \left( F_L, \frac{b}{H}, \frac{a}{H} \right) = 0.$$

**chapitre IV :**

**Travaux et recherches  
sur  
Le Soutirage s'Electif**

#### IV - 1 - Introduction :

Le domaine des écoulements à densité variable est encore un immense "chantier" d'études et de recherches très diverses. Aucune théorie unitaire n'a été encore développée et poussée jusqu'au bout. A l'heure actuelle, on ne dispose que d'un certain nombre de résultats théoriques et expérimentaux concernant le débit limite que l'on peut soutirer dans une des couches d'un fluide stratifié. Les travaux présentés ci-après, sont classés par ordre chronologique, les résultats sont rassemblés sous une forme adaptée aux calculs pratiques.

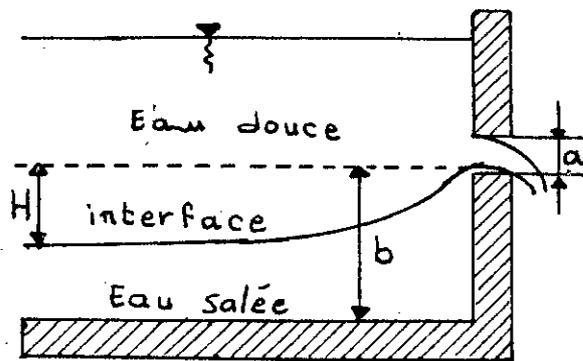
#### IV - 2 - Les travaux de "CRAYA" (1949) :

Les recherches théoriques de Mr. "CRAYA" exposés dans ces lignes ont été menées en liaison avec l'étude expérimentale faisant l'objet de la communication de Mr. "PAUL GARIEL" au VI congrès international de mécanique appliquée, vue la difficulté des calculs, Mr. "CRAYA" s'est borné aux champs plans.

Il commença par signaler la difficulté parfois même l'impossibilité de trouver des solutions rigoureuses lorsque les parois fixes sont assignées à l'avance. Il donna un schéma théorique rudimentaire sans doute, mais ayant l'avantage d'offrir une image assez parlante du phénomène et un ordre de grandeur de la constante ( $F_L$ ).

Ces solutions sont bien sûr approchées, cependant une vérification expérimentale demeure nécessaire.

2 - a - Cas d'une fente avec un fond à l'infini :



$$b \gg 4$$

Fig 4.1

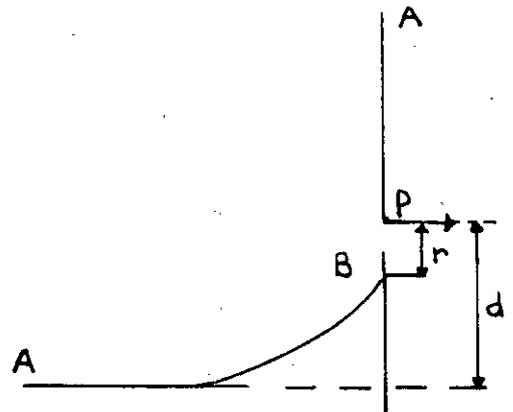


Fig 4.2

Considérons un écoulement bidimensionnel (Fig. 4(1)); le raisonnement de MR. CRAYA consistait à chercher dans quelles conditions il est impossible de trouver un point de raccordement B (Voir Fig. 4(2)) de l'interface sont la paroi PB [1].

La vitesse en B vérifie la condition imposée par l'interface :

$$\frac{v^2}{2} = \frac{\Delta\rho}{\rho} g (d - r) \quad (4-1) \quad v_0 : \text{vitesse de l'interface en B.}$$

D'autre part, la répartition des vitesses le long de (PB) tend au voisinage de (P) vers celle d'un point puits.

$$v = \frac{q}{\pi r} \quad (4-2)$$

Il admet - et c'est en ce point que son schéma est grossier - que cette répartition vaut encore au voisinage de (B) :

$$v = v_0 = \frac{q}{\pi r}$$

La position du point de contact (B) est alors donnée par la relation :

$$\frac{V_0^2}{2} = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot g \cdot (d-r) = \frac{q^2}{2\pi r^2} \quad (4-3)$$

La figure (4-3) représente les deux expressions de  $\frac{V_0^2}{2}$  dont l'une, est une droite (D) et l'autre, une courbe (C) d'allure hyperbolique.

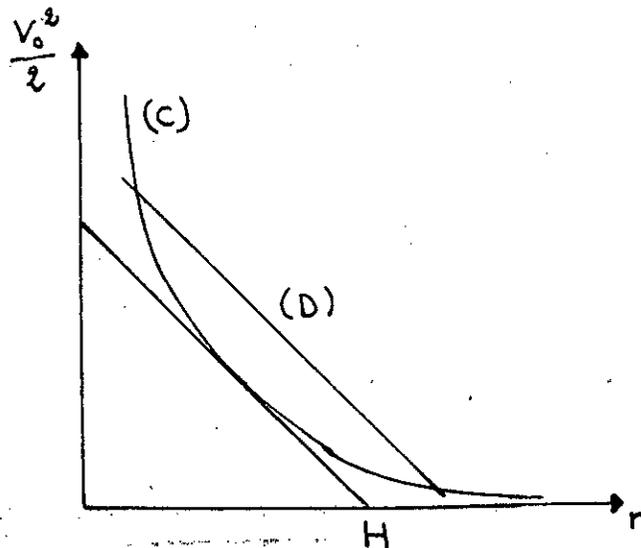


Fig 4.3

Si maintenant, le débit ( $q$ ) (par exemple) est constant, on diminue progressivement ( $d$ ) ; la droite (D) se déplace parallèlement à elle-même et à partir d'une certaine distance ( $H$ ) (on confond ( $H$ ) à  $a+H$  car  $\frac{a}{H} \approx 0$ ) il n'y a plus de contact possible.

Les conditions d'aspiration limite correspondraient au moment où (D) est tangente à (C), c.a.d. où l'équation (4-3) a une racine double, ce qui exige :

$$r = \frac{2d}{3}, \quad F_L = \frac{q^2}{g \frac{\Delta \rho}{\rho} H^3} = \frac{8\pi^2}{27} = 2,91$$

## 2 - b - Influence de l'ouverture de la prise : $(\frac{a}{H} \neq 0)$

En suivant la même procédure, c.a.d. en se bornant aux cas limites, Mr. CRAYA a étudié l'influence de la prise lorsque le fond est supposé à l'infini ( $\frac{b}{H} = \infty$ ).

$$\left[ \begin{array}{l} \frac{H}{a} = \frac{1}{2(\pi+2)} (3 \cotg \frac{\alpha}{2} - \sin \alpha + 2\alpha + \pi + 2) \\ \frac{1}{F_L} = \frac{(\pi+2)^3}{\pi^2} \cdot \text{tg}^3 \left( \frac{\alpha}{2} \right) \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \end{array} \right.$$

Ce résultat n'est pas vérifié expérimentalement [3].

Une autre formule approchée et plus pratique, peut être donnée sous la forme :

$$F_L = \frac{1 - \frac{a}{H}}{0,342 - 0,246 \cdot \frac{a}{H}}, \quad \frac{b}{H} = \infty \quad (4-4)$$

### IV- 3 - Recherches expérimentales de "GARIEL" (1949) :

L'étude théorique de "CRAYA" se heurtait déjà à quelques difficultés : quels facteurs faut-il introduire pour faire un calcul " s'appliquant à la réalité" ?, la viscosité joue t-elle un rôle suffisant pour qu'il faille en tenir compte, ce qui rendait les calculs rapidement plus ardues?, il était délicat de répondre à ces questions sans faire appel à l'expérience.

C'est en 1949, au laboratoire "Dauphinois" d'Hydraulique à "Grenoble", que Mr. GARIEL a poursuivi ses travaux qui ont porté plus particulièrement sur la partie expérimentale et ont fourni des bases certaines qui ont servi de guide à l'étude théorique de Mr. CRAYA.

### 3 - a - Expérience :

L'installation qui a été utilisée pour les expériences comptait essentiellement un canal vitré et ses organes d'alimentation.

Il paraissait essentiel de déterminer à quelles lois de la hauteur limite du soutirage sélectif obéit et c'est sur ce point particulier qu'ont porté plusieurs séries d'essais au cours desquels on faisait varier les débits jusqu'à (2) litres par seconde, et les densités entre (1,00597) et (1,1450).

Des mesures ont été faites d'une part, en écoulement plan en aspirant avec une fente tenant toute la largeur du canal, d'autre part, en écoulement à trois dimensions en aspirant avec un orifice circulaire percé dans une paroi verticale. (Voir Fig. 4-4).

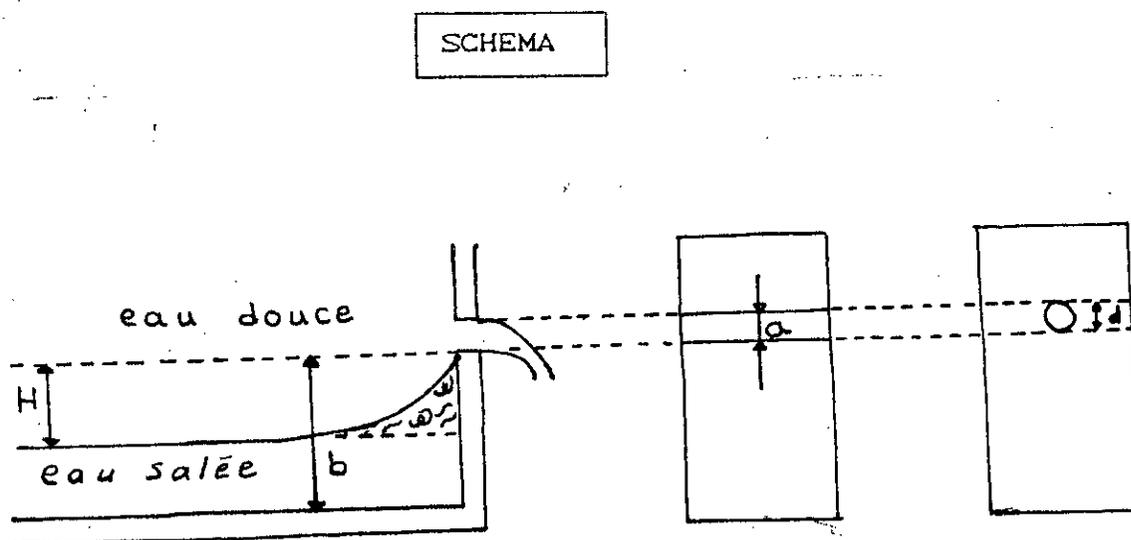


Fig 4.4

Pour avoir des mesures bien comparables de la hauteur limite dans les essais faits avec l'eau salée ; on avait défini comme la distance verticale (CH) - du plan horizontal de la fente, au plan de l'interface, mais assez éloigné en amont - juste au moment où l'on aspire que (1%) d'eau salée dans le mélange ; on traçait la courbe (CH), en fonction du temps à partir de l'instant où l'on annulait le débit d'eau salée, on déterminait aisément sur cette courbe, la valeur de (CH) pour laquelle on n'aspire plus que (1%) d'eau salée.

Dans ces essais, (CH) atteignait généralement 5 à 6 centimètres [2]

3 - b - Résultats :

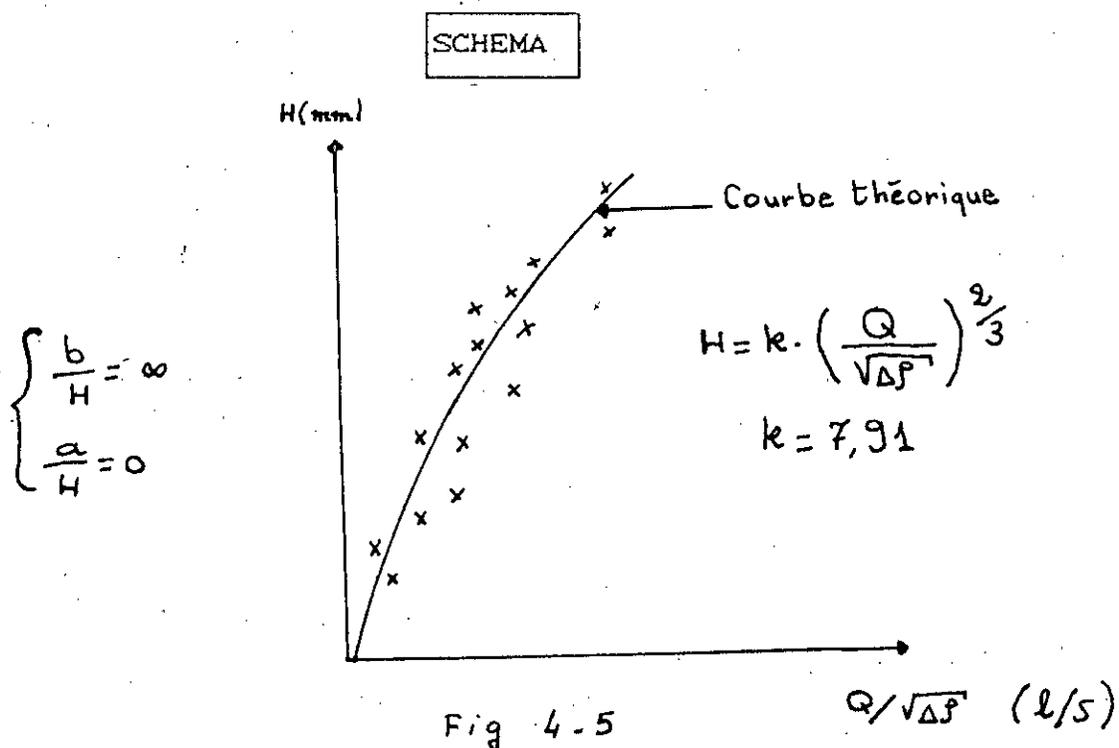
Pour voir si la loi  $\left( F_L = \frac{q^2}{g' H^3} = \text{cste} \right)$

On a porté tous les points expérimentaux sur un graphique (Fig. 4-5), en  $(H)$  et  $\frac{Q}{\sqrt{\Delta \rho}}$  (Puisque  $\rho=1$  dans ce cas) ; or ils

se sont groupés autour d'une courbe unique où  $k = 7,91$  et la loi de la hauteur limite d'aspiration par une fente lorsque l'écoulement est bidimensionnel s'écrit :

$$(4-5) \quad \frac{\Delta \rho}{\rho} g \cdot \frac{H^3}{q^2} = 0,43 \quad \text{c.a.d} \quad F = 2,33 \quad (4-6)$$

Il se trouve que ceci est en excellent accord avec la théorie du soutirage lorsque la distance  $(b)$  est suffisamment grande devant la hauteur limite  $(H)$ .



Poussant très loin ses investigations, Mr. GARIEL a fait des essais d'aspiration dans l'espace à trois dimensions avec un petit orifice circulaire percé dans une paroi verticale, il existe encore une hauteur limite d'aspiration de l'interface et les points expérimentaux se situent bien, par rapport à une courbe. (Fig. 4-6)

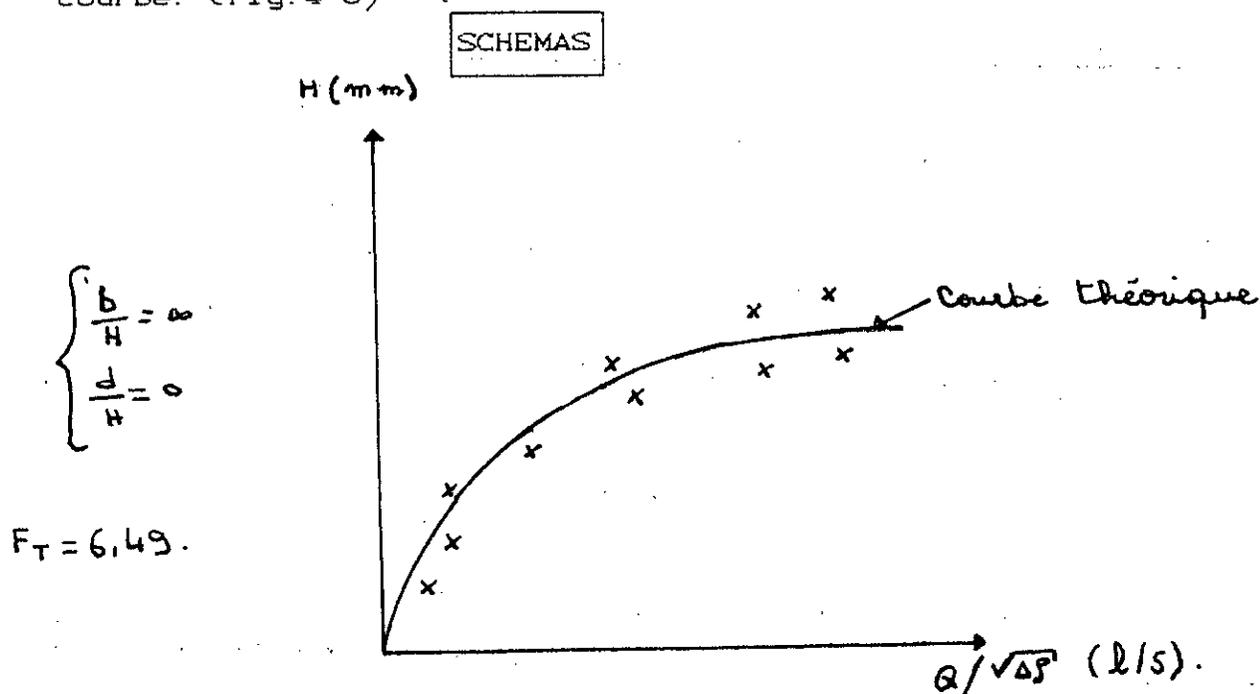


Fig 4.6

Ceci constitue une excellente vérification de la théorie, qui a permis d'établir cette même valeur de la constante pour le cas où le fond est supposé à l'infini et les dimensions de la prise infiniment petites devant  $(H)$  (écoulement vers un point puits).

3-c- Conclusion :

L'étude expérimentale de GARIEL a permis de faire un pas nouveau dans la connaissance des conditions d'écoulement des fluides hétérogènes pesants.

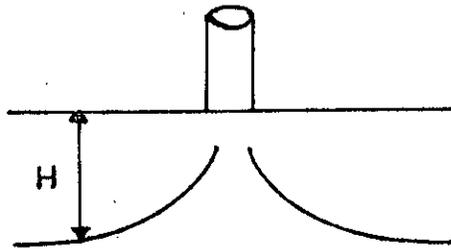
Dans le cas de deux couches, on a mis en évidence, le phénomène fondamental de la hauteur limite qui obéit à une similitude de Froude analogue à celle que respectent les écoulements à surface libre ordinaires, mais où la pesanteur est remplacée par une pesanteur réduite à:  $g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho}$ .

IV - 4- Travaux de Davidian et Glover (1956):

---

Expérimentalement J. Davidian et J.E Glover ont trouvé en aspirant dans la couche de liquide supérieur supposé d'épaisseur infinie : (3)

$$F_T = 20 \cdot \frac{d}{H} \quad \text{Pour} \quad \frac{b}{H} = \infty ; \quad 0.25 < \frac{d}{H} < 100 .$$



IV - 5 - les travaux de HARLEMAN (1958-1959).

---

5 - a - Influence de l'ouverture de la fente (1958):

---

Mr HARLEMAN a étudié expérimentalement l'influence de l'ouverture d'une fente sur le débit critique, il s'intéressa particulièrement au cas limite où :  $\frac{b}{H} = 0$ .

on peut représenter ses résultats sous la forme :

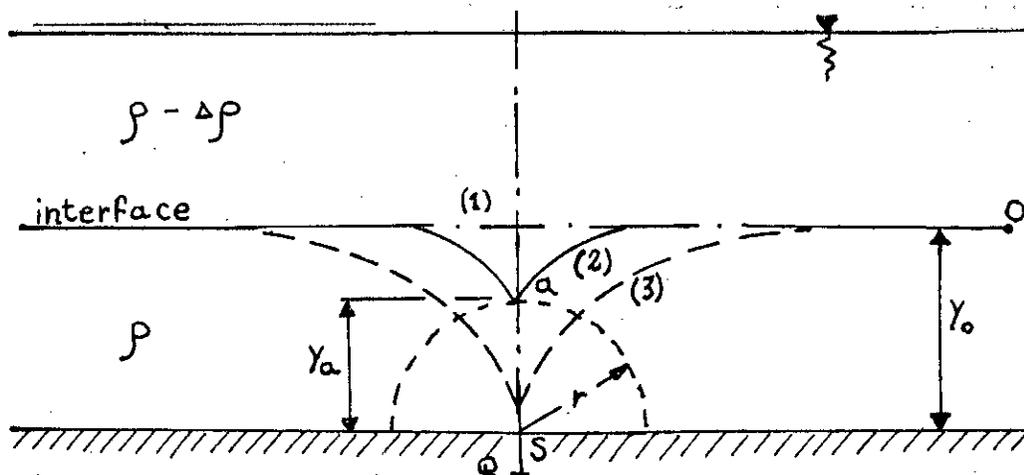
$$F_L = 0.25 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{a}{H} \right)^3 \right] , \quad \text{pour} \quad \frac{b}{H} = 0 , \quad \frac{a}{H} \neq 0$$

5-b- Cas d'une prise d'aspiration circulaire dans un plan

horizontal (1959).

Après les études de DAVIDIAN et GLOVER, Mr HARLEMAN a repris en 1959 l'étude de l'aspiration sélective par une prise circulaire située dans le plan horizontal, on présentera ci après son analyse théorique puis les travaux expérimentaux et leurs résultats .

Analyse théorique : Fig (4-7)



Le point est localisé au fond du canal .(fig 4-7)

La position de l'interface par rapport au fond du canal est  $Y$  .  
Pour la distance importante à partir de la source  $S$ , la profondeur est  $Y_0$  .[4]

Q: Débit à travers la source  $S$  .

Trois positions de l'interface sont montrés par la (fig 4-7).

- Position 1: Correspond à la condition statique quand  $Q=0$  .
- Position 2: Correspond à un certain débit  $Q$  ( pour la couche inférieure seulement ).
- Position 3: Montre la position de l'interface avec soutirage de couches simultanément .

Si on applique le théorème de Bernouilli entre (0-0) et (a-a)

( Pour la couche inférieure):

$$P_0 + \rho g y_0 = P_a + \frac{\rho \cdot V_a^2}{2} + \rho \cdot g \cdot y_a$$

$V_a$  = Vitesse de l'interface .

Pour la couche supérieure:

$$P_o + (\rho - \Delta \rho) g y_o = P_a + (\rho - \Delta \rho) g y_a \quad (4-8)$$

De l'équation (4-7) et (4-8) :

$$\frac{V_a^2}{2g} = \frac{\Delta \rho}{\rho} (y_o - y_a) \quad (4-9)$$

D'où

$$\frac{V_a^2}{2g'} = y_o - y_a .$$

(4-10)

La vitesse moyenne  $V$  à travers la surface de l'hémisphère:

$$V = \frac{Q}{2\pi r^2} \quad \text{Pour} \quad r = y_a \rightarrow V_a = \frac{Q}{2\pi y_a^2}$$

$$V_a = k v_a = \frac{Q}{2\pi y_a^2} \rightarrow V_a = \frac{Q}{2\pi y_a^2 k} \quad (4-11)$$

$K < 1$  est déterminé expérimentalement .

De (4-10) et (4-11)  $\rightarrow \frac{Q^2}{4\pi y_a^2 k^2 g'} = y_o - y_a .$

$$Q^2 = 8\pi K^2 g' (y_o y_a^4 - y_a^5)$$

(4-12)

Le débit critique étant le débit maximal qu'on peut soutirer dans ces conditions, la hauteur limite en  $a$  correspondrait à la solution de l'équation :

$$2Q \cdot \frac{dQ}{dy_a} = 8\pi k^2 g' (4y_o y_a^3 - 5y_a^4) = 0$$

Résultats expérimentaux :

Les données expérimentales représentés par :

$$\frac{V_c}{\sqrt{g' \cdot y_0}} \quad \text{et} \quad \frac{y_0}{D}$$

donnent

$$\frac{V_c}{\sqrt{g' \cdot y_0}} = 2,05 \left( \frac{y_0}{D} \right)^2 \quad (4-17). \text{ Cette équation est tirée}$$

de la (fig 4-8)

SCHEMA

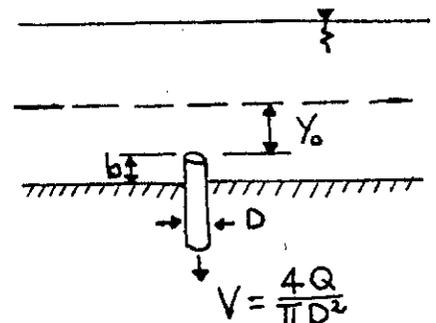
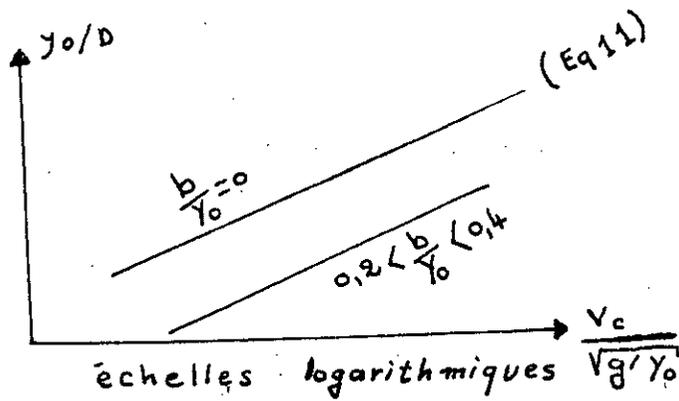


Fig 4-8

Durant les expériences :  $\frac{\Delta \rho}{\rho}$  varie de 0,0026 à 0,0119.

$\frac{y_0}{D}$  varie de 3,77 à 0,65.

Pour déterminer (k) : De (4-16) et (4-17)  $\Rightarrow 3,2k = 2,05$

$$\Rightarrow k = 0,64$$

$$\frac{V_c}{\sqrt{g' y_0}} = 2,05 \quad \left( \frac{y_0}{D} \right) \Rightarrow \frac{Q}{y_0 \sqrt{g' y_0}} = \frac{\pi \cdot 2,05}{4}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_T = \frac{Q^2}{g' y_0^5} = 2,5 \\ \text{Pour } \frac{b}{H} = 0 \text{ et } 0,25 < \frac{D}{H} < 1,25 \end{array} \right.$$

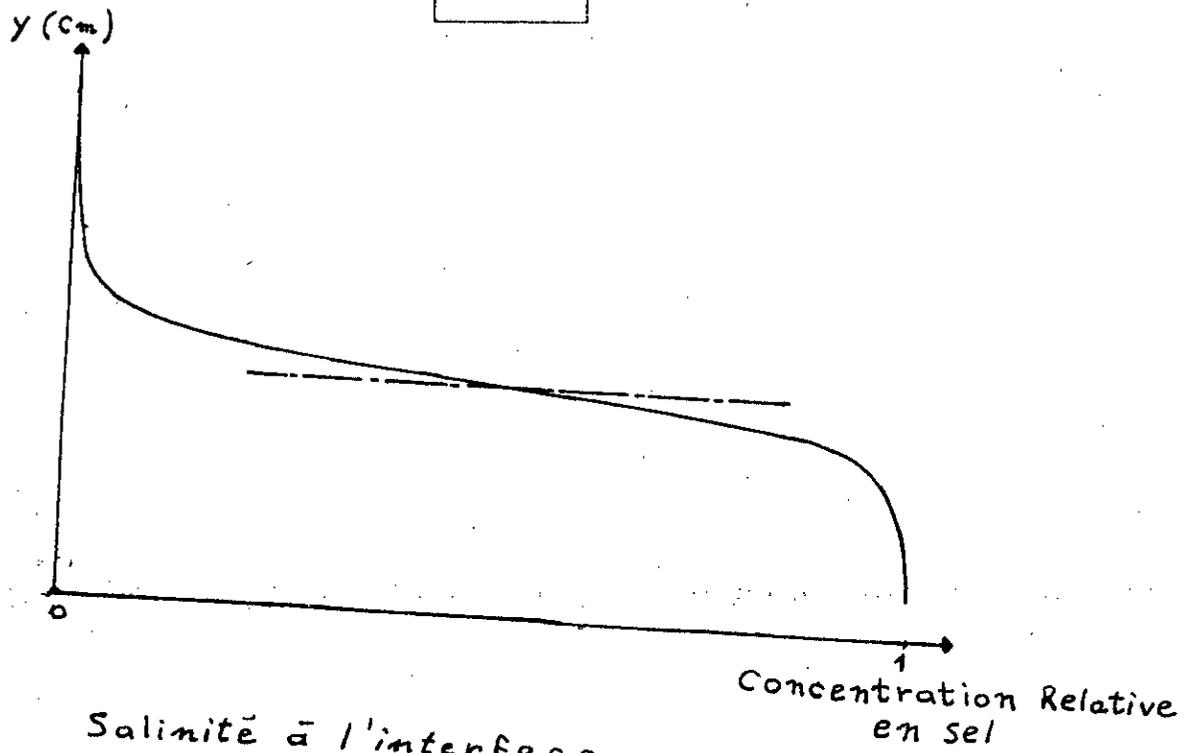
Pour le cas où :  $0,2 < \frac{b}{H} < 0,4$ .

on tire de la courbe précédente :

$$F_T = 5,5 \quad (4-18)$$

En plus, Mr. HARLEMAN a pu établir les graphiques suivants :  
 (Fig. 4-9), (4-11) et (4-10).

SCHEMA



Salinité à l'interface  
 Fig 4-9

SCHEMA

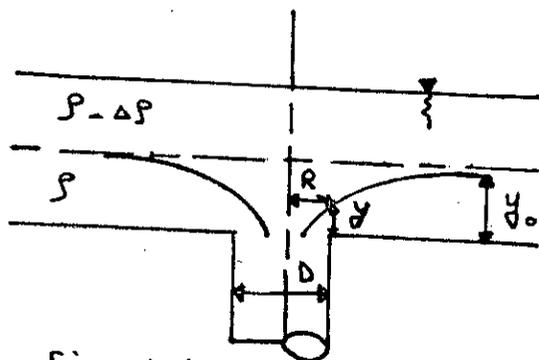
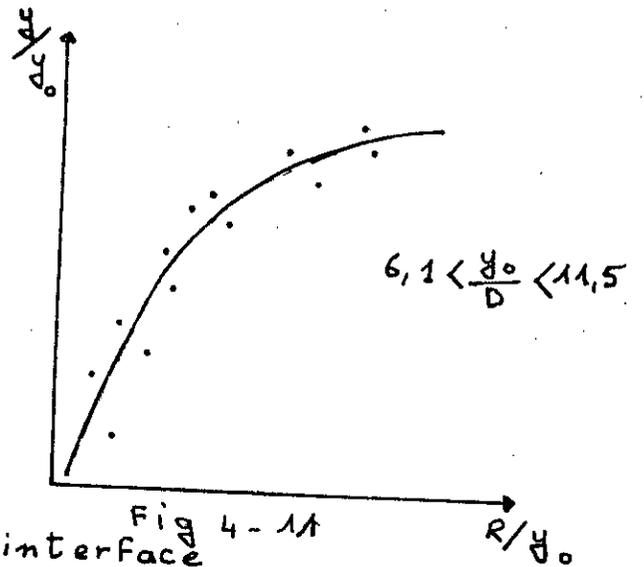


Fig 4-10



Position relative de l'interface  
 Fig 4-11

#### IV - 6 - Travaux de "HUBER" (1960) :

---

Un autre cas limite a été étudié par "D. G. HUBER", il s'agit de l'aspiration par une fente fine placée dans l'angle formé par la paroi verticale et le fond, c'est une étude purement théorique qui donne :

$$F_L = 0,205 \quad \text{pour} \quad \frac{b}{H} = 0 \quad ; \quad \frac{a}{H} = 0$$

Cette valeur correspondrait à un écoulement torrentiel, car

$$q^2 / \frac{\Delta\rho}{\rho} gh^3 = 2,76 > 1 \quad \text{dans le canal d'amenée à l'amont}$$

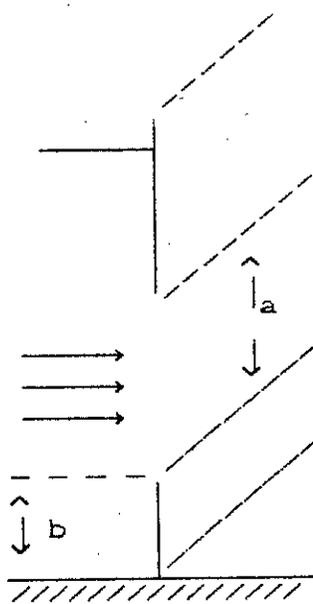
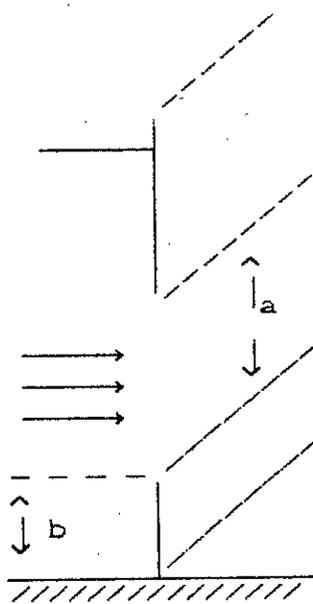
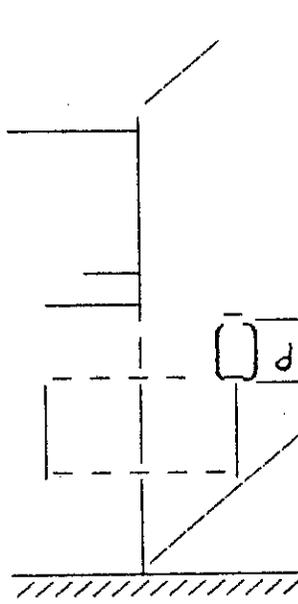
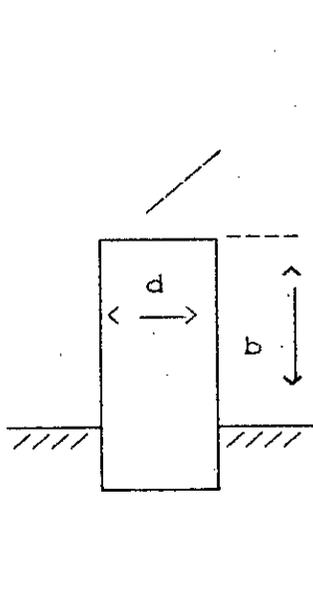
[3].

#### IV - 7 - CONCLUSION ET TABLEAU DE RECAPITULATION :

---

Nous rappelons d'abord que les résultats sont partiels et n'ont pas tous été vérifiés par l'expérience, de sorte qu'il convient de les utiliser avec une grande prudence. (Voir tableau (4-1)).

Le rôle du paramètre  $b/H$  n'a jamais été étudié systématiquement et, dans le cas d'une prise circulaire dans un plan horizontal, les résultats acquis jusqu'à présent, se raccordent difficilement les uns aux autres, pour les diverses positions relatives du fond. Le cas d'une prise dans un plan vertical, donnant lieu à un écoulement tridimensionnel est assez mal connu. C'est pourtant un cas pratique qui mériterait d'être approfondi ainsi que le cas que nous avons étudié et qui demeure sans résultats, jusqu'à l'élaboration de cette étude. D'autre part, il est clair, qu'en étudiant le soutirage sélectif par un siphon, nous avons ouvert tout un champ de recherche, pour une nouvelle sorte de prise dont l'évaluation de son efficacité est l'objet de notre étude.

Type de prise	Prise sur un mur vertical		Prise dans un plan horizontal
			
$\frac{b}{H}$	$F_L = 0,25 \left[ 1 - \left( \frac{a}{H} \right)^3 \right]$ <p>HARLEMANN</p> $F_L = 0,205 \text{ pour } \frac{a}{H} = 0$ <p>HUBER</p>	<p>?</p>	$F_T = 2,59$ $0,25 < \frac{d}{H} < 1,25$
$0,25 < \frac{b}{H} < 0,4$	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>5.5</p> <p>HARLEMANN</p>
$\infty$	$F_L = \frac{1 - \frac{a}{H}}{0,342 - 0,246 \frac{a}{H}}$ $F_L = 2,31 \text{ pour } \frac{a}{H} = 0$	$F_T = 6,49$ <p>pour <math>\frac{d}{H} = 0</math></p> <p>CRAYA et GABRIEL</p>	$F_T = 20 \frac{d}{H}$ $0,25 < \frac{d}{H} < 100$ <p>DAVIDIAN ET GLOVER</p>
	$F_L = \frac{q^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho} g H^3}$	$F_T = \frac{Q^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho} g H^5}$	

**chapitre V :**

**Etude Expérimentale**

## V - 1 Introduction :

Nous avons vu dans les chapitres précédents , qu' aucune théorie élémentaire concernant le problème du soutirage sélectif n'a été élaborée jusqu'à ce jour si ce n' est des approches de cas limites dont le domaine d'application est très restreint. Le cas où la distance de la prise au fond est finie, est un cas très intéressant en matière d'application ; il nécessite une étude plus approfondie, et surtout, l'aboutissement à des résultats qui peuvent être largement appliqués en pratique. Le recours à l'expérience devient indispensable, d'une part pour résoudre les problèmes pratiques, d'autre part pour donner les éléments fondamentaux à une théorie qui restera toujours espérée.

Dans nos expériences, nous avons représenté les 2 couches superposées de densités différentes par de l'eau douce en partie supérieure, et de l'eau salée en partie inférieure dont on variait la densité en variant son degré de salinité.

L'eau salée est colorée à la fluoréscine afin de permettre une meilleure visualisation de l'interface.

## V - 2 Description de l'installation :

L'installation utilisée dans nos essais est constituée essentiellement de : (voir Fig.(5-1) et Fig (5-2) )

- a - Un canal vitré,
- b - Un organe de prise d'eau,
- c - Une pompe,
- d - Un bassin d'eau salée,
- e - Une vanne réglant le débit.

Schéma du modèle expérimental  
(Soutirage sélectif par une fente)

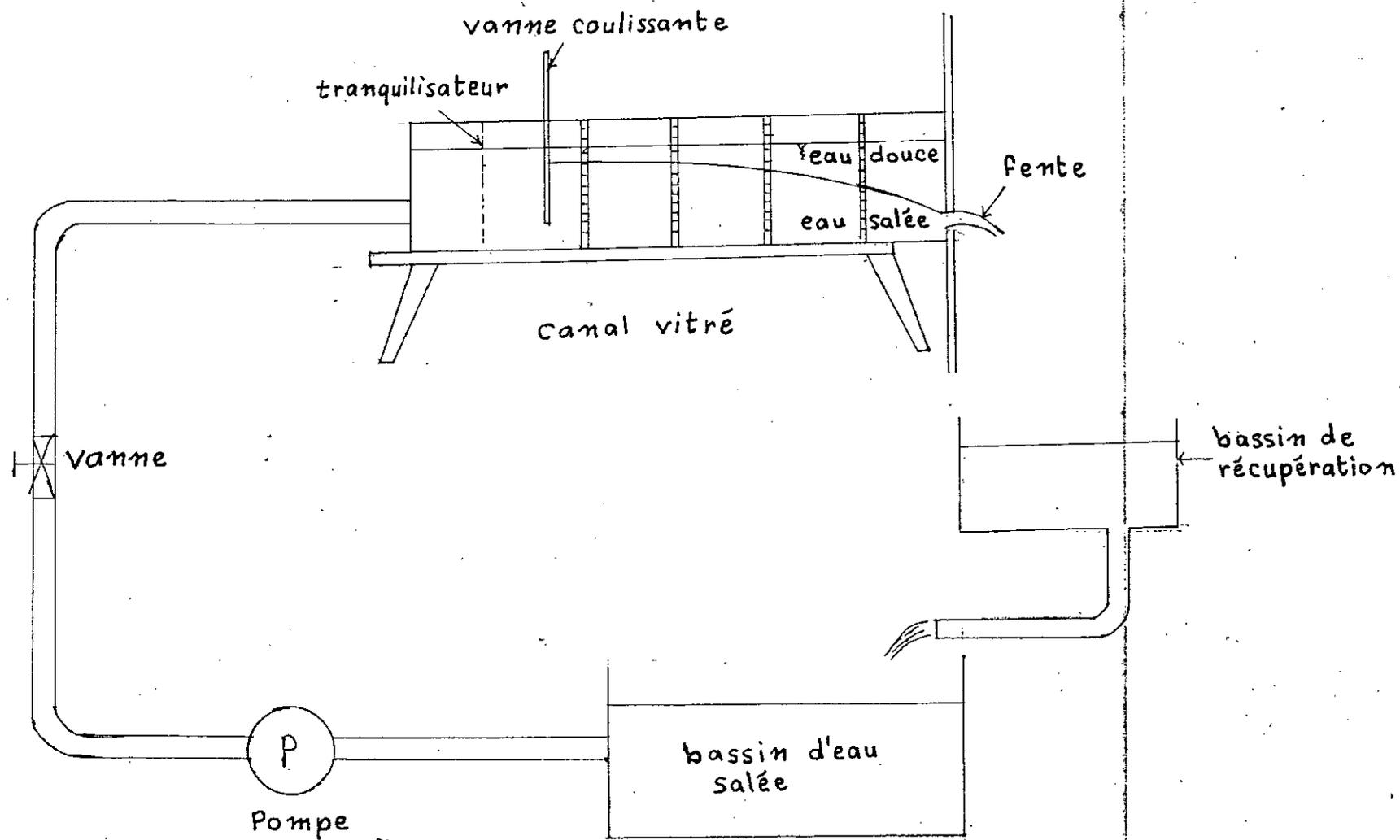
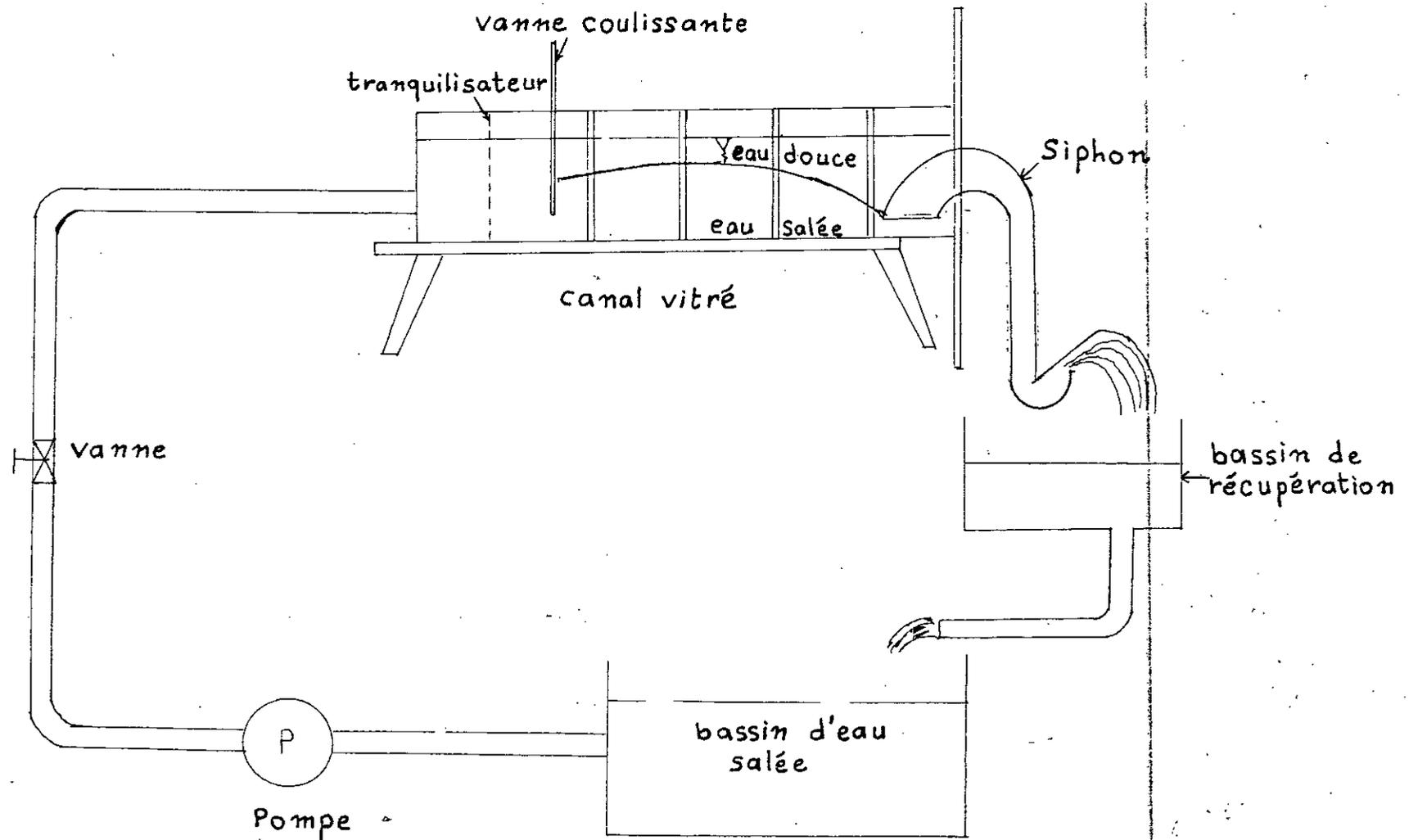


Schéma du modèle expérimentale  
(Soutirage sélectif par siphon)



ES

a - Canal vitré : C'est un canal de longueur : 1m 48cm, de largeur : 10cm et de 37cm de profondeur. Il est composé de 2 parties séparées par une vanne coulissante.

-Partie amont : Elle est directement alimentée en eau salée, munie d'un tranquillisateur et se termine par une vanne ; cette vanne permet le passage ou l'arrêt de l'eau salée dans la deuxième partie du canal.

- Partie avale : Cette partie est le siège des phénomènes de superposition, et de soutirage. Elle est d'une longueur de 1m 03cm.

Sur le côté, on a collé du papier transparent gradué (10) pour mesurer la cote de l'interface. Cette partie avale du canal se termine par un organe de prise (ou d'aspiration).

b - Organe de prise :

b.1-La fente (écoulement bidimensionnel) :

la partie avale du canal est munie de part et d'autre de glissières, où on peut coulisser l'organe de prise choisi, dans le cas d'une fente, il suffisait de créer une ouverture entre 2 plaques rectangulaires coulissantes, en les faisant monter ou descendre.

Ainsi on arrivait à avoir une fente occupant la largeur du canal, et dont l'ouverture, et le niveau par rapport au fond sont facilement réglables.

b.2 - Le siphon : (écoulement tridimensionnel) : (Fig (5-3)) :

Il s'agit d'un siphon (type régulateur de niveau) incorporé dans une plaque rectangulaire qui peut coulisser dans les glissières en fin du canal et ceci afin de varier la hauteur de sa bouche.

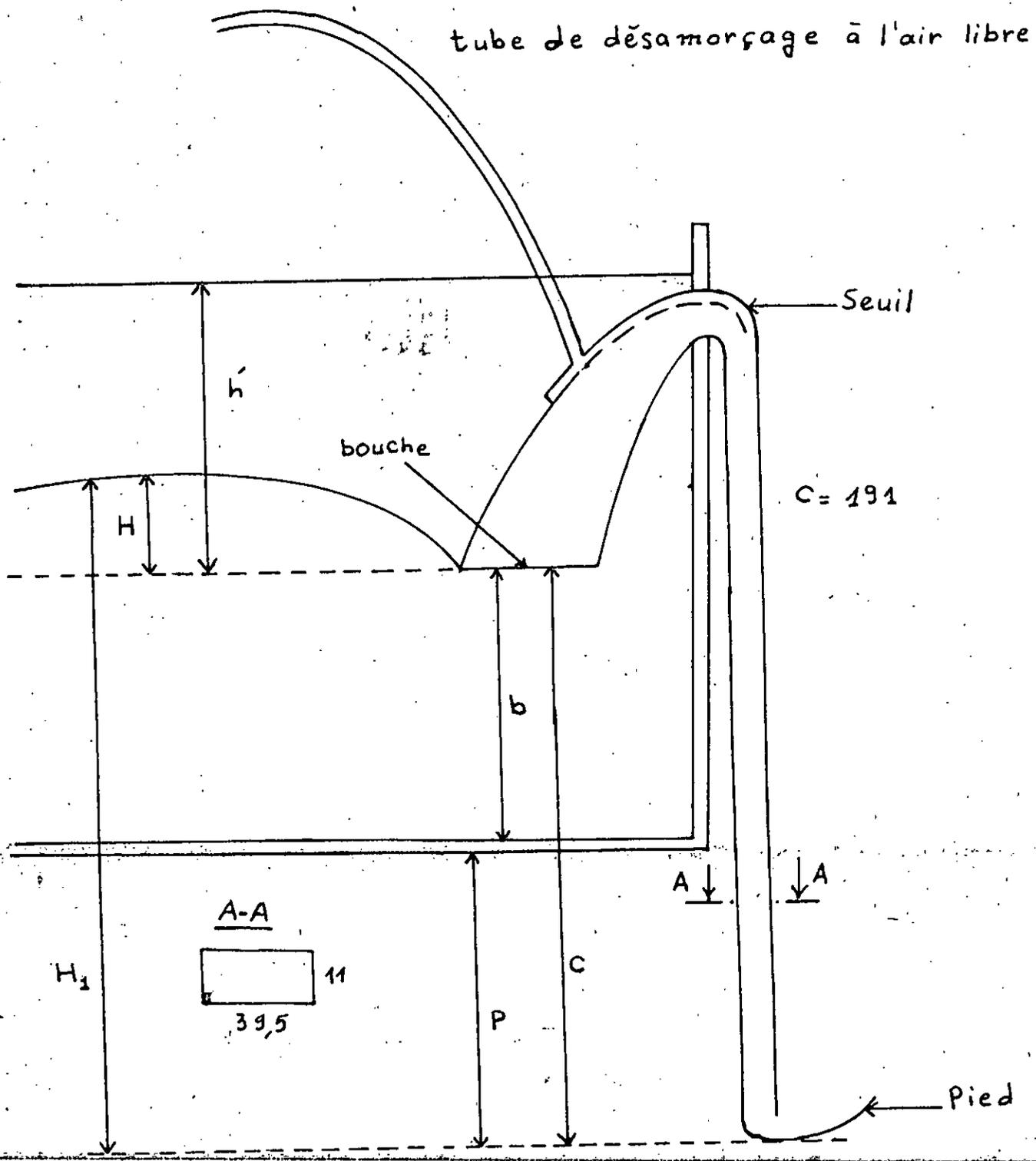


Schéma du siphon déversoir  
 utilisé dans le soutirage sélectif

### V - 3 La réalisation du modèle expérimental :

La réalisation du modèle expérimental a pris environ le 1/3 du temps et de l'effort consacré à cette étude.

Le modèle expérimental a été élaboré au laboratoire d'Hydraulique de l'Ecole nationale polytechnique (ENP).

Le matériel utilisé pour réaliser le modèle est :

- Une scie électrique,
- Une chignole,
- La chlorophorme,
- Une lime,
- Des serre-joints.

Nous avons installé en fin du canal un système de glissière (coulisse) permettant le changement de l'organe de prise incorporé à une plaque, ainsi il est possible d'étudier dans le futur n'importe quel autre organe de prise.

Ainsi nous avons ajouté une nouvelle installation dans le laboratoire permettant la visualisation et l'étude d'un phénomène essentiel tel que le soutirage sélectif.

### V - 4 Description de la manipulation :

La vanne séparant les 2 parties du canal étant fermée, on introduit de l'eau claire à l'intérieur de la partie avale du canal, l'organe de prise étant fermé, il n'y a pas d'écoulement.

On allume alors la pompe qui commence à refouler l'eau salée dans la partie amont du canal, quand le niveau d'eau salée atteint celui de l'eau claire, on ouvre la vanne, il se forme alors un courant de densité qui se dirige vers la prise d'eau.  
Cas d'une fente : quand la tête du courant de densité arrive contre la paroi avale du canal constituée de 2 plaques rectangulaires, l'une au-dessus de l'autre, on ouvre aussitôt la fente, on règle son ouverture de façon à avoir la tranche d'eau claire dans le canal constante, ce qui correspond à la condition limite d'aspiration, et en plus à un régime permanent.

L'eau salée colorée rentre alors, et sort par la fente sans que la tranche d'eau claire bouge; l'interface est bien visible quand le débit est fort, elle oscille autour d'une position moyenne.

A ce moment on prend les mesures nécessaires (voir photos).

Cas du siphon : Au début la bouche du siphon est au dessus du plan d'eau claire; dès que la tête du courant de densité arrive à l'extrémité avale, on fait descendre le siphon de telle façon à ne pas perturber l'interface; le siphon désamorçé commence à débiter fortement de l'eau salée sans toucher la tranche d'eau claire (sa bouche est dans la partie inférieure), le régime est alors permanent, parfois même, on remarque quand on règle mal la position du siphon, une élévation ou une diminution du niveau de l'interface et puis elle se stabilise le phénomène est beaucoup plus remarquable, plus net et plus durable dans la temps. A ce moment, on mesure les paramètres de l'expérience.

V - 5 Protocole de mesure :

Dans les deux cas (écoulement à travers une fente ou un siphon), on mesurait les hauteurs (cotes) de l'interface (voir Fig.5-4) à l'aide de règles équidistantes en papier transparent collées sur la vitre transparente du canal.

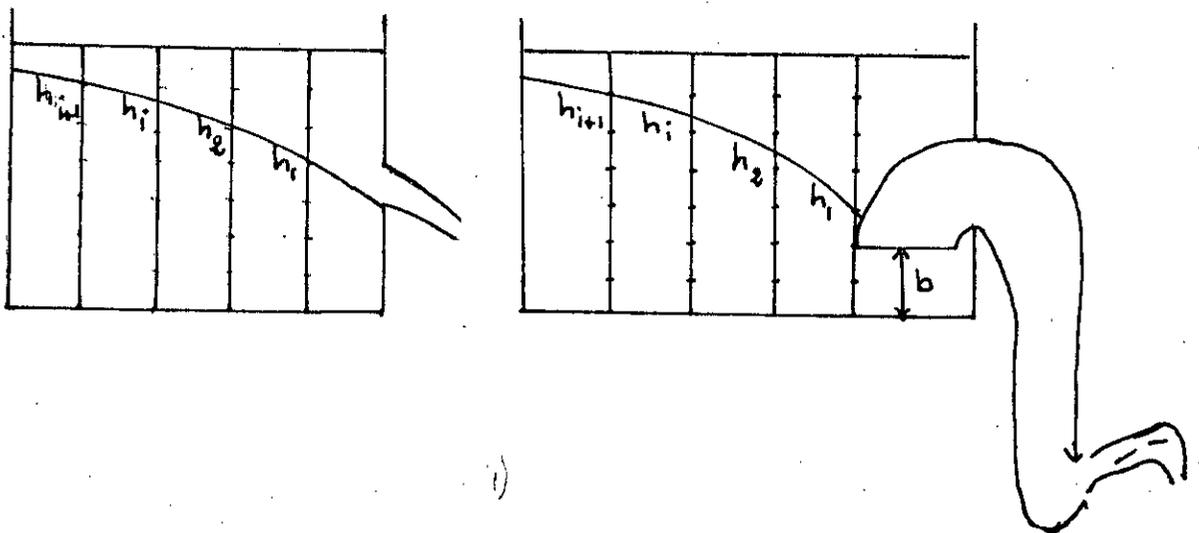


fig (5-4)

on mesure alors:

- \* La distance  $b$  du fond au plan de référence. (Fig. 5-4)
- \* Le débit total  $Q$  (débit limite) sortant par la fente, ou exclusivement, par le siphon à l'aide de la méthode volumétrique (un sceau, un chronomètre, une burette étalonnée)
- \* La densité  $\rho$  de l'eau salée :  
des échantillons sont prélevés après chaque expérience, la densité est mesurée en utilisant un picnomètre et une balance analytique.
- \* L'ouverture de la fente  $a$  : à l'aide d'une règle graduée.
- \* La charge totale d'eau  $H_0$  : distance entre le fond et la surface libre de l'eau.

Dans nos essais, on variait les débits entre 0,150 (l/s) et 0,800 (l/s), on a même atteint 1 (l/s) et 1,1 (l/s).

- \* Les densités variait entre 1,0070 et 1,0485 c.a.d. une concentration entre 7 g/l et 48,5 g/l (les densités fréquemment atteint par les eaux des barrages lors des crues).

#### V-6 COURBES A TRACET :

##### a) lois de l'aspiration limite :

Nous avons pour but essentiel de déterminer la relation qui existe entre les paramètres adimensionnels et qui peut être annoncée comme loi régissant le phénomène de soutirage sélectif.

- CAS DE LA FENTE : Nous avons tracé

$$H = f \left[ Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta\rho}} \right] \text{ c.a.d. : } f \left[ Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta\rho}} \cdot H \right] = 0.$$

- CAS DU SIPHON : Nous avons tracé

$$F_T = f \left[ \frac{H_1}{H} \right]$$

$$(H_1 = H + b + p)$$

$H_1$ : cote entre l'interface et le pied du siphon.

$H$ : charge totale d'eau salée.

## b) POSITION DE L'INTERFACE :

\* Nous avons établis dans l'annexe un schéma simplifié de chaque expérience visualisant la position de l'interface qui pourrait aider à estimer sa position dans un prototype en respectant les lois de similitude (spécialement il faut avoir les mêmes nombres adimensionnels.

\* REMARQUE IMPORTANTE : Il est à noter que la charge H est

différente de la cote limite de l'interface h en effet :

$$H = h + \frac{V^2}{2g'} \quad (\text{voir chap : étude théorique}) \text{ dans}$$

le canal on mesurait les hauteurs (h) puis on détermine H à l'aide de la formule ci-dessus.

\* Mais vu que les vitesses dans l'interface sont très faibles ( $V^2 \ll h$ ) et d'autre part le gradient transversal de vitesse  $\frac{V^2}{2g'}$

est faible (ces hypothèses ont été confirmées en utilisant un tube de Pitot).

$$\text{Nous avons estimé : } V = \bar{V} = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{l \cdot (h+b)}$$

\* La vitesse V estimée par cette formule et celle mesurée par un tube de Pitot au niveau de l'interface, était pratiquement les mêmes. De toute façon la valeur  $V^2/2g'$ , demeure très faible devant la cote de l'interface sauf dans le cas où le débit devient assez fort ; l'utilisation alors d'un tube de Pitot devient indispensable.

# chapitre VI

Resultats Expérimentaux et  
Analyses

## VI. 1 - ANNALYSE QUALITATIVE :

Durant toutes nos expériences, nous avons consacré une grande attention aux phénomènes qui accompagnent l'opération du soutirage sélectif, dans ce paragraphe, nous avons essayé de décrire les plus remarquables d'entre eux.

- La position de l'organe de prise, (fente ou bouche du siphon), détermine la qualité d'eau soutirée ; une position supérieure face à l'eau douce, permet une prépondérance de celle-ci sur l'eau salée lors du soutirage ; par contre, la position face à l'eau salée permet de soutirer essentiellement cet eau. Si nous réglons l'ouverture de la fente, ou la bouche du siphon, nous parviendrons à soutirer le maximum d'eau salée avec un débit appelé débit critique, ce sont là, les conditions limites de soutirage auxquelles correspond une hauteur limite unique, automatiquement atteinte par l'interface lors de l'établissement de ces conditions. (Fig. 8-1).

- Dans le cas d'aspiration d'eau salée, l'interface finit par se stabiliser au dessus de la fente.

- Les photos présentées dans l'annexe, permettent de visualiser l'interface qui y paraît nette.

- En effet, si le débit d'eau est faible, les densités assez voisines, l'interface est très nette, pas contre si la différence de densité est relativement grande on remarque un échange de particules au niveau de l'interface. Si le débit est fort des ondulations paraissent sur l'interface et le phénomène de diffusion s'accélère.

- De loin, l'interface paraît comme une ligne droite mais si nous regardons bien de près, nous remarquerons que celle-ci plonge dans la fente ou la bouche du siphon.

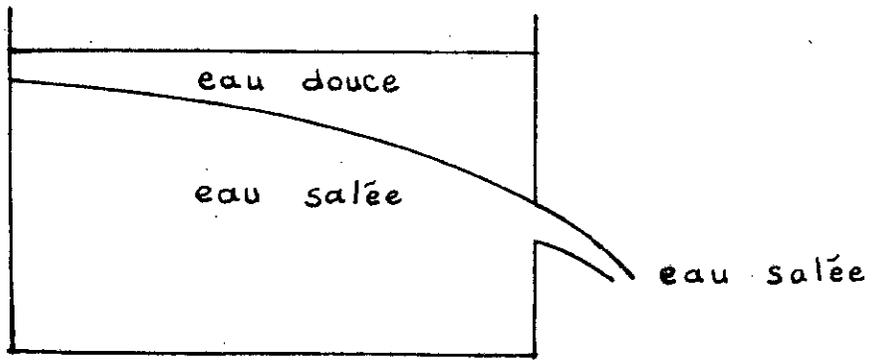


Fig (6-1)

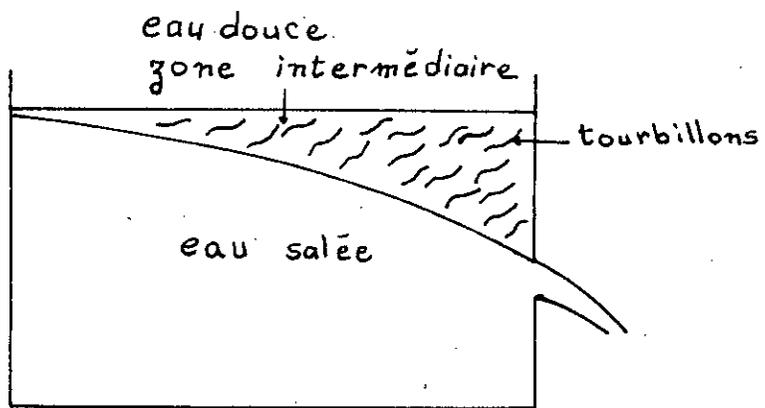
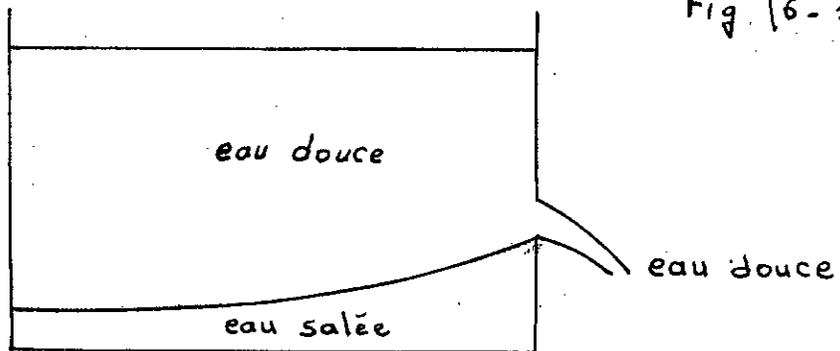


Fig 6-2

Le phénomène inverse lorsque la hauteur du siphon est mal réglée, se produit, la charge totale diminue ensuite elle finit, soit par se stabiliser à un niveau où s'établissent les conditions limites d'aspiration, soit elle continue à diminuer jusqu'à donner naissance à un phénomène de périodicité; c'est là un grand avantage du siphon lors du soutirage sélectif.

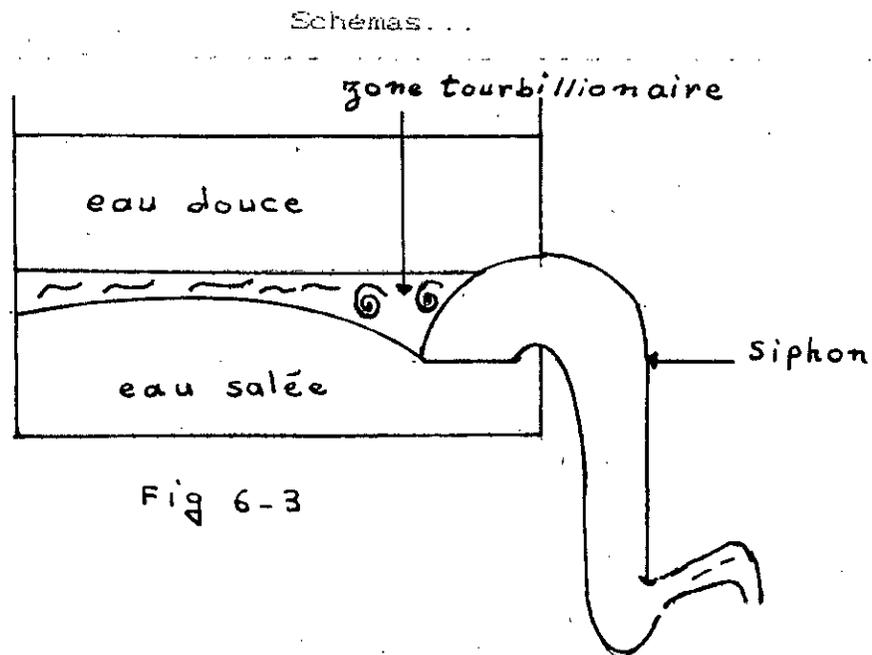
- Ce phénomène de périodicité garde l'interface, la tranche d'eau étant sous diminution remarquable. Afin de revenir au régime permanent, on doit, soit augmenter le débit et le niveau s'élève alors à une hauteur critique soit élever le siphon un peu plus haut. Le phénomène de périodicité indique que le siphon est mal placé sans nuire au phénomène de soutirage sélectif qui n'est pas alors à son optimum.

- Quand le débit est relativement faible, l'interface est nettement visible, sa surface paraît comme un tissu ou un drapeau voltigeant, ne permettant ainsi aucune discontinuité à sa surface, elle paraît comme une barrière emprisonnant l'eau salée et empêchant tout accès vers cet eau dans le sens vertical.

- En effet, l'équilibre de la surface de l'interface confirme l'hypothèse de continuité de pression. Nous rappelons qu'il s'agit là de deux liquides miscibles, par ailleurs ces phénomènes seraient présentes parfaitement si les liquides étaient non-miscibles.

- Nous remarquons une grande turbulence au dessus de la prise , elle est apparemment due au choc des lignes de courants avec la paroi verticale contenant l'organe de prise cette turbulence se manifeste par des tourbillons retrogrades et s'étalent sur l'interface en couche moins colorée c'est à dire de densité intermediaire (Fig 6-2) et finit par disparaître à l'amont.

- Dans le cas du siphon, le phénomène des tourbillons est plus remarquable, un grand tourbillon prend naissance face à la paroi de la bouche du siphon (Fig 6-3) et s'étale sur l'interface



L'aspiration limite dure plus longtemps dans le cas du siphon, elle est même plus facilement réalisée. Le fonctionnement du siphon, avec un tuyau de désamorçage sortant à l'air libre permet de maintien de l'interface même si on varie le débit d'eau salée on fait, la charge d'eau salée et la charge totale augmentent alors que la tranche d'eau douce ne subit aucun changement; le débit d'air résiduel dans le siphon est remplacé par le débit d'eau salée ajouté.

## VI-2 Analyse quantitative:

### VI-2-1 Présentation des résultats :

- Les résultats sont présentés dans l'annexe, sous forme de schéma précisant la cote et l'allure de l'interface, et de courbes donnant les lois auxquelles obéit le phénomène d'aspiration limite

- a) Cas d'une fente :

a-1) Position de l'interface:

nous avons présenté dans l'annexe les positions de l'interface durant chaque essai, L'interface prend une allure parabolique, elle plonge dans la fente et paraît comme une tangente à la hauteur limite décroît dans le sens de l'écoulement. ces schémas peuvent être utilisés ou servir d'élément de prévision, en respectant bien sûr les lois de la similitude.

a-2) Loi d'aspiration limite:

nous avons reporté les points de nos essais sur un graphique :

$Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta\rho}} = f(H)$ ; les points se regroupent autour d'une courbe

d'équation

$$H = K \cdot \left( \frac{Q \sqrt{\rho}}{\sqrt{\Delta\rho}} \right)^{2/3} \quad \text{--- avec } K=0,551, \text{ c'est à dire que}$$

$$F_L = 0,061 \text{ quand } 0,2 < b < 0,4$$

H

dans notre cas la largeur du canal est égale à 1 dm ( par rapport aux unités prise) donc  $F_L$  aussi est égale à 0,061.

La théorie reste sous résultats précis dans le cas que nous venons d'étudier  $0,2 < b < 0,4$ . Ainsi nous avons démontré que la loi

H

de GARIEL est vérifiée même dans ce cas avec  $F_L = 0,061$ .

Une analyse des risques dérivés montre que les quelques points assez éloignés de la courbe sont un résultat évident.

b) - Cas du siphon:

b-1) position de l'interface:

l'interface dans le cas du siphon augmente de l'amont vers l'aval passe par un maximum et plonge enfin dans la bouche du siphon elle paraît parfois assez turbulente.

b-2) Loi d'aspiration du siphon:

Dans le cas du siphon la constante  $F_T$  paraît croître avec le rapport  $\frac{H_1}{H}$  - tel que:

$$\boxed{H_1 = H + b + P} \quad ; \quad H_1 \text{ est à peu près égale à la distance}$$

$$\sim h + b + P \quad \text{entre l'interface à l'amont et le pied du siphon}$$

$h$  : coté de l'interface à l'amont .

$H$  : charge équivalente (voir chap III)

ainsi nous avons pensé écrire  $F_T$  en fonction de  $\frac{H_1}{H}$  sous la forme suivante :

$$F_T = k \left( \frac{H_1}{H} \right)^n \quad (6 - 3).$$

afin de déterminer  $k$  et  $n$ , nous avons rapporté la courbe  $\frac{H_1}{H} = f(F_T)$

sur un graphique d'échelle logarithmique, les points coïncident remarquablement avec une droite. (Voir graph 2 en Annexe).

On peut écrire alors l'équation suivante:

$$\ln \frac{H_1}{H} = \alpha \ln F_T + \beta. \text{ (équation d'une droite, } \alpha \text{ et } \beta \text{ sont}$$

successivement la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite).

d'où :

$$\frac{1}{\alpha} \ln \frac{H_1}{H} - \frac{\beta}{\alpha} = \ln F_T.$$

Si on pose:  $\frac{-\beta}{\alpha} = \ln K$ , et  $\frac{1}{\alpha} = n$ .

on aura :

$$\ln K \left( \frac{H_1}{H} \right)^n = \ln F_T$$

c'est à dire :

$$F_T = K \left( \frac{H_1}{H} \right)^n$$

K et n sont calculés à partir de  $\alpha$  et  $\beta$ .

Le calcul fait par la méthode de la régression linéaire a donné les valeurs suivantes :

$$\alpha = 0,147 ; \quad \beta = 1,342$$

avec une corrélation  $r = 0,92$

d'où :  $k = 10^{-4}$  ;  $n = 6,80$   
 $= 0,0001$

La constante ( $F_T$ ) sous la forme suivante :

$$F_T = 10^{-4} \left( \frac{H_1}{H} \right)^{6,80} \quad (6-4).$$

Le coefficient de corrélation  $r=0,92$  indique que notre ajustement est bon.

on peut alors énoncer la loi suivante :

"Dans un siphon , la constante adimensionnelle

$$F_T = \frac{Q^2}{g' H} \quad \text{s'écrit de la forme : } k \left( \frac{H_1}{H} \right)^n$$

Où (k) et (n) sont déterminés expérimentalement".

Le succès de l'analyse dimensionnelle est alors remarquable, en effet,  $H_1$  peut s'écrire :

$$H_1 = H + b + P$$

C'est à dire :

$$F_T = k \left( 1 + \frac{b}{H} + \frac{P}{H} \right)^n = 0. \quad (6-5)$$

( Revoir l'analyse dimensionnelle (chap.III) ).

Dans nos expériences :

$$1,3 < \frac{b + P}{H} < 8$$

$$0,4 < \frac{b}{H} < 4,4$$

( le pied du siphon utilisé dépasse parfois le fond du canal )

$$0,11 < \frac{dH}{H} < 0,72$$

Cependant, ce dernier paramètre :  $\left( \frac{dH}{H} \right)$  paraît n'avoir aucun rôle apparent du moins dans cet  $H$  intervall

Le volume a été calculé par la formule étalonnant la burette :  $V = 0,028 L$ . Longueur du tube avec dans le manomètre.

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = \frac{dV}{dt} + \frac{V}{t^2}$$

Le débit a été calculé à l'aide de la formule

$$\frac{dF_L}{dt} = \frac{Q}{2dQ} + \frac{d}{dQ} + \frac{d}{dAP} + 3 \frac{H}{dH}$$

suivant : L'accélération terrestre  $g$  et la largeur du canal étant constantes, on peut écrire l'erreur relative commise sur  $F_L$  comme

$$F_L = \frac{\Delta p}{g \cdot \frac{d}{H^3}}$$

La loi régissant le phénomène d'aspiration limite dans le cas d'une fente a pour expression :

Cas d'une fente :

VII-2-2) ESTIMATION DES INCERTITUDES:

$C$  dépend de la construction du siphon.

$$(6-6) \quad C = b + p$$

$$F_L = k \left[ 1 + \frac{H}{C} \right]^n \quad ; \quad C : \text{distance entre la bouche et le pied du siphon.}$$

On remarque que  $b+p$  est la distance entre la bouche et le pied du siphon, on peut arranger notre formule en l'écrivant sous la forme :

$$\Rightarrow \frac{dV}{V} = \frac{dL}{L}$$

D'où :

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dL}{L} + \frac{dt}{t}$$

Si nous considérons que nous commettons une erreur de 0,5 cm sur L due à la lecture et au deversement du liquide lors le versement dans la burette et si on considère t=0,5 s une erreur due au déphasage. L'arrêt du chronomètre et le retraitage du seau, on aura enfin :

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{0,5}{L} + \frac{0,5}{t}$$

La densité a été calculé comme nous l'avons déjà exposé dans la partie expérimentale à partir des pesées d'échantillons d'eau salée à l'aide d'un picromètre et d'une balance analytique :

$$\rho = \frac{m}{100} \quad (m \text{ étant la masse d'échant d'eau salée}).$$

D'où : L'incertitude relative sur  $\rho$  est :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dm}{m} \quad (\text{si nous considérons que :})$$

L'incertitude absolue dm sur cette masse m est 0,5g (du par exemple un dépôt de sel dans le fond des bouteilles utilisées pour prendre l'échantillon et aux erreurs de la balance, nous parvenons à écrire :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{0,5}{m} \quad \text{or : } m = 100\rho$$

Donc :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{0,5}{100\rho} = \frac{1}{200\rho}$$

La différence de densité :

$$* \Delta\rho = \rho - 1 \quad \text{d'où :} \quad d(\Delta\rho) = d\rho$$

$$\Rightarrow \frac{d(\Delta\rho)}{\Delta\rho} = \frac{d\rho}{\Delta\rho} = \left( \frac{\rho}{m} \right) \frac{0,5}{\Delta\rho}$$

Or :

$$m = 100\rho$$

$$\Rightarrow \frac{d(\Delta\rho)}{\Delta\rho} = \frac{0,5}{100\Delta\rho} = \frac{0,5}{100(\rho-1)} = \frac{1}{200(\rho-1)}$$

\* Incertitude sur la hauteur limite :

$$H = h + C \quad \begin{array}{l} \text{( h : cote maximale de l'interface )} \\ \text{( C : correction qu'on a apporté à h)} \end{array}$$

$\Rightarrow dH = dh + dC$ . si nous prenons  $dC = C$  ( la correction elle-même )

et  $dh = 0,5 \text{ cm}$  dû à la lecture et à l'aseillation de l'interface :

On aura :

$$\frac{dH}{H} = \frac{0,5}{H} + \frac{C}{H}$$

ainsi la formule d'erreur totale peut être énoncée comme suit :

$$\frac{dH}{F_L} = \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{t} \right] + \frac{1}{200} \left[ \frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho-1} \right] + \frac{1,5+3c}{H}$$

H : charge limite en cm.

t : temps en seconde.

L : longueur du liquide dans la burette en (cm).

$\rho$  : densité d'eau salée sans unité.

Si nous prenons comme exemple le cas le plus défavorable, celui de l'expérience 8 pour laquelle le point paraît un peu plus éloigné que les autres.

$$L = 70,0\text{cm}, \quad t = 19'91, \quad H = 9,8\text{cm}.$$

$$\rho = 1,0184, \quad F_L = 0,046, \quad C = 0,1\text{cm}.$$

$$\frac{dF_L}{F_L} = 0,52 \Rightarrow F_L = 0,046 \pm 0,024$$

$$F_L = \epsilon [0,070, 0,022]$$

Donc :  $F_L=0,061$  est bien dans le domaine, ceci est le calcul d'erreurs systematique sans tenir compte des erreurs accidentelles, qui donnent lieu carrément à des points erronés.

Nous avons élaboré ce calcul, afin de montrer la délicatesse de l'expérience tel que nous l'avons réalisé, malgré cette délicatesse, les points de la courbe paraissent bien proches de celle-ci.

Cas du siphon :

Le même raisonnement et les mêmes estimations conduisent à donner l'expression suivantes des incertitudes relatives :

$$\frac{dFL}{FL} = \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{t} \right] + \frac{1}{200} \left[ \frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho-1} \right] + \frac{2,5 + SC}{H}$$

Dans ce cas, ce sont, l'incertitude commise sur H et celle commise sur  $\rho$  et surtout  $\Delta\rho$  font atteindre l'incertitude relative sur FL même à 100%.

REMARQUE :

Ce calcul ne représente pas les erreurs réellement commises lors de nos expériences, mais il donne une idée sur l'incertitude maximale qui accompagne nos résultats ; dans, un calcul d'incertitude représente pour l'expérimentateur l'espace de tolérance sans que celui-là n'ait commis autant d'erreurs que le calcul l'indique.

IV - 2 - 3 POSITION DE L'INTERFACE ET COMMENTAIRE :

L'allure que prend l'interface dans le cas d'une fente paraît correspondre aux considérations théoriques, en effet, la dépression créée par l'ouverture de la fente engendre des vitesses importante près de celle-ci par contre, son rayon d'influence paraît très faible, ce qui engendre généralement une allure parabolique très accentuée près de la fente.

Elle est parallèle à l'horizontale vers l'amont du canal en raison de la faiblesse du rayon d'influence, ce rayon est agrandi en augmentant le débit, c'est à dire, créer une ouverture plus grande.

Dans le cas du siphon, le maximum de l'interface se déplace tantôt vers la gauche, tantôt vers la droite selon la variation du débit ; nous avons remarqué que l'interface a une allure relativement perturbée (montée et descente), ceci est expliquée par les vitesses importantes créées sur l'interface par la dépression engendrée par le siphon, le rayon d'influence dans ce cas, est beaucoup plus important.

#### IV - 2 - 4 LOIS DE L'ASPIRATION LIMITE ET COMMENTAIRE :

##### a) Cas de la fente :

Le résultat que nous avons trouvé correspond exactement à la théorie :

$$\frac{q^2}{g \cdot H^3} = FL = \text{cste} \quad (0,2 < \frac{b}{H} < 0,4)$$

Avec  $FL=0,061$  cette valeur paraît faible devant celles correspondantes aux cas de  $\frac{b}{H} = \infty$ ; ceci est dû aux pertes de charges causées par le rapprochement du fond de la fente.

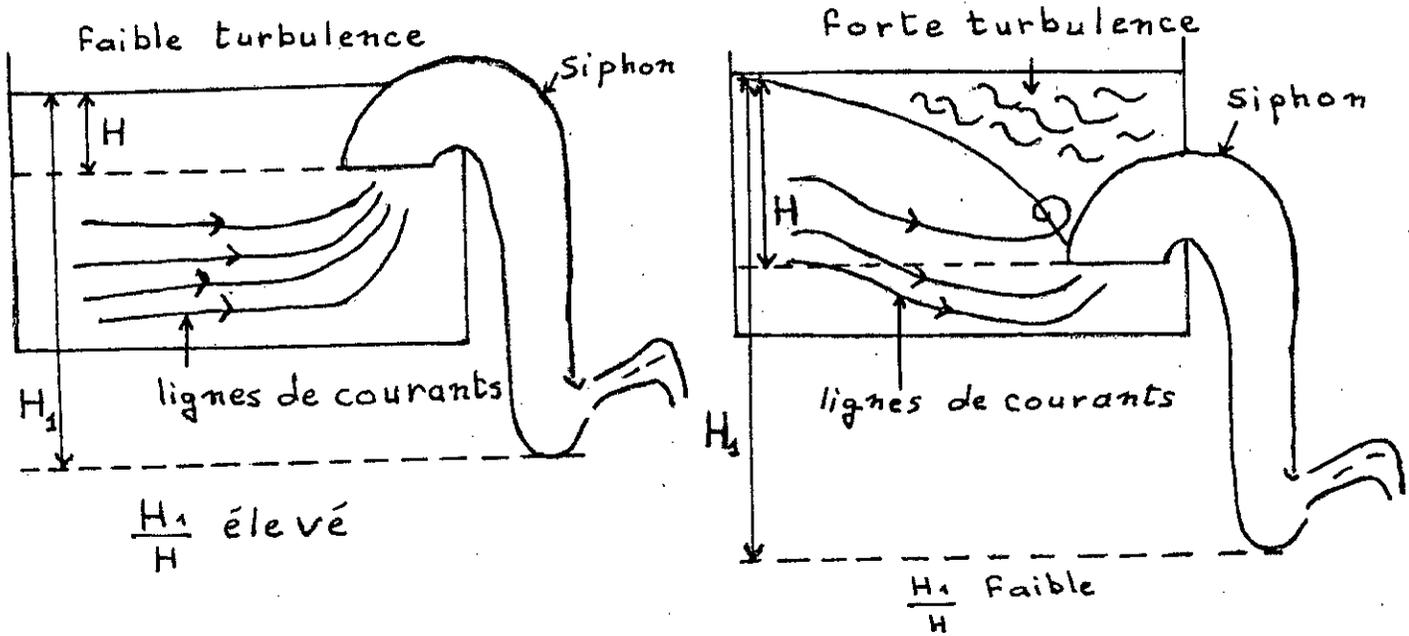
Ainsi, on peut tirer le coefficient de rabattement et le coefficient de correction d'énergie cinétique.

### Cas du siphon :

Les formules trouvées indiquent que le coefficient adimensionnel de proportionnalité entre le débit est la charge  $(Fr)$  ; est fonction de la charge relative d'eau salée au dessus du siphon ,il croit lorsque celle-ci croit et diminue si

$\left[ \frac{H_1}{H} \right]$  diminue. En effet, chaque particule dans le fluide est soumise à une dépression exercée par le siphon est égale à la différence de cote entre la surface de l'interface considérée comme surface libre, soumise à une accélération  $g'$ ) et le pied du siphon comme si le fluide inférieur était tout seul ; d'autre part, lorsque  $\frac{H_1}{H}$  augmente, la bouche du siphon s'éloigne du fond ainsi les pertes de charges diminuent, les courant plongent assez facilement dans la bouche du siphon (Fig. 6-1) sans s'incurver; lorsque le rapport  $\frac{H_1}{H}$  est faible, cela veut dire que la dépression exercée par le siphon est faible et que la distance de sa bouche au fond est petite ce qui augmente les pertes de charges et obligent les lignes de courant à s'incurver afin de plonger dans sa bouche, alors qu'une grande partie d'entre eux frappent sur la paroi du siphon et reviennent pour frainer les autres lignes de courant, c'est à dire, on a dans ce cas création d'une couche freinante.

SCHÉMAS



fig(6-4)

VI - 3 - EFFICACITE DU SIPHON :

VI - 3 - 1 Comparaison du siphon avec les autres organes de prise :

L'homogénéisation de tous les paramètres lors d'une comparaison est nécessaire.

Le paramètre fondamental dans le soutirage sélectif par un siphon est la constante  $\frac{C}{H}$ .

C : distance entre le pied et la bouche du siphon

(Voir formule 6-6)

$Fr = k \left( 1 + \frac{C}{H} \right)^n$ , ce résultat peut être alors étendu

au cas d'un siphon dont le pied est supposé au niveau du fond

du canal (Fig. 6-5), dans ce cas et par conséquent :

$$\frac{b}{H} = \frac{c}{H}$$

SCHEMA

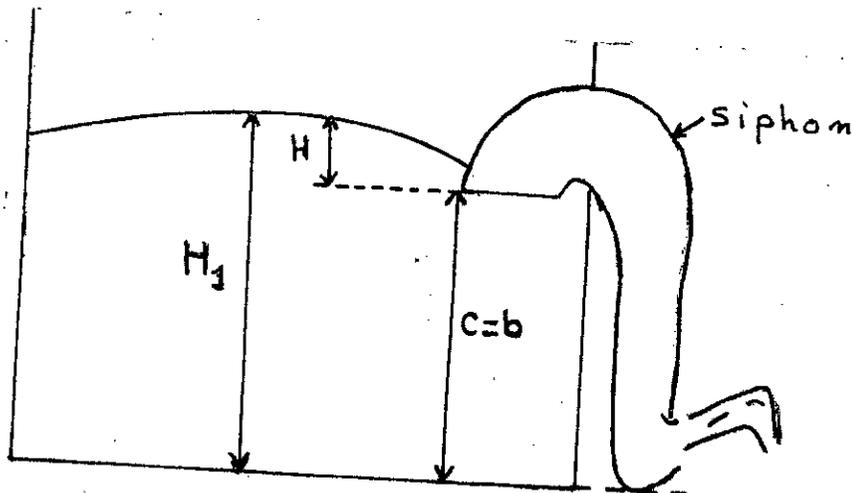


Fig (6-5)

La formule (6-6) peut alors s'écrire :

$$Fr = k \left( 1 + \frac{b}{H} \right)^n ; (b=c)$$

Nos résultats ont été alors établis pour :

$$1,3 < \frac{b}{H} < 8.$$

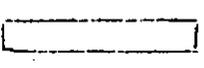
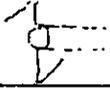
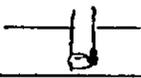
Comparé aux autres recherches, on peut considérer que dans ce cas notre résultat est vrai dans l'infini, et ceci dans le but d'effectuer une comparaison avec les résultats de M<sup>r</sup>. CRAYA et GARIEL.

qui considèrent :  $\frac{b}{H} = \omega$  lorsqu'en moyenne  $\frac{b}{H} \approx 10$  [2].

et de même dans les autres recherche  $b/H$  est considéré égale à  $\omega$  dès qu'on s'éloigne suffisamment de  $b/H = 1$

Si nous reportons les résultats trouvés jusqu'à maintenant et appliqués à notre modèle dans un tableau récapitulatif, on remarquera très facilement que dans le cas de  $\frac{b}{H} = \omega$  ;

le siphon est largement plus efficace que les autres prise.

				
	fente rectangulaire	prise cylindrique horizontale	prise cylindrique verticale	siphon
b	$F_T = 2,31$	$F_T = 6,49$	$2,2 < F_T < 14,5$	$F_T = 139$ ( $\frac{b}{H} = 7$ )
-		(?) conditions non homogènes avec notre cas		$F_T = 308$ ( $\frac{b}{H} = 8$ )
H				$F_T = \infty$
=				$b/H = \infty$
$\infty$				

-Le graphe ajoute dans l'annexe schématise ces résultats et donne une idée plus claire sur l'efficacité remarquable du siphon dans le soutirage sélectif.

-Le résultat donné pour la prise cylindrique est utilisée avec prudence dans l'absence de tout autre résultat homogène avec les conditions de notre expérience.

-Comme les formules le montrent et le confirme le tableau et le graphe : il existe une zone d'efficacité absolue du siphon dans laquelle le siphon est le meilleur organe de prise.

-Il faut cependant avouer qu'une comparaison exacte est assez difficile, si ce n'est impossible à cause de la différence des conditions d'expériences.

Remarque: N'oublions toujours pas que nous avons considéré un cas assez probable dans la prise circulaire situé sur le plan vertical en l'absence des résultats pratiques jusqu'à maintenant.

### VI 3-2) Condition d'efficacité:

Nous essayerons de donner ci-dessous le facteur essentielle pour l'amélioration de l'efficacité du siphon.

Si nous adaptions le schéma de la (Fig 6-2); la formule (6-6) ; montre que :  $F_T$  croit si et seulement si  $\frac{C}{H}$  croit . pour que le siphon soit

très efficace c'est à dire ( $F_T$  très important) ; il suffit alors

de croître le rapport  $\frac{C}{H}$  , autrement dit augmenter C et diminuer H.

Ceci se traduit en réalité comme suit: pour avoir un siphon très efficace il suffit que :

-La distance entre sa bouche et son pied soit assez grande et que la bouche du siphon soit située près de l'interface. La deuxième condition traduit le fait q'une meilleure connaissance de la position de l'interface (du débit Q et de  $\Delta\rho/\rho$  )

peut favoriser les conditions de soutirage.

Enfin la zone d'efficacité absolu montrée par le (graphe3) indique qu'il suffit d'avoir:  $\frac{C}{H} > 5$  pour atteindre un coefficient  $F_T$  très

satisfaisant relativement aux autres prises

En conclusion, nous dirons que si on respecte les conditions précédemment énoncées on parviendra au meilleur soutirage sélectif qui soit effectué jusqu'à présent

## VI.5- RECOMMANDATIONS :

---

Il est certainement impossible de cerner tout le problème de soutirage et surtout, dans un état prématuré comme c'est le cas pour le siphon. C'est pour cela d'ailleurs, que nous considérons cette étude comme une modeste contribution dans l'étude de ce problème. Mais, il est évident que le temps que nous avons passé dans son élaboration, nous a permis de dégager des réflexions sur l'amélioration de l'expérience, sur les perspectives d'une étude théorique sur la méthode et le domaine d'application et de pratique, et évidemment, des idées diverses sur le soutirage sélectif et ses applications. Tout cela, a fait l'objet des recommandations que nous présentons ci-dessous.

- a) - Sur le plan de l'expérience : Afin d'améliorer les résultats expérimentales, nous recommandons :
  - a.1) L'utilisation d'un canal de dimensions plus grandes par exemple : la largeur soit égale à la profondeur, ce qui traduit plus la réalité des choses.
  - a.2) L'utilisation d'une gamme de densité plus vaste que la notre .
  - a.3) Installer le tuyau d'alimentation sur le fond du canal "amont" au lieu qu'il soit sur la paroi verticale "amont" et ceci, pour diminuer les perturbations de l'interface à l'amont du canal et permettre une meilleure estimation de  $(H)$ .
  - a.4) Utiliser une série de siphons au lieu d'un seul.
  - a.5) Utiliser un densimètre type aréomètre, afin d'éviter les pesées et les manipulations d'échantillons, car on a vu que le promètre  $(\Delta \rho)$  est une source très importante lors expérience.
  - a.6) Utiliser un tube de "Pilot" dans l'estimation de la vitesse à l'interface.

b) Sur le plan théorique :

b.1) Essayer d'élaborer un modèle mathématique qui pourra, plus ou moins faciliter le calcul qui ne peut se faire qu'en passant par l'expérience.

Par exemple : si on suppose que  $\frac{V^2}{2g'} \ll H$

On pourra alors, l'estimer comme nous l'avons fait par

$$\text{par : } \frac{V^2}{2g'} = \frac{Q^2}{2g' (h+b)^2 l^2}$$

en remplaçant dans l'équation de l'interface, on aura :

$$h + \frac{Q^2}{2g' (h+b)^2 l^2} = H \Rightarrow h (h+b)^2 + \frac{Q^2}{2gl^2} - H \cdot h = 0$$

pour un débit (P) fixe et une distance (b) du fond au plan de référence.

Ceci représente l'équation de l'interface qui est alors de la forme :

$$a'h^3 + b'h^2 + c'h + d' = 0$$

L'interface correspondant à un (CH) , bien déterminé peut être alors tracée l'allure de l'interface.

b.2) Essayer d'étudier la pression, en commençant par établir son profil,

car en fait, le problème de la position de l'interface revient à chercher la position de la pression qui l'équilibre dans l'eau douce.

b.3) Etudier en détail la forme des lignes de courants au voisinage du siphon, afin d'améliorer la forme de la bouche de celui-ci.

c) - Sur le plan d'application :

Il est certainement pas de notre sujet, ni a notre moyen de donner une conception complète du siphon de soutirage, mais nous pourrons donner les premières perspectives et méthodes de son application.

c.1) Nous avons déjà dit qu'une étude préliminaire du courant de densité ou alors du comportement général de la couche sélectionnée au soutirage est nécessaire. Ceci étant fait, le siphon est incorporé dans le corps du canal en irrigation, sur la paroi d'un bassin ou généralement, proche de l'écoulement, sa bouche doit être assez proche de l'interface prévue, son seuil un peu au dessus du plan d'eau douce. Une fois la crue vient, il se produit un courant de densité élevant ainsi le niveau d'eau au dessus du seuil et provoquant le désamorçage du siphon. La bouche plongée dans le courant de densité à la position initialement prévue commence à soutirer l'eau salée (ou turbide). Le siphon servira dans ce cas de déversoir et de moyen de soutirage ; la même procédure peut-être suivie en industrie avec une légère modification.

c.2) Une conception sur le chantier, même de pratique, reste toujours recommandée.

c.3) En ce qui concerne la fente ou les vannes de fond, une étude de position et de l'ouverture demeure souhaitable, afin qu'elles soient plus efficace dans le soutirage.

c.4) Utiliser le soutirage sélectif dans les canaux d'irrigation, en concevant un siphon de soutirage et en étudiant les conditions particulières du canal. Ceci peut lui donner une durée de vie plus longue.

c.5) Essayer d'utiliser des sites qui contiennent une pente, afin de donner au courants de densité plus de vitesse, ceci améliore notablement le rendement du soutirage, surtout que l'interface dans ces cas, est très sensible à la variation de pente.

VI. - 6 - MORALE :

Durant toutes les expériences, un sentiment d'admiration du phénomène et de témoignage sur la force du Créateur qui a voulu que ce phénomène de séparation de couche de fluide existe et reflète une réalité de distinction dans ce monde.

Ce phénomène restera l'une des plus belles images de distinction s'ajoutant à d'autres : la distinction entre le bien et le mal, celle entre les lumières et les ténèbres, celle entre la mécréance et la croyance.

- Au nom de Dieu Clément Miséricordieux - " C'est lui qui laisse libre cours au deux mers confluentes, celle-ci, à l'eau agréable au goût et très douce, celle-là, à l'eau salée et amère Il a établi entre les deux, une barrière, qu'il impose en zone infranchissable".

( Sourate " La distinction", verset (53). )

\*\*\*BIBLIOGRAPHIE\*\*\*

- (1): A-CRAYA : -Recherches théoriques sur l'écoulement des couches superposées de fluides de densités différentes -La Houille Blanche - Janvier ,Février 1949,-P 44
- (2): P -GARIEL: -Recherches expérimentales sur l'écoulement de couches superposées de densités différentes -La Houille Blanche Janvier , Février 1949 .
- (3): A-DAUBERT : "Le soutirage sélectif dans deux couches de liquides superposées de densités voisines" Bulletin du centre de recherche et d'essais de CHATOU, N° 4-1963
- (4): D.R.F HARLEMAN : "Sélective withdrawal from a vertically stratified fluid" 8ème congrès de l'AIRH  
A.L MORGAN Montréal ,Aout 1959, communication 100  
R.A PURPLE étude expérimentale
- (5): Ministère de : Technique des barrages en aménagement  
l'agriculture rural  
direction de l'aménagement
- (6): HUG : Mécanique des fluides appliquée
- (7): Léliavsky : Design text books in civil engineering  
( Vol 2 )
- (8): Yeo un-choll : Research and utilisation of syphon  
spillway .
- (9): LAPRAY : Siphon à débit constant

# ANNEXE

A - Graphes :

- \* Graphe 1 : Loi d'aspiration par une fente
- \* Graphe 2 : Loi d'aspiration par un siphon
- \* Graphe 3 : Comparaison de l'efficacité du siphon avec les autres prises

B - Exemples de visualisation de l'interface :

cas d'une fente : exper N° ( 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.  
12.13.14.15.16.17.18.)

cas d'un siphon : expr n° ( 1.2.3.4.5.6.9.10.11.25)

C - Photos :

Photo 1: Visualisation de l'interface (dans le cas d'une fente)

Photo 2: Visualisation de l'interface (dans le cas d'une fente)

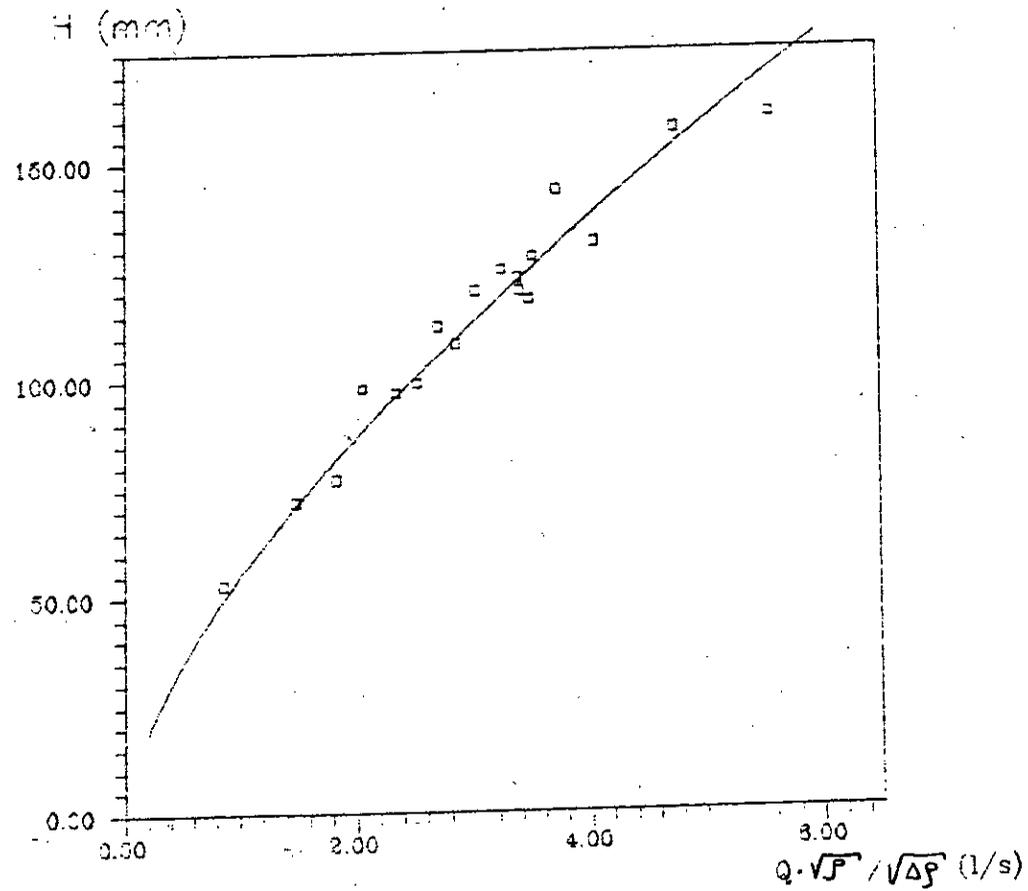
Photo 3: Soutirage sélectif par une fente

Photo 4: Soutirage sélectif par une fente

Photo 5: Soutirage sélectif par une fente

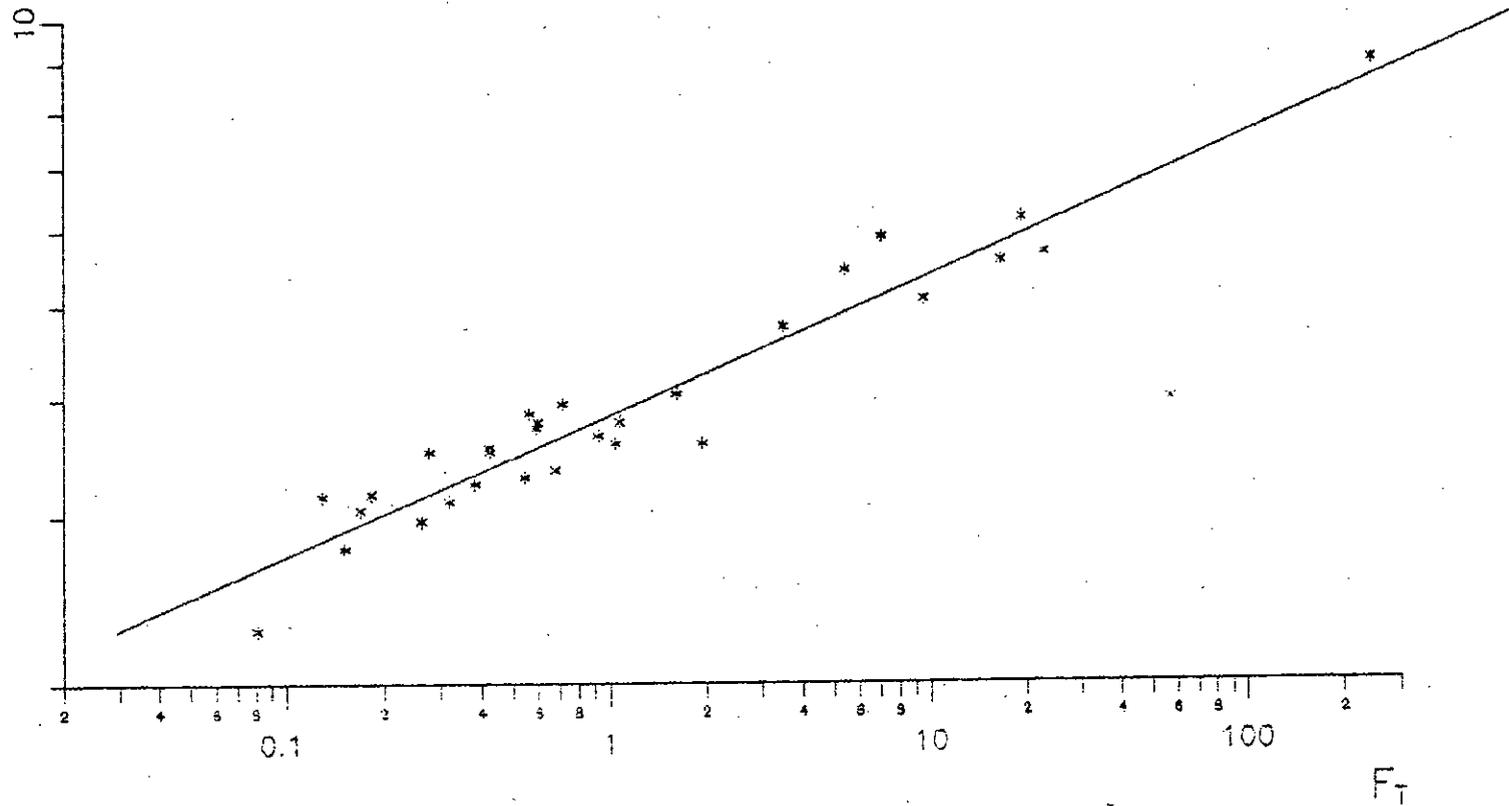
Photo 6: Aspiration limite et visualisation de l'interface dans le cas d'une fente.

# A- GRAPHERS



Graph 1 Loi d'isoirration limite pour une fente.  
 (  $0.2 < b/H < 0.4$  )

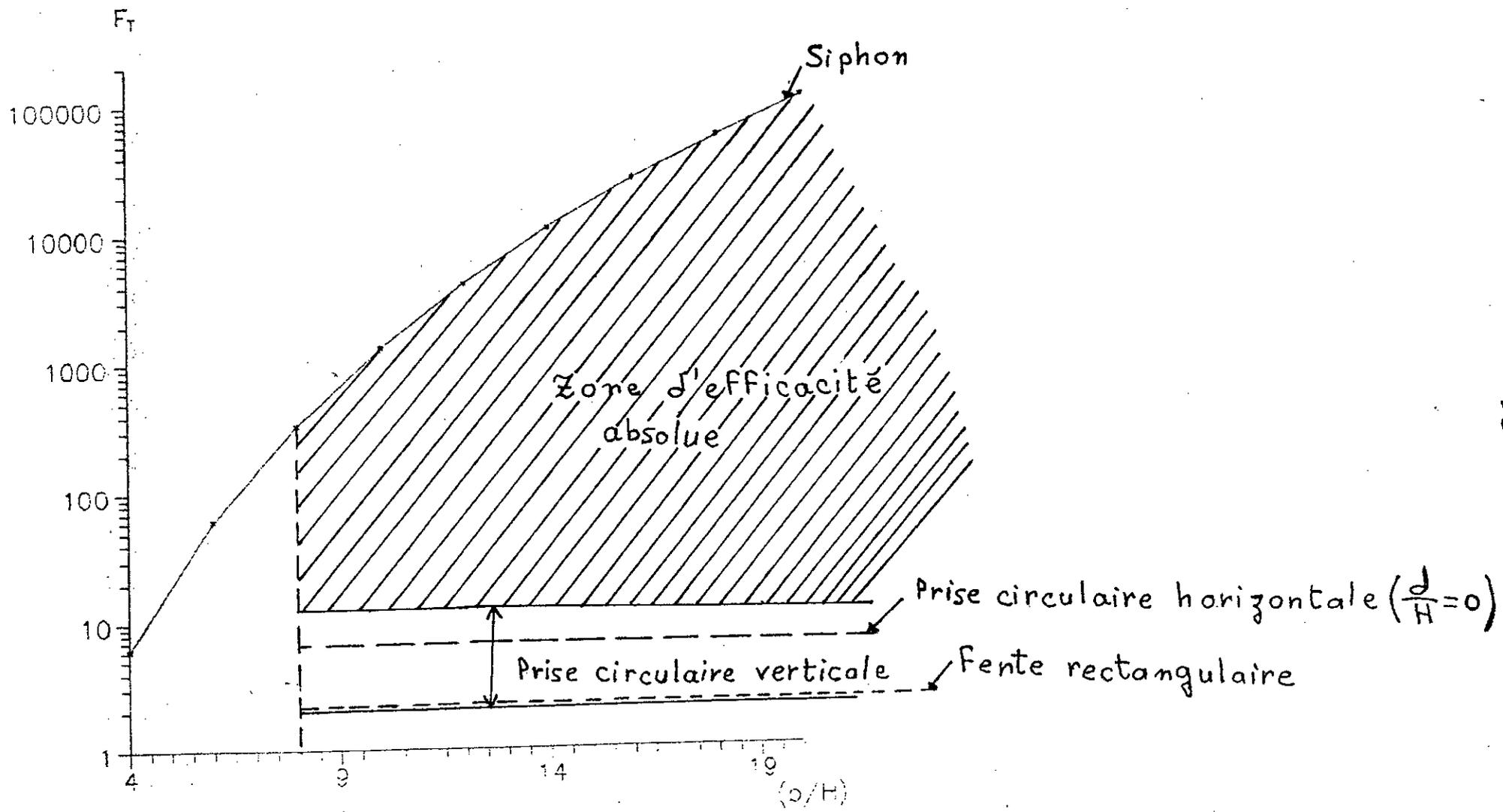
$(H_1/H)$



Graphe 2 : loi d'aspiration limite par un siphon

$$F_T = k.(H_1/H)^n$$

$k = 0.0001; n = 6.8$

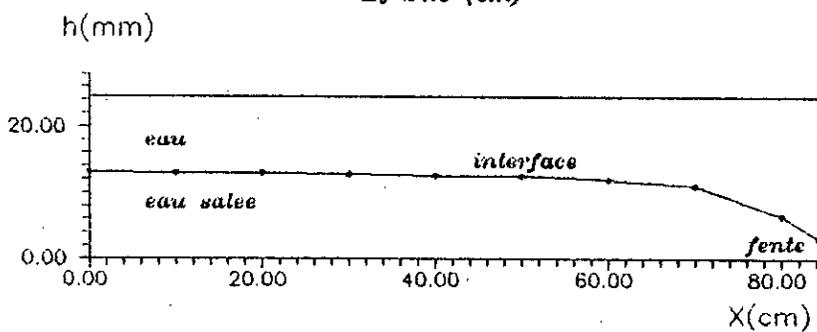


Graph 3 : comparaison de l'efficacité du siphon avec les autres prises

B- Exemples de  
Visualisation  
de  
L'interface

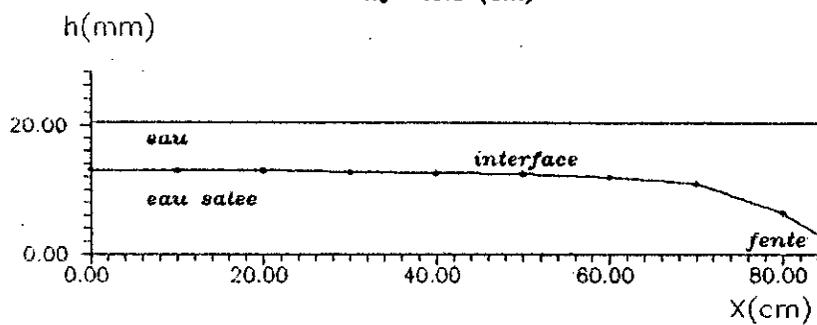
experience N° 1

$Q = 0.476$  (l/s)  
 $d = 1.0200$   
 $b/H = 0.21$   
 $a/H = 0.025$   
 $H_0 = 24.5$  (cm)



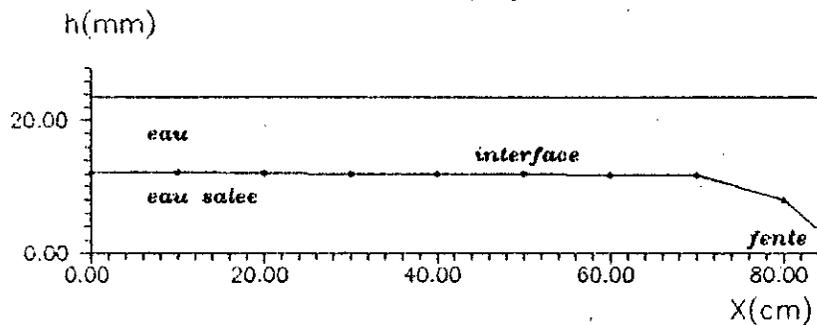
experience N° 2

$Q = 0.398$  (l/s)  
 $d = 1.0200$   
 $b/H = 0.23$   
 $a/H = 0.037$   
 $H_0 = 20.5$  (cm)



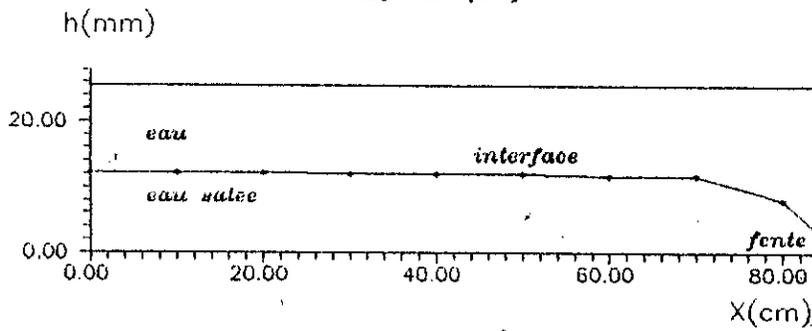
experience N° 3

$Q = 0.527$  (l/s)  
 $d = 1.0400$   
 $b/H = 0.22$   
 $a/H = 0.036$   
 $H_0 = 23.5$  (cm)



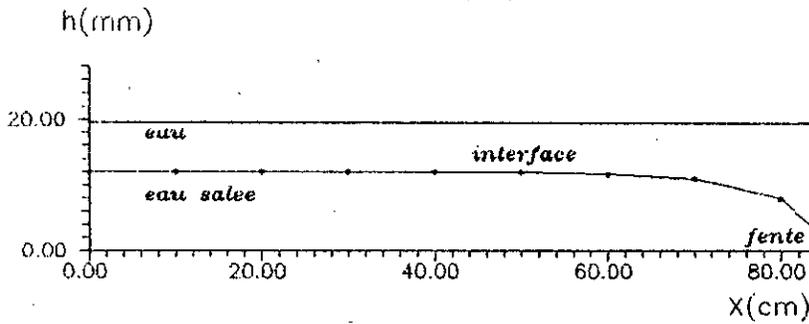
----- experience N° 4

$Q = 0.744$  (l/s)  
 $d = 1.0350$   
 $b/H = 0.19$   
 $a/H = 0.046$   
 $H_0 = 25.5$  (cm)



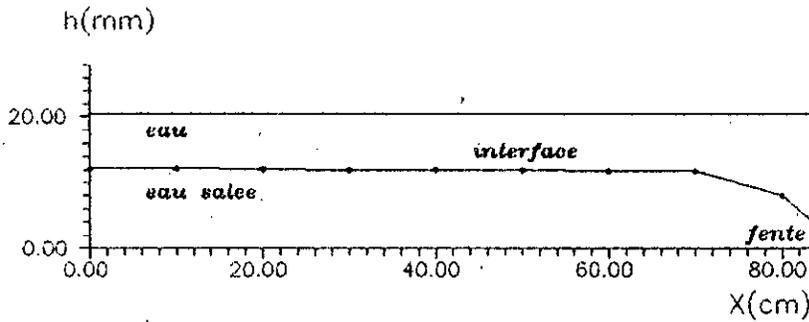
----- experience N° 5

$Q = 0.650$  (l/s)  
 $d = 1.0490$   
 $b/H = 0.21$   
 $a/H = 0.050$   
 $H_0 = 19.5$  (cm)



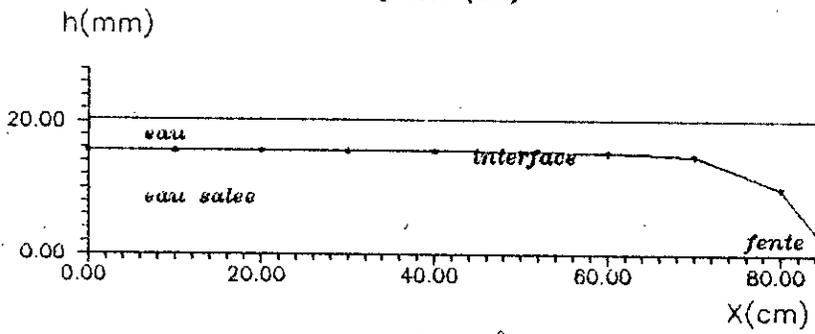
----- experience N° 6

$Q = 0.539$  (l/s)  
 $d = 1.0485$   
 $b/H = 0.25$   
 $a/H = 0.045$   
 $H_0 = 20.5$  (cm)



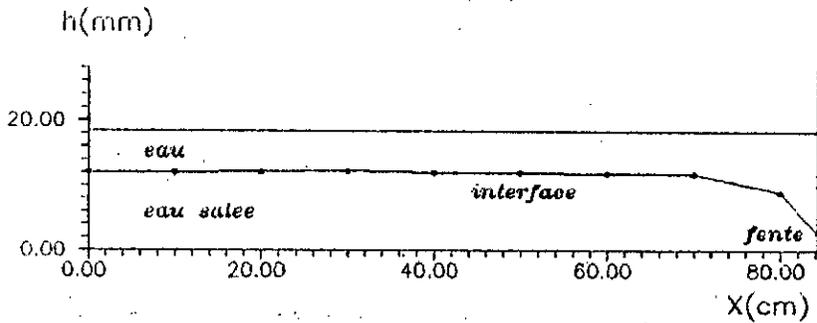
----- experience N° 7

$Q = 0.592$  (l/s)  
 $d = 1.0348$   
 $b/H = 0.20$   
 $a/H = 0.034$   
 $H_0 = 20.4$  (cm)



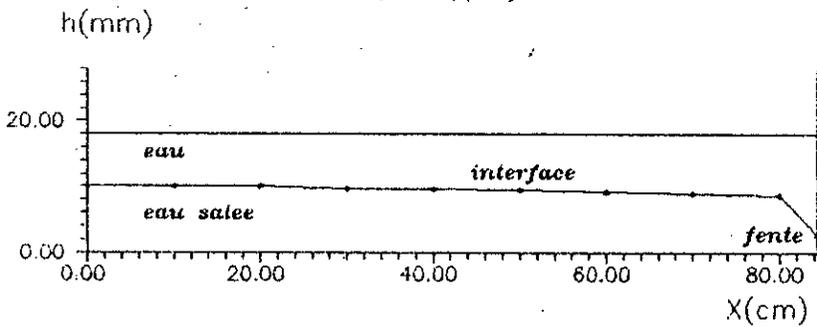
----- experience N° 8

$Q = 0.276$  (l/s)  
 $d = 1.0184$   
 $b/H = 0.25$   
 $a/H = 0.020$   
 $H_0 = 18.5$  (cm)



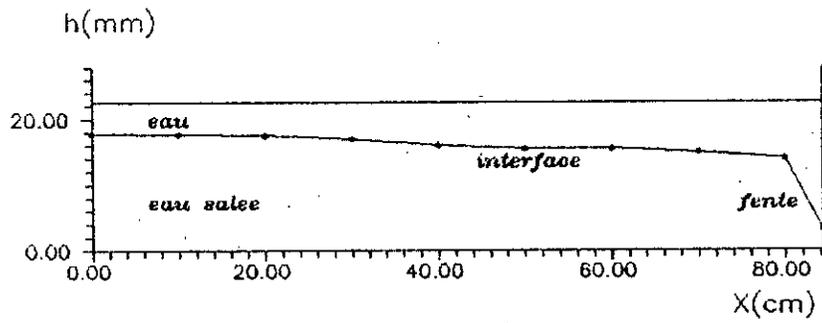
----- experience N° 9

$Q = 0.283$  (l/s)  
 $d = 1.0244$   
 $b/H = 0.32$   
 $a/H = 0.019$   
 $H_0 = 18.0$  (cm)



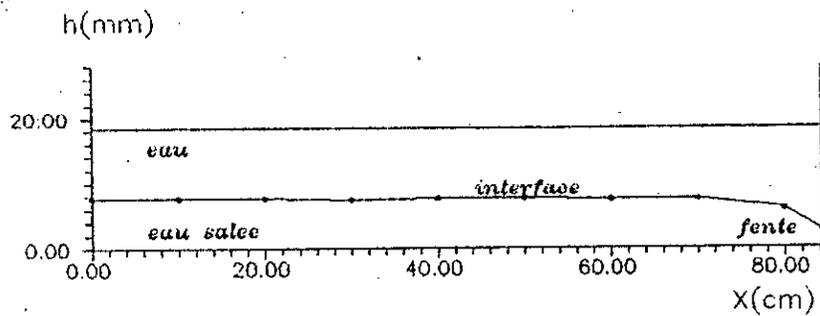
----- experience N° 10

$Q = 0.664$  (l/s)  
 $d = 1.0200$   
 $b/H = 0.16$   
 $a/H = 0.038$   
 $H_0 = 22.5$  (cm)



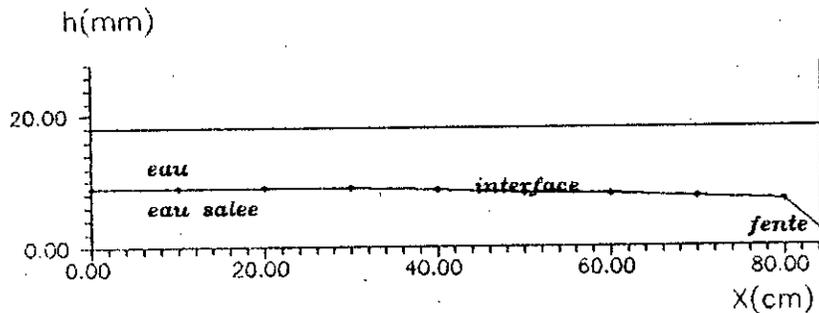
----- experience N° 11

$Q = 0.143$  (l/s)  
 $d = 1.0282$   
 $b/H = 0.47$   
 $a/H = 0.023$   
 $H_0 = 18.5$  (cm)



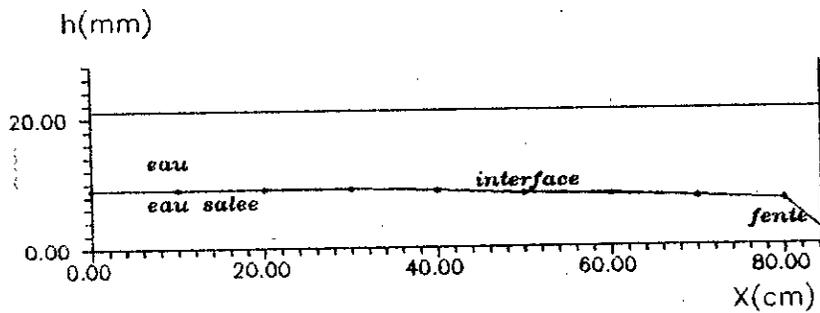
----- experience N° 12

$Q = 0.180$  (l/s)  
 $d = 1.0150$   
 $b/H = 0.26$   
 $a/H = 0.021$   
 $H_0 = 18.0$  (cm)



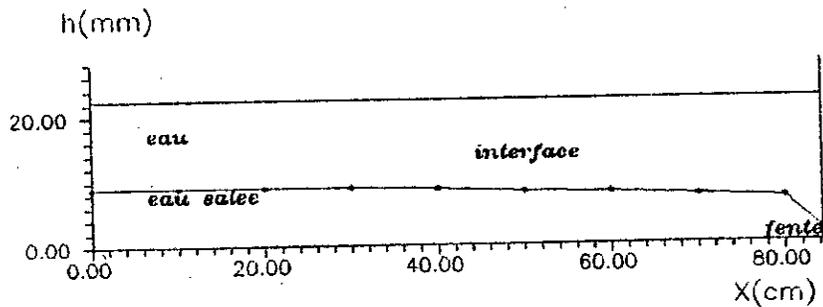
----- experience N° 13

$Q = 0.661$  (l/s)  
 $d = 1.0400$   
 $b/H = 0.20$   
 $a/H = 0.036$   
 $H_0 = 21.0$  (cm)



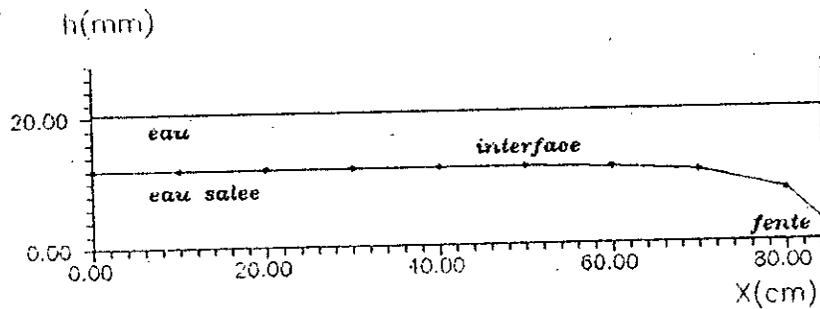
----- experience N° 14

$Q = 1.118$  (l/s)  
 $d = 1.0416$   
 $b/H = 0.16$   
 $a/H = 0.022$   
 $H_0 = 22.4$  (cm)



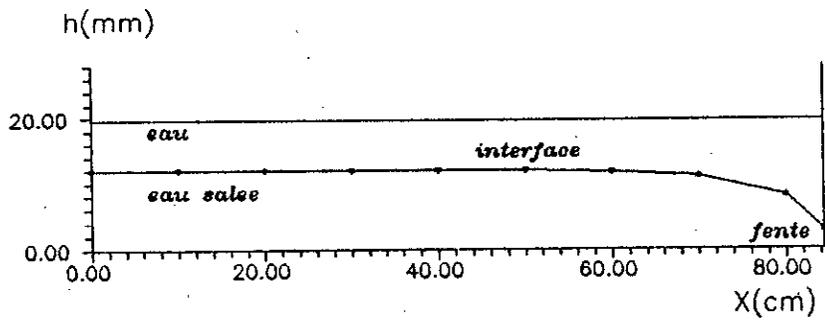
----- experience N° 15

$Q = 0.671$  (l/s)  
 $d = 1.0329$   
 $b/H = 0.17$   
 $a/H = 0.035$   
 $H_0 = 20.5$  (cm)



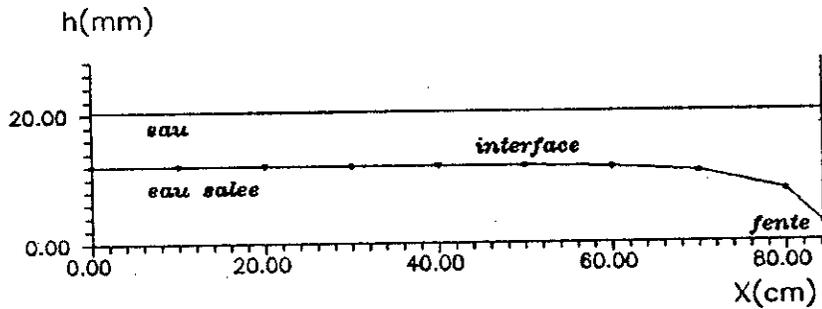
----- experience N° 16

$Q = 0.546 (l/s)$   
 $d = 1.0254$   
 $b/H = 0.21$   
 $a/H = 0.017$   
 $H_0 = 19.7 (cm)$



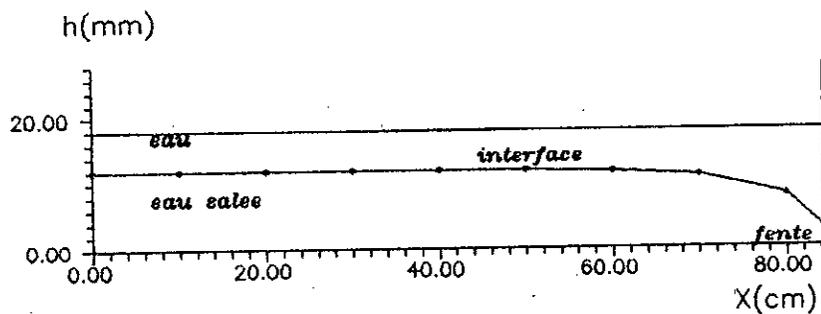
----- experience N° 17

$Q = 0.560 (l/s)$   
 $d = 1.0262$   
 $b/H = 0.20$   
 $a/H = 0.039$   
 $H_0 = 20.4 (cm)$



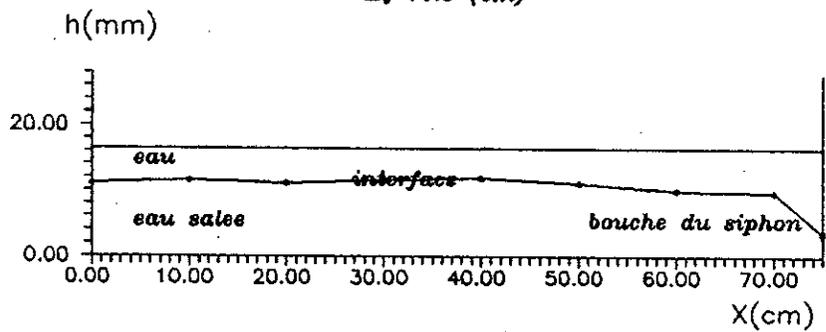
----- experience N° 18

$Q = 0.364 (l/s)$   
 $d = 1.0249$   
 $b/H = 0.28$   
 $a/H = 0.026$   
 $H_0 = 18.0 (cm)$



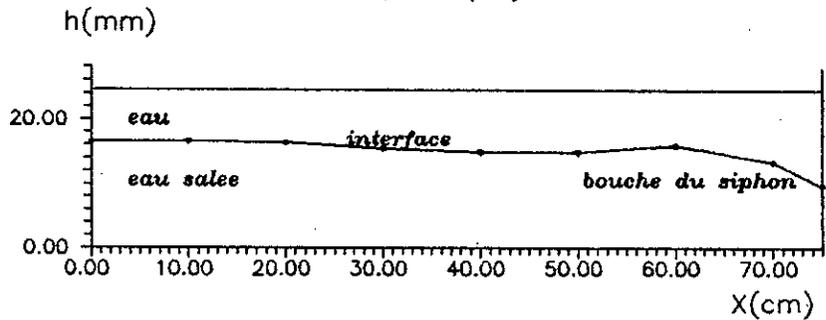
----- experience N° 1

$Q=0.718$  (l/s)  
 $H_1/H=3.12$   
 $F_r=0.319$   
 $d=1.0287$   
 $H_0=16.5$  (cm)



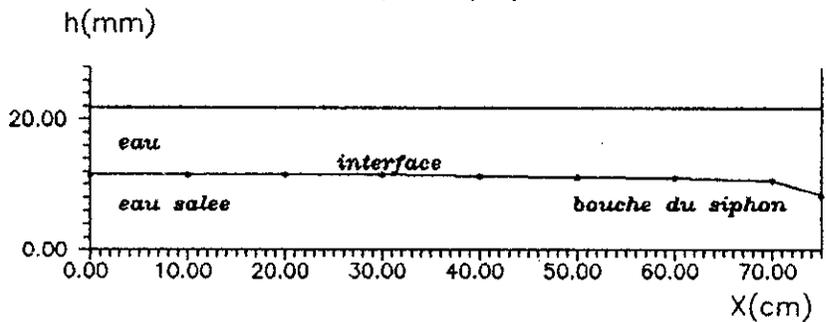
----- experience N° 2

$Q=0.669$  (l/s)  
 $H_1/H=3.65$   
 $F_r=0.920$   
 $d=1.0263$   
 $H_0=24.6$  (cm)



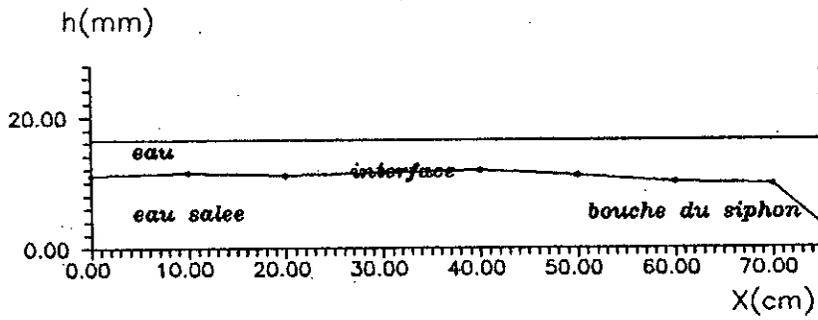
----- experience N° 3

$Q=0.784$  (l/s)  
 $H_1/H=5.66$   
 $F_r=22.885$   
 $d=1.0242$   
 $H_0=21.8$  (cm)



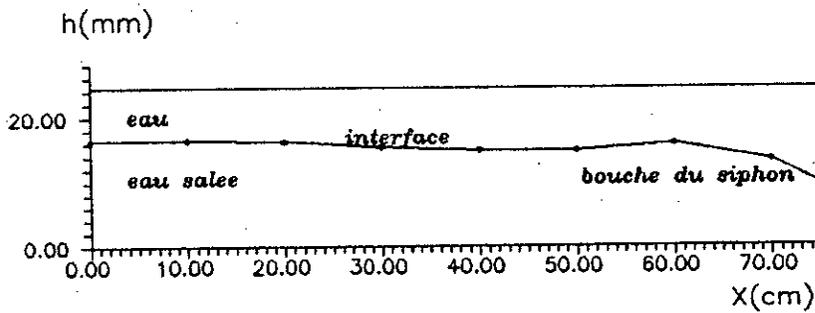
----- experience N° 1

$Q=0.718$  (l/s)  
 $H_1/H=3.12$   
 $F_r=0.319$   
 $d=1.0287$   
 $H_0=16.5$  (cm)



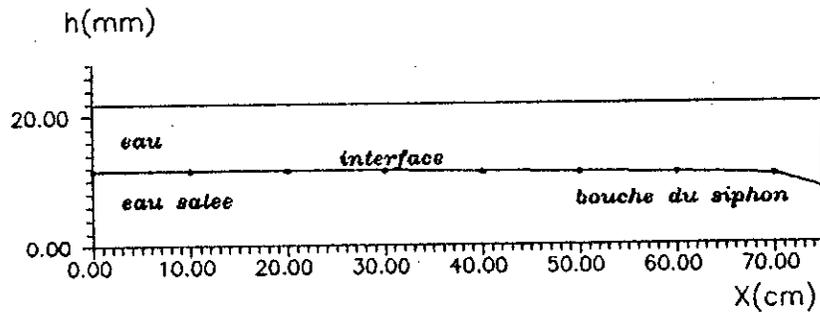
----- experience N° 2

$Q=0.668$  (l/s)  
 $H_1/H=3.65$   
 $F_r=0.920$   
 $d=1.0263$   
 $H_0=24.6$  (cm)



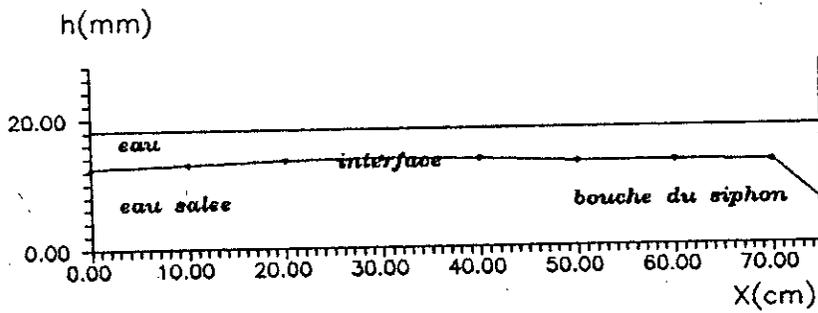
----- experience N° 3

$Q=0.784$  (l/s)  
 $H_1/H=5.66$   
 $F_r=22.885$   
 $d=1.0242$   
 $H_0=21.8$  (cm)



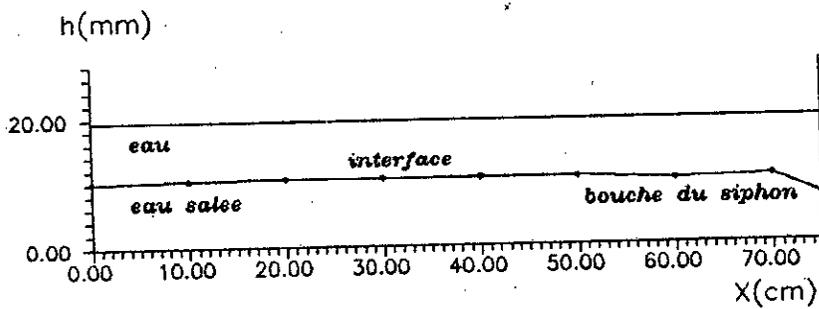
----- experience N° 4

$Q=0.452(l/s)$   
 $H_1/H=3.55$   
 $F_r=0.423$   
 $d=1.0211$   
 $H_0=18.2 (cm)$



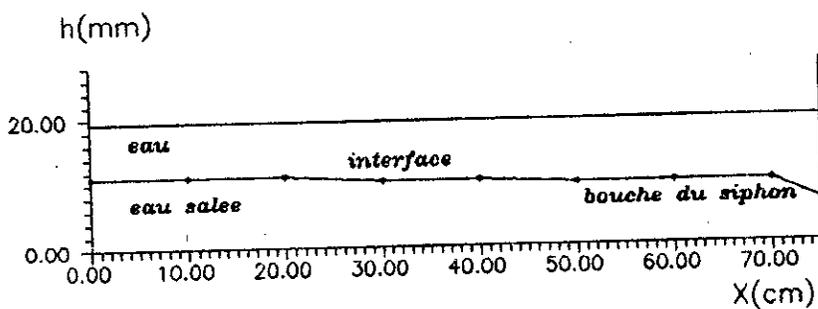
----- experience N° 5

$Q = 0.637 (l/s)$   
 $H_1/H=5.55$   
 $F_r= 16.72$   
 $d=1.0193$   
 $H_0=19.4 (cm)$



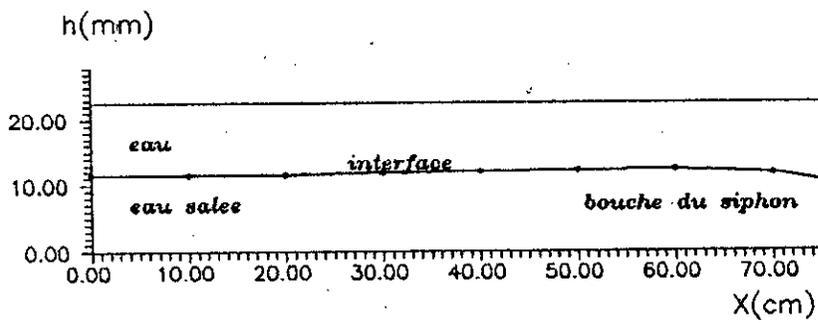
----- experience N° 6.

$Q = 0.450(l/s)$   
 $H_1/H=4.74$   
 $F_r= 3.48$   
 $d=1.0175$   
 $H_0=19.4 (cm)$



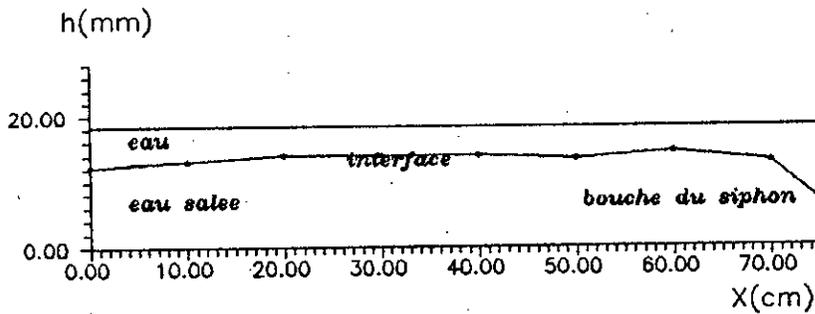
----- experience N° 9

$Q = 0.446(l/s)$   
 $H_1/H = 8.96$   
 $F_r = 247.84$   
 $d = 1.0104$   
 $H_0 = 22.5 (cm)$



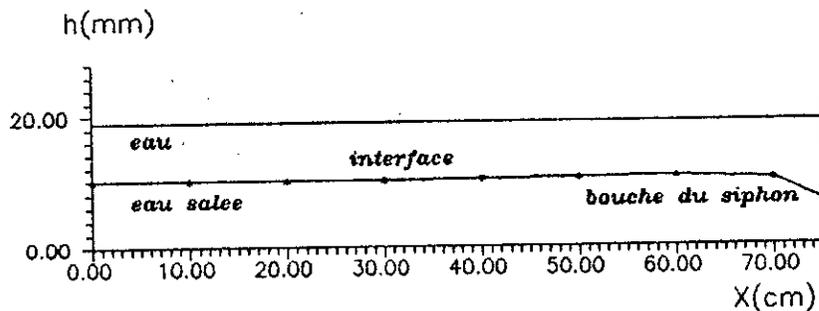
----- experience N° 10

$Q = 0.403(l/s)$   
 $H_1/H = 3.30$   
 $F_r = 0.543$   
 $d = 1.0078$   
 $H_0 = 18.3 (cm)$



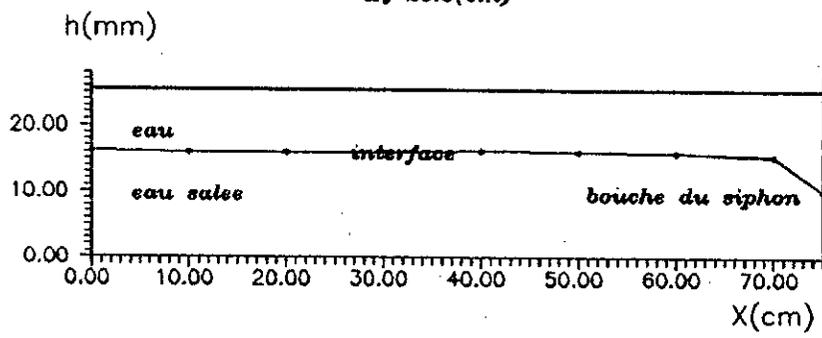
----- experience N° 11

$Q = 0.523(l/s)$   
 $H_1/H = 5.06$   
 $F_r = 9.528$   
 $d = 1.0129$   
 $H_0 = 19.0 (cm)$



----- experience N° 25

$Q = 0.617(l/s)$   
 $H_1/H = 4.03$   
 $F_r = 1.619$   
 $d = 1.0230$   
 $H_0 = 25.5(cm)$



C- Photos :

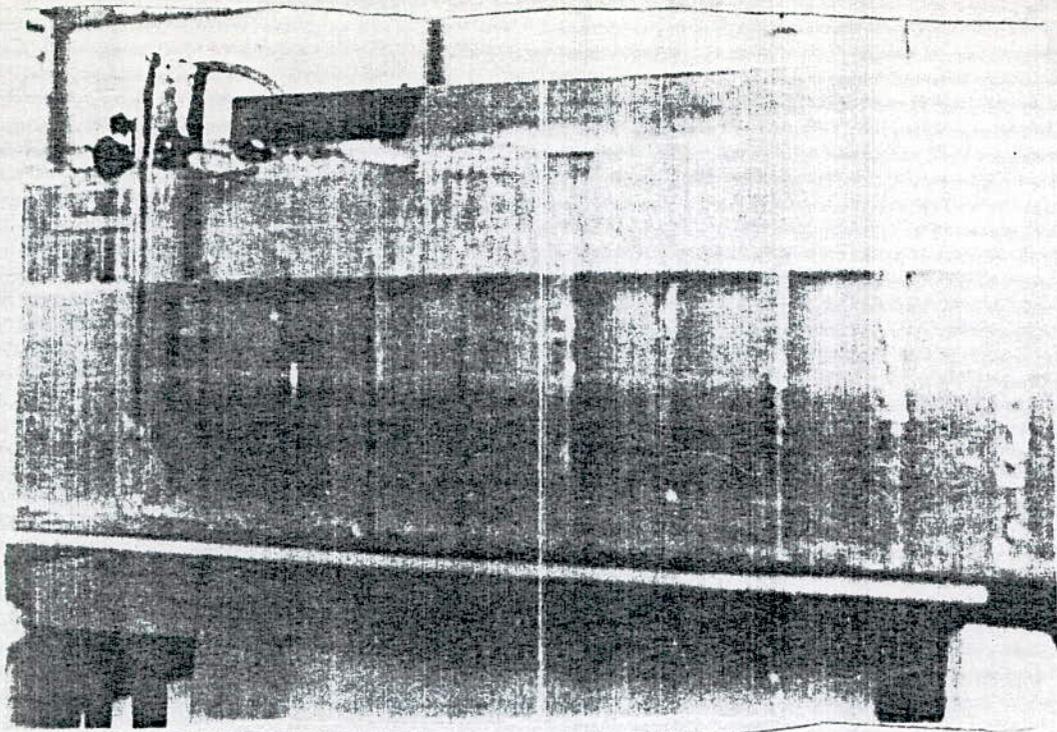


Photo 1 : Visualisation de l'interface  
( dans le cas d'une fente )  
( laboratoire d'Hydrolyque EMP )

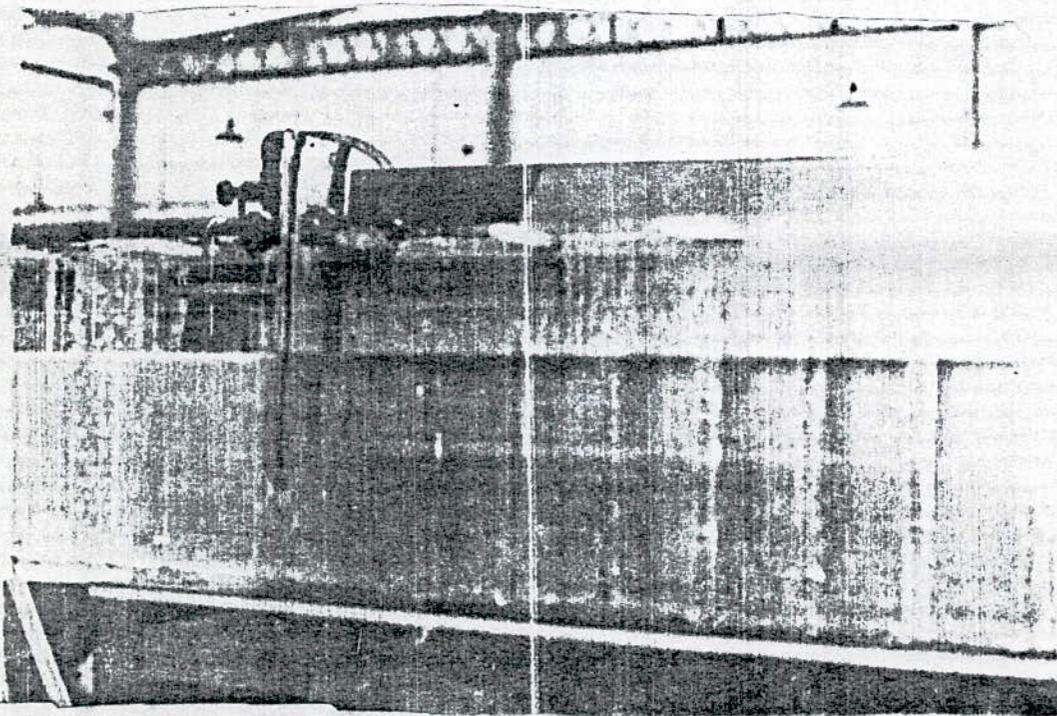


Photo 2 : Visualisation de l'interface  
( dans le cas d'une fente )  
( laboratoire d'Hydrolyque EMP )

Photo 3 : Soutirage sélectif par fente (laboratoire d'Hydraulique ENP)

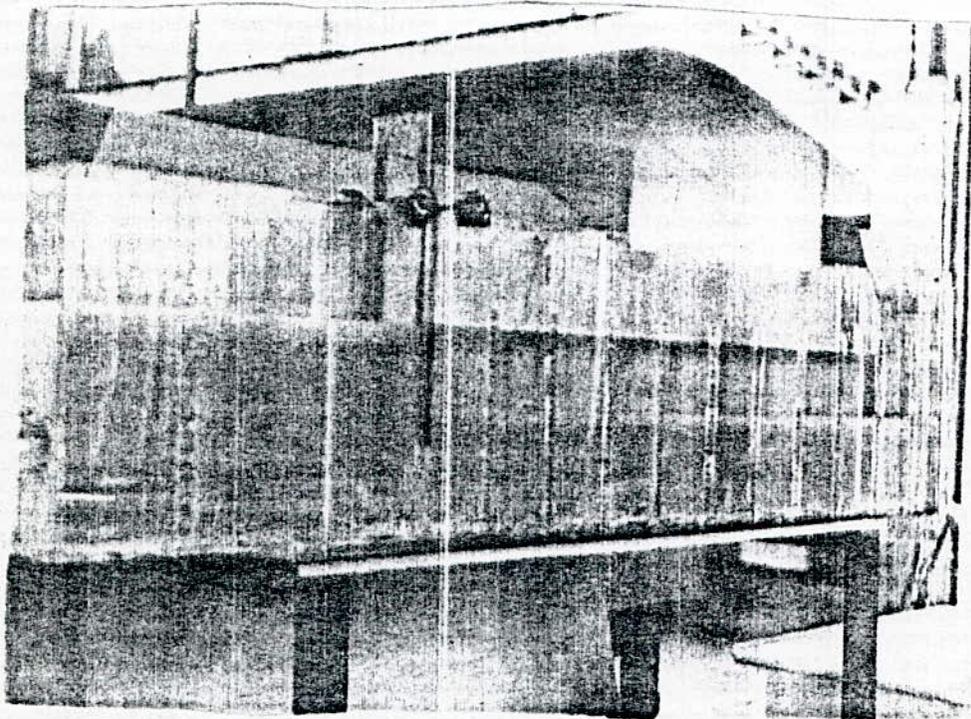
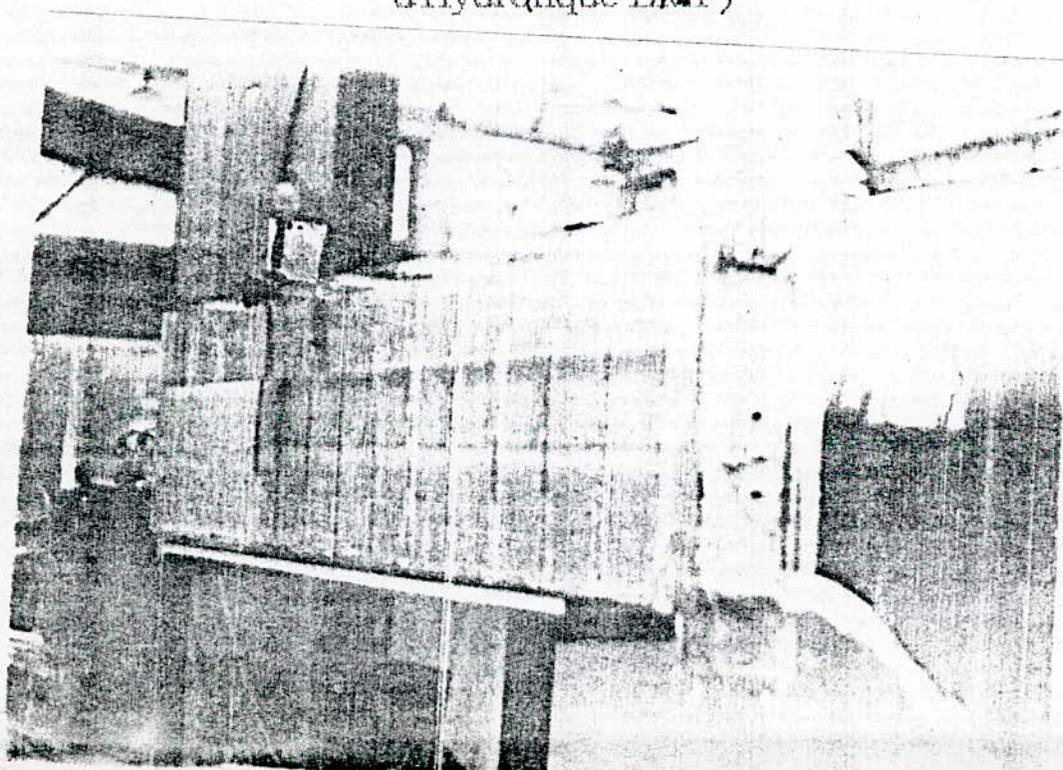


Photo 4: Soutirage sélectif par une fente (laboratoire d'Hydraulique ENP)



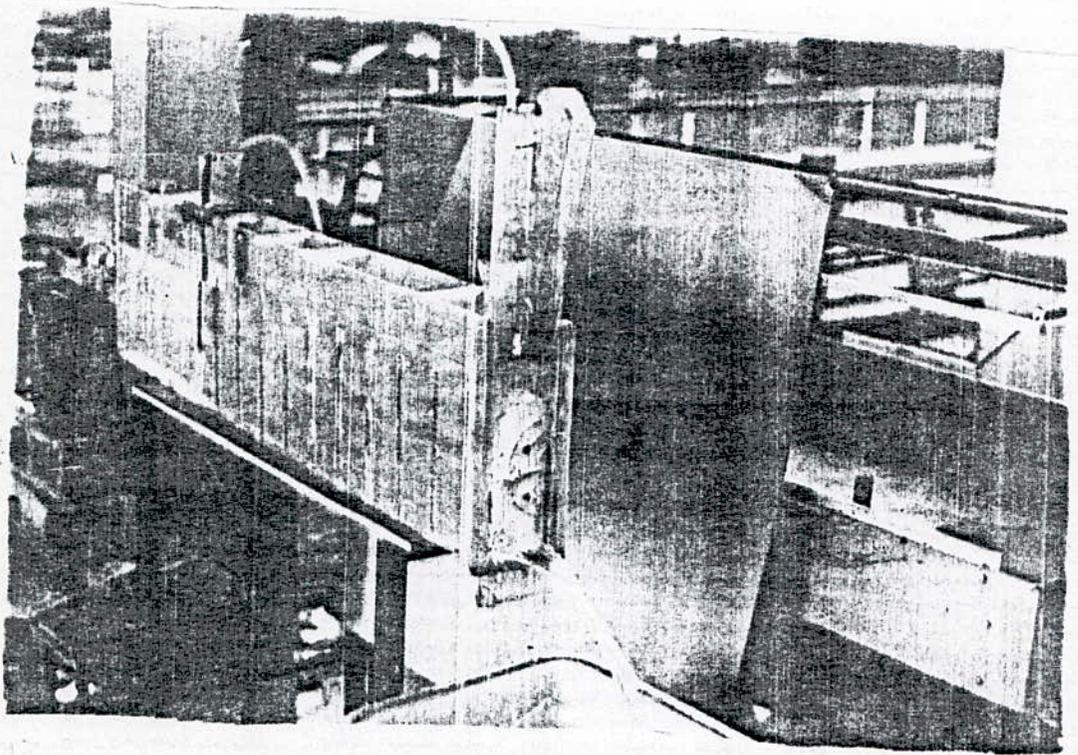


Photo 5 : Soutirage sélectif par fente (laboratoire d'Hydraulique ENP)

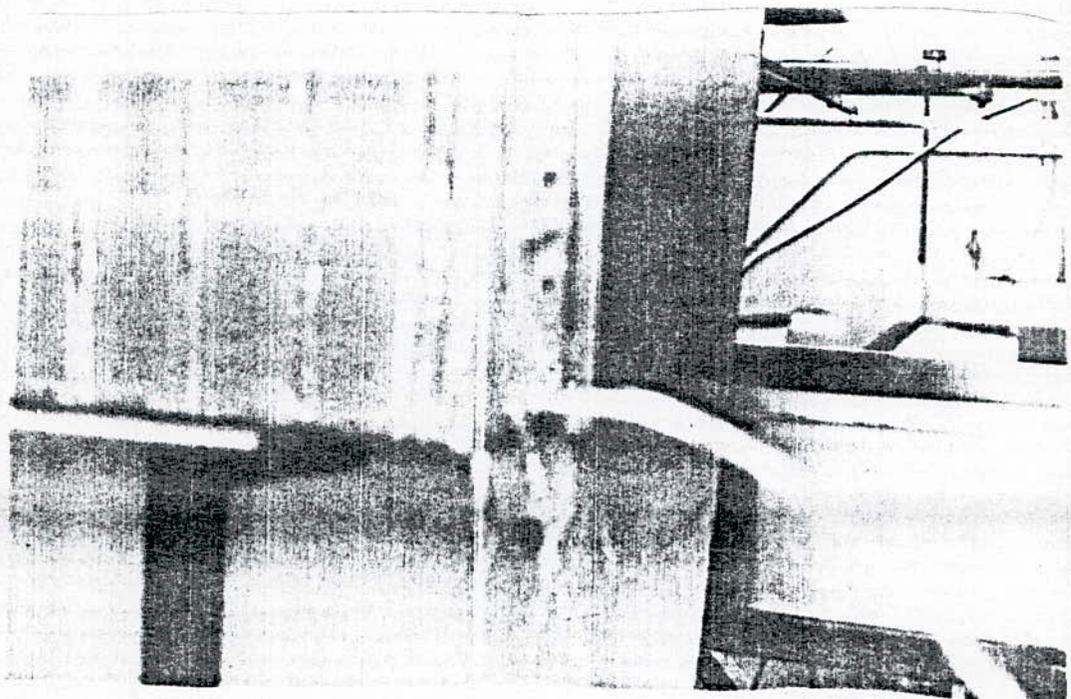


Photo 6 : Aspiration limite et visualisation de l'interface dans le cas d'une fente (laboratoire d'Hydraulique ENP)