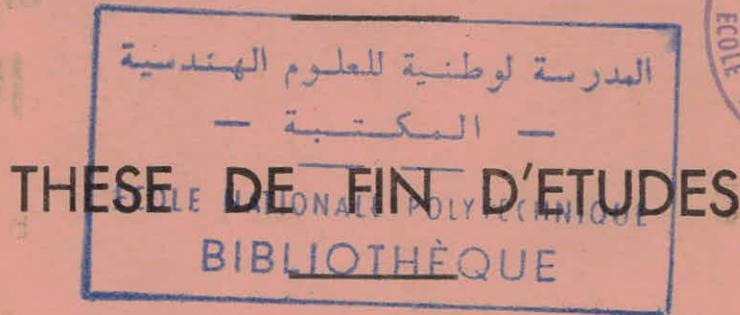


UNIVERSITÉ D'ALGER

3/73

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Contribution à l'Etude des Paramètres d'Irrigation en Laboratoire

Conception d'un Modèle physique d'une Tranche élémentaire
de Raie d'Irrigation

Proposée et dirigée par :

Géza de LAPRAY Dr Ing.

Etudiée et Réalisée par :

BENTEBBA Ahmed

Promotion 1973

2.16

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية
- المكتبة -

DEPARTEMENT GENIE CIVIL
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PARAMETRES
D'IRRIGATION EN LABORATOIRE.

Conception d'un modèle physique d'une tranche
élémentaire de raie d'irrigation.

Proposé et dirigé par :

M. Géza DE LAPRAY Dr. Ingénieur.

Etudié et réalisé par:

M. BENTEBBA Ahmed.

PROMOTION 1973

La réalisation de projet à été facilité par l'aide de Monsieur L A P R A Y que je tiens à remercier, pour tous les conseils qu'il m'a donnés tout au long de cette étude.

Par ailleurs, je tiens également à remercier Monsieur T A S C H K A et Monsieur S C H U L G U I N E qui ont suivi de près l'étude de ce projet.

Je remercie en outre, tous mes professeurs qui ont contribué à ma formation.

A MES PARENTS

A MES AMIS

- TABLE DES MATIERES -

	pages
INTRODUCTION	5
<u>PREMIERE PARTIE</u>	6
<u>Chapitre premier</u> : NOTIONS D'HYDRAULIQUE GENERALE ET D'IRRIGATION.	6
I - Effets de la viscosité, Effets de la tension superficielle	
A) - Concept du nombre de Reynolds/R et du nombre de Weber W.	
B) - Exemples d'écoulements laminaires.	
II - Rappels d'irrigation.	
A) Retention de l'eau par le sol	10
B) Circulation de l'eau dans le sol	
<u>Chapitre second</u> : CONCEPTION D'UN APPAREIL PERMETTANT LA DETERMINATION EN LABORATOIRE DES PARAMETRES D'IRRIGATION.	16
<u>SECONDE PARTIE</u>	
<u>Chapitre troisième</u> : ETUDE DE LA PERMEABILITE EN LABORATOIRE.	18
I - Analogie avec l'écoulement à travers des fentes minces.	11
II - Analogie avec l'écoulement à travers des tubes capillaires.	28
<u>Chapitre quatrième</u> : MODELE PHYSIQUE D'UNE TRANCHE ELEMENTAIRE DE RAIE D'IRRIGATION.	29
CONCLUSION	37

- INTRODUCTION -
=====

Les problèmes qui se posent à l'irrigation sont nombreux et variés, néanmoins ils tendent tous vers un même but qui est l'utilisation rationnelle de l'eau.

En premier lieu l'irrigation qui permet d'accroître à la fois la production et la rentabilité des terres agricoles, aurait actuellement une faveur particulière. En second lieu, cette faveur même amène dans beaucoup de pays, les spécialistes (agronomes et hydrauliciens) à se pencher sur les problèmes posés par l'irrigation et à élaborer et à mettre au point de nouvelles techniques.

Cependant, ces études faites jusqu'à présent dans la nature même nécessitent le déploiement de moyens appropriés, donc d'importants investissements.

Notre but est donc justement de contribuer à ramener les essais se faisant jusqu'à présent dans la nature à des essais en laboratoire avec pour optique :

- le gain de temps
- la réduction des frais.

Le travail de thèse qui me fût confié, a pour thème une contribution à la détermination en laboratoire des "paramètres d'irrigation". Cela s'inscrit dans le cadre de la conception et de la réalisation d'un appareil permettant la détermination en laboratoire de ces dits paramètres pour assurer l'optimum du dosage et de la répartition des eaux d'irrigation. Cet appareil qui a été déjà réalisé par M. LAPRAY et son collaborateur M. BAHRI à très petite échelle devrait subir certaines modifications pour pouvoir imiter ce qui se passe exactement dans la nature en vue d'envisager sa construction en vraie grandeur.

.../...

PREMIERE PARTIE

- PRELIMINAIRES -

Cette partie est destinée, dans son chapitre premier, à donner le rappel des notions essentielles d'hydraulique générale et d'irrigation qui seront utilisées par la suite.

Quant au chapitre second, il abordera, de façon pratique les problèmes posés par la conception de l'appareil.

CHAPITRE PREMIER :

NOTIONS D'HYDRAULIQUE GENERALE ET D'IRRIGATION

I - Effets de la viscosité, Effets de la tension superficielle :

A) - Concept du nombre de REYNOLDS et du nombre de WEBER :

Soit un certain problème d'écoulement d'un fluide dépendant :

- de la vitesse débitaire V
- de la masse volumique ρ
- de divers dimensions linéaires L, L1 et L2
- de la chute de pression Δp
- de l'accélération de la pesanteur g
- de la viscosité μ
- de la tension superficielle σ
- et du module d'élasticité volumétrique K.

L'application de l'analyse dimensionnelle permet de déterminer les paramètres adimensionnels pouvant être formés avec les variables ci-dessus énumérées. La relation fonctionnelle entre les dits paramètres sera la suivante :

$$f_1 \left(\frac{\Delta p}{\rho V^2}, \frac{V^2}{gL}, \frac{V L P}{\mu}, \frac{V^2 L P}{\sigma}, \frac{V}{\sqrt{K/\rho}}, \frac{L}{L_1}, \frac{L}{L_2} \right) = 0 \quad (1-1)$$

.../...

Les plus importants des sept paramètres figurant dans l'équation (1-1) sont les suivants :

le coefficient de pression $\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} = C_p$ (1 - 2)

le nombre de FROUDE $\frac{V^2}{gL} = F_r$ (1 - 3)

le nombre de REYNOLDS $\frac{v L \rho}{\mu} = R$ (1 - 4)

le nombre de WEBER $\frac{\rho L v^2}{\sigma} = W$ (1 - 5)

Le nombre de MACH $\frac{v}{V_{K/\rho}} = M$ (1 - 6)

Le coefficient de pression $\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2}$ exprime la relation entre les forces dues à la pression et les forces dues à $\frac{1}{2} \rho V^2$ l'inertie.

Le nombre de FROUDE exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à la pesanteur.

Le nombre de REYNOLDS caractérise la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à la viscosité. Ce paramètre joue un rôle très important dans la détermination des phénomènes d'écoulement.

Dans les tuyauteries courantes le régime de l'écoulement changera de laminaire en turbulent dans l'intervalle de 2 000 = R = 4 000

Nous admettons que le changement du régime est conditionné par $R = 2 000$.

Il est à noter que dans le cas des écoulements laminaires la perte d'énergie est proportionnelle à la vitesse moyenne, tandis que dans le cas des écoulements turbulents cette perte est proportionnelle à la puissance 1,7 à 2 de cette vitesse moyenne.

Le nombre de WEBER exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à la tension superficielle. Ce paramètre est important pour l'étude des petits jets et des gouttes (irrigation à aspersion) ainsi que pour la formation des ondes capillaires.

Le nombre de MACH exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à l'élasticité. C'est la vitesse du fluide divisée par la vitesse du son dans le milieu.

B) - Exemples d'écoulements laminaires.

1) - Ecoulement permanent entre deux plaques parallèles.

L'application de l'équation du mouvement et de la loi de NEWTON de la viscosité à un mouvement permanent en milieu bidimensionnel (voir fig. 1.1)

permet de calculer la vitesse u :

$$u = -\frac{dp}{dL} \frac{1}{2\mu} (b^2 - y^2) \quad (1-7)$$

2 b écartement des 2 plaques

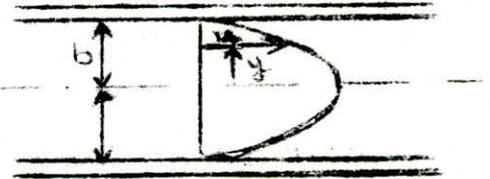


Fig (1.1)

La vitesse maximale se produit au plan de symétrie, c'est à dire dans le plan correspondant à $y = 0$

$$u_{\max} = -\frac{dp}{dL} \frac{b^2}{2\mu} \quad (1-8)$$

le débit est :

$$q = -\frac{dp}{dL} \frac{2b^3}{3\mu} \quad (1-9)$$

la vitesse moyenne est :

$$v = \frac{q}{2b} = -\frac{dp}{dL} \frac{b^2}{3\mu} \quad (1-10)$$

Si les deux plaques parallèles fixes ont une position inclinée, l'expression $-dp/dL$ doit être remplacée par l'expression $-d(p + \bar{w}z)/dL$ c'est à dire par le gradient piézométrique.

La chute piézométrique $\Delta(p + \bar{w}z)$ se manifestant après le parcours d'une distance L est :

$$\Delta(p + \bar{w}z) = \frac{3}{2} \frac{\mu q L}{b^3} \quad (1-11)$$

Cette dernière équation montre que la chute piézométrique (chute de pression dans le cas de conduites à axe horizontal) varie linéairement avec μ et q inversement avec le cube de la distance entre les deux plaques.

2) - Ecoulement permanent laminaire d'un fluide passant par un tube à profil circulaire - longueur de LANGHAAR.

L'application de l'équation du mouvement et de la loi de NEWTON de la viscosité à un tel écoulement permet le calcul de la vitesse u :

$$u = -\frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dL} (r_0^2 - r^2) \quad (1-12)$$

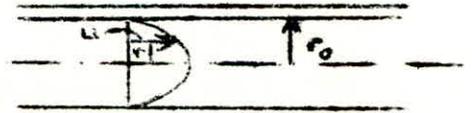


Fig (1-2) .../...

La valeur maxima de la vitesse se présente dans l'axe du tuyau :

$$u_{\max} = -\frac{dp}{dL} \frac{r_o^2}{4\mu} = \frac{J}{16\mu} D^2 \quad (1-13)$$

Le débit Q est :

$$Q = \frac{-dp}{dL} \frac{\pi r_o^4}{8\mu} \quad (1-14)$$

$$\text{ou } Q = \frac{\Delta p}{8\mu L} \pi r_o^4 \quad (1-15)$$

$$\text{ou } Q = \frac{\Delta p \pi D^4}{128\mu L} = \frac{g J \pi D^4}{128} \quad (1-16)$$

La vitesse moyenne est :

$$v = \frac{\Delta p D^2}{32\mu L} = \frac{g J D^2}{32 L} \quad (1-17)$$

En invertissant (1-18) on peut exprimer le décroissement de la pression.

$$\Delta P = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} \longrightarrow J = \frac{128 \mu Q}{\pi D^4 g} \quad (1-18)$$

L'équation (1-18) montre que la perte d'énergie est directement proportionnelle à la viscosité, à la distance parcourue et au débit et inversement proportionnelle à la 4^e puissance du diamètre. Il est à noter que la rugosité de la paroi de la conduite n'intervient pas dans cette équation (valable exclusivement dans le cas d'un écoulement laminaire !!!).

Les équations (1-12) et (1-18) ne sont pas valables sur un certain tronçon initial de la tuyauterie. Si le fluide en écoulement provient d'un récipient contenant du fluide en état immobile et entre dans la conduite par un orifice moulé, ayant le même diamètre que le tuyau, la répartition des vitesses en la section d'entrée sera pratiquement uniforme. L'effet de la tension de cisaillement occasionnée par le contact avec la paroi du tube agit en freinant, dès l'entrée du tube, d'abord seulement sur la couche de fluide limitrophe de la paroi, puis au fur et à mesure cette influence s'étend sur la totalité du courant. Le tronçon initial de transition va jusqu'à la section droite où la répartition des vitesses atteint sa forme parabolique définitive. La longueur L' de ce tronçon est une fonction du nombre de REYNOLDS et du diamètre du tube. Elle peut être exprimée par l'équation suivante :

$$L' = 0,058 \pi R D \quad (1-19)$$

C'est LANGHAAR qui a été le premier à établir cette formule en se basant sur des considérations purement théoriques. La validité de cette formule est bien confirmée par l'expérience.

Dans le cas où la conduite est en position inclinée la perte de charge ne peut plus être confondue avec le décroissement de la pression car l'énergie potentielle, qui reste inchangée dans le cas d'une conduite horizontale, n'est plus constante et pour cette raison il faut tenir compte de ses variations.

La perte d'énergie mécanique par unité de volume et par unité de longueur est :

$$-\frac{d}{dL} (p + \bar{w}z) = \bar{w} J = \frac{8 \mu Q}{\pi r_c^4} \quad (1-20)$$

II - RAPPELS DE IRRIGATION :

A) - Retention de l'eau par le sol

En agriculture la présence d'eau dans le sol EST importante, en particulier dans la nutrition des plantes par les solutions étendues qu'elle engendre.

Un sol donné est plus ou moins humide. On connaît la quantité d'eau qu'il contient par une mesure effective soit sur le sol en place, soit au laboratoire sur un échantillon.

On conçoit que pour un sol donné l'humidité varie entre un minimum voisin de zéro pour une terre desséchée au laboratoire et un maximum correspondant au cas où la totalité de l'air du sol est chassée, c'est à dire à une humidité qui est mesurée, volume par le même nombre que la porosité.

I) Valeurs remarquables de l'humidité du sol

a-1 Capacité maximale.

La capacité maximale (ou capacité totale) correspond à la terre gorgée d'eau.

Nous la noterons H_m , lorsqu'elle sera exprimée en pour-cent d'eau par rapport au poids du sol sec. Cependant il faut que cette valeur de l'humidité ne présente aucun intérêt pratique, car elle correspond au cas où la totalité de l'air ayant été chassé, le sol constituerait un milieu impropre à toute végétation.

a-2 Capacité de rétention.

La capacité de rétention est définie comme la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir dans les conditions où son drainage se trouve assuré librement.

Cette valeur remarquable sera notée Hr (Hpr ou Hvr suivant qu'il s'agira d'un résultat exprimé par rapport au poids du sol sec ou par rapport au volume du sol en place).

Les mesures donnant les résultats les plus intéressants paraissent être celles effectuées sur des terres en place, drainées, quelques jours après une saturation provoquée par de fortes pluies.

Contrairement à la capacité maximale, la connaissance de la capacité de rétention a une grande importance pratique, surtout au point de vue de la fertilité.

En effet, une terre qui peut retenir à la surface de ses éléments une quantité notable d'humidité, sans que ses canaux interstitiels soient remplis, laisse l'air circuler au grand profit de la vie des racines.

On s'explique ainsi que les terres argileuses à éléments très fins soient très fertiles, car la quantité d'eau retenue par un sol est sensiblement proportionnelle à la surface totale des particules contenues dans un poids, ou un volume donné de terre.

a-3 point de flétrissement.

Une plante qui prélève du sol l'eau au fur et à mesure de ses besoins commence à flétrir dès que l'humidité du sol atteint en décroissant un certain taux.

Le point de flétrissement est donc le taux d'humidité du sol en deçà duquel les plantes se fanent d'une façon permanente. Il sera noté Hf.

a-4 Point d'hygroscopicité.

Dans un climat sec un sol s'il n'est pas arrosé, continue à se dessécher au delà de son point de flétrissement. Cependant, il n'atteint pas une sécheresse absolue à cause de l'équilibre qui s'établit entre l'atmosphère et le sol. A ce moment le taux d'humidité est le point d'hygroscopicité.

2) les divers modes de rétention de l'eau par le sol.

L'eau dans le sol est soumise à un ensemble complexe de forces qui sont variables, d'une part ^{suyvant} que la molécule d'eau se trouve au contact d'une particule de sol (eau d'hygroscopicité), dans un petit canal capillaire (eau de capillarité) ou dans un large interstice (eau de saturation ou de gravitation) et d'autre part, suivant le taux d'humidité du sol.

Les forces principales qui agissent sur les molécules d'eau sont :

- les forces d'adsorption, qui s'établissent au contact eau-particules du sol; elles dérivent du potentiel d'adsorption H_a .

- les forces de capillarité; qui s'établissent au contact eau-air; elles dérivent du potentiel capillaire $-\Psi$

- les forces de pesanteur, qui dérivent du potentiel newtonien $+ gZ$ (Z étant la profondeur).

- Les forces hydrostatiques, exercées par le poids des molécules d'eau les unes sur les autres, qui dérivent du potentiel $P\rho$ (ρ étant le poids spécifique de l'eau et P la pression d'hydrostatique).

Le potentiel total dont dérive finalement la force qui s'exerce sur chaque molécule d'eau est donc :

$$\phi = H_a - \Psi + gZ + P\rho$$

B) Circulation de l'eau dans le sol.

I) Les différents cas de déplacement de l'eau dans le sol.

Sous l'action des différents champs de forces que nous avons trouvés, l'humidité se trouve modifiée à chaque instant; il faut donc étudier les conditions dans lesquelles cette eau se meut dans le sol.

Ces mouvements sont régis par des lois très différentes suivant l'importance relative des différentes forces en présence, c'est à dire suivant le taux d'humidité du sol; puisque l'on a vu que les forces prépondérantes variaient quand le taux d'humidité changeait.

Nous distinguerons deux cas principaux :

Premier cas : le taux d'humidité du sol est supérieur à la capacité de rétention avec, comme cas fondamental, le sol gorgé d'eau ($H = H_m$, capacité maximale). Le mouvement de l'eau est alors régi essentiellement par la pesanteur.

Deuxième cas : le taux d'humidité est inférieur à la capacité de rétention ($H < H_r$). Le mouvement de l'eau est régi alors par la diffusion capillaire. Ensuite si le ^{désa}schèment ^{pro}cessé poursuit, le déplacement de l'eau ne s'effectue plus que sous l'effet de l'évaporation.

.../...

2) circulation de l'eau de gravitation

Notion de perméabilité. loi de Darcy.

Dans le cas d'un sol saturé ($H = H_m$), le mouvement de l'eau est provoqué par l'action de gravité.

La perméabilité est la propriété qui traduit la facilité plus ou moins grande avec laquelle s'effectue alors le cheminement de l'eau.

DARCY a énoncé une règle simple concernant l'écoulement de l'eau à travers les colonnes de sable (fig.13);

$$V = K \frac{H}{L} = K J$$

ON désigne en effet, souvent l'expression $\frac{H}{L}$ par J que l'on appelle pente motrice.

Le débit est alors donné par l'expression :

$$Q = V S = K S J$$

K est le coefficient caractéristique du matériau ou coefficient de perméabilité; il a les dimension d'une vitesse, aussi l'appelle-t-on souvent :

'vitesse de filtration' ou mieux encore vitesse de filtration par unité de pente.

Il importe de bien préciser que lorsqu'on écrit la loi de Darcy:

$$Q = V S = K S J,$$

une vitesse

la vitesse V ainsi définie est ^vapparente qui n'est pas la vitesse réelle des molécules d'eau dans le sol.

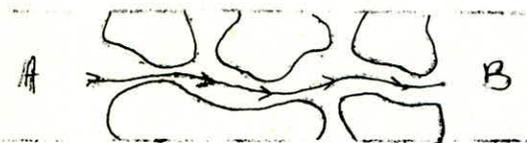


fig. 1.3'

En effet si l'on considère (fig. 1.3') que l'eau circule dans l'ensemble des pores et si P est la porosité du milieu, la vitesse réelle moyenne V' dans une direction AB est définie par :

$$Q = V S = V' S' .$$

avec S' section libre moyenne.

$$\text{Or } \frac{S'}{S} = P \text{ c'est à dire } V' = \frac{V}{P}$$

Pente motrice: la loi de Darcy s'applique pour une orientation quel conque du sens de l'écoulement.

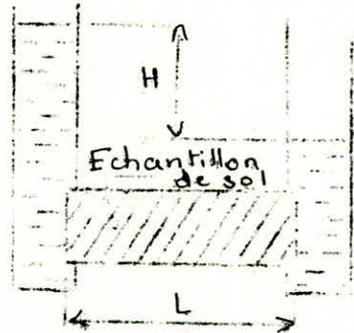


fig.13 Loi de Darcy

(parcours horizontal de l'eau)

Comment se calcule dans les différents cas la pente motrice

$$J = \frac{H}{L} ?$$

En particulier, dans le cas d'une colonne de terre verticale, lorsque le niveau de la nappe liquide se trouve au dessus de la surface on a :

$$H = L + h \quad (\text{fig. 14})$$

$$\text{et } J = \frac{H}{L} = \frac{L + h}{L}$$

Lorsque au contraire le niveau de la nappe liquide s'abaisse au dessous de la surface, on a en principe :

$$H = L$$

c'est à dire $J = I$

Cependant, on a montré que dans ce cas, la charge H doit être diminuée d'une quantité λ mesurant les forces capillaires et représentée par la hauteur maximale que l'eau saturante atteint par ascension capillaire et

l'on a, en effet :

$$J = \frac{H - \lambda}{L} = \frac{H - \lambda}{H} < I$$

En fait en irrigation on se trouve

dans le cas de l'écoulement vertical (fig. 4 bis) avec l'évolution suivante :

- au debut de l'arrosage, la tranche h d'eau sur le sol est de l'ordre de quelques centimètres et L part de 0 pour atteindre très rapidement une valeur de plusieurs dizaines de centimètres. La pente motrice décroît ainsi très rapidement jusqu'à une valeur voisine de I

- lorsque l'on arrête l'arrivée de l'eau, h diminue et tombe à zéro. La pente motrice diminue légèrement ensuite, en raison de l'ascension capillaire, jusqu'à une valeur qui reste cependant proche de I .

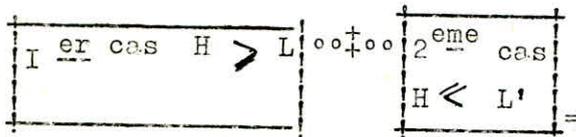


fig. 4 ----- Loi de Darcy
parcours vertical de l'eau.

Nappe ruisselante

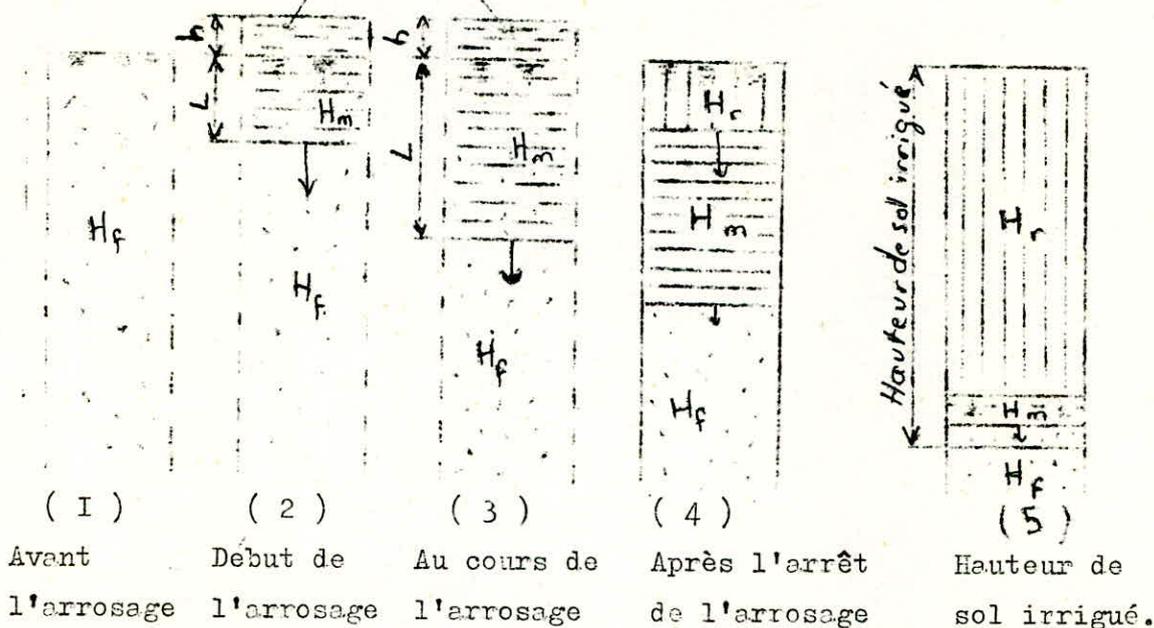


Fig. 4 bis : Répartition dans le sol de l'eau d'un arrosage.

Notons que lorsque h est devenu nul, la quantité d'eau reçue continue à descendre dans le sol, laissant entre la surface du sol et le niveau supérieur de la masse d'eau qui descend, une humidité égale à la capacité de rétention H_r .

Ainsi la masse ^{d'eau} qui descend perd peu à peu de sa substance et elle s'arrête lorsque toute l'eau a servi à donner à la tranche de sol considérée l'humidité de rétention H_r .

CHAPITRE SECOND :

CONCEPTION D'UN APPAREIL PERMETTANT LA DETERMINATION
EN LABORATOIRE DES PARAMETRES D'IRRIGATION

Pour atteindre le but que l'on s'est fixé, c'est à dire la détermination des paramètres d'irrigation en laboratoire, il a fallu réaliser un appareil à très petite échelle permettant la variation de plusieurs paramètres à la fois. Aussi a-t-on conçu un appareil dans lequel on pourrait faire varier

- la pente du canal
- la perméabilité
- le débit d'alimentation (et le temps d'administration de ce débit).

Cet appareil se compose :

- d'un dispositif central d'alimentation
- de deux canaux à profils triangulaires (l'un perméable, l'autre imperméable).
- d'un tube de Venturi (débitmètre) permettant la détermination instantanée du débit par simple lecture de différence de hauteurs manométriques.

Cependant dans cet appareil, l'infiltration qui se faisait à travers les fentes n'imitait pas exactement ce qui se passe dans un canal naturel.

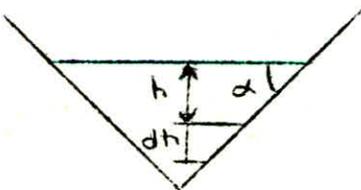
En effet dans un canal naturel, l'infiltration varie au cours du temps. Elle est importante en début d'irrigation c'est à dire quand le sol est sec pour devenir finalement presque stationnaire en fin d'irrigation (milieu saturé)

a) - En début d'irrigation nous sommes en présence d'un écoulement en milieu poreux : c'est donc un écoulement laminaire.

$$dA = dh / \sin \alpha$$

$$dq = K \cdot h \cdot dh$$

$$q = K \int h \cdot dh = K_1 h^2$$



$$q = K_1 h^2$$

K_1 est une constante dépendant du sol.

.../...

b) - En fin d'irrigation c'est à dire après saturation du sol, il y a formation de filets d'écoulement qui ont tous une pente J qui devient elle aussi constante.

$$dq = K J dh$$

$$\underline{q = K_2 h}$$

Par contre dans notre appareil, l'infiltration se faisait à travers des fentes trop larges, cela supposait que nous sommes dans le cas d'un écoulement à travers un orifice.

$$dq = \sqrt{2gh} \times dh$$
$$q = K_3 h^{3/2}$$

Nous constatons que ce dernier cas est un cas intermédiaire entre les deux premiers.

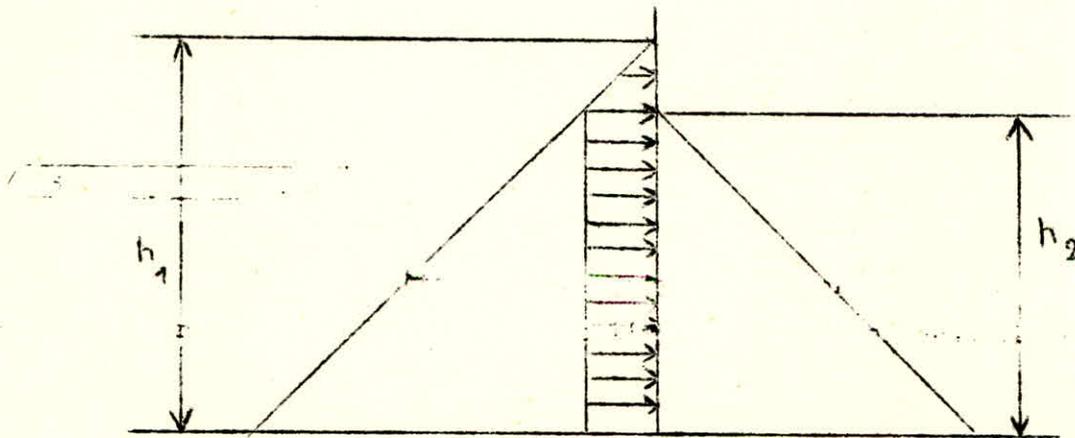
Il faut absolument arriver à ^{imiter} en laboratoire l'infiltration pendant toute la durée de l'irrigation sans cela la réalisation de l'appareil serait d'aucune utilité.

Notre but est justement de satisfaire cette condition.

Pour atteindre le 1er cas, nous pouvons remplacer les fentes (trop larges) par des petits trous et encore par des fentes plus étroites, et nous aurons alors un écoulement laminaire. Nous allons étudier les possibilités de réalisation par les tubes capillaires et les fentes minces.

Quant au 2ème cas, nous pourrions le réaliser en produisant un écoulement sous l'effet d'une pression différentielle constante

$$P_2 = \bar{w} h_2$$



.../...

SECONDE PARTIE

Le but de cette seconde partie est de présenter des solutions à certains problèmes de réalisation de l'appareil tel que la perméabilité.

CHAPITRE TROISIEME :

ETUDE DE LA PERMEABILITE EN LABORATOIRE

Etudier la perméabilité en laboratoire traduit le recours à la similitude physique. Dans une similitude physique ou analogie l'expérimentation a lieu sur un phénomène différent du ^{phénomène} réel. Le simulateur s'appelle modèle analogique.

I - Analogie avec l'écoulement à travers des fentes minces.

Une fente mince est formée de deux plaques parallèles entre lesquelles circule le liquide. Une condition majeure est que l'écoulement à travers ces fentes reste toujours laminaire. Pour satisfaire cette condition il faut choisir l'écartement entre les plaques et la longueur minimum identique à la longueur de LANGHAAR de ces fentes. Comme il n'existe aucune formule qui pourrait nous renseigner sur la longueur de LANGHAAR pour les fentes minces, nous allons faire une étude expérimentale. Nous avons confectionné en pléxiglass des fentes dont l'écartement varie entre 1/10 mm et 5/10 mm et un appareillage d'expérimentation.

A) - Description de l'appareillage

L'appareillage comprend : (voir schémas)

- un vase de Mariotte

- un récipient amont dont on peut maintenir le niveau constant à l'aide du vase de Mariotte. Ce récipient a 26 cm de hauteur.

- un récipient aval déversoir de 12 cm de hauteur.

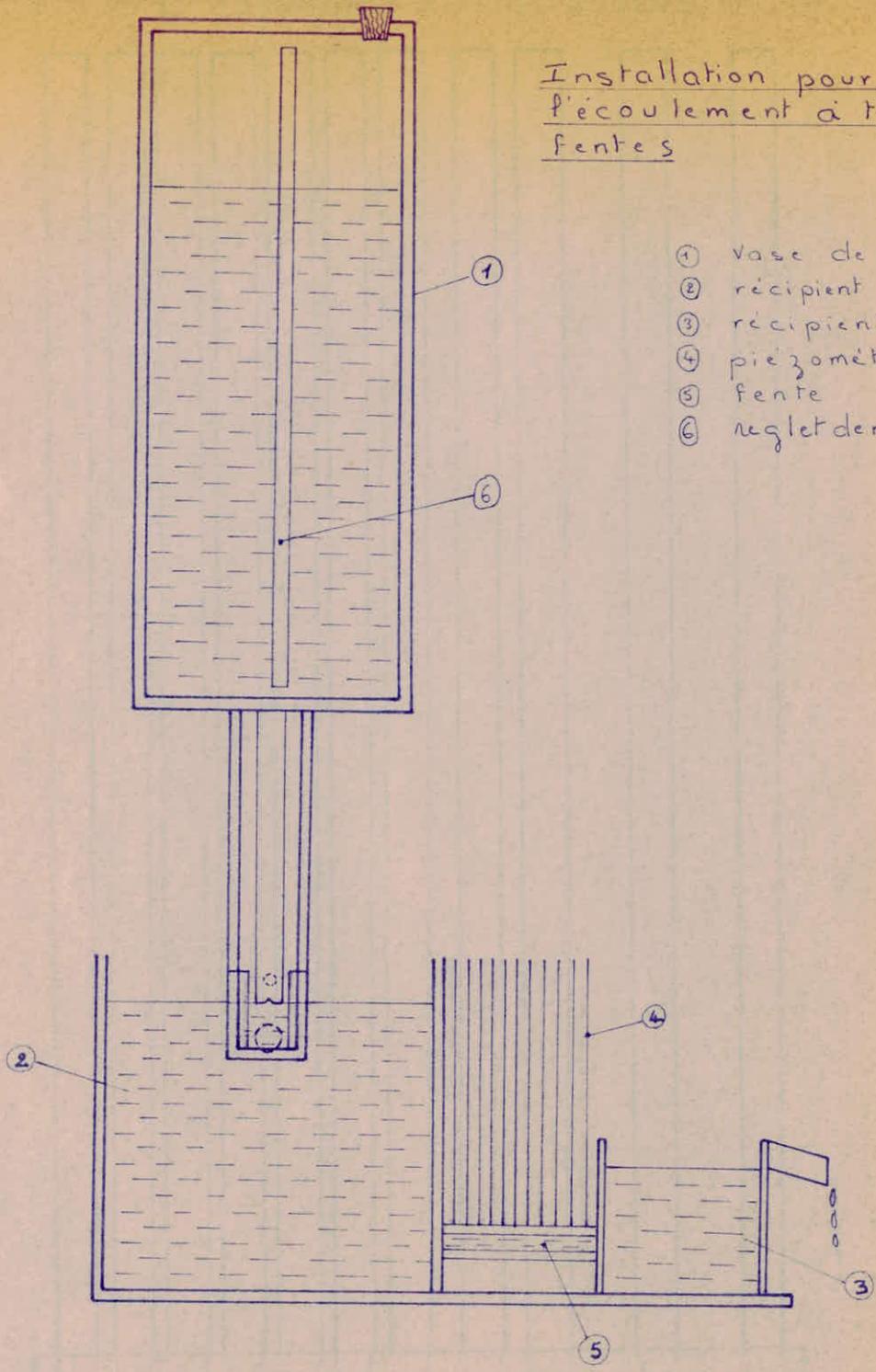
- les deux récipients peuvent communiquer par l'une des fentes en pléxiglass. La fente est disposée à un niveau plus bas que le niveau de l'eau au repos dans les deux récipients.

Ces pièces qui sont les fentes sont équipées d'un polymanomètre formé de tubes capillaires.

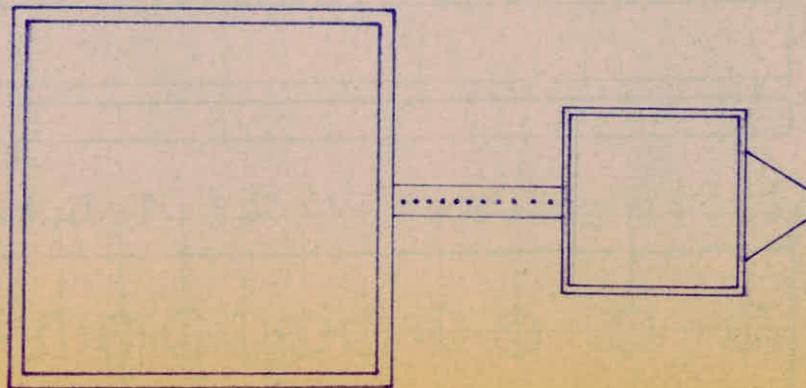
- le tout repose sur une table

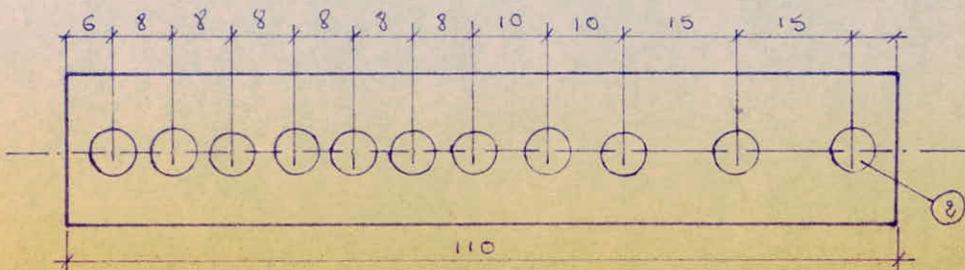
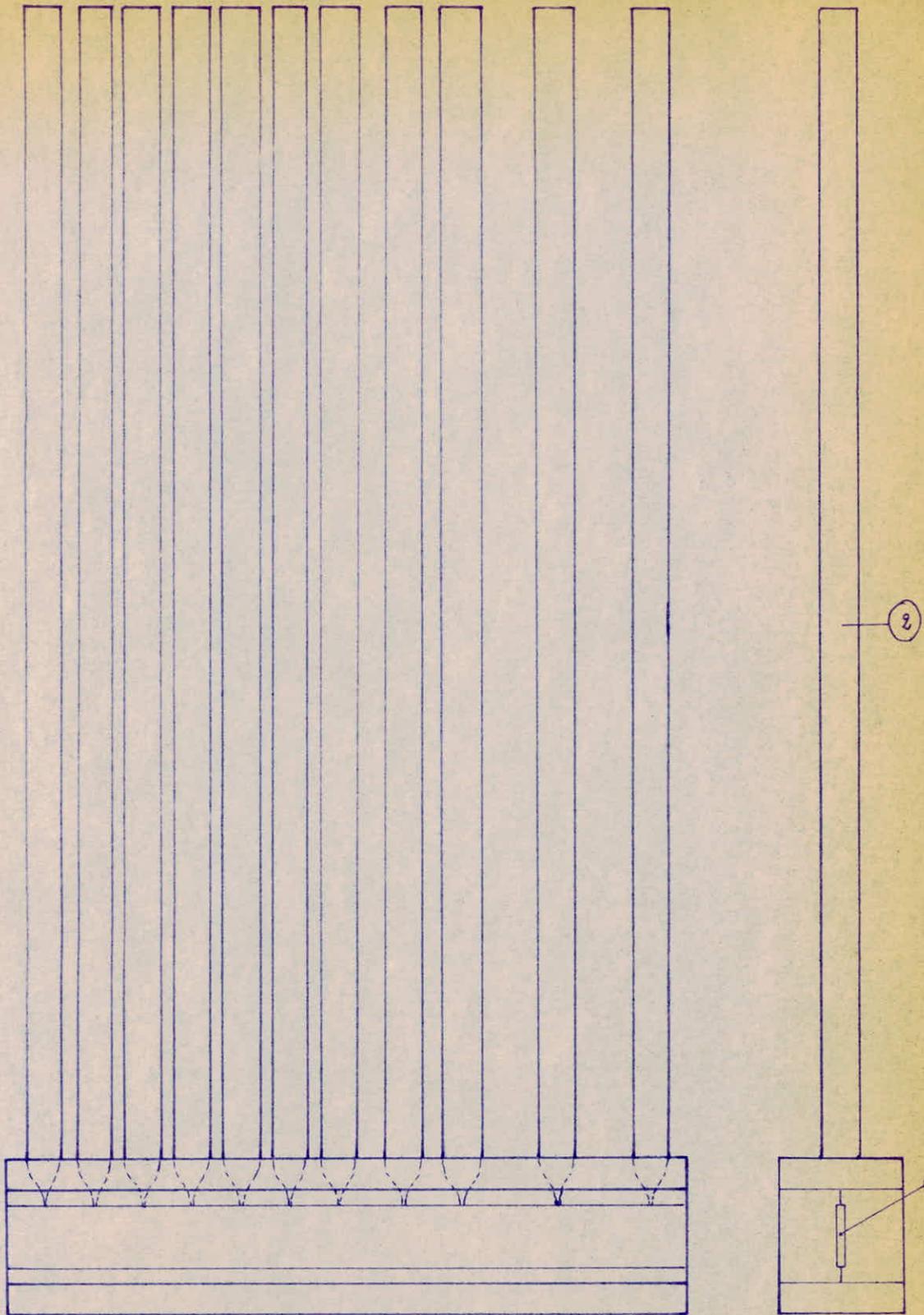
.../...

Installation pour l'étude de l'écoulement à travers des fentes



- ① Vase de Mariotte
- ② récipient amont
- ③ récipient aval
- ④ piezomètre
- ⑤ fente
- ⑥ reglet de mesure gradué





- ① Fente
- ② Piezomètre

Schémas
d'une fente
équipée d'un
polymètre

B) - Remarques opératoires :

Nous signalons que le fait de prendre comme manomètres des tubes capillaires, met en jeu la remontée capillaire. Cette remontée est identique dans tous les tubes. Elle n'entre pas en jeu quand nous comparons les niveaux d'eau uniquement dans les manomètres.

C) Essais

Nous allons faire pour chaque pièce une série d'essais nous permettant d'obtenir la longueur de LANGHAAR en fonction de l'écartement et cela en respectant la condition de l'écoulement laminaire. Pour chaque essai nous mesurons les niveaux d'eau dans les deux récipients, dans le polymanomètre et le débit.

Les résultats ainsi obtenus sont représentés sur les tableaux I. i et les courbes ci après.

Donnons quelques indications pour faciliter la lecture de ces tableaux.

- $2b$ est l'écartement de la fente .
- χ_i est la charge dans le récipient amont
- χ_f est la charge dans le récipient aval.
- P_i est le niveau d'eau dans le piezomètre i
(pour la disposition des piézomètres voir schémas)
- J est la perte de charge linéaire

Notons que pour l'essai i c'est à dire pour une charge bien déterminée à l'amont, on répète plusieurs fois les mesures.

D) Interpretation des résultats

I) Courbes piézométriques

Les courbes piézométriques ainsi tracées sont représentées uniquement pour la fente et non pour les récipients. Nous pouvons déjà remarquer que dans chaque courbe piézométrique, une partie est rectiligne, et l'autre ne l'est pas. Cette dernière correspond justement au tronçon initial de transition

2) Graphes $J = f(Q)$

Sur les graphes $J = f(Q)$, la forme du nuage des points obtenus par des mesures pour chaque fente suggère une droite.

Nous allons appliquer la méthode des moindres carrés pour trouver l'équation de la courbe la plus probable, nommée courbe de regression.

Soit $y = f(x) = cx$ l'équation de la courbe de regression dans laquelle y represente J et x represente Q . La pente est ^{donnée} par la constante C .

Soit $\epsilon_k = y_k - f(x_k, c)$ une erreur individuelle. x_k et y_k étant ^{les} grandeurs physiques mesurées $k = I ; I \dots N$. Suivant la méthode des moindres carrés, la somme des carrés des erreurs doit être minimum.

$$\sum_I^N \epsilon_k^2 = \sum y_k^2 - 2 \sum y_k f(x_k, c) + \sum f^2(x_k, c) \rightarrow \text{minimum}$$

Pour le problème général c'est à dire quand on a plusieurs constantes à déterminer la solution du problème sera donnée par le système d'équations qui découle de l'application du théorème de Lagrange pour des fonctions de plusieurs variables, les variables étant c_k . Ça consiste à annuler les dérivées partielles du premier ordre :

$$\frac{\partial \sum \epsilon^2}{\partial c_1} = 0 ; \frac{\partial \sum \epsilon^2}{\partial c_k} = 0 \dots, \frac{\partial \sum \epsilon^2}{\partial c_n} = 0$$

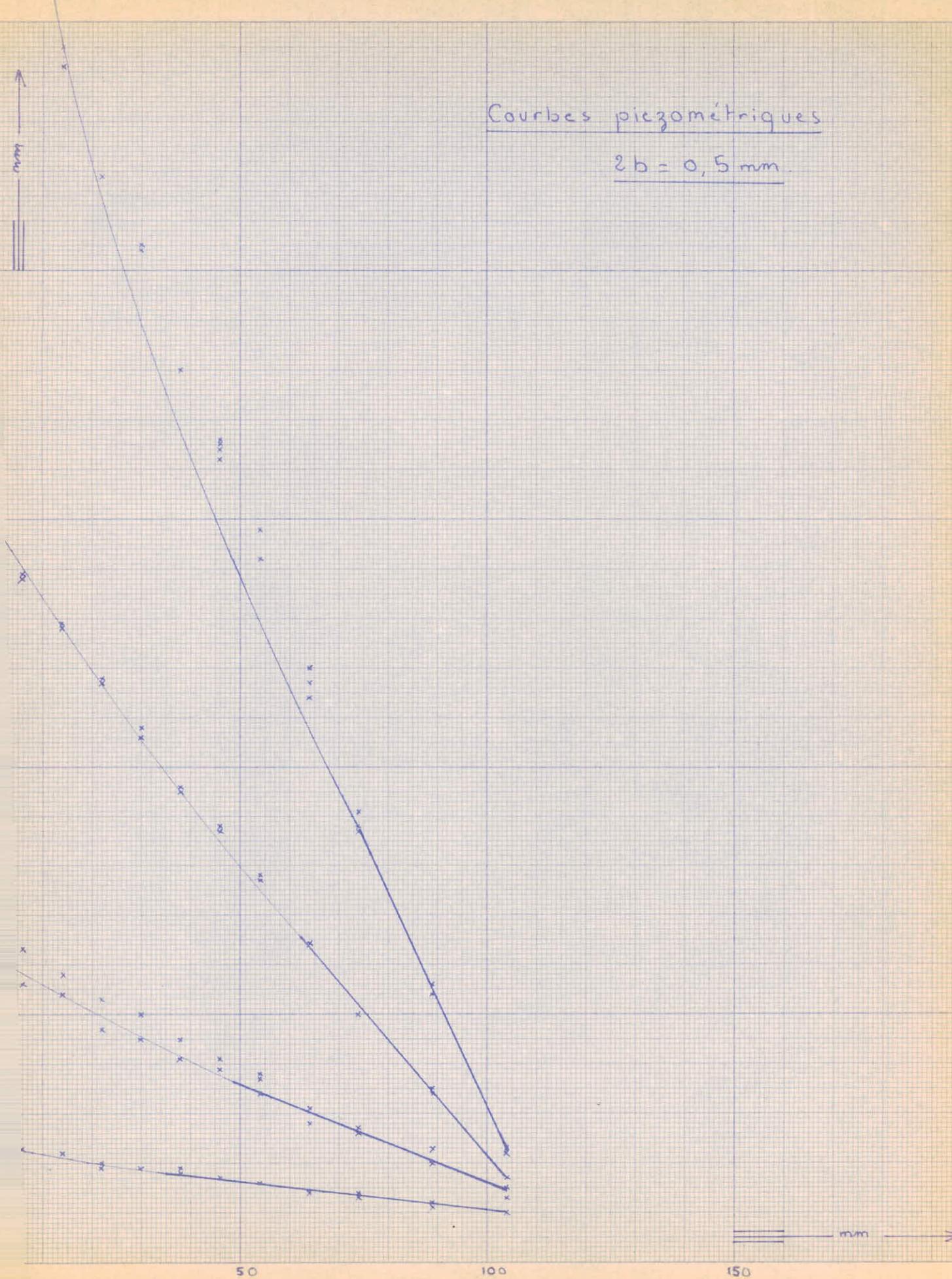
Le dit système d'équations a la forme développée suivante :

$$\sum_I^N \frac{\partial f}{\partial c_1} f(x_k, c_1 \dots c_n) = \sum_I^N y_k \frac{\partial}{\partial c_1} f(x_k, c_1 \dots c_n)$$

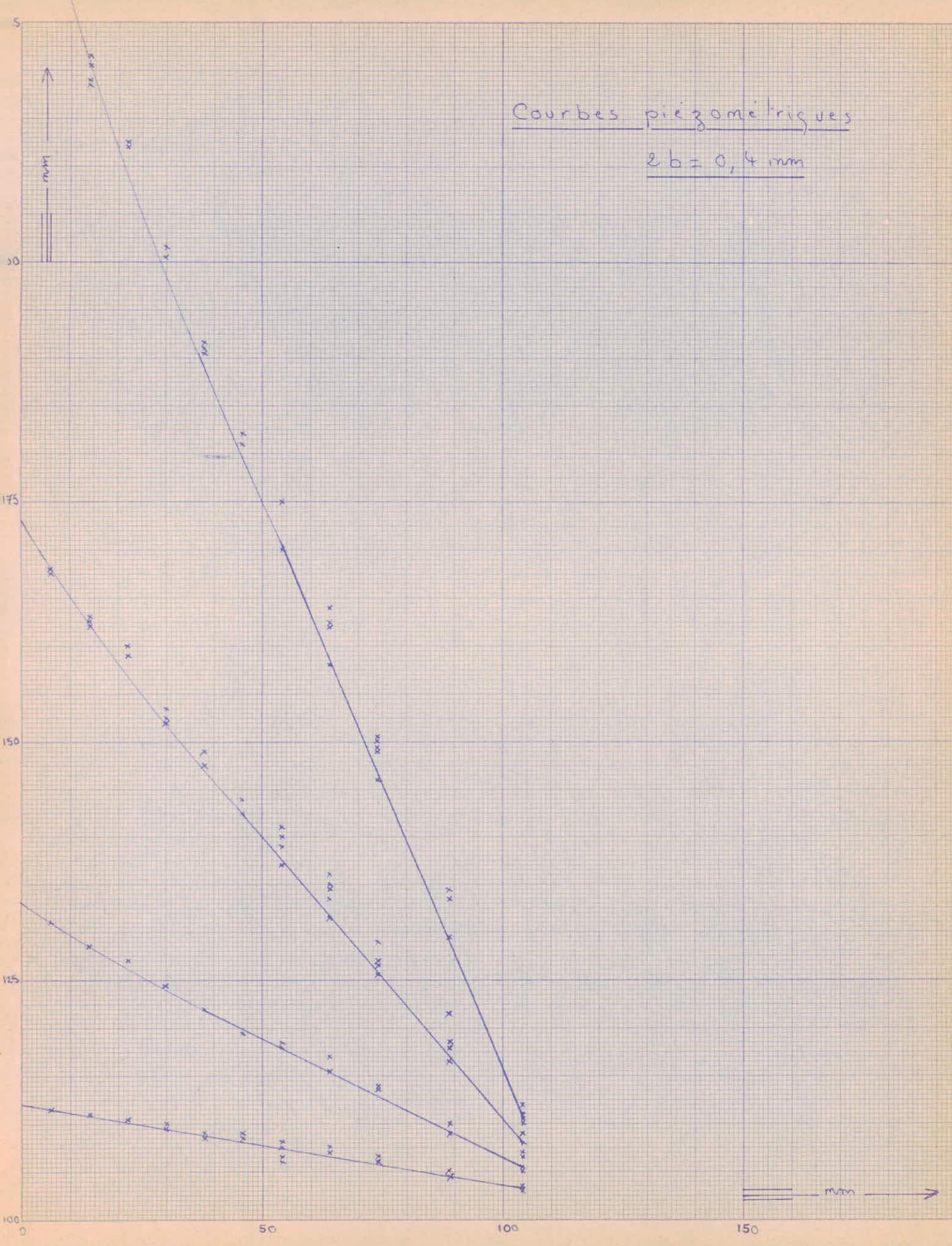
$$\sum_I^N \frac{\partial f}{\partial c_n} f(x_k, c_1 \dots c_n) = \sum_I^N y_k \frac{\partial f}{\partial c_n} (x_k, c_1, \dots, c_n) \quad (3.1)$$

Courbes piezométriques

$2b = 0,5 \text{ mm}$

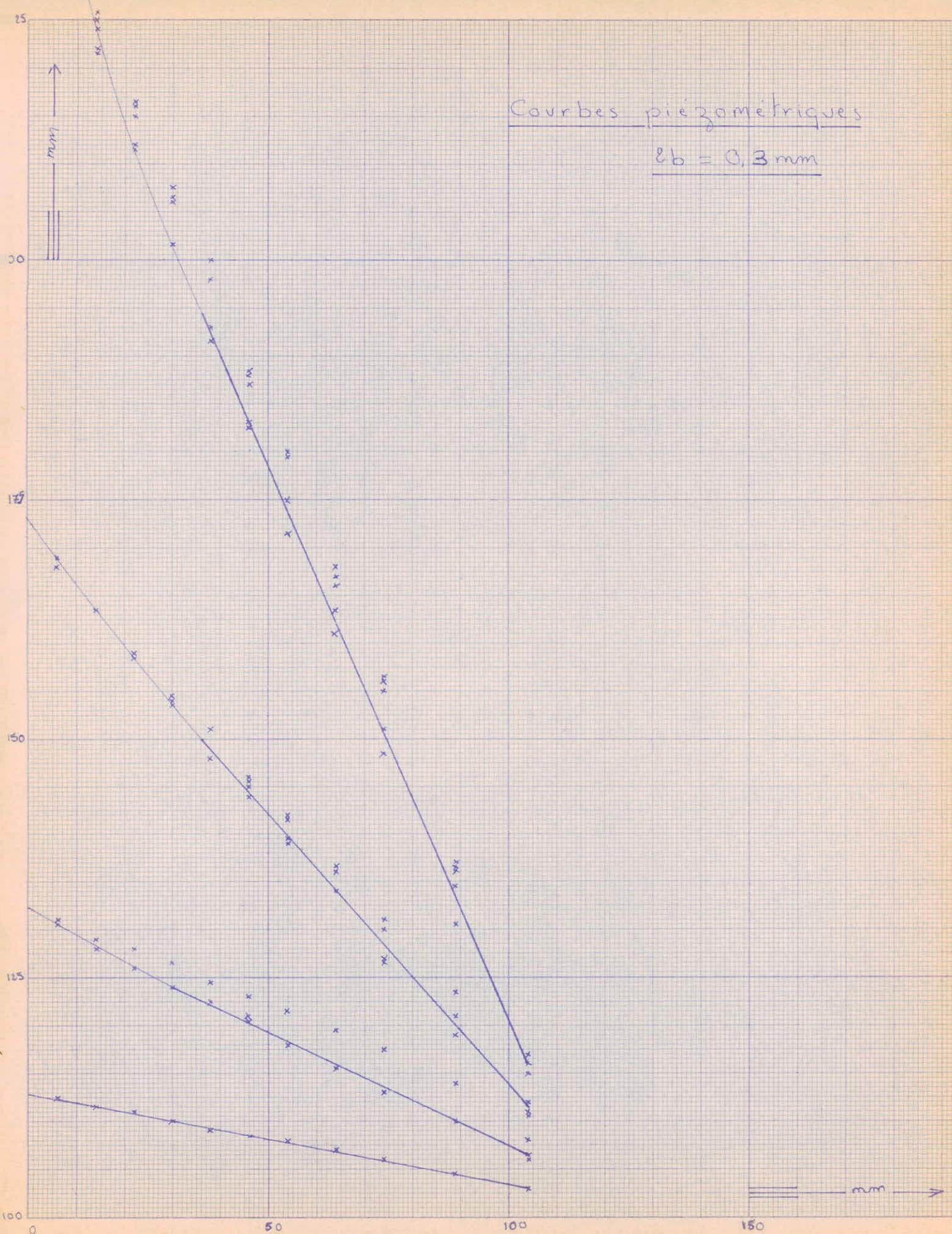


Courbes piézométriques
 $e = b = 0,4 \text{ mm}$



Courbes piézométriques

$$\underline{\underline{\delta b = 0,3 \text{ mm}}}$$



Courbes piézométriques

$$\underline{\underline{\delta b = 0,2 \text{ mm}}}$$

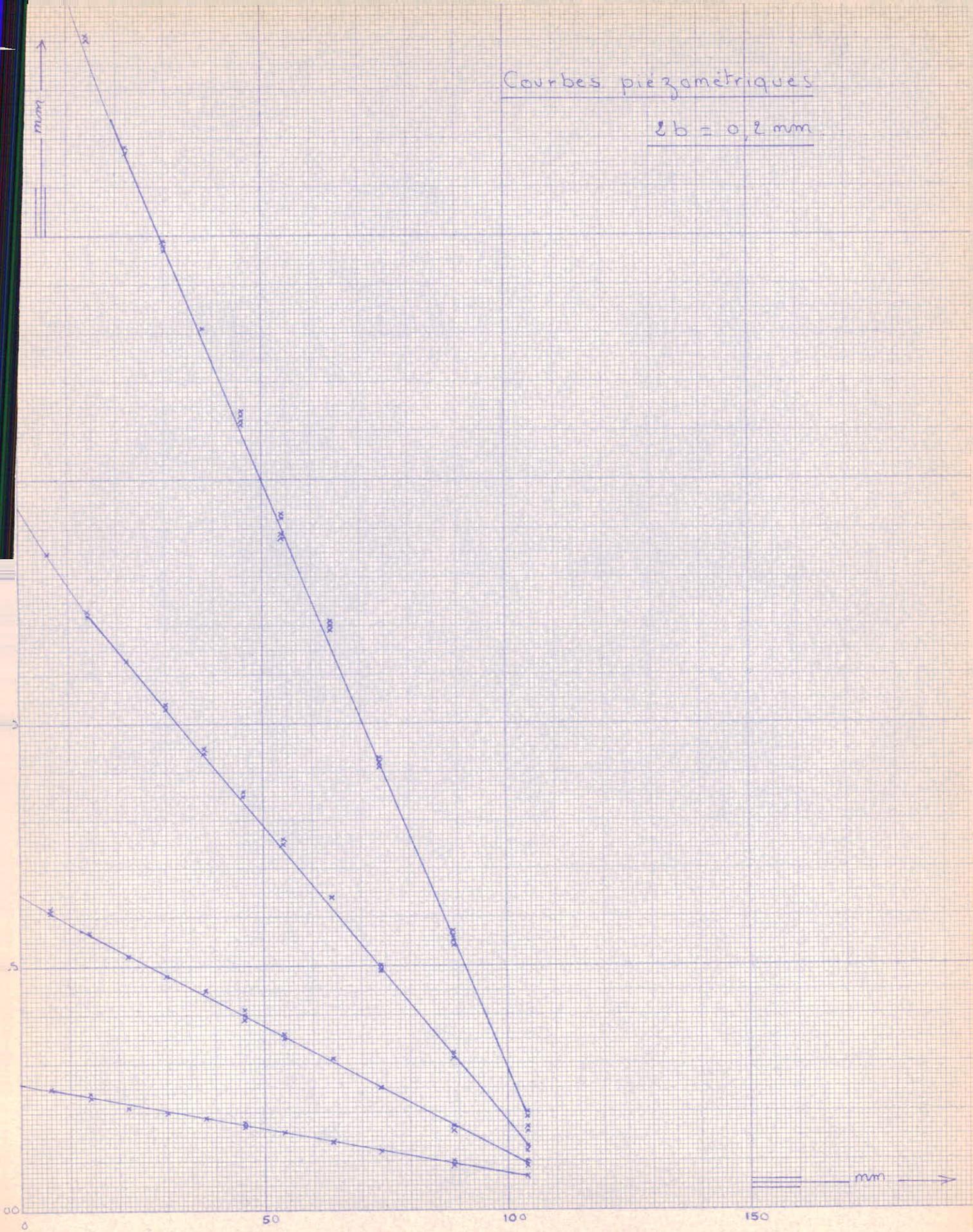
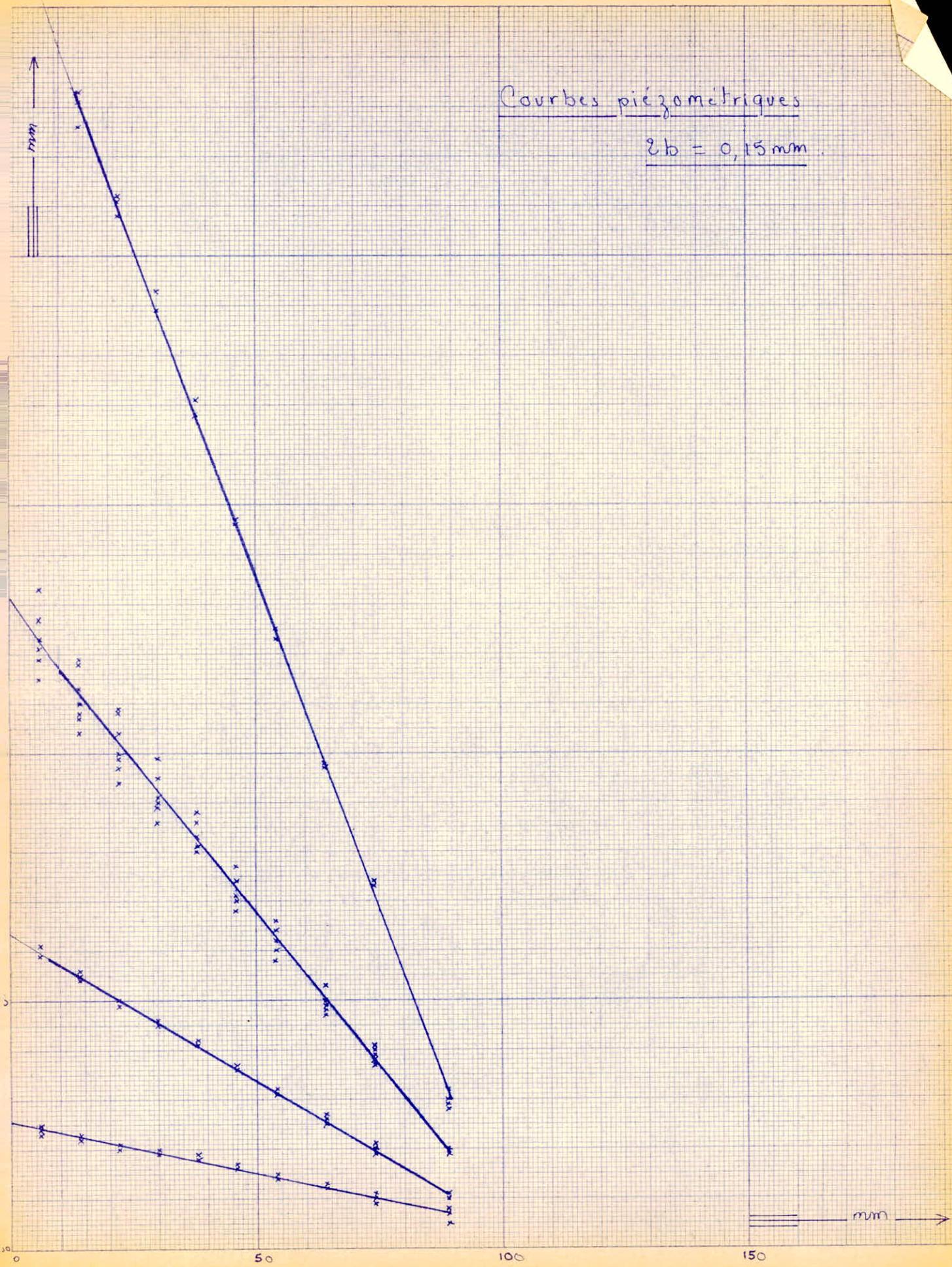


Tableau: 15 $2b = 0,15 \text{ mm}$	Débit (ml/s)	Ch. i (mm)	P. 1 (mm)	P. 2 (mm)	P. 3 (mm)	P. 4 (mm)	P. 5 (mm)	P. 6 (mm)	P. 7 (mm)	P. 8 (mm)	P. 9 (mm)	P. 10 (mm)	Ch. f. (mm)	Pz-P ₁₀ (mm)	J	
<u>Etat de repos</u>	0	101	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	94,5	0	0	
<u>Essai: 1</u>	0,01503 0,01482	111	112,5	111	110,5	110	109,5	108,5	107,5	106,5	105,5	103,5	94,5	7,5	0,1	
		"	"	111,5	"	109,5	109	108	107	"	105	"	"	"	8	0,1067
		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		"	"	111,5	111	110	"	"	"	"	106	104,5	102,5	"	8,5	0,1133
		"	"	112	"	"	"	"	"	107,5	106,5	105,5	104	"	7	0,0934
<u>Essai: 2</u>	0,02510 0,02531	131	129,5	127	124,5	122,5	120,5	118	115	112,5	109,5	105	95	22	0,293	
		"	"	"	"	"	"	118,5	"	"	"	"	"	"	"	
		"	130,5	127,5	125	123	121	118	116	113,5	110,5	105,5	"	"	"	
		"	"	128	"	"	120,5	"	115,5	113	110	"	"	"	22,5	0,3
		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
<u>Essai: 3</u>	0,0649 0,0638	171	160,5	154	149,5	145	140,5	135,5	131	124,5	119	110	95,5	44	0,587	
		"	163,5	156,5	152	147,5	143	137	132	125	120	109,5	"	47	0,627	
		"	161,5	155	150	145,5	141,5	135,5	131	124,5	119,5	"	"	45,5	0,607	
		"	159,5	153,5	148,5	144,5	140,5	135	130	124	119	"	"	44	0,587	
		"	157,5	152	147	143	140	134	129	123,5	118,5	"	"	42,5	0,567	
<u>Essai: 4</u>	0,1407 0,1361	241	227,5	213	204	194,5	184	173	161,5	148,5	136,5	114,5	95,5	98,5	1,313	
		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	115	"	98	1,307	
		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	116	"	97	1,295	
		"	229	215,5	205,5	196,5	185,5	173,5	162,5	149	137	114	"	101,5	1,354	
		"	230,5	216,5	206	"	"	"	"	"	"	"	"	102,5	1,367	

Courbes piézométriques

$z_b = 0,15 \text{ mm}$



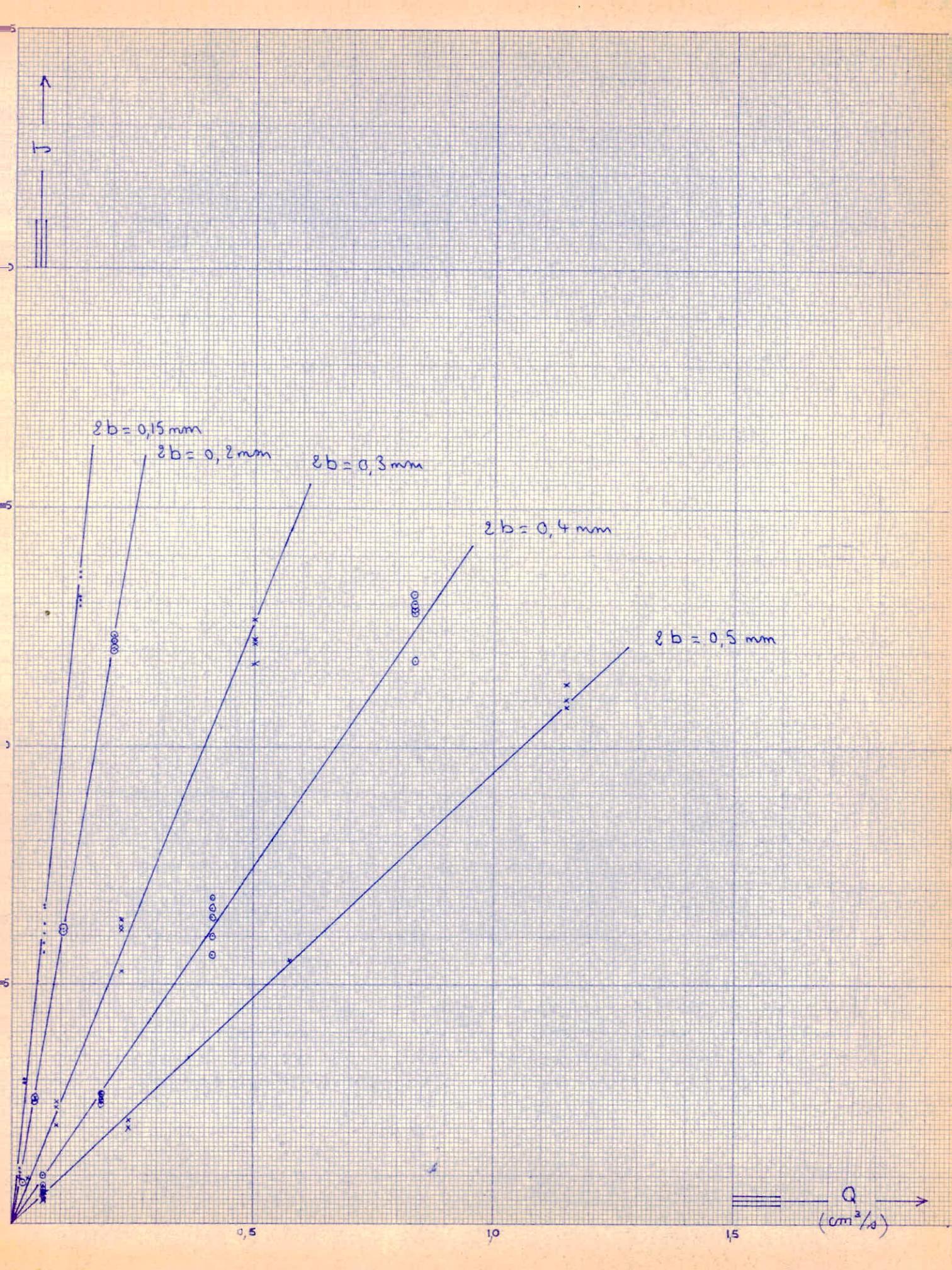


Tableau: 2.1, $2b=0,5\text{mm}$

Q_{moyen}	J	JQ	Q^2	nombre de fois.
x_k	y_k	$x_k y_k$	x_k^2	
0,0675	0,05	0,003375	0,00456	x 6
0,0675	0,0667	0,0045	0,00456	x 1
0,2410	0,2	0,04825	0,058	x 1
0,2410	0,2168	0,0523	0,058	x 6
0,576	0,55	0,3163	0,332	x 8
1,150	1,083	1,244	1,321	x 1
1,150	1,1	1,264	1,321	x 6
1,150	1,133	1,302	1,321	x 1
		$\Sigma x_k y_k =$ 13,0116	$\Sigma x_k^2 =$ 13,663	

Tableau: 2.2; $2b = 0,4 \text{ mm}$

Q_{moy}	J	J Q	Q^2	nombre de fois.
x_k	y_k	$x_k y_k$	x_k^2	
0,0627	0,06	0,00376	0,00392	x 1
0,0627	0,07	0,004385	0,00392	x 1
0,0627	0,1	0,00627	0,00392	x 1
0,0627	0,08	0,00502	0,00392	x 4
0,1829	0,27	0,0494	0,0334	x 1
0,1829	0,26	0,0476	0,0334	x 3
0,1829	0,25	0,04575	0,0334	x 3
0,4155	0,68	0,2826	0,1724	x 1
0,4155	0,66	0,2744	0,1724	x 1
0,4155	0,56	0,2326	0,1724	x 1
0,4155	0,64	0,2660	0,1724	x 1
0,4155	0,6	0,2492	0,1724	x 3
0,834	1,32	1,1015	0,696	x 1
0,834	1,3	1,084	0,696	x 1
0,834	1,29	1,077	0,696	x 1
0,834	1,28	1,068	0,696	x 1
0,834	1,18	0,985	0,696	x 3
		$\sum x_k y_k =$ 9,4526	$\sum x_k^2 =$ 6,3439	

Tableau: 2.3, $2b = 0,3 \text{ mm}$

Q_{moy}	J	JQ	Q^2	nombre de fois.
x_k	y_k	$x_k y_k$	x_k^2	
0,03025	0,0948	0,00287	0,000914	x 7
0,09025	0,207	0,0187	0,00814	x 1
0,09025	0,2415	0,0218	0,00814	x 1
0,09025	0,2544	0,0230	0,00814	x 5
0,2264	0,612	0,1384	0,0513	x 1
0,2264	0,526	0,119	0,0513	x 1
0,2264	0,638	0,1445	0,0513	x 1
0,2264	0,62	0,1404	0,0513	x 4
0,5	1,267	0,6335	0,25	x 1
0,5	1,224	0,6123	0,25	x 2
0,5	1,173	0,587	0,25	x 1
0,5	1,216	0,6075	0,25	x 3
		$\sum x_k y_k =$ 5,40669	$\sum x_k^2 =$ 2,17247	

Tableau : 2.4 ; $2b = 0,2 \text{ mm}$

Q_{moy}	J	JQ	Q^2	nombre de fois.
x_k	y_k	$x_k y_k$	x_k^2	
0,02152	0,0854	0,001838	0,000463	x 7
0,0491	0,2624	0,01288	0,00241	x 2
0,0491	0,2564	0,0126	0,00241	x 5
0,1043	0,616	0,0642	0,01088	x 1
0,1043	0,61	0,0636	0,01088	x 6
0,2091	1,22	0,255	0,04375	x 2
0,2091	1,232	0,2575	0,04375	x 1
0,2091	1,208	0,2525	0,04375	x 1
0,2091	1,202	0,251	0,04375	x 3
		$\Sigma x_k y_k =$ 2,3304	$\Sigma x_k^2 =$ 0,4025	

Tableau: 2.5 ; $z_b = 0,15\text{mm}$

Q_{moy}	J	J Q	Q^2	nombre de Pois.
x_k	y_k	$x_k y_k$	x_k^2	
0,01492	0,1	0,001492	0,0002225	x 1
0,01492	0,1067	0,001592	0,0002225	x 2
0,01492	0,1133	0,001690	0,0002225	x 1
0,01492	0,0934	0,001393	0,0002225	x 3
0,0252	0,293	0,00738	0,000634	x 3
0,0252	0,3	0,00755	0,000634	x 4
0,0643	0,587	0,03775	0,00414	x 1
0,0643	0,627	0,04030	0,00414	x 1
0,0643	0,607	0,039	0,00414	x 1
0,0643	0,587	0,03775	0,00414	x 1
0,0643	0,567	0,03647	0,00414	x 1
0,0643	0,666	0,0428	0,00414	x 1
0,0643	0,66	0,0425	0,00414	x 1
0,1384	1,313	0,1817	0,01928	x 1
0,1384	1,307	0,1809	0,01928	x 1
0,1384	1,295	0,1792	0,01928	x 1
0,1384	1,354	0,1874	0,01928	x 1
0,1384	1,367	0,1891	0,01928	x 3
		$\sum x_k y_k =$ 1,6359	$\sum x_k^2 =$ 0,1699	

Pour notre cas les formules (3 = 1) deviennent :

$$\sum_{k=1}^N \frac{\partial f}{\partial c} f(x_k, c) = \sum_{k=1}^N y_k \frac{\partial}{\partial c} f(x_k, c)$$

avec $\frac{\partial f}{\partial c} = x$

$$f(x_k, c) = y_k = c x_k$$

d'où

$$c \sum_{k=1}^N x_k^2 = \sum_{k=1}^N y_k x_k$$

$$c = \frac{\sum_{k=1}^N y_k x_k}{\sum_{k=1}^N x_k^2}$$

Sachant que x_k et y_k sont les valeurs individuelles mesurées nous avons établi les tableaux 2. i pour toutes les fentes. De chaque tableau on déduit la valeur de la pente de la droite $J = f(Q)$ correspondante.

Tableau 2.1 Fente 2b = 0,5mm.

$$c_1 = \frac{\sum Q J}{\sum Q^2} = \frac{10,4796}{13,6634} = 0,95$$

Sachant que $\tan \alpha = c$

On tire $\alpha_1 = 43^\circ 31'$

Tableau 2.2 Fente 2 b = 0,4mm

$$c_2 = \frac{\sum Q J}{\sum Q^2} = \frac{9,452}{6,343} = 1,49$$

d'où $\alpha_2 = 56^\circ 7'$

Tableau 2.3 Fente 2b = 0,3 mm

$$c_3 = \frac{\sum Q J}{\sum Q^2} = \frac{5,406}{2,172} = 2,488$$

d'où $\alpha_3 = 68^\circ 6'$

.../...

Tableau 2.4

Fente $2b = 0,2 \text{ mm}$

$$c_4 = \frac{\sum Q J}{\sum Q^2} = \frac{2,330}{0,402} = 5,79$$

d'où $\alpha_4 = 80^\circ 11'$

Tableau 2.5

Fente $2b = 0,15 \text{ mm}$

$$c_5 = \frac{\sum Q J}{\sum Q^2} = \frac{1,635}{0,169} = 9,625$$

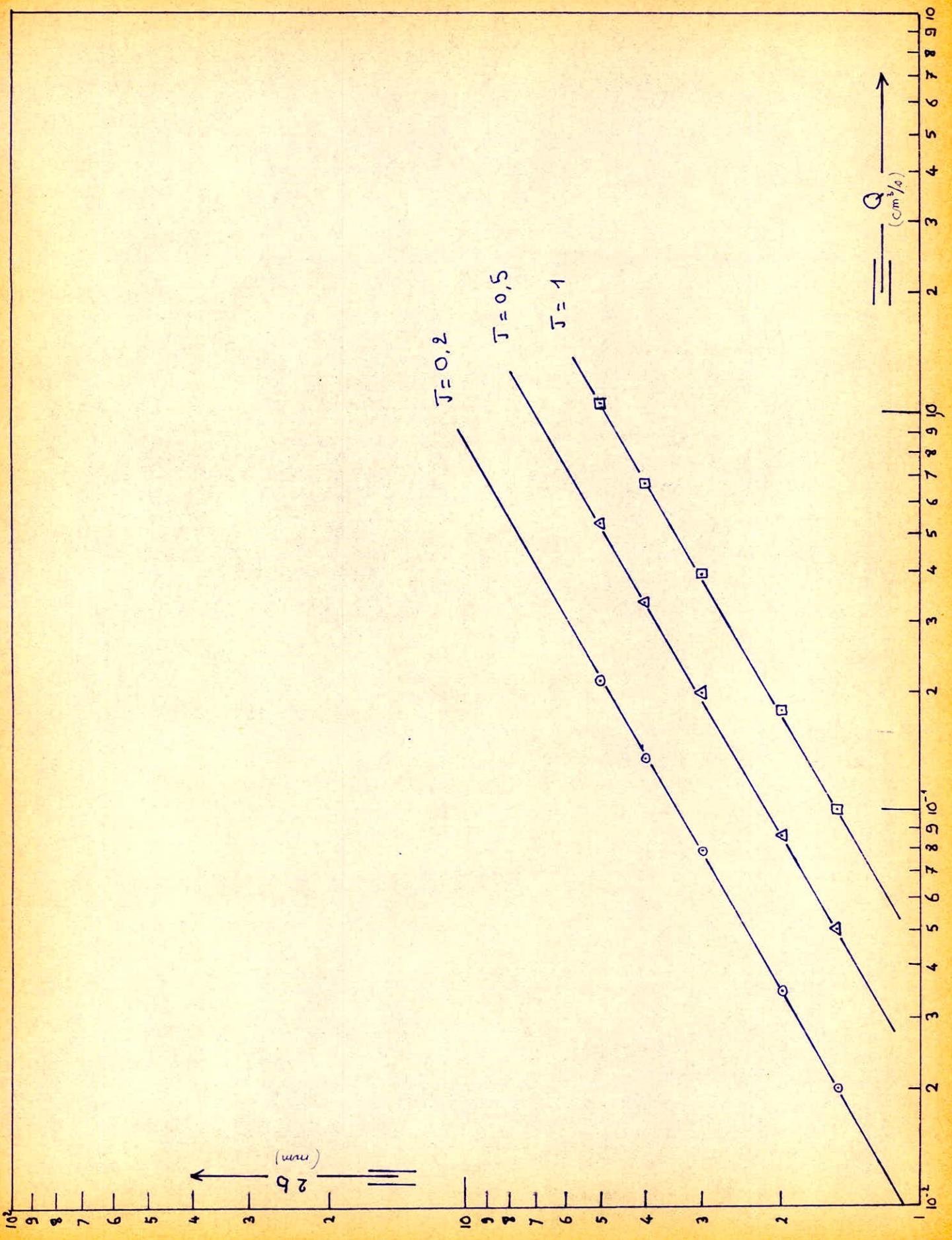
d'où $\alpha_5 = 84^\circ 3'$

Tous ces résultats nous autorisent à dire que la perte de charge J est proportionnelle au débit Q . Et sachant que Q est lui même proportionnel à la vitesse moyenne (voir formule I.10) nous pouvons conclure que la perte de charge J est également proportionnelle à la vitesse moyenne ce qui satisfait la condition imposée par l'écoulement laminaire.

3) Graphes $2b = f(Q)$

Dans la formule théorique (I.9) exposée dans le chapitre premier concernant l'écoulement laminaire entre deux plaques, le débit est proportionnel à la puissance 3 de l'écartement entre les deux plaques.

Nous avons représenté des graphes $Q = f(2b)$ pour des pertes de charges J fixées. Nous nous choisissons $J=1$, $J=0,5$, $J=0,2$ et nous relevons pour chaque perte de charge les valeurs correspondantes du débit Q et de l'écartement $2b$ sur les graphes $J = f(Q)$ et nous les reproduisons sur une échelle logarithmique. Les courbes obtenues (voir graphe $2b = f(Q)$) sont des droites. La connaissance des pentes de ces droites nous renseigne directement sur la puissance de $2b$ dans la relation qui existe entre le débit et l'écartement. La pente est $1/2$ et nous pouvons conclure que la puissance de $2b$ est 2 dans la relation qui existe entre le débit et l'écartement. Après première vue cela paraît curieux du fait que dans la formule théorique la puissance de $2b$ est 3, mais ensuite on s'est rendu compte que cela est évident puisque dans notre cas en plus de l'effet de la viscosité intervient le phénomène de la capillarité qui traduit l'influence de la tension superficielle.



dimensionnelle

L'application des méthodes de l'analyse nous permet de déterminer la forme de l'équation qui lie le débit passant par la fente au gradient de la pression, à l'écartement $2b$ des deux plaques de la fente, à la viscosité du fluide μ et à la tension superficielle σ .

Soit la relation fonctionnelle $F\left(q, \frac{dp}{dl}, b, \mu, \sigma\right) = 0$

Pour faciliter les opérations, nous rapportons dans le tableau ci-dessous les grandeurs intervenant au phénomène avec leurs dimensions.

Grandeurs	Symbole	Dimensions
Débit unitaire	q	$L^2 T^{-1}$
Gradient de pression	dp / dl	$M L^{-2} T^{-1}$
Ecartement	b	L
Viscosité	μ	$M L^{-1} T^{-1}$
Tension superficielle	σ	$M T^{-2}$

La relation fonctionnelle F peut être transformée en une autre, dans laquelle n'interviennent que des paramètres adimensionnels.

Le nombre des grandeurs figurant dans le tableau ci-dessus est $n=5$

Les dimensions fondamentales intervenant avec grandeurs déterminant le phénomène sont en nombre de $m = 3$ (M, L, T). Ainsi le nombre des paramètres adimensionnels π pouvant être formés par les $n=5$ grandeurs constituées avec $m=3$ dimensions fondamentales est $n - m = 5 - 3 = 2$. En application de l'équation (5.4) du traité d'hydraulique générale de M Lapray) on peut écrire :

$$\pi_1 = q^{x_1} \left(\frac{dp}{dl} \right)^{y_1} b^{z_1} \mu$$

$$\pi_2 = q^{x_2} \left(\frac{dp}{dl} \right)^{y_2} b^{z_2} \sigma$$

Conformément au nombre $m=3$ des dimensions fondamentales (M, L, T) constituant les grandeurs on a choisi trois variables répétées.

En substituant les dimensions fondamentales composant les divers grandeurs :

$$\begin{aligned} \pi_1 &= (L^2 T^{-1})^{x_1} (ML^{-2} T^{-1})^{y_1} (L)^{z_1} ML^{-1} T^{-1} = M^0 L^0 T^0 \\ M &====) && && && && + 1 &= 0 \\ L &====) & 2x_1 & - 2y_1 & + z_1 & - 1 &= 0 \\ T &====) & -x_1 & - 2y_1 & & - 1 &= 0 \end{aligned}$$

d'où $x_1 = 1$ $y_1 = -1$ $z_1 = -3$

... / ...

$$\Pi_2 = (L^2 T^{-1}) x_2 (ML^{-2} T^{-2}) y_2 (L) z_2 MT^{-2} = M^0 L^0 T^0$$

$$M \text{====}) \quad \quad \quad y_2 \quad \quad \quad + I \quad \quad \quad = 0$$

$$L \text{====}) \quad 2 x_2 \quad - \quad 2 y_2 \quad \quad \quad + z_2 \quad \quad \quad = 0$$

$$T \text{====}) \quad - x_2 \quad - \quad 2 y_2 \quad \quad \quad - 2 \quad \quad \quad = 0$$

$$\text{d'où} \quad x_2 = 0 \quad \quad \quad y_2 = - I \quad \quad \quad z_2 = - 2$$

Avec les exposants ainsi déterminés on peut constituer Π_1 et Π_2

$$\Pi_1 = \frac{q \mu}{(dp/dl) b^3} = \frac{v \mu'}{\frac{dp}{dl} b^2} = \frac{v \mu}{g J b^2}$$

$$\Pi_2 = \frac{\sigma}{(dp/dl) b^2}$$

En application de (5-3) du traité d'hydraulique générale de M. Leprey) on peut écrire :

$$f_1 \left(\frac{q \mu'}{\frac{dp}{dl} b^3}, \frac{\sigma}{\frac{dp}{dl} b^2} \right) = 0$$

$$\text{d'où} \quad \frac{q \mu}{\frac{dp}{dl} b^3} = f_2 \left(\frac{\sigma}{\frac{dp}{dl} b^2} \right) = 0$$

$$\text{et : } q = c \frac{dp}{dl} \frac{b^3}{\mu} f_3 \left(\frac{\sigma}{\frac{dp}{dl} b^2} \right)$$

La fonction $f_3 \left(\frac{\sigma}{\frac{dp}{dl} b^2} \right)$ reste à déterminer en se basant sur les

résultats expérimentaux. Ce qu'on sait d'après nos expériences, c'est que :

$$\text{- pour } \frac{dp}{dl} = c^{te} \quad \mu = c^{te} \quad \text{et} \quad \sigma = c^{te}$$

q est proportionnel à b^2 , donc b intervient avec une puissance de - 1 dans la fonction f_3

$$\text{- pour } b = c^{te} \quad \mu = c^{te} \quad \text{et} \quad \sigma = c^{te}$$

q est proportionnel à $\frac{dp}{dl}$, donc $\frac{dp}{dl}$ intervient avec une puissance 0 dans la fonction f_3 .

Il serait intéressant de connaître l'influence de la tension superficielle. Ça pourrait faire l'objet d'une expérimentation future. Il suffirait de faire varier la température du fluide.

4) Longueur de LANGHAAR pour les fentes minces.

Nous rappelons que la longueur de LANGHAAR est la longueur d'un certain tronçon initial de la tuyauterie dans lequel l'écoulement laminaire n'a pas encore été établi. C'est le tronçon initial de transition. Cette longueur a été déjà formulée pour les tubes :

$$L' = 0,058 \quad R \quad D \quad (I - I9)$$

Mais ce que nous connaissons pas, c'est la longueur de LANGHAAR pour les fentes minces. Les résultats expérimentaux vont nous permettre de déterminer cette longueur pour les fentes minces. Nous avons représenté dans les tableaux 3i les nombres de Reynolds correspondant aux différents essais sur chaque fente.

Pour une fente déterminée et pour une charge donnée le nombre de Reynolds est :

$$R = \frac{v \quad D_h}{\nu}$$

v vitesse moyenne de l'écoulement

D_h diamètre hydraulique

ν viscosité du fluide.

$$D_h = 4 \quad R_m = 4 \frac{A}{P}$$

A surface mouillée

P périmètre mouillé.

Dans notre cas A de la fente :

$$A = 2bh$$

$$P = 2 (2b + h)$$

$$D'où \quad D_h = 4 \frac{2bh}{2(2b + h)}$$

$$= 4 \frac{b}{\frac{2b}{h} + 1}$$



On peut négliger $\frac{2b}{h}$ devant 1 et on aura $D_h = 4b$.

Cela revient à dire que l'écoulement à travers la fente est bidimensionnel et que h représente une tranche unitaire



$$A = 2b$$

$$P = 2$$

$$R_n = \frac{A}{P} = b$$

$$\text{d'où } D_h = 4 R_n = 4b$$

La connaissance de plusieurs valeurs de la longueur de LANKHAAR, des nombres de Reynolds correspondantes pour un diamètre hydraulique donné, c'est à dire une fente donné (voir tableau 4) nous permet de tracer les courbes de $L'' = f(1/Re)$ (L'' longueur de Lankhaar pour l'écoulement bidimensionnel entre deux plaques parallèles).

Les courbes $L'' = f(1/Re)$ sont représentées sur une feuille millimètre.

Pour avoir une connaissance précise de la puissance du nombre de Reynolds qui intervient dans la formule, nous reportons ces courbes sur une feuille logarithmique, nous obtenons des droites. La connaissance des pentes de ces droites nous renseigne sur la puissance de $1/Re$. On trouve une pente de $1/4$ ce qui veut dire que la puissance de $1/Re$ est $1/4$.

La forme de la formule sera :

$$L'' = K D_h / Re$$

Tableau: 3.1

$$2b = 0,5 \text{ mm}$$
$$A = 2bR = 0,05 \times 1 = 0,05 \text{ cm}^2$$
$$D_H = 4b = 0,1 \text{ cm}$$
$$\lambda = 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Essai	Débit cm^3/s	Vitesse moy cm/s	$R = \frac{v D_H}{\lambda}$
Essai: 1	0,0687	1,374	13,74
	0,0663	1,326	13,26
Essai: 2	0,2415	4,83	48,3
	0,2405	4,81	48,1
Essai: 3	0,581	11,62	116,2
	0,571	11,42	114,2
Essai: 4	1,151	23	230
	1,149	23	230

Tableau: 3.2

$$2b = 0,4 \text{ mm}$$
$$A = 2bh = 0,04 \text{ cm}^2$$
$$D_H = 4b = 0,08 \text{ cm}$$
$$\eta = 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Essai	Débit cm^3/s	Vitesse moy. cm/s	$Re = \frac{v D_H}{\eta}$
Essai:1	0,0644 0,0610	1,61 1,524	12,88 12,2
Essai:2	0,1849 0,1810	4,62 4,525	36,96 36,2
Essai:3	0,4132 0,4179	10,33 10,46	82,6 83,6
Essai:4	0,837 0,831	20,92 20,75	167,7 166,1

Tableau: 3.3.

$$2b = 0,3 \text{ mm}$$

$$A = 2b h = 0,03 \text{ cm}^2$$

$$D_H = 2b = 0,06$$

$$\nu = 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Essai	Débit cm^3/s	Vitesse moy cm/s	$R = \frac{\nu D_H}{\nu}$
Essai:1	0,0284 0,0321	0,947 1,07	5,68 6,42
Essai:2	0,0915 0,0890	3,026 2,97	18,16 17,82
Essai:3	0,2251 0,2277	7,5 7,59	45 45,6
Essai:4	0,505 0,495	16,84 16,5	101,1 99

Tableau: 34

$$\begin{aligned}2b &= 0,2 \text{ mm} \\ A &= 2b h = 0,02 \text{ cm}^2 \\ D_H &= 4b = 0,04 \text{ cm} \\ \eta &= 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}\end{aligned}$$

Essai	Débit cm^3/s	Vitesse moy cm/s	$R = \frac{\nu D_H}{\eta}$
Essai:1	0,0225 0,02055	1,126 1,028	4,51 4,115
Essai:2	0,0478 0,0505	2,392 2,527	9,56 10,12
Essai:3	0,1051 0,1035	5,25 5,175	21 20,7
Essai:4	0,2103 0,2079	10,65 10,39	42,6 41,6

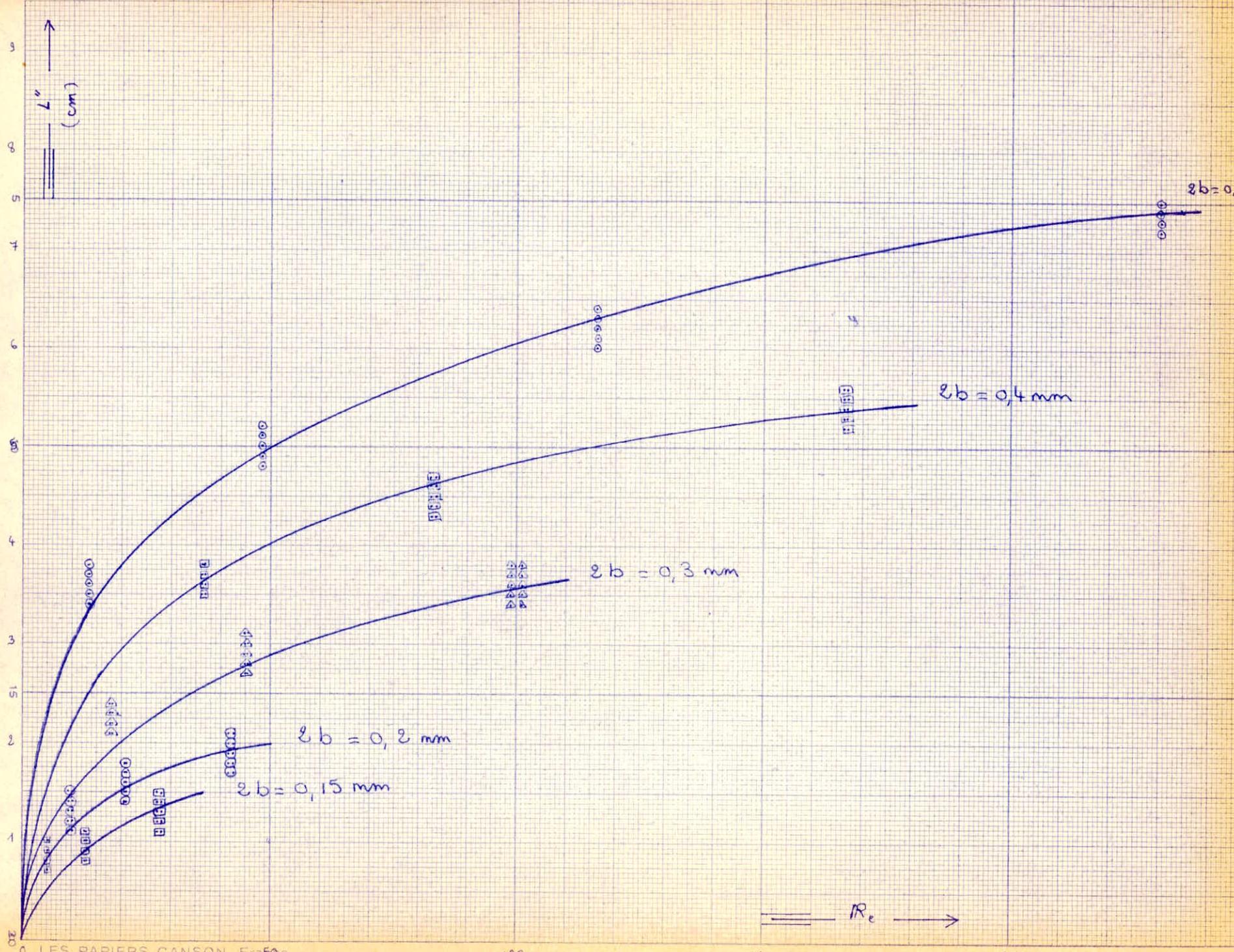
Tableau: 3.5

$$\begin{aligned} 2b &= 0,15 \text{ mm} \\ A &= 2b h = 0,015 \text{ cm}^2 \\ D_H &= 4b = 0,015 \text{ cm} \\ \nu &= 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Essai	Débit cm^3/s	Vitesse moy cm/s	$R = \frac{\nu D_H}{\nu}$
Essai: 1	0,01503 0,01482	1 0,988	3 2,968
Essai: 2	0,02510 0,02531	1,674 1,69	5,02 5,07
Essai: 3	0,0649 0,0638	4,33 4,26	13 12,78
Essai: 4	0,1407 0,1361	9,375 9,075	28,13 27,2

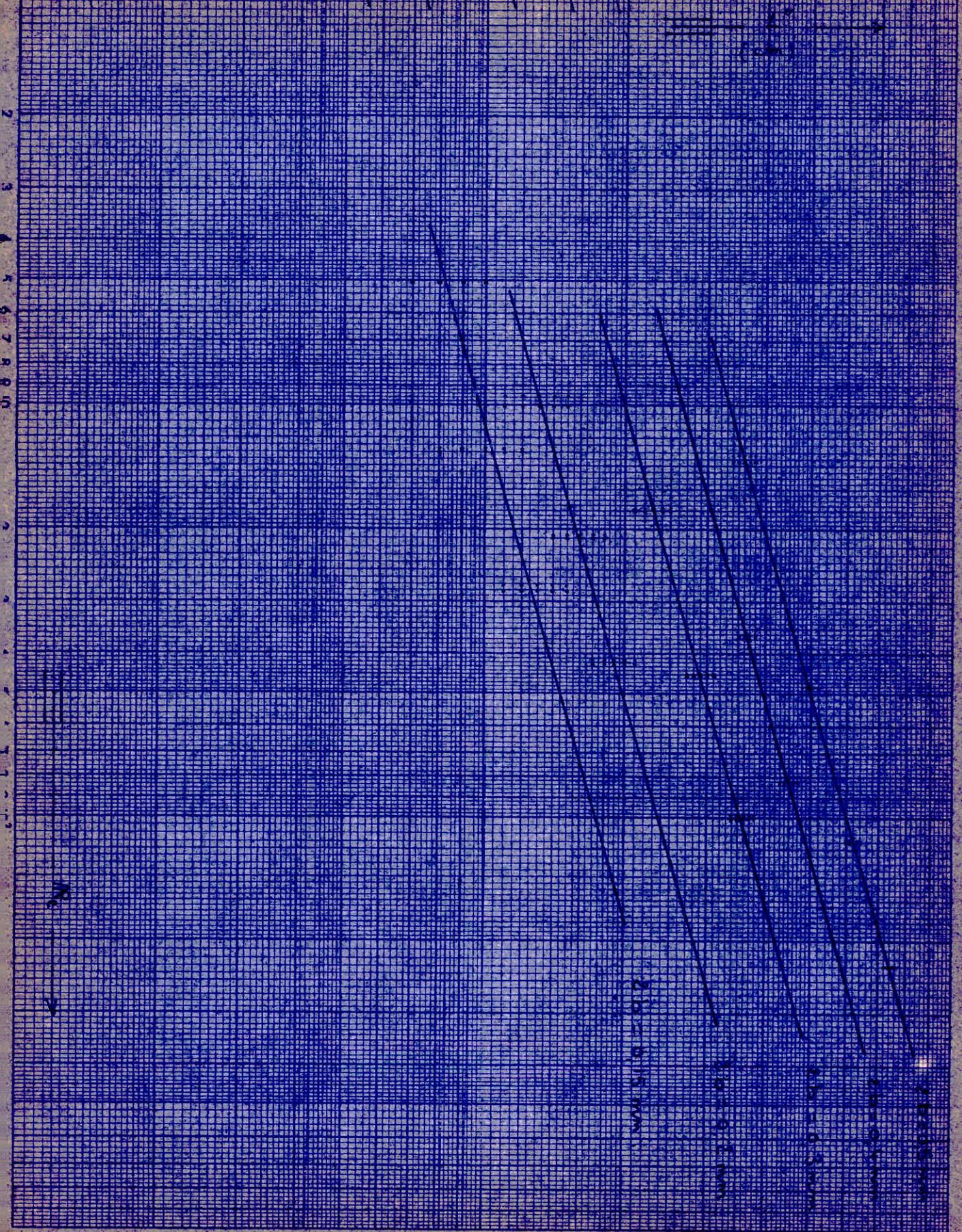
Tableau: 4 Longueur de LANGHAAR

	<u>Fente: 2b=0,5mm</u>		<u>Fente: 2b=0,4mm</u>		<u>Fente: 2b=0,3mm</u>		<u>Fente: 2b=0,2mm</u>		<u>Fente: 2b=0,15mm</u>	
	IR_e	L'' (cm)	IR_e	L''	IR_e	L''	IR_e	L''	IR_e	L''
<u>Essai:1</u>	13,74	3,4 3,5	12,88		5,68		4,51		3	
	13,26	3,6 3,7 3,8								
<u>Essai:2</u>	48,3	4,8 4,9	36,96	3,5 3,6	18,16	2,1 2,2	9,56	1,1 1,2	5,02	0,7 0,8
	48,1	5,0 5,1 5,2		36,2		3,7 3,8		17,82		2,3 2,4 2,5
<u>Essai:3</u>	116,2	6,0 6,1	82,6	4,3 4,4	45	2,7 2,8	21	1,4 1,5	13	0,8 0,9
	114,2	6,2 6,3 6,4		83,6		4,5 4,6 4,7		45,6		2,9 3,0 3,1
<u>Essai:4</u>	230	7,2 7,3	167,7	5,2 5,3	101,1	3,4 3,5	42,6	1,7 1,8	28,13	1,1 1,2
	230	7,4 7,5 7,6		166,1		5,4 5,5 5,6		99		3,6 3,7 3,8



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0



M

Time

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

Pour chaque courbe c'est à dire pour chaque fente on peut déterminer K_{Dh} et par suite K .

K_{Dh} sera donné par la valeur de L'' pour $/Re = 1$ dans le graphique.

$$\text{Fente } 2b = 0,5\text{mm.}$$

$$K \times 1 = 18,3$$

$$K = 18,3$$

$$\text{Fente } 2b = 0,4\text{mm}$$

$$K \times 0,8 = 14,8$$

$$K = \frac{14,8}{0,8} = 18,5$$

$$\text{Fente } 2b = 0,3\text{mm}$$

$$K \times 0,6 = 11,2$$

$$K = \frac{11,2}{0,6} = 18,65$$

$$\text{Fente } 2b = 0,2\text{mm}$$

$$K \times 0,4 = 7,35$$

$$K = \frac{7,35}{0,4} = 18,39$$

$$\text{Fente } 2b = 0,15\text{mm}$$

$$K \times 0,3 = 0,548$$

$$K = \frac{0,548}{0,3} = 18,28$$

$$K_{\text{moy}} = \frac{\sum K}{5}$$

$$= \frac{18,3 + 18,5 + 18,65 + 18,39 + 18,28}{5}$$

5

$$K_{\text{moy}} = 18,425$$

d'où :

$$L'' = 18,425 D_h / R^{1/4} \quad (3-2)$$

Si l'on se choisit des fentes minces de diamètre hydraulique D_h , il est strictement obligé d'avoir au moins une longueur égale à la longueur de $L_{ankhaar}$, sans cela l'écoulement ne sera pas laminaire.

II Analogie avec l'écoulement à travers des tubes cylindriques.

En ce qui concerne l'écoulement laminaire à travers les tubes cylindriques l'on dispose des formules exposées dans le premier chapitre (paragraphe I.B)

Le débit Q est :

$$Q = \frac{g \pi J D^4}{128 \nu} \quad (1-16)$$

pour l'eau :

$$Q = \frac{9,8 \times 3,14 \times 10^4 \times J D^4}{1,28}$$

$$Q = 2,406 \times 10^5 J D^4$$

Le nombre de Reynolds $/R = \frac{v D}{\nu}$ ne doit pas dépasser 2000 pour que l'écoulement reste laminaire.

La longueur de $L_{ankhaar}$ est :

$$L' = 0,058 / R D \quad (1-19)$$

Pour un fluide donné et pour une charge donnée la longueur de $L_{ankhaar}$ ne dépend que du diamètre.

Pour les tubes également, si l'on se choisit un diamètre donné, il faut avoir au moins une longueur minimale égale à la longueur de $L_{ankhaar}$ pour que l'écoulement soit laminaire.

CHAPITRE QUATRIEME :

CONCEPTION D'UN MODELE PHYSIQUE
D'UNE TRANCHE ELEMENTAIRE DE RAIE D'IRRIGATION.

Dans le chapitre précédent nous avons étudié les différentes possibilités offertes pour imiter la perméabilité du sol en laboratoire, par les fentes minces ou par les tubes cylindriques.

Pour le cas des fentes minces, et pour une charge égale à la charge qui existerait dans une raie d'irrigation (15cm environ) on a vu que la longueur de Lankhaar (tableau 4) variait entre 1cm et 7,6cm pour des écartements allant de 0,15mm à 0,5mm.

Pour le cas des tubes cylindriques si l'on se choisit un diamètre de 1mm

$$\text{la surface } A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1}{4} = 0,785 \text{ mm}^2 \quad (4.1)$$

$$\text{le débit } q = \frac{g \cdot J \cdot D^4}{128 \eta} = \frac{9,8 \times 3,14 \times 10^{-4}}{1,28} J D^4 \quad (4.2)$$

$$q = 2,406 \times 10^5 \times 10^{-12} J \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 2,406 \times 10^{-7} \times 10^9 J \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$q = 240,6 J \text{ mm}^3/\text{s} \quad (4.3)$$

la vitesse moyenne :

$$v = \frac{q}{A} = \frac{240,6 J}{0,785} = 306 J \text{ mm}/\text{s}$$

le nombre de Reynolds :

$$/R = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{306 \times 1}{1} J = 306 J$$

la longueur de Lankhaar :

$$L' = 0,058 \times D \times /R \quad (1-19)$$

$$L' = 0,058 \times 1 \times 306 J = 17,78 J \text{ mm} \quad (4.4)$$

Pour avoir un écoulement laminaire, J ne doit pas dépasser $\frac{2000}{306} = 6,54$ et la longueur du tube capillaire doit être au moins égale à $L'=17,78 J \text{ mm}$.

Entre ces deux solutions, nous allons adopter la seconde, parce que la première, celle des fentes minces, présente des difficultés dans la fabrication des pièces en plexiglass qui nécessite une précision de l'ordre de $1/100$ de mm, tandis que l'on trouve dans le marché des tubes capillaires en verre de diamètre 1mm.

Nous pouvons alors définir le modèle analogique.

A) Principe du modèle.

Nous rappelons que l'infiltration de l'eau dans le sol varie au cours du temps. Elle est forte en début d'irrigation et faible en fin d'irrigation. Pour respecter cette condition il faudrait que le débit passant par les tubes décroît avec le temps, nous sommes en présence d'un écoulement varié. Pour résoudre ce problème nous avons produit ~~un~~ une contre pression variable qui fait décroître le débit passant par les tubes sous une charge constante.

B) Description du modèle.

Notre installation se compose : (voir schémas)

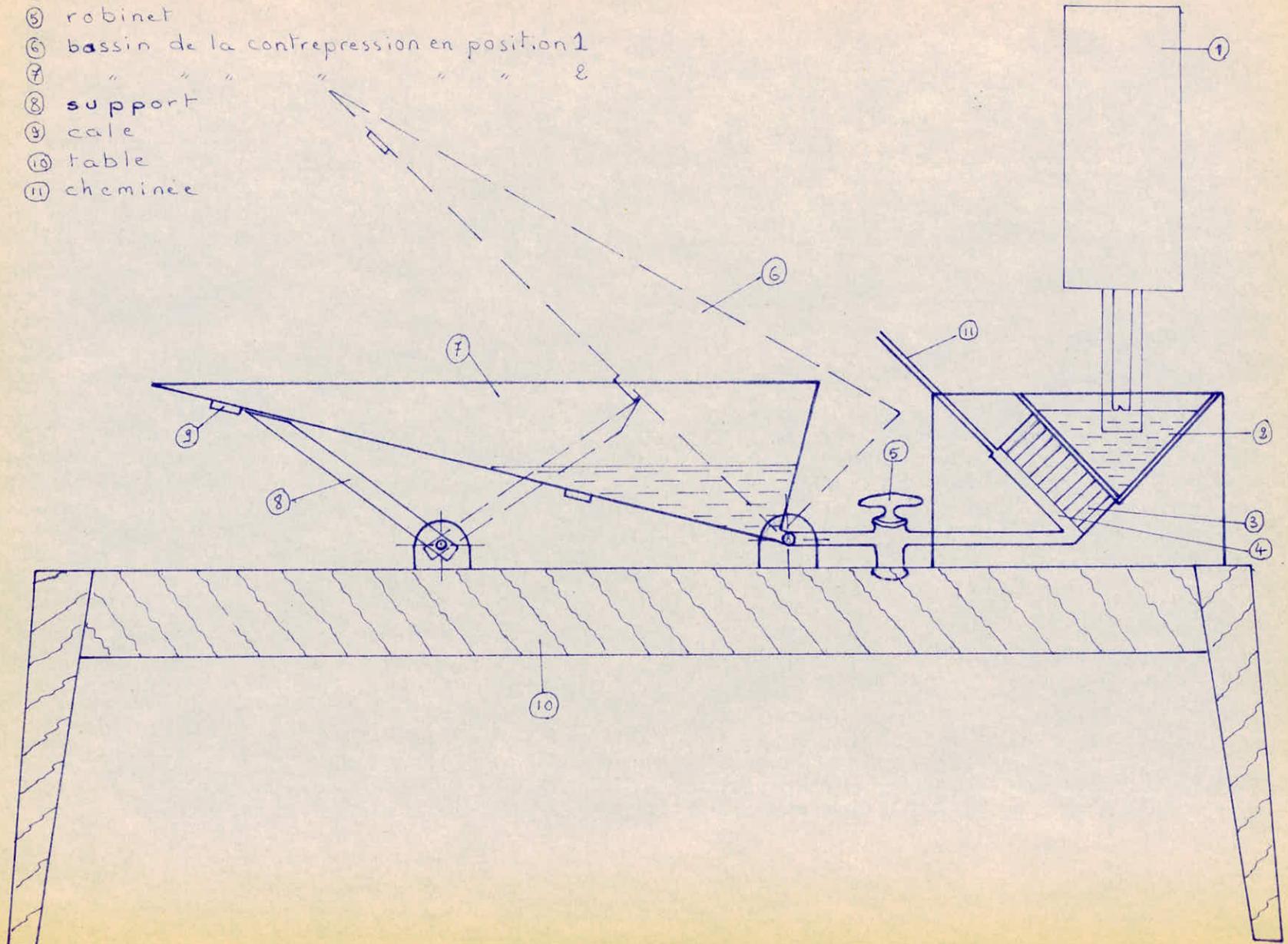
- d'une tranche élémentaire de canal en plexiglass de section triangulaire, équipée d'un dispositif comprenant 10 tubes capillaires de diamètre 1mm et de longueur 75mm disposés latéralement à la tranche élémentaire de canal. Le dispositif est pourvue d'un collecteur.

- d'un vase de Mariotte avec lequel on maintient le niveau constant dans la tranche élémentaire de canal.

- d'un bassin de contre pression dont la section longitudinale est un triangle et dont la section transversale est un rectangle dont l'une des dimensions est variable.

- Une liaison est faite avec un tube entre le collecteur de la tranche élémentaire de canal et le bassin de la contre pression. Dans cette liaison on dispose d'un robinet qui permet soit de relier le bassin à la tranche élémentaire (écoulement varié), soit d'isoler la tranche élémentaire (écoulement permanent).

- ① vase de Mariotte
- ② tranche élémentaire de canal
- ③ dispositif d'infiltration (tubes capillaires)
- ④ collecteur
- ⑤ robinet
- ⑥ bassin de la contrepression en position 1
- ⑦ " " " " " " " 2
- ⑧ support
- ⑨ cale
- ⑩ table
- ⑪ cheminée



SCHEMA DU MODELE

Le bassin de la contre pression pivote autour de son arête de fond de telle sorte que l'on puisse le fixer dans plusieurs positions qui permettent d'avoir des chutes de pression différentes. Ces chutes de pression vont influencer sur la variation du débit en fonction du temps.

Tous ces dispositifs reposent sur une table.

C) Essais.

Pour les expériences qui vont suivre on s'est choisi une charge constante de 15cm dans la tranche élémentaire de canal, qui correspondrait à la charge réelle dans une raie d'irrigation.

En premier lieu, nous avons fait un essai sans avoir recours au bassin de la contre pression, et nous avons mesuré le volume d'eau passant par les tubes capillaires et recueilli par le collecteur en fonction du temps. Ce volume est mesuré à l'aumont, dans le vase de Mariotte. Il suffit de mesurer la variation du niveau d'eau dans le vase. Une variation $H = 1\text{cm}$ correspondrait à un volume $V = A \times l = \frac{\pi D^2}{4} \times l = \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times 1 = 314 \text{ cm}^3$

On a trouvé :

$$H = 10,6\text{cm} \quad \text{pour un temps } T = 15\text{mn } 11\text{s}$$

$$\text{le débit } Q_0 = \frac{314 \times 10,6}{15 \times 60 + 11} = \frac{3330}{911} = 3,655 \text{ cm}^3/\text{s}$$
$$= 3655 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$\text{ou } Q_0 = \frac{106}{15,18} = 6,98 \text{ mm}^3/\text{mn}$$

Ce débit Q_0 sera supposé celui de l'infiltration en début d'irrigation.

En second lieu, nous avons fait deux essais en ayant recours au bassin de la contrepression.

Le premier essai correspond à une position du bassin tel que la bissectrice de l'angle du dièdre pivotant soit verticale- (position 1) .

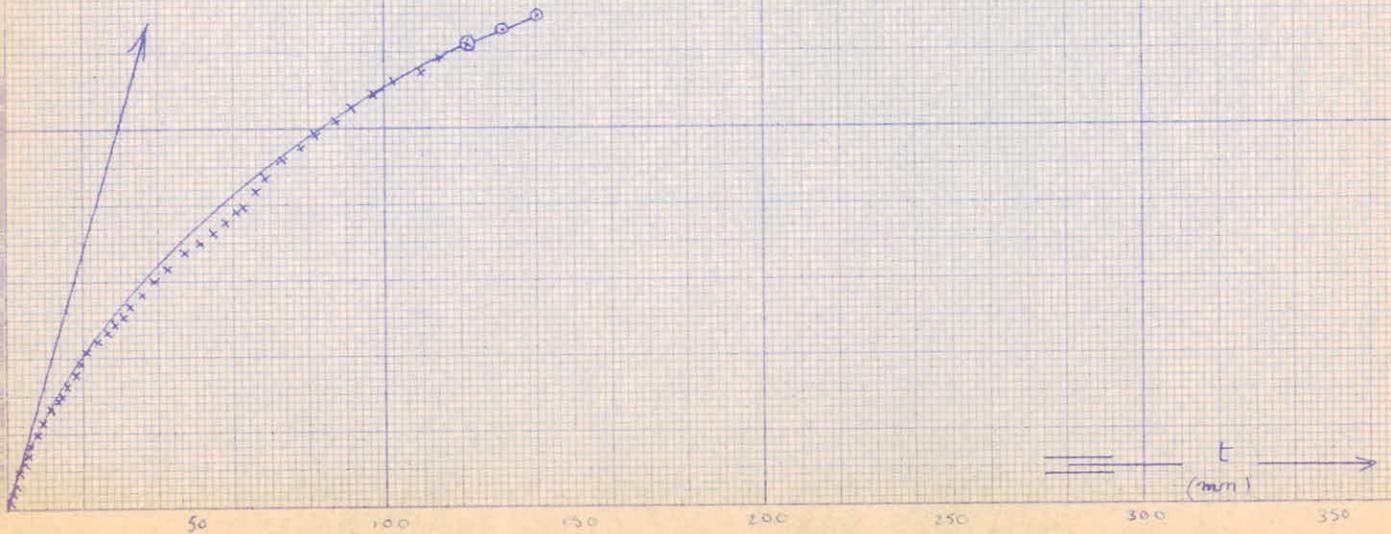
Tableau: 5 Bassin de la contre pression
en position 1

H (mm)	t (mn et s)	Observations	H (mm)	t (mn et s)	Observations
0	0'		128	43'34"	
9	1'26"		135	47'33"	
15	2'38"		140	52'	
20	3'56"		145	55'40"	
25	5'13"		151	58'46"	
29	6'9"		156	61'11"	
35	7'8"		161,5	63'27"	
40	8'32"		168	66'9"	
46	10'20"		176	69'18"	
54	12'27"		185	73'40"	
58	14'12"		191	78'44"	
60	15'30"		198	82'45"	
67	16'59"		204	87'45"	
72	18'58"		212	91'57"	
78	20'27"		219	98'7"	
84	23'		226	103'7"	
89	25'11"		230,5	110'48"	
94	27'24"		237	115'40"	
98	29'18"				
102	31'24"		245	122'41"	deversement
108	33'18"		252	132'9"	↓ Débit
114	36'34"		259	140'46"	↓ constant
121	39'49"				

Tableau 6. Bassin de la compression
en position 2.

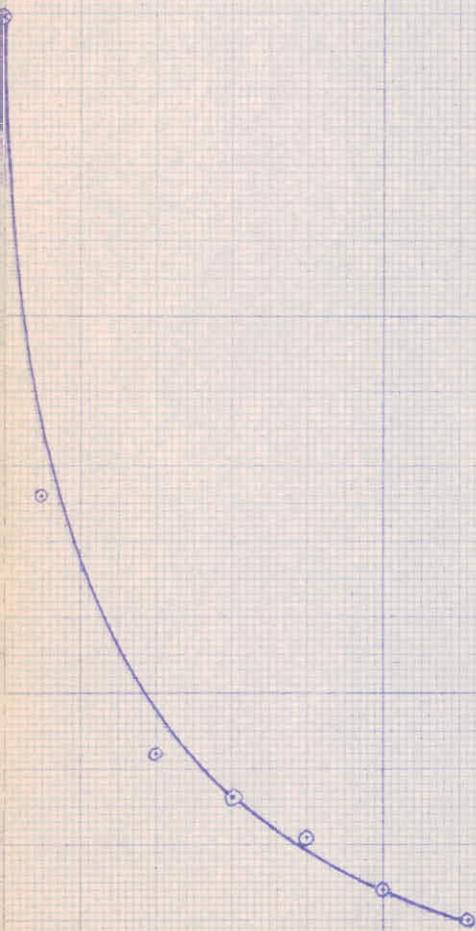
H (mm)	t (mm etc)	H (mm)	t (mm etc)	H mm	t (mm etc)	H (mm)	t (mm etc)
0	0	221	34' 56"	431	91' 7"	649	190' 6"
4	42"	226	36' 22"	436	93' 5"	654	194' 55"
7	1' 10"	234	37' 41"	448	96' 17"	659	198' 44"
10	1' 30"	241	39' 15"	454	98' 11"	667	202' 58"
12	1' 43"	246	40' 44"	459	100' 2"	676	209' 2"
16	2' 08"	252	41' 48"	466	102' "	683	215' 38"
19	2' 31"	256	43' 3"	472	104' 14"	691	222' 0"
24	3' 03"	262	44' 5"	479	106' 27"	697	228' 37"
28	3' 32"	267	45' 30"	486	109' 3"	702	234' 15"
34	4' 13	272	46' 36"	491	111' 31"	709	240' 5"
43	5' 13	278	47' 52"	496	113' 6"	716	246' 38"
52	6' 21	283	49' 6"	503	115' 6"	722	254' 30"
57	7' 20	289	50' 16"	507	117' 47"	727	261' 0"
63	8' 06	294	51' 59"	511	119' 10"	735	267' 24"
70	8' 59	301	53' 18"	517	120' 57"	742	279' 58"
77	10' 0"	307	54' 58"	522	123' 18	750	302' 56"
82	10' 51"	313	56' 34"	529	125' 5"	755	326' 3"
89	11' 36"	318	57' 59"	533	127' 49"	762	358' 26"
95	12' 44"	326	59' 35"	538	130' 5"	771	401' 53"
101	13' 49"	332	61' 37"	544	132' 32"		
107	14' 35"	338	63' 10"	549	135' 5"		
113	15' 30"	343	64' 54"	554	137' 25"		
122	16' 57"	349	66' 25"	561	139' 57"		
126	17' 58"	356	68' 8"	566	143' 17"		
129	18' 33"	363	70' 19"	571	145' 35"		
136	19' 14"	371	72' 32"	577	147' 50"		
144	20' 31"	377	74' 40"	583	150' 58"		
151	21' 46"	383	76' 39"	588	154' 25"		
158	22' 56"	392	78' 45"	595	157' 14"		
164	24' 8"	400	81' 35"	602	161'		
171	25' 23"	407	84' 4"	608	164' 55"		
176	26' 35"	412	85' 7"	615	168' 25"		
183	27' 40"	415	86' 34"	620	172' 24"		
190	29' 0"	417	87' 10"	625	175' 25"		
198	30' 20"	420	87' 55"	630	178' 23"		
205	31' 44"	424	89' 7"	636	182' 13"		
211	33' 12"	428	90' 11"	642	185' 44"		

Position 1 du Bassin de
la contre pression.



Position 1 du bassin
de la contrepression.

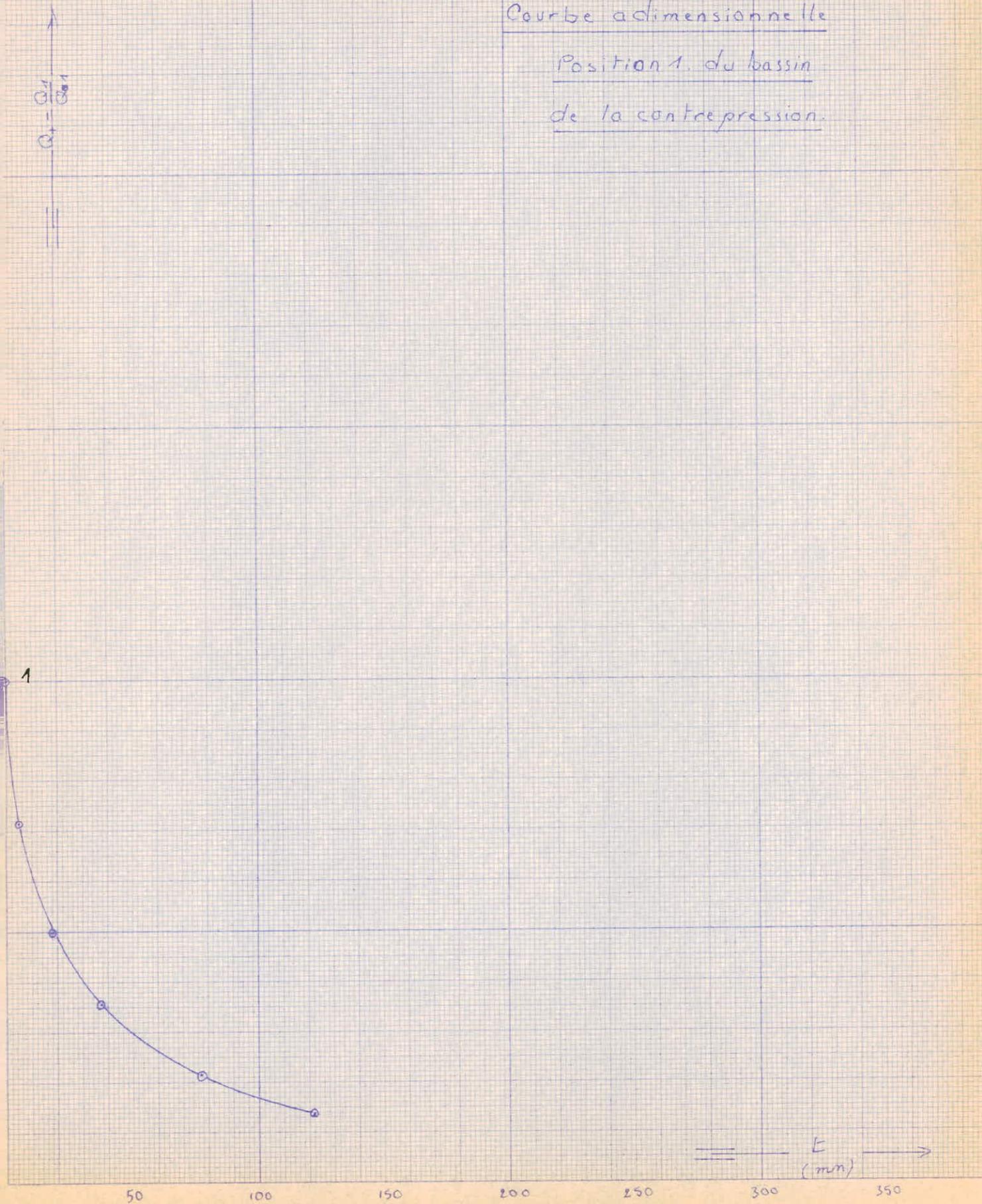
Q_1
(m³/min)



t
(min)

50 100 150 200 250 300 350

Courbe adimensionnelle
Position 1. du bassin
de la contrepression.



Position 2. du bassin
de la contrepression.

Sol naturel

H
(mm)

8000

6000

4000

2000

(mm)

t
(mm)

50

100

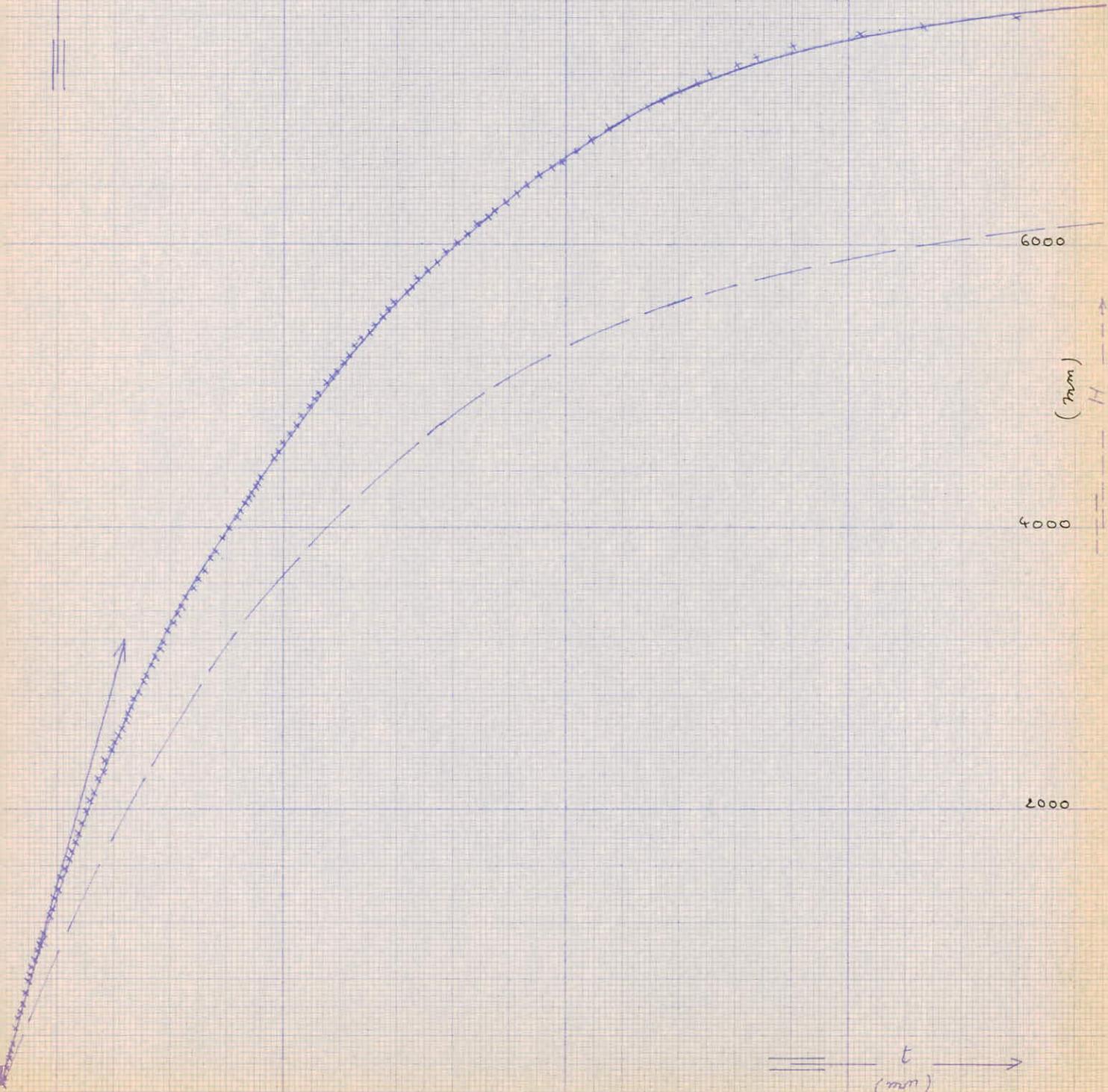
150

200

250

300

350



Position e du bassin
de la contrepression
sol naturel

α_2
(mm/mm)

100

75

50

25

(mm/mm)

t
(mm)

50

100

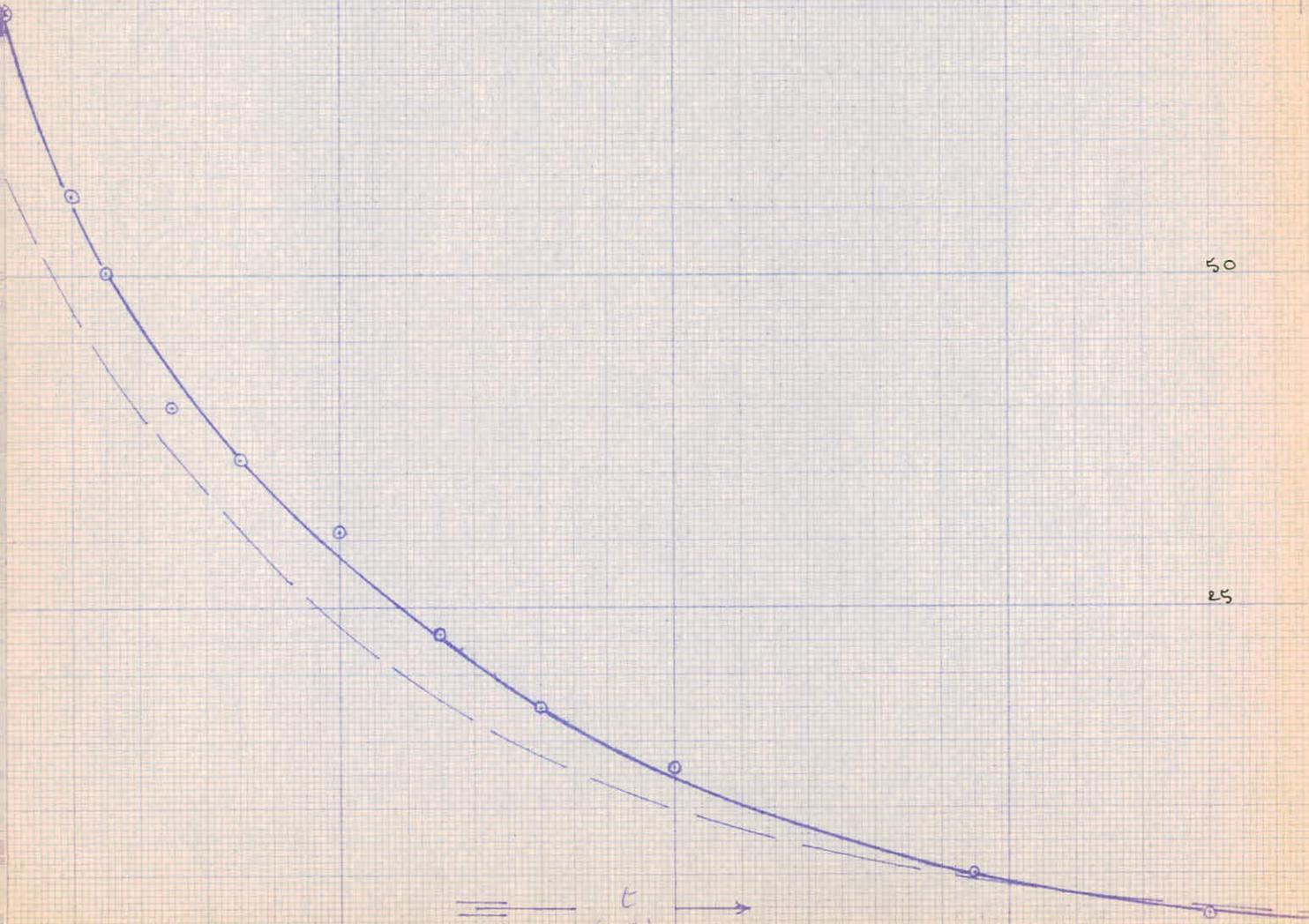
150

200

250

300

350



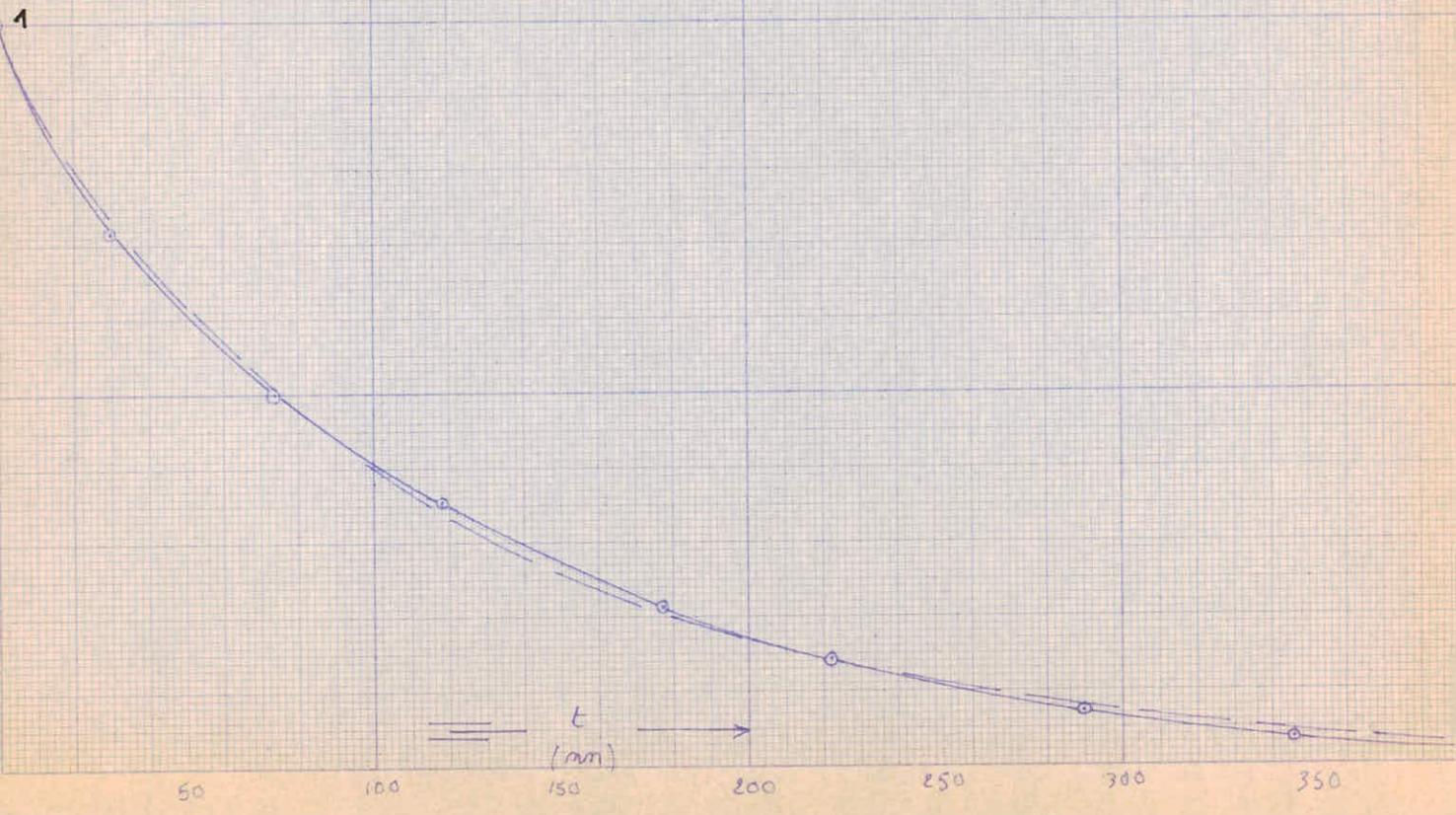
$Q_t = \frac{Q_2}{Q_{0,2}}$

Courbe adimensionnelle

Position z. du bassin
de la contrepression.

Courbe adimensionnelle

sol naturel



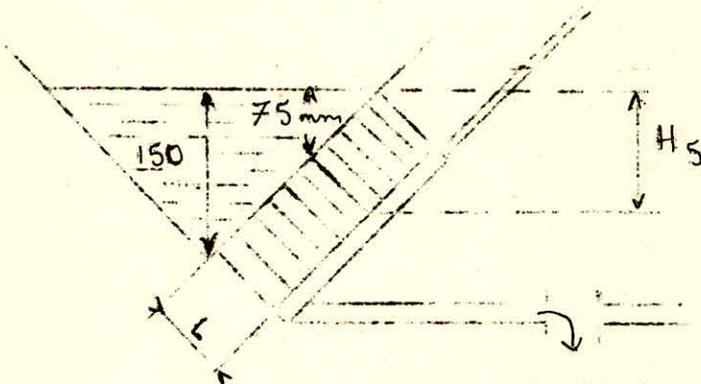
Le deuxième essai correspond à une position du bassin tel que ses arêtes libres soient dans un plan horizontal ^(position 2) horizontal. Entre ces deux positions extrêmes, l'on pourra fixer d'autres positions intermédiaires.

Les résultats ainsi obtenus sont représentés sur les tableaux 5 et 6 et les courbes $H = f(t)$ ci-après qui expriment le volume d'eau traversé en fonction du temps. A partir de ces courbes $H = f(t)$, l'on pourra déduire la courbe du débit au cours du temps en relevant les tangentes en différents points de la courbe $H = f(t)$.

En faisant le rapport des ordonnées de la courbe des débits avec le débit Q_0 trouvé lors de la première expérience, nous obtenons une courbe adimensionnelle dont la valeur est 1 pour $t = 0$.

D) Etude mathématique du modèle.

1) Essai sans le recours à la contre pression.



Pour chaque tube capillaire la perte de charge est :

$$J = \frac{H_i}{L} \quad (4.5)$$

Pour le cinquième tube :

$$J = \frac{H_5}{L} \quad (4.6)$$

$$H_5 = 75 + L \sqrt{2}/2 = 75 + 75 \sqrt{2}/2 = 75 + 53,1 \quad (4.7)$$
$$= 128,1 \text{ mm}$$

$$J_5 = \frac{H_5}{L} = \frac{128,1}{75} = 1,7 \quad (4.8)$$

En application de (4.3) le débit :

$$q_5 = 240,6 \times J_5$$
$$q_5 = 240,6 \times 1,7$$
$$= 408,5 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Le débit total passant par tous les tubes :

$$Q_{\text{théorique}} = 10 q_5 = 10 \times 408,5$$
$$= 4085 \text{ mm}^3/\text{s}$$

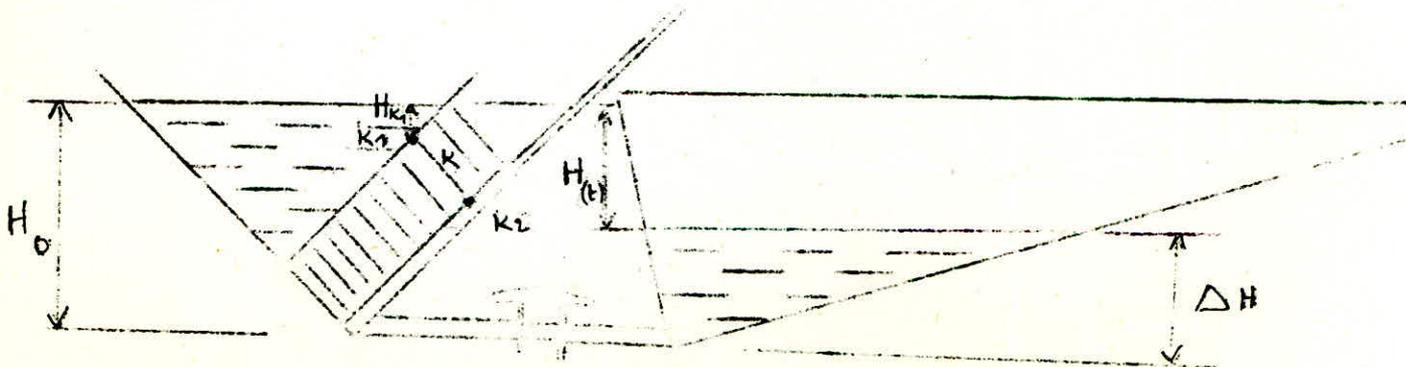
Le débit total expérimental était :

$$Q_{\text{exp.}} = 3655 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Le rapport :

$$\frac{Q_{\text{exp}}}{Q_{\text{th}}} = \frac{3655}{4085} = 0,895$$

2) Essais avec le recours à la contre pression.



a) Débit passant par les tubes noyés. :

Pour chaque tube noyé on a le débit :

$$q_j = C_1 J \quad (4.9)$$

$$J = \frac{H(t)}{L} \quad \text{avec } L = C t_e \quad (4.10)$$

$$q_j = C_2 H(t) \quad (4.11)$$

or on a :

$$H(t) = H_0 - \Delta H \quad (\text{voir schéma}) \quad (4.12)$$

$$H(t) = H_0 - C_3 \sqrt{\int_0^t \sum_{i=0}^{10} q_i dt} \quad (4.13)$$

Le débit passant par les tubes noyés :

$$\sum_0^j q_j = j q = j C_2 \left[H_0 - C_3 \sqrt{\int_0^t \sum_{i=0}^{10} q_i dt} \right] \quad (4.14)$$

b) Débit passant par les tubes non noyés.

Pour chaque tube non noyé :

$$q_k = C_1 J_k \quad (4.15)$$

$$J_k = \frac{H_k}{L} \quad (4.16) \quad H_k \text{ étant la perte de charge dans le tube } k.$$

Soit le tube capillaire k et les points k1 et k2 (voir schéma).

$$H_k = H_{k1} + L \sqrt{2/2} \quad (4.17)$$

Le débit passant par les tubes non noyés :

$$\sum_{k=j+1}^{k=10} q_k = \sum_{k=j+1}^{k=10} C_1 \frac{H_{k1} + L \sqrt{2/2}}{L} \quad (4.18)$$

Il en résulte que le débit total passant par tous les tubes sera :

$$\sum_{i=0}^{10} q_i = Q(t) = \sum_{j=0}^j q_j + \sum_{k=10}^{k=10} q_k$$

$$= j C_2 \left[H_0 - C_3 \sqrt{\int_0^t \sum_{i=0}^{10} q_i dt} \right] + \sum_{k=j+1}^{k=10} C_1 \frac{H_{k1} + L \sqrt{2/2}}{L}$$

$$Q(t) = j C_2 H_0 + (10 - j) C_1 L \sqrt{2/2} - j C_2 C_3 \sqrt{\int_0^t \sum_{i=0}^{10} q_i dt} + \sum_{k=j+1}^{k=10} C_1 \frac{H_{k1}}{L}$$

$$Q(t) = j C_2 H_0 + (10 - j) C_1 L \sqrt{2/2} - j C_2 C_3 \sqrt{V(t)} + \sum_{k=j+1}^{k=10} C_1 \frac{H_{k1}}{L}$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = j C_2 H_0 + (10 - j) C_1 L \sqrt{2/2} - j C_2 C_3 \sqrt{V(t)} + \sum_{k=j+1}^{k=10} C_1 \frac{H_{k1}}{L}$$

E) Domaine d'application de ce modèle.

Dans la nature nous pouvons déterminer par mesure à l'aide d'un vase de Mariotte dans un canal triangulaire de longueur 1m (dont la section sera la même que celle du canal du modèle) les volumes d'eau infiltré dans le sol sec en fonction du temps.

Ca nous donne une courbe $H = f(t)$.

Nous pouvons déduire la courbe du débit et la courbe adimensionnelle en fonction du temps.

Ensuite nous allons comparer cette courbe adimensionnelle relative au sol naturel aux courbes adimensionnelles relatives au modèle et correspondant à différentes positions du bassin de la contrepression.

On déterminera la position du bassin en choisissant la courbe adimensionnelle du modèle qui se rapproche le mieux de la courbe adimensionnelle expérimentale observée dans la nature, après quoi on pourra calculer le nombre de dispositifs de tubes capillaires qu'il faudra mettre dans une tranche de canal de longueur 1m. Le rapport du débit d'infiltration en début d'irrigation avec le débit analogue dans le modèle, nous donne le nombre de dispositifs par mètre de canal.

Nous nous basons sur la courbe expérimentale $H = f(t)$ trouvée par M. AHRIZ dans une fosse de longueur 1m. De cette courbe on a tiré la courbe du débit et la courbe adimensionnelle. Cette courbe adimensionnelle se rapproche de la courbe adimensionnelle trouvée dans le deuxième essai de la deuxième expérience. Les courbes de débit correspondantes donnent le nombre de dispositifs de tubes capillaires par mètre.

Si Q_0 est le débit passant par le modèle quand la contrepression n'intervient pas et si q_0 est le débit unitaire dans un sol naturel on aura le nombre de dispositifs par mètre

$$N = \frac{q_0}{Q_0}$$

q_0 et Q_0 exprimées par la variation de H par minute.

$$Q_0 = \frac{106}{15' 11''} = \frac{106}{15,183} = 6,98 \text{ mm/s}$$

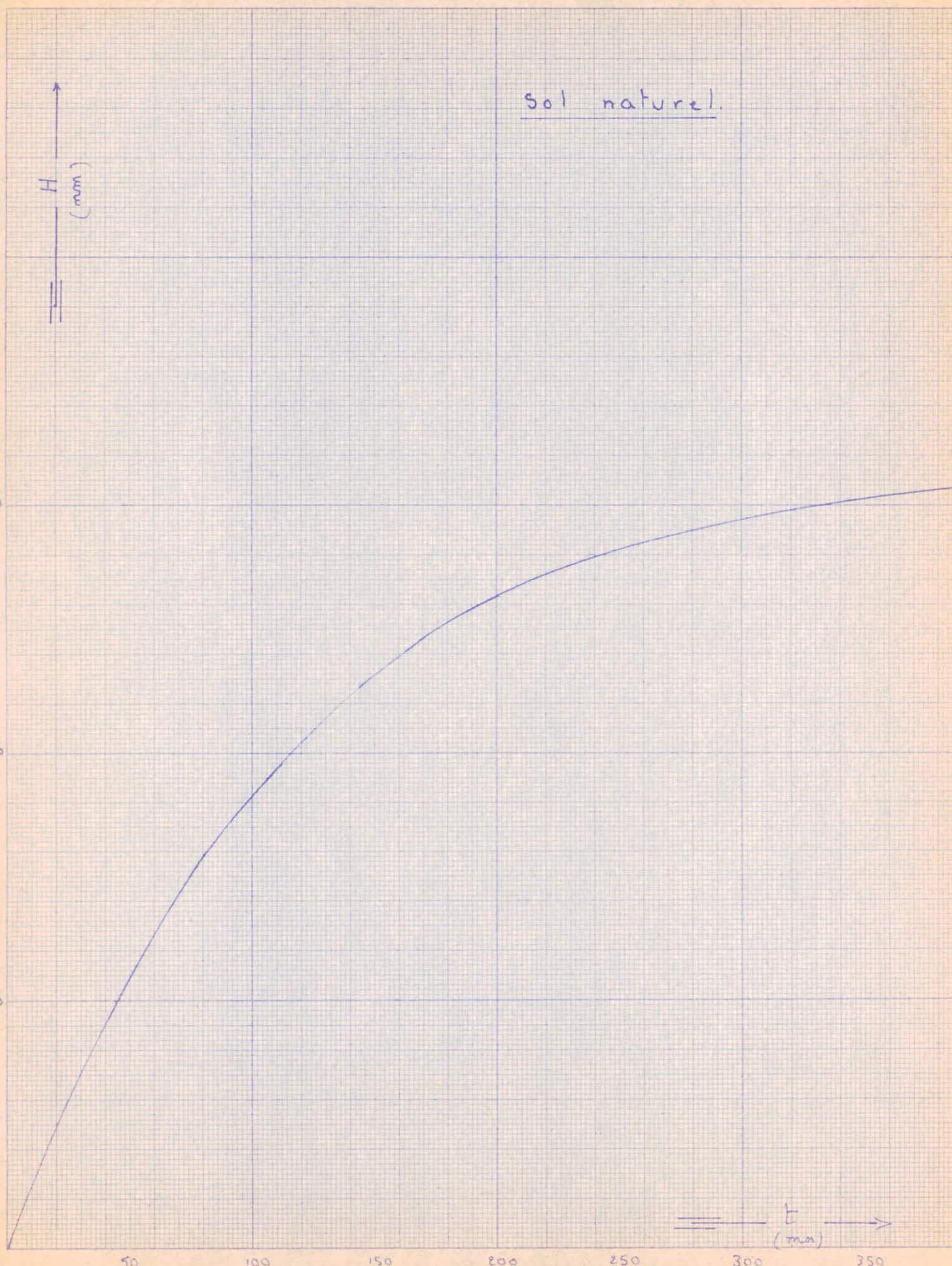
$$q_0 = 58 \text{ mm / s/m} \quad (\text{voir graphique})$$

$$N = \frac{q_0}{Q_0} = \frac{58}{6,98} = 8,3$$

Nous constatons que pour une telle perméabilité nous devons utiliser 8,3 dispositifs de tubes capillaires par mètre. Nous pouvons donc envisager la représentation de n'importe quelle perméabilité en augmentant ou en diminuant le nombre de dispositifs de tubes capillaires par mètre.

Sol naturel.

H
(mm)

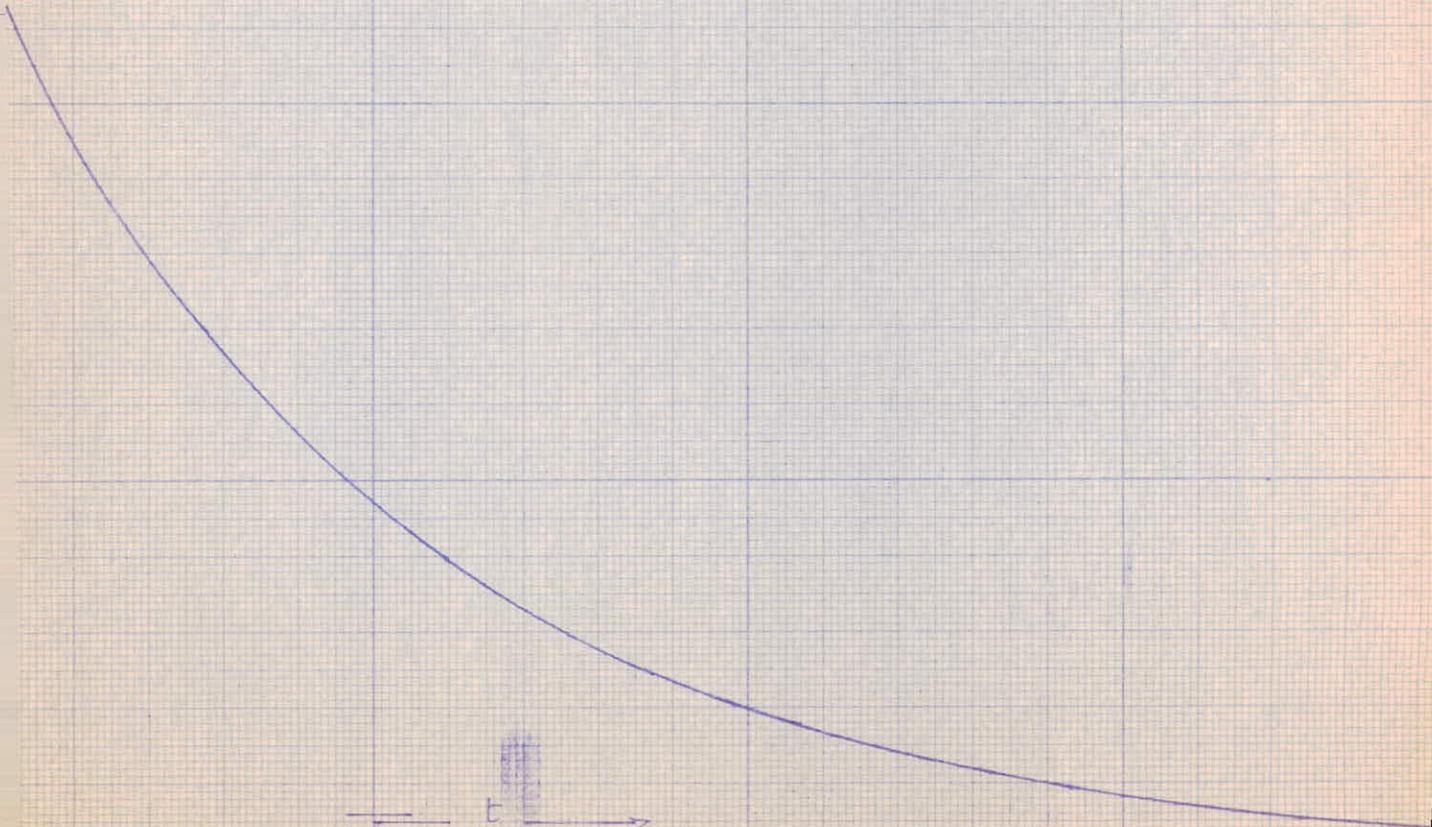


t
(min)

Sol naturel

q
(mm/min)

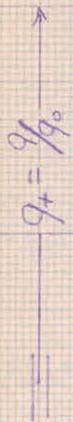
t
(min)



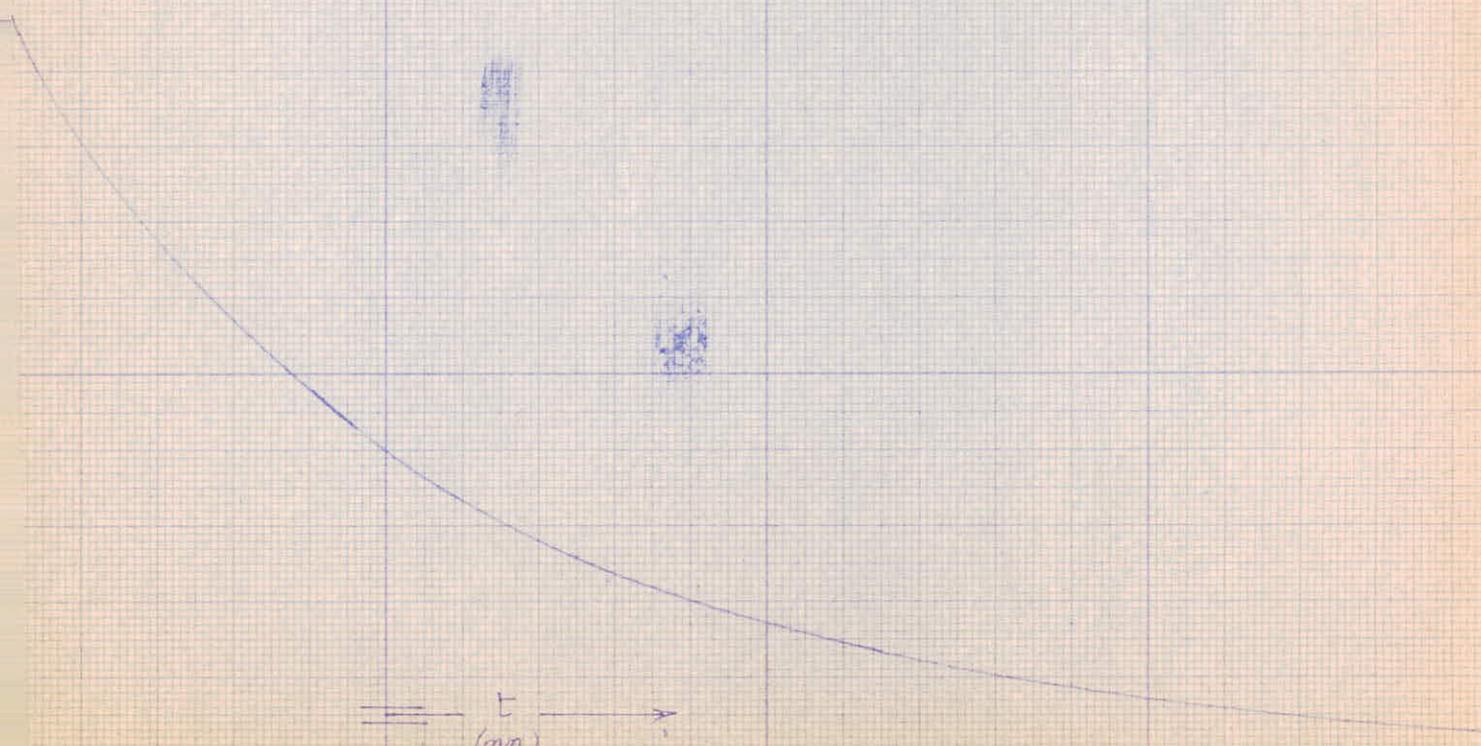
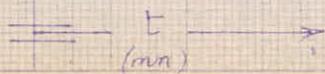
Sol naturel.

Courbe adimensionnelle

$q_t = \frac{q}{q_0}$



t
(min)



II O N C L U S I O N

Le but de la présente étape de l'étude expérimentale en laboratoire des irrigations par ruissellement a été la réalisation d'un phénomène semblable de l'infiltration dans le sol dans nature.^{la} L'imitation de ce phénomène naturel nous semblait d'autant plus ardue que le phénomène naturel ne peut pas être considéré comme un écoulement permanent mais comme un écoulement varié dans le temps dépendant de nombreuses variables mais dont les caractéristiques peuvent être expérimentalement contrôlées par un dispositif adéquat.

Nous avons réussi à créer un appareillage nous permettant de provoquer artificiellement au laboratoire un phénomène dont les caractéristiques peuvent être réglées à volonté de manière à ce que ces caractéristiques soient identiques à celles que nous pouvons enregistrer dans la nature dans chacun des cas étudiés. Dans de telles conditions la réalisation d'un appareillage permettant d'étudier les paramètres d'irrigation au laboratoire devient possible. Il suffira de créer des canaux suspendus à pente et à perméabilité réglables ayant chacun une rugosité différente bien déterminée et de les alimenter par des débits réglables à volonté pendant une durée judicieusement choisie et comptabiliser pour chaque expérience les volumes d'eau passant par chacun des dispositifs d'infiltration pour aboutir après un certain nombre de tentatives à une répartition équitable des volumes d'eau infiltrés dans le sol correspondant à la dose d'irrigation exigée par les besoins en eau des plantes et par les conditions pédologiques imposées par la nature du sol (capacité de rétention point de flétrissement etc...).

L'appareillage ainsi créé nous permettra de répéter les essais à une cadence d'un essai par heure alors que les essais dans la nature exigeaient une cadence d'un essai tous les 3 mois et seulement pendant la saison sèche d'Avril à Octobre.

Nous espérons que l'introduction de cette nouvelle méthode permettra une exploitation raisonnable et économique de nos ressources en eau d'irrigation et une extension du bénéfice de l'irrigation sensiblement plus étendu de ce qu'il était possible moyennant les anciennes méthodes dont la pratique à nécessité dans tous les cas un certain gaspillage des eaux disponibles.

