

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Contribution à l'Etude des Paramètres
d'Irrigation en Laboratoire.
Conception d'un Modèle Physique d'une
Tranche Élémentaire de Raie d'Irrigation

Proposé par :

M^r Geza de LAPRAY Dr/Ing

Etudié par : Reguad. C

Rezkallah. B G. Lapray

Dirigé par M^r

Promotion janvier 1983 4



DEDICACES

- A la Mémoire de Mon Père
- A ma Mère qui a fait tous son possible
pour que je réussisse
- A mon grand Frère et sa Femme
- A mes neveux " Amar - Fatima - Safya -
Hamza."
- A mon Frère et ma Soeurs
- A ma future femme.

Touabdallah - R E Z K A L L A H



- DEDICACES -

Je dédie cet humble et modeste travail:

- A la Mémoire de mes Parents
- A la Mémoire de mon Oncle " Hocine "
- A ma Chère tante " C H E R I F A " qui a fait tout son possible que je réussisse, pour son sacrifice consentit à mon égard pour son soutien moral qu'elle m'a témoigné durant toute ma formation et à qui je souhaite le Paradis.
- A ma Chère soeur " L E I L A "
- A mes Frères et Soeurs.

Châabane - R E G U A D



--ooOoo-- R MERCIEMENTS --ooOoo--
-----ooOoo-----
-----ooOoo-----

R a Réalisation de cette thèse à été facilité par
l'aide de MONSIEUR GEZA DE LAPRAY

Que nous tenons à remercier pour tous les conseils et
l'assistance qu'il nous a apporté tout au long de cette étude

Par ailleurs nous remercions tous les Professeurs qui ont
contribué à notre formation.

C - R E G U A D



- B - R E Z K A L L A H



| <u>GRANDEURS</u> | <u>SYNBOLES</u> | <u>UNITES</u> |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Longueur | L | L |
| Temps | t | T |
| Masse | m | M |
| Force | f | MLT ⁻² |
| Avie de la Surface | A | L ² |
| Débit | Q | L ³ T ⁻¹ |
| Débit unitaire | q | L ² T ⁻¹ |
| Pression | P | ML ⁻¹ T ⁻² |
| Pesanteur | g | LT ⁻² |
| Masse Volumétrique | ρ | ML ⁻³ |
| Poids Volumétrique | ρ/w | ML ⁻² T ⁻² |
| Viscosité dynamique | μ | ML ⁻¹ T ⁻¹ |
| Viscosité Cinématique | ν | L ² T ⁻¹ |
| Tension superficielle | T | MT ⁻² |
| Module d'élasticité volumétrique | K | ML ⁻¹ T ⁻² |
| Longueur Fluide dynamique | λ | L |
| Perte de charge désitaire | jq | L ⁻⁶ T ² |
| Gradient de Vitesse | du/dy | T ⁻¹ |

--o((S O M M A I R E))o--

| | Page |
|--|------|
| Introduction | 1 |
| <u>Chapitre premier</u> | |
| Notions d'hydraulique générale | 2 |
| Rappels d'irrigation | 10 |
| <u>Chapitre deux</u> | |
| Canal de demonstration | 25 |
| Conception d'un modele physique d'une tranche élémentaire d'une raie d'irrigation | 35 |
| Principe du modele physique | 35 |
| Description du modele physique | 36 |
| Etude mathématique du modele physique | 39 |
| <u>Chapitre trois</u> | |
| Essais au laboratoire | 42 |
| Etude théorique | 74 |
| Essais sur terrain | 76 |
| Comparaison des résultats | 78 |
| Influence de la temperature | 81 |
| Conclusion | 82 |

L'Homme reste soumis, même à notre époque à l'environnement au milieu géographique et climatique de son lieu d'établissement. Sa vie à toujours été liée à l'eau et à la terre pour qu'il puisse vivre et son esprit a vu l'intérêt qu'il avait à apporter sur les terres qu'il cultivait l'eau d'appoint.

Sans laquelle certaines plantes ne pouvaient se développer ou en tous cas atteindre leur croissance maximum. Est il nécessaire de rappeler le rôle joué par l'eau dans la constitution des tissus végétaux c'est pourquoi l'homme à pratiqué l'irrigation.

En premier lieu l'irrigation permet d'accroître à la fois la production et la rentabilité des terres aussi l'irrigation apparaît aujourd'hui comme étant le régulateur le plus sûr qui doit permettre à l'Agriculture d'éviter l'alternance des années exedentaires.

Les problèmes qui se posent à l'irrigation sont nombreux et variés, et pourtant ils tendent tous vers un même but qui est l'utilisation rationnelle de l'eau c'est la raison qui amène dans beaucoup de pays les spécialistes (Agronomes et Hydrauliciens) à se pencher sur les problèmes posés par l'irrigation à établir et à mettre au point de nouvelles techniques.

Dans l'irrigation, il existe une certaine quantité d'eau plus au moins importante s'infiltrant dans le sol de la raie et n'est donc susceptible d'être utilisée.

Le but de cette étude est justement d'évaluer dans les conditions réelles, donc dans la nature et pour un sol donné le débit d'infiltration de l'eau à la saturation. Avant d'aborder le sujet proprement dit il est utile de donner quelques notions relatives à la présence de l'eau dans le sol et quelques rappels sur l'hydraulique générale.

- CHAPITRE PREMIER -

Ce Chapitre est destiné à donner le rappel des notions essentielles d'hydraulique générale et d'irrigation qui seront utilisées par suite:

I- Notions d'Hydraulique générale,

Effets de viscosité, et effets de la tension superficielles.

I-I - Concept du nombre de REYNOLDS et nombre de WEBER
l'écoulement du fluide dépend des caractéristiques suivantes:

- de la vitesse débitaire V
- de la masse volumique ρ
- de diverses dimensions linéaires L_1, L_2, L_3
- de la chute de pression ΔP
- de la viscosité μ ou ν
- de la tension superficielle σ
- du module d'élasticité ρ volumétrique K l'application de

l'analyse dimensionnelle permet de déterminer les paramètres adimensionnels pouvant être formés avec les variables ci dessus énumérés la relation fonctionnelle entre les dites paramètres sera la suivante:

$$f\left(\frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho v^2}; \frac{v^2}{gl}; \frac{\rho v L}{\mu}; \frac{v^2 L}{\sigma}; \frac{v}{\sqrt{K/\rho}}; \frac{L}{L_1}; \frac{L}{L_2}\right) = 0$$

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

- Le coefficient de pression $\frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho v^2} = C_p$ (I-2)

- Le nombre de Froude $\frac{v^2}{g l} = F$ (I-3)

- Le Nombre de WEBER $W = \frac{\rho L v^2}{\sigma}$ (I-4)

- Le nombre de Mach $M = \frac{v}{\sqrt{k/\rho}}$ (I-5)

- Le nombre de REYNOLDS $R = \frac{\rho v D}{\mu}$ (I-6)

Le **coefficient** de pression exprime la relation entre les forces dues à la pression et les forces dues à l'inertie.

Le nombre de Froude représente le rapport des forces d'inertie aux forces de pesanteur, il est exprimé par la formule:

$$F = \frac{v^2}{g l}$$

Le nombre de Weber représente le rapport des forces d'inertie aux forces de capillarité, il est exprimé par la formule $W = \frac{\rho L v^2}{\sigma}$

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 représente le rapport de la vitesse du fluide à la vitesse du son dans ce fluide il exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces de l'élasticité.

$$M = \frac{v}{\sqrt{k/\rho}}$$

- Le nombre de Reynolds représente le rapport des forces d'inertie et de turbulence aux forces de viscosité, il est exprimé par la formule suivante: $R = \frac{V D}{\nu}$

Ce paramètre joue un rôle important dans la détermination des phénomènes d'écoulement dans les tuyauteries courantes le régime d'écoulement changera de laminaire au turbulent dans l'intervalle 2000 R 4000.

Nous admettant que le changement du régime est conditionné par $R = 2000$ il est à noter que dans le cas des écoulements laminaires la perte d'énergie est proportionnelle à la vitesse moyenne, tandis que le cas d'écoulement turbulents, cette perte est proportionnelle à la puissance 1,7 à 2 de cette vitesse moyenne.

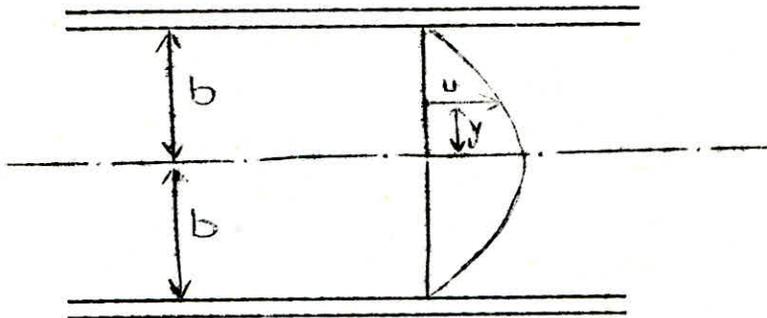
I,2 Écoulement laminaire

C'est un écoulement stratifié qui a lieu sans des particules fluides et sans pulsations de la vitesse. Dans un tel écoulement la forme des lignes du courant est entièrement déterminées par la conduite véhiculant le fluide dans le cas de l'écoulement laminaire d'un fluide passant par tuyau rectiligne à section constante toutes les lignes de courants sont parallèles à l'axe du tuyau à l'intérieur duquel le mouvement du fluide est laminaire, cela montre que la pression et la vitesse sont constants dans le temps, et que les pulsations font défaut et que le mouvement est parfaitement ordonné. L'échange des quantités de mouvement entre les couches du fluide glissant les uns sur les autres est négligeables.

- Exemples d'écoulements laminaires

I-I - 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 figure I-I)

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



(Figure I-I)

2 b: écartement des 2 plaques

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

$$u_{\max} = - \frac{dP}{dL} \cdot \frac{b^2}{2\mu} \quad (I-8)$$

- Le débit est déterminé par la formule suivante

$$q = - \frac{dP}{dL} \cdot \frac{2b^3}{3\mu} \quad (I-9)$$

- La vitesse moyenne est déterminée par la formule

$$V = \frac{q}{2b} = - \frac{dP}{dL} \cdot \frac{b^2}{3\mu} \quad (I-10)$$

Si les 2 plaques fixes ont une position inclinée l'expression (dp/dl) doit être remplacée par l'expression (d/p + wz/dl)

c'est à dire par le gradient piézométrique la chute piézométrique

($\Delta(P + \bar{\omega} Z)$) se manifestant après le parcours d'une distance L est :

$$\Delta(P + \bar{\omega} Z) = \frac{3}{2} \frac{\mu q L}{b^3} \quad (I-II)$$

Cette dernière équation montre que la chute piézométrique (chute de pression).

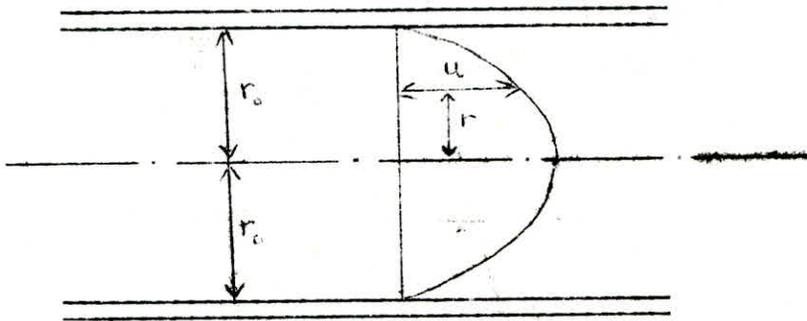
Dans le cas de conduite à axe horizontal, varie linéairement avec \sqrt{q} et μ inversement avec le cube de la distance entre les deux plaques.

- 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 de calculer la vitesse \bar{u}

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



La valeur maximale de la vitesse se présente dans l'axe du tuyau $u_{max} = \frac{dP}{dL} \cdot \frac{r_0^2}{4\mu} = \frac{J \cdot D^2}{16\mu}$ (I-13)

le débit Q est :

$$Q = \frac{dP}{dL} \frac{\pi r_0^4}{8\mu} \quad (I-14)$$

$$\text{ou } Q = \frac{dP \pi r_0^4}{8\mu L} \quad (I-15)$$

$$\text{ou } = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{9 J D^2}{128 L \nu} \quad (I-16)$$

La vitesse moyenne est

$$v = \frac{\Delta P D^2}{32 \mu L} = \frac{9 J D^2}{32 L \nu} \quad (I-17)$$

on peut exprimer le décroissement de la pression

$$P = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} \Rightarrow j = \frac{128 \nu Q}{\pi D^4 g} \quad (I-18)$$

- L'Equation (I-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 quatrième 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 (I-12) et (I-18) ne sont pas valables sur un certain tronçon initiale 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 dans la section d'entrées 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 du fluide limitrophe de la paroi puis au fur et à mesure cette influence s'étend sur la totalité du écoulement. Le tronçon initial de transition va jusqu'à la section droite où la répartition des vitesses atteignent sa forme parabolique définitive.

La longueur L' de ce tronçon est une fonction du nombre de Reynolds et du diamètre, elle peut être exprimée par l'équation suivante

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

- C'est LANGHAAR qui à été le premier à établir cette formule en se basant sur des considérations purement théoriques.

la validité de cette formule est bien confirmé par l'expérience

Dans le cas ou la conduite est en position inodinée 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 certaine raison il faut tenir compte de ces variation. La perte d'énergie mecanique par unité de volume et par une unité de longueur est donnée par la formule suivante

$$w_j = - \frac{d}{dt} (p + \bar{w}z) = \frac{8 \mu Q}{\pi r^4} \quad (I-20)$$

1-3 / - Ecoulement turbulent.

C'est un écoulement caractérisé par un intense du fluide et par des pulsations de vitesse et de pression. Dans un tel écoulement les lignes de courants ne sont qu'approximativement déterminés par la forme de la conduite. Le mouvement des particules fluides est desordonnée et leurs trajectoires sont souvent des courbes déterminées par la forme de la conduite.

Ce régime d'écoulement est caractérisée par un important échange transversal des quantités de mouvement. Nous rappelons que l'effet de viscosité et l'effet de la tension de cisaillement doivent être pris en considération.

RAPPELS DIRRIGATION

L'irrigation consiste à apporter artificiellement aux cultures l'eau nécessaire pour les mener à bien quand les précipitations atmosphériques sont insuffisantes ou trop mal réparties pour permettre d'atteindre ce but par des voies naturelles, d'autre part l'irrigation est un puissant facteur de sécurité et de richesse, elle a été pratiquée de toute antiquité.

I - Constitution d'une terre

Un sol résulte de l'évolution naturelle d'une roche mère sous l'influence de facteurs physiques, chimiques, biologiques et humains.

Pour les facteurs qui conditionnent les propriétés d'un sol la composition granulométrique joue un rôle important ainsi une classification des particules a été établie de la façon suivante.

- Ecoulement grossiers (pièrres, cailloux, graviers) sont des éléments qui ne peuvent passer au travers d'un tapis de 2 mm de diamètres

- Les Colloïdes

sont des éléments ayant leur diamètre moyen inférieur à 2 microns

- Terre très fine

Elle est constituée d'éléments ayant leurs diamètres moyens compris entre 2 mm et 2 microns.

L'interprétation de cette analyse granulométrique nous permet de déterminer.

Le diamètre efficace.

C'est la dimension de la particule telle 10 % de la terre considérée soit plus fine et 90 % plus grosse.

Le Coefficient d'uniformité,

c'est le rapport $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ } D 10- c'est le diamètre efficace
D 60- c'est la taille des particules

Telles que 60 % du sol soit plus fin et 40 % plus gros

Coefficient de classement (pente relative de la courbe granulométrique) est défini par le rapport $\frac{D_{75}}{D_{25}}$.

D 75: taille des particules telles que 75% du sol soit plus fin et 25 % plus gros.

L'analyse mécanique des sols après dispersion dans l'eau est insuffisante pour définir toutes les propriétés physiques de ce sol. En effet les différentes

Particules qui le composent s'assemblent selon une certaine architecture, ainsi nous pouvons avoir deux sols ayant une même analyse mécanique mais des structures différentes, c'est à dire les particules élémentaires s'assemblent en agrégats et ces derniers forment des complexes d'agrégats laissant entre eux des espaces plus au moins importants. Pour compléter cette étude nous introduisons la notion de porosité définie comme étant le rapport entre le volume des espaces lacunaires remplis d'eau ou d'air et le volume total de la terre

$$P = \frac{V - V_s}{V} \quad , \quad V_s \text{ volume du sol en place}$$

V , volume réel des particules

$V - V_s$, volume des espaces lacunaires en peut déterminer la porosité de la manières suivante:

$$P = \frac{D_r - D_a}{D_r} \quad \begin{array}{l} D_r: \text{poids volumique réel} \\ D_a: \text{poids volumique apparent} \end{array}$$

la détermination de la porosité peut se faire sur un terrain ou à laboratoire

II Retention de l'eau par le sol

2 - 1 l'humidité d'un 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 .

Il importe donc de voir comment l'eau est retenue par le sol, un sol donné es 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.

2-2 Mesure au laboratoire

Le dosage s'effectués sur un échantillon prélevé, en prend une certaine quantité 10 g par exemple que l'on soumet après une pesée précisée à la dissilation par passage.

à 105 °C, le poids perdu au cours de l'opération permet de déterminer le pourcentage d'humidité.

Il faut noter cependant qu'une telle dessiccation est toujours incomplète, la terre retient, en effet dans ces conditions une certaine quantité d'humidité variable avec lessols et qui est en général, de 1 à 3 % pour lessols minéraux cette quantité peut s'accroître de façon notable quand la teneur en argile ou en matières organiques augmente. Par exemple, certains tourbes desséchées à l'air gardent jusqu'à 20 % d'humidité. Il est à souligner qu'une étude a été faite pour la conception d'un appareil à neutrons pour la mesure directe de l'humidité des sols le principe de cet appareil repose sur le fait que les corps fortement hydrogènes, comme l'eau, ralentissent les neutrons dont on les bombarde, car la masse des atomes d'hydrogènes est comparable à celle des neutrons. Il en découle que plus un sol est humide, plus il ralentira un neutron. Cet appareil sera certainement susceptible d'être utilisé en situ

2-3 - Mesure sur le sol en place

Différentes méthodes ont été préconisées pour effectuer en situ le dosage de l'humidité du sol.

L'une d'elle consiste à mesurer la résistance d'un bloc de plâtre ou de nylon muni de deux électrodes et enfoui dans le sol, dans de telles conditions en effet le bloc se met en équilibre thermodynamique avec le sol et sa résistance, électrique est fonction du taux d'humidité on étalonne l'appareil par mesures directes au laboratoire. C'est ainsi que par de nombreuses expériences on a déterminé pour différentes catégories de terre allant du sable à l'argile, les courbes de l'humidité en fonction de la résistance électrique.

2-4 - Expression des résultats

On exprime les résultats de façon variable et, selon le mode adopté, les valeurs numériques, relatant l'humidité d'un sol donné représentent de grandes différences.

D'une façon générale, il est normal d'exprimer le plus souvent l'humidité d'un sol par le poids d'eau qu'il contient en pour cent du sol sec.

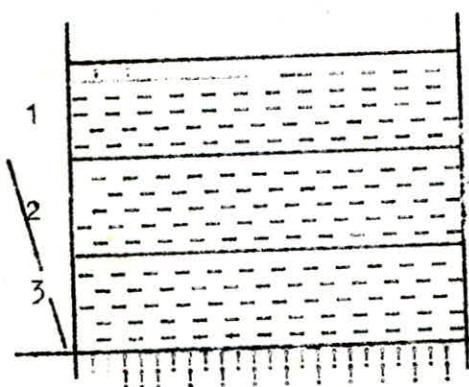
III ANALYSE EXPERIMENTALE DE LA RETENTION DE L'EAU

3-1/ - faits expérimentaux

L'humidité que l'on mesure par les méthodes précédentes est variable selon le sol étudié et selon le moment où l'on opère, mais en ce qui concerne un sol donné elle varie entre un minimum voisin de zéro pour une terre desséchée au laboratoire d'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, en volume par le même nombre que la porosité.

3-1 - 1/- Experiences de Shloesing

L'expérience suivante, due à Shloesing montre un premier aspect de cette variation.



Prenons un large tube vertical de 20 à 40 Cm environ de hauteur ouvert en haut et fermé en bas par une étoile tendue liée sur les bords, remplissons le tube en terre fine mettons y de l'eau et laisser la terre s'égoutter. Au bout d'un moment, la coloration de la terre montre que la hauteur en eau va en décroissant du bas du tube vers le haut.

On peut à cet égard diviser le tube en trois parties .

- Partie 3 : L'humidité est importante et forte
- Partie 2 : l'humidité est variable décroissant de bas en haut
- Partie Supérieure 1: L'humidité est faible et uniforme.

Cette distribution de l'eau dans le sol s'explique par le fait que dans les conditions de l'expérience, l'eau est soumise à deux influences principales.

La pesanteur et les forces capillaires.

Le rapport entre ces deux forces dépend de la dimension des interstices. En effet dans une interstice large, il y'a beaucoup d'eau pour peu de surface attractive, la pesanteur l'emporte et l'eau descend. Si au contraire les vides sont de dimensions restreints, les forces capillaires l'emportent, elles retiennent l'eau et la font même remonter.

Dans la partie supérieure du tube de Schloesing seule est restée l'eau pour laquelle la pesanteur n'a pu vaincre les forces capillaires qui retiennent l'eau dans les canaux de très petits diamètres, mais ainsi d'ailleurs que l'attraction moléculaire qui retient l'eau à la surface des particules.

Par contre dans la partie inférieure du tube, la toile formant filtre crée en certain obstacle à l'écoulement normal de l'eau pratiquement, tous les interstices sont restés pleins d'eau.

Il faut souligner, cependant que les résultats de cette expérience sont essentiellement d'ordre qualitatif, des conditions réalisées dans le tube sont différentes de celles réalisées dans le sol en place.

Les résultats obtenus en laboratoire sont certainement plus élevés que ceux qui s'observent en pratique pour un sol en place.

3-2 Valeurs ramassables de l'humidité du sol

3-2- 1/ - Capacité maximale

La capacité maximale (ou capacité totale) correspond à la terre gorgée d'eau telle qu'elle se trouve, par exemple à la partie inférieure du tube de Schloesing nous le noterons H_m , lorsqu'elle sera exprimée en pour. cent d'eau par rapport au poids du sol sec. Cependant il faut noter que cette valeur de l'humidité ne présente aucun intérêt pratique, car elle correspond au cas où la totalité de l'air ayant été chassée, le sol constituerait un milieu impropre à toute végétation.

3-2-2/ - Capacité de rétention

L'expérience de Schloesing permet également de concevoir une autre valeur remarquable de l'humidité d'un sol, la capacité (ou point) de rétention la capacité de rétention est définie comme étant la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir dans les conditions réalisées dans la partie supérieure du tube.

Cette valeur remarquable sera notée H_{Pr} (H_{Pr} grandeur exprimée par rapport au poids du sol sec) Cependant qu'elles se soient les conditions expérimentales réalisés au laboratoire, la terre se trouve dans les conditions fortes différentes de celle qu'existent dans le sol en place.

- Ainsi les mesures donnant les résultats les plus intéressants paraissent celles effectuées sur des terres en place drainées quelques jours après une saturation provoquée par de fortes pluies. Dans ces conditions King a trouvé pour trois types de sols, les résultats suivants:

| Profondeur de la couche étudiée | Humidité H.P.r | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Limon sableux | Limon argileux | Limon Humifère |
| 0 à 30 Cm | 14,50 | 22,70 | 44,70 |
| 30 à 60 Cm | 17,60 | 19,80 | 21,20 |
| 60 à 90 Cm | 10,70 | 18,20 | 21,30 |

Contretemps à la capacité maximale, la connaissance de la capacité de rétention à 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 tous les 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 pour un sol est sensiblement proportionnelle à la surface totale des particules contenues dans un poids ou un volume donné terre.

4-1 -/ Les forces qui agissent sur l'eau.

L'eau dans le sol est soumise à un ensemble complexe de forces qui sont variables d'une part suivant 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 $- \psi$.

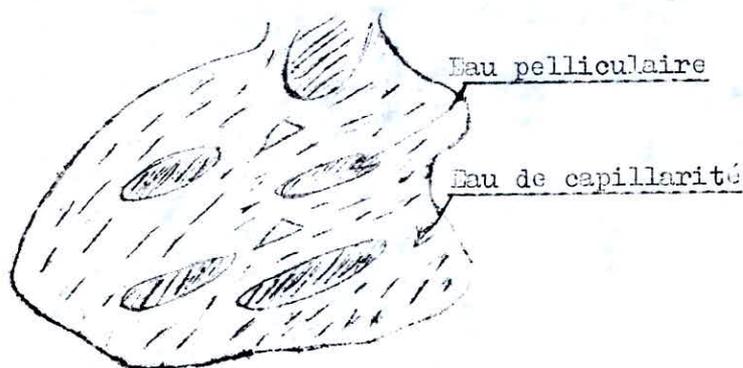
- Les forces de pesanteur qui dérivent du potentiel Newtonien $+ g Z$ (Z étant la profondeur).

- Les forces hydrostatiques exercées par le poids des molécules d'eau les unes sur les autres, qui dérivent du potentiel P (étant le poids spécifique de l'eau et P la pression d'hydrostatique) le potentiel total dont on dérive finalement la force qui s'exerce sur chaque molécule d'eau est donc.

$$\phi = H a - \psi + g Z + P_p$$

4 - 2 L'Eau d Hygroscopicité -

Un sol très sec est caractérisé par son taux d'Humidité hygroscopique. L'eau restante est disposée en fine pellicule autour des particules solides, il n'y a pas de continuité de l'eau entre les différentes particules



Le terme H_a de l'expression du potentiel total ψ devient largement prépondérant sur tous les autres qui sont alors nuls ou négligeables devant lui $\psi = H_a$

L'eau d'hygroscopicité est retenue intensément par le sol et il faut des moyens extrêmement énergiques pour l'en séparer.

En particulier, le pouvoir de succion des racines des plantes est inférieur aux forces d'adsorption et cette eau n'a aucune utilité pour elles.

4-3 /- L'Eau de Capillarité

Si le taux d'Humidité du sol augmente, l'eau qui s'y fixe essentiellement dans les petites interstices, va être soumise principalement aux forces capillaires, les forces d'adsorption décroissant très rapidement au delà du contact immédiat avec les particules solides et les forces de pesanteur et hydrostatiques n'ayant toujours qu'une très faible valeur relative par rapport aux forces capillaires le potentiel est alors $\psi = h'$

Thermodynamiquement le potentiel capillaire.

- 4 peut se définir de la façon suivante:

c'est la différence d'énergie libre entre 1 g d'eau libre et 1 g d'eau fixée par le sol. On l'exprime par la hauteur en centimètres à laquelle cette différence d'énergie eleverait 1 g d'eau dans le champ de la pesanteur. On l'appelle " tension d'humidité T " la force qui dérive de ce potentiel, c'est également définie numériquement par le "même nombre de centimètres " la pression mesurée en hauteur d'eau avec laquelle l'eau est retenue par le sol c'est à dire la force qu'elle est nécessaire d'exercer sur 1 cm² pour séparer l'eau du sol.

La pression d'humidité varie. Aussi de façon considérable lorsque l'humidité du sol varie. Aussi étant donné l'ampleur de cette variation SCHONFIELD à propose d'utiliser son logarithme décimal et de le noter P_f par analogie avec la méthode avec la mesure de l'acidité (PH) on a donc $P_f = 10 \log (T \text{ cm})$.

c'est ainsi que pour $T = 1000 \text{ cm}$ (soit une tension d'humidité égale à atmosphère) on a $P_f = 3$ nous noterons que le point de retention correspond à la valeur $P_f = 3$

4-4 / - L'Eau de Saturation (ou de gravitation)

C'est l'Eau contenue au delà de la capacité de retention celle que l'on appelait " l'Eau libre " parceque le potentiel des forces qui s'exercent sur elles se réduit au potentiel Newtonien $\phi = g Z$ et qu'ainsi elle obeit à la pesanteur et donne naissance à l'écoulement gravitaire. On dit que cette "Eau libre " s'oppose à l'eau dite "liée " par les forces d'adsorption et de capillarité, fraction de l'eau que la pesanteur est impuissante à metre en mouvement.

Les mouvements de l'Eau dans le sol peuvent évidemment s'effectuer soit sous forme de vapeur, soit sous forme de liquide.

S'il s'agit de vapeur, cela signifiera que les deux points entre lesquels un transfert s'est opéré étaient caractérisés par des tensions de vapeurs différentes. Or ces deux paramètres varient surtout au niveau des horizons très superficiels.

Ils faut donc admettre que ces mouvements de l'eau sous forme de vapeur ne sont nullement négligeables mais qu'ils ne interressent en fait que les quelques centimetres avoisinant la surface.

Leurs localisations et les difficultés de les tenir en compte nous amèneront à ne pas en parler que nous consacrer essentiellement aux mouvements de l'eau liquide dans le sol.

5.1 /- Déplacements de l'eau dans le sol

L'étude faite jusqu'ici était purement statique c'est à dire ne concernait que les sols dont l'humidité se trouvait en état d'équilibre.

Or, sous l'action des divers champs de forces que nous avons vus, cet état d'équilibre se trouve modifiée à chaque instant, il faut donc étudié 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 les forces prépondérants variaient quand le taux d'humidité changeait. Nous distinguerons deux cas.

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 maximal) 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 ($H < H_r$) c'est à dire que l'on a $PF > 3$ ou $T > 1000$. le mouvement du l'eau est alors régi par la " diffusion capillaire " en suite si le dessechement se poursuit le déplacement de l'eau ne s'effectué plus que sous l'effet de l'évaporation.

5-2 / - Circulation de l'Eau de gravitation

Dans le cas d'un sol saturé($H = H_m$) le mouvement de l'Eau est provoqué par l'action de la gravité. La perméabilité est la notion qui traduit la facilité plus en moins grande avec laquelle s'effectue le cheminement de l'Eau.

DARCY a énoncé une règle simple concernant l'écoulement de l'Eau à travers les colonnes de sables.

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

On désigne souvent l'expression $\frac{H}{L}$ par I que l'on appelle pente motrice le débit est alors donné par l'expression.

$$\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right) = V \cdot S = K \text{ SI}$$

K est le coefficient caractéristique du matériau ou coefficient de perméabilité, il a les dimensions d'une vitesse, ainsi l'appelle t'on " Vitesse de Filtration Par unité de Pente "

Il importe de bien préciser que dans l'écriture de la Loi de DARCY la vitesse V ainsi définie est une vitesse apparente qui n'est pas la vitesse réelle des molécules d'Eau dans le sol.

- En effet, si l'on considère que l'Eau circule dans l'ensemble des pores et si " P " est la porosité du milieu, la vitesse réelle moyenne \bar{V} dans une direction AB est définie par

$$Q = V \cdot S = V' S'$$

Avec S' : section libre moyenne

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

Cette vitesse est elle même inférieure à la vitesse réelle d'abord parce que l'écoulement n'est pas uniforme à l'intérieur des pores, ensuite parce que le filet liquide doit contourner les particules et ainsi augmente son parcours donc sa vitesse, enfin parce que le volume réellement accessible à l'Eau en mouvement est inférieur au volume total des vides, une partie de ceux-ci étant occupée par l'Eau liée de façon énergique aux particules et ne déplaçant pas on évalue en général, K en "mètre par seconde" cependant étant donné les valeurs numériques très faibles que prend alors K pour les sols naturels (Environ 10^{-8} à 10^{-3}) certains auteurs ont pris comme unité le "centimètre par heure" pour éviter les erreurs, on désigne la vitesse de filtration par P on a ainsi les relations.

$$P = 3,6 \cdot 10^5 K$$

$$\text{Ainsi } K = 0,28 \cdot 10^{-5} P$$

K peut être mesuré en " metre par jours "

Point de flétrissement

Au fur et à mesure que le sol se vide de l'eau qu'il possède le sol la retient de plus en plus énergétiquement. Il arrive un moment où le pouvoir d'absorption de la plante devient égal, puis inférieur à la force de rétention du sol, l'eau y reste en quantité non négligeable est indisponible pour les plantes, on dit que le sol a atteint son point de flétrissement.

Le point de flétrissement est le taux d'humidité du sol en dessous duquel les plantes se fanent d'une façon permanente, il sera noté (Hf) si le taux est exprimé en poids d'eau par rapport au poids du sol sec et par $H v f$ dans le cas où le taux est exprimé en volume d'eau par rapport au volume du sol en place.

Point d'Hygroscopicité

Au delà du point de flétrissement, on trouve le point d'hygroscopicité. Quant un sol n'est pas arrosé, continu dans un climat sec se dessécher mais il n'atteint pas une sécheresse absolue.

Un équilibre s'établit entre l'atmosphère et le sol est réglé les échanges qui se font surtout en surface.

Porosité d'aération

Il s'agit de la portion des espaces lacunaires remplis d'air dans un sol normalement ressuyé.

Il correspond donc à la fraction de l'eau qui s'est écoulée sous l'action de la pesanteur, après que le sol soit gorgé d'eau. On l'appelle ainsi capacité de libre écoulement.

$\frac{V(\phi)}{V}$ = Volume des espaces lacunaires remplis d'air
après ressuyage

Volume apparent du sol.

On remarque que M/P est d'autre part une expression
mathématique approchée nous donne que

$$M = H_{vm} - H_{v2}$$

L'Humidité Equivalente

Cette dernière notion, nous permet d'établir une liaison
pratique entre les différentes humidités remarquables. L'Humidité
équivalente et le taux d'Humidité atteint par un échantillon de
sol dans des conditions expérimentales bien définies sont faciles
à reproduire.

Les conditions sont les suivantes:

l'échantillon est soumis à la force centrifuge dans une machine
de type écrémeuse. Elle est obtenue dans un champ de 1000 g
(g, accélération de la pesanteur) On la note par Hpe (He) dans le cas
ou elle est exprimée en poids d'eau par rapport au poids du sol en
place, dans le cas ou elle est exprimée en volume d'eau par rapport
du sol en place on la désigne par Hve.

S E C O N D C H A P I T R E

Afin de pouvoir maîtriser le Phénomène de la perméabilité qui dépend d'un certain nombre de facteurs des recherches expérimentales sur le terrain ont été faites au Maroc dans une vingtaine de stations expérimentales par le centre de recherche du génie rurale. Malheureusement les procédés pratiques dans ces stations n'ont pas permis d'en tirer des conclusions de validité générale parcequ'il n'était guère possible de faire que deux essais durant saisons sèches de l'année.

Des essais ont été élaborés durant vingt années d'expérience chaque essai on procédait à des prélèvements de carottes du milieu irrigué, qu'on transportait au laboratoire afin de déterminer le taux d'humidité contenu par chacune d'elles.

Après chaque analyse, les résultats obtenus étaient tel que le but fixé restait loin d'être atteint. C'est la raison qui nous amène à réfléchir sur la conception d'un modèle physique permettant la détermination des paramètres d'irrigation directement au laboratoire

III - 1 CANAL DE DEMONSTRATION -

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. Cet appareil a déjà fait l'objet d'une étude antérieure. Il a été conçu par Monsieur LARRY on pourrait faire varier à la fois.

- La Pente du Canal
- Le Débit d'alimentation et le temps d'administration de ce débit
- La Perméabilité.

Cet appareil est composé:

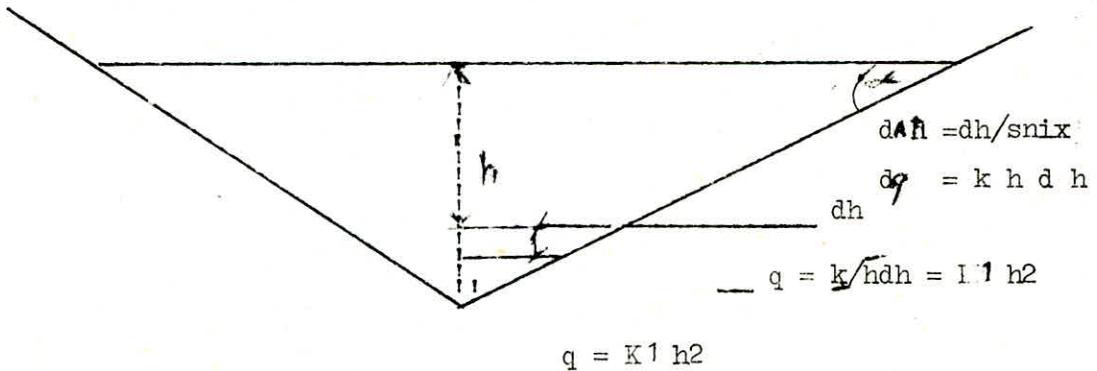
- d'un dispositif central d'alimentation
- de deux canaux à profils triangulaires (l'un perméable, l'autre imperméable)
- d'un débitmètre à segment permettant la détermination instantanée

du débit par simple lecture de différence de hauteur manométrique.

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

En effet dans un canal 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)

En début d'irrigation nous sommes en présence d'un écoulement en milieu poreux, c'est donc un écoulement laminaire.



K_1 : est une constante dépendant du sol après saturation du milieu, il y a formation de filets d'écoulement qui ont tous une pente J qui devient elle aussi constante.

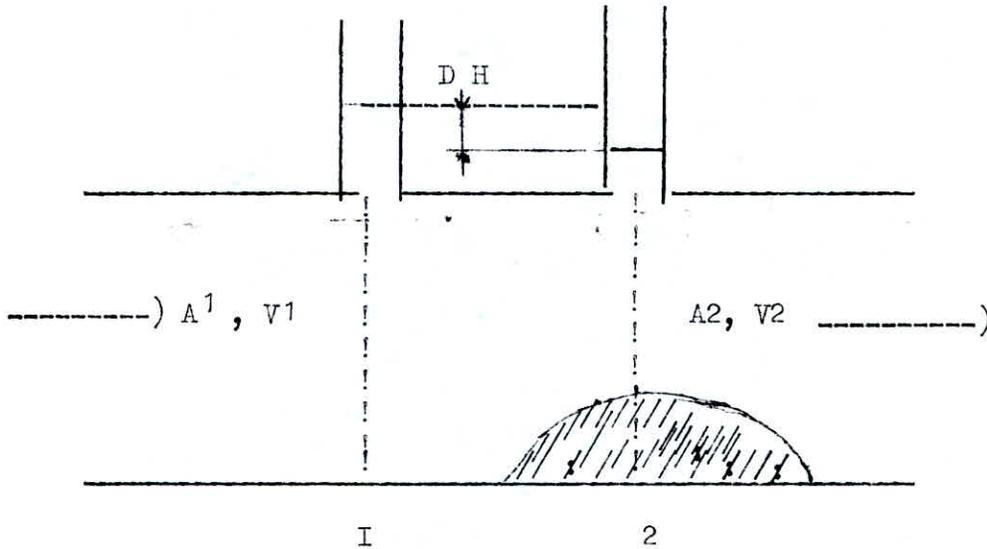
$d q = k j d h \text{ -----) } q = K2 h.$

Ces deux Lois caractérisent la perméabilité correspondant au débit et à la fin d'irrigation. Mais entre ces 2 cas Nous ne savons rien sur le caractère du comportement de la perméabilité. Et c'est la le gros inconvénient de ce canal de démonstration qui ne peut répondre à cette exigence de variation de la perméabilité, mais il peut nous renseigner sur la répartition équitable du volume d'eau en chaque point du sol à irriguer en jouant sur.

- le débit à administrer après l'établissement d'un régime stationnaire dans le dispositif central d'alimentation que nous contrôlons par le dispositif délimètre à segment placé à l'entrée.

- Débitmètre à segment

Principe du débitmètre à segment



C'est un tuyauterie convergente-divergente qu'on **intéresse** dans une conduite de section A1 dont on veut connaître le débit. En supposant que la conduite est horizontale, nous pouvons appliquer le théorème de Bernouilli entre l'amont et le sol de section A2 nous avons.

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

$$\frac{P_1 - P_2}{\bar{\omega}} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (I)$$

En appliquant l'équation de continuité,

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \implies V_2 = \frac{A_1 V_1}{A_2} \quad \text{ou}$$
$$V_2^2 = V_1^2 \left\{ \frac{A_1^2}{A_2^2} \right\} \quad (2)$$

En application de (1) et (2) nous aurons

$$\frac{P_1 - P_2}{\bar{w}} = \frac{V_1^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]$$

Ainsi donc

$$V_1 = \frac{\sqrt{2g}}{\left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]^{1/2}} \cdot \left[\frac{P_1 - P_2}{\bar{w}} \right]^{1/2}$$

Le débit véhiculé par la conduite est

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{sachant que} \quad \frac{P_1 - P_2}{\bar{w}} = \Delta h$$
$$\Rightarrow Q = A_1 \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2} \right]^{1/2} \cdot \sqrt{\Delta h} \quad (3)$$

$$\alpha = \left(\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2} \right)^{1/2}$$

donc la relation (3) devient

$$Q = \alpha A_1 \sqrt{\Delta h}$$

avec α : coefficient du débit

Étalonnage du débitmètre à segment

Nous avons fait une série d'expériences à l'aide du débitmètre à segment. L'étalonnage de ce dernier consiste à prendre pour chaque débit Q la différence piezométrique h correspondante est de la forme

$$Q = a h^b \quad \text{avec} \quad b = 0,95 \quad \text{et} \quad a = A_1 X$$

$$\text{ou} \quad X = \frac{\sqrt{g}}{[1 - (A_1/A_2)]^{1/2}}$$

connaissant les valeurs numériques de A_1 et A_2 , le coefficient (a) peut être déterminé. Mais n'empêche que les résultats seront toujours affectés d'une certaine erreur systématique.

Pour cela, on effectue un ajustement puissance ceci dit il serait plus pratique de linéariser cette fonction en appliquant la notion du logarithme ainsi nous avons

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

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

$$\text{avec } b = \frac{\sum (P_n \Delta h_i)(P_n Q_i) - (\sum P_n \Delta h_i)(\sum P_n Q_i)/n}{\sum (P_n \Delta h_i)^2 - (\sum P_n \Delta h_i)^2/n}$$

$$a = \exp \left(\frac{\sum P_n Q_i}{n} - b \frac{\sum P_n \Delta h_i}{n} \right)$$

Le coefficient de corrélation est donné par la relation suivante:

$$r^2 = \frac{\left[\sum (P_n \Delta h_i)(P_n Q_i) - (\sum P_n \Delta h_i)(\sum P_n Q_i)/n \right]^2}{\left[\sum (P_n \Delta h_i)^2 - \frac{(\sum P_n \Delta h_i)^2}{n} \right] \left[\sum (P_n Q_i)^2 - \frac{(\sum P_n Q_i)^2}{n} \right]}$$

- TABLÉAU DES MESURES AU LABORATOIRE -

| Expérience N ^o | h (cm) | h ₁ (cm) | H ₂ (cm) | t(s) |
|------------------------------|--------|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 3,40 | 92,90 | 94,50 | 243 |
| | 8,30 | " | " | 425 |
| | 14,50 | " | " | 426 |
| 2 | 4,20 | 86,20 | 97,50 | 120 |
| | 13,00 | " | " | 249 |
| | 21,60 | " | " | 243 |
| 3 | 5,20 | 83,20 | 97,20 | 124 |
| | 14,00 | " | " | 244 |
| | 23,00 | " | " | 243 |
| 4 | 4,80 | 82,20 | 95,80 | 125 |
| | 13,00 | " | " | 240 |
| | 23,20 | " | " | 300 |
| 5 | 8,50 | 79,30 | 96,90 | 186 |
| | 15,30 | " | " | 127 |
| | 24,80 | " | " | 242 |
| 6 | 12,50 | 15,60 | 86,20 | 64 |
| | 10,80 | " | " | 62 |
| | 8,20 | " | " | 59 |
| 7 | 8,6 | 9,40 | 96,5 | 55 |
| | 14,8 | " | " | 56 |
| | 14,20 | " | " | 55,7 |
| 8 | 13,00 | 7,20 | 99,8 | 53,8 |
| | 19,20 | " | " | 55,2 |
| | 16,00 | " | " | 54,4 |

| Expérience N ^o | Volume (2) | t(s) | Ø (l/s) |
|------------------------------|------------|------|----------|
| 1 | 28,34 | 243 | 0,11662 |
| | 28,83 | 425 | 0,06783 |
| | 29,45 | 426 | 0,06913 |
| 2 | 28,42 | 120 | 0,23683 |
| | 29,30 | 249 | 0,117678 |
| | 30,16 | 256 | 0,12260 |
| 3 | 28,52 | 124 | 0,23000 |
| | 29,4 | 244 | 0,12049 |
| | 30,32 | 243 | 0,12477 |
| 4 | 28,48 | 125 | 0,22784 |
| | 29,30 | 240 | 0,12208 |
| | 30,30 | 300 | 0,12521 |
| 5 | 28,85 | 186 | 0,15511 |
| | 29,53 | 127 | 0,23252 |
| | 30,48 | 242 | 0,12595 |
| 6 | 29,25 | 64 | 0,45703 |
| | 29,08 | 62 | 0,46903 |
| | 28,82 | 59 | 0,48847 |
| 7 | 28,86 | 55 | 0,52473 |
| | 29,48 | 56 | 0,52643 |
| | 29,42 | 55,7 | 0,52819 |
| 8 | 29,30 | 53,8 | 0,54461 |
| | 29,92 | 55,2 | 0,54203 |
| | 29,60 | 54,4 | 0,54411 |

| Experience N° | Q Moyen(L/S) | D h(cm) |
|------------------|---------------|---------|
| 1 | 0,08453 | 1,6 |
| 2 | 0,15903 | 11,30 |
| 3 | 0,15842 | 14,00 |
| 4 | 0,15838 | 13,60 |
| 5 | 0,17119 | 17,60 |
| 6 | 0,47151 | 70,60 |
| 7 | 0,52645 | 87,10 |
| 8 | 0,54358 | 92,60 |

| Expérience N° | Dhi | Q i m | ln Dhi | ln Qim | ln Qimx ln dhi | (ln dhi) ² | (ln Qim) ² |
|------------------|-------|---------|----------|-----------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 1,6 | 0,08453 | 0,47000 | -2,47065 | -1,6120 | 0,22090 | 6,10410 |
| 2 | 11,30 | 0,15903 | 2,42480 | -1,83866 | -4,45838 | 5,87967 | 3,38068 |
| 3 | 14,00 | 0,15842 | 2,63906 | -1,84250 | -4,86247 | 6,96463 | 3,39483 |
| 4 | 13,60 | 0,15838 | 2,61007 | -1,84276 | -4,80973 | 6,81246 | 3,39576 |
| 5 | 17,60 | 0,17119 | 2,86790 | -1,76498 | -5,06179 | 8,22484 | 3,11516 |
| 6 | 70,60 | 0,47151 | 4,25703 | -0,75181 | -3,20048 | 18,12230 | 0,56522 |
| 7 | 87,10 | 0,52645 | 4,46706 | -0,64160 | -2,86606 | 19,95460 | 0,41165 |
| 8 | 92,60 | 0,54358 | 4,52829 | -0,60956 | -2,76026 | 20,50540 | 0,37159 |
| | | Σ | 24,26421 | -11,76252 | -29,18037 | 86,6848 | 20,73899 |

- CALCUL DES COEFFICIENTS a et b -

$$b = \frac{\sum (P_n \Delta h_i)(\sum P_n Q_i) - (\sum P_n \Delta h_i)(\sum P_n Q_i)/n}{\sum (P_n \Delta h_i)^2 - (\sum P_n \Delta h_i)^2/n}$$

$$b = \frac{-29,18037 - 24,26421 \quad (-11,76252/8)}{86,6848 - (24,26421)^2/8}$$

$$b = 0,496763611$$

$$a = \exp \left(\frac{\sum P_n Q_i}{n} - b \frac{\sum P_n \Delta h_i}{n} \right)$$

$$\text{d'où } a = \exp \left(\frac{-11,76252}{8} - 0,496763611 \cdot \frac{24,26421}{8} \right)$$

$$a = \exp (-1,470315 - 1,5036640446)$$

$$a = 0,051099577$$

$$Q = 0,051099577 \Delta h \quad 0,496763611$$

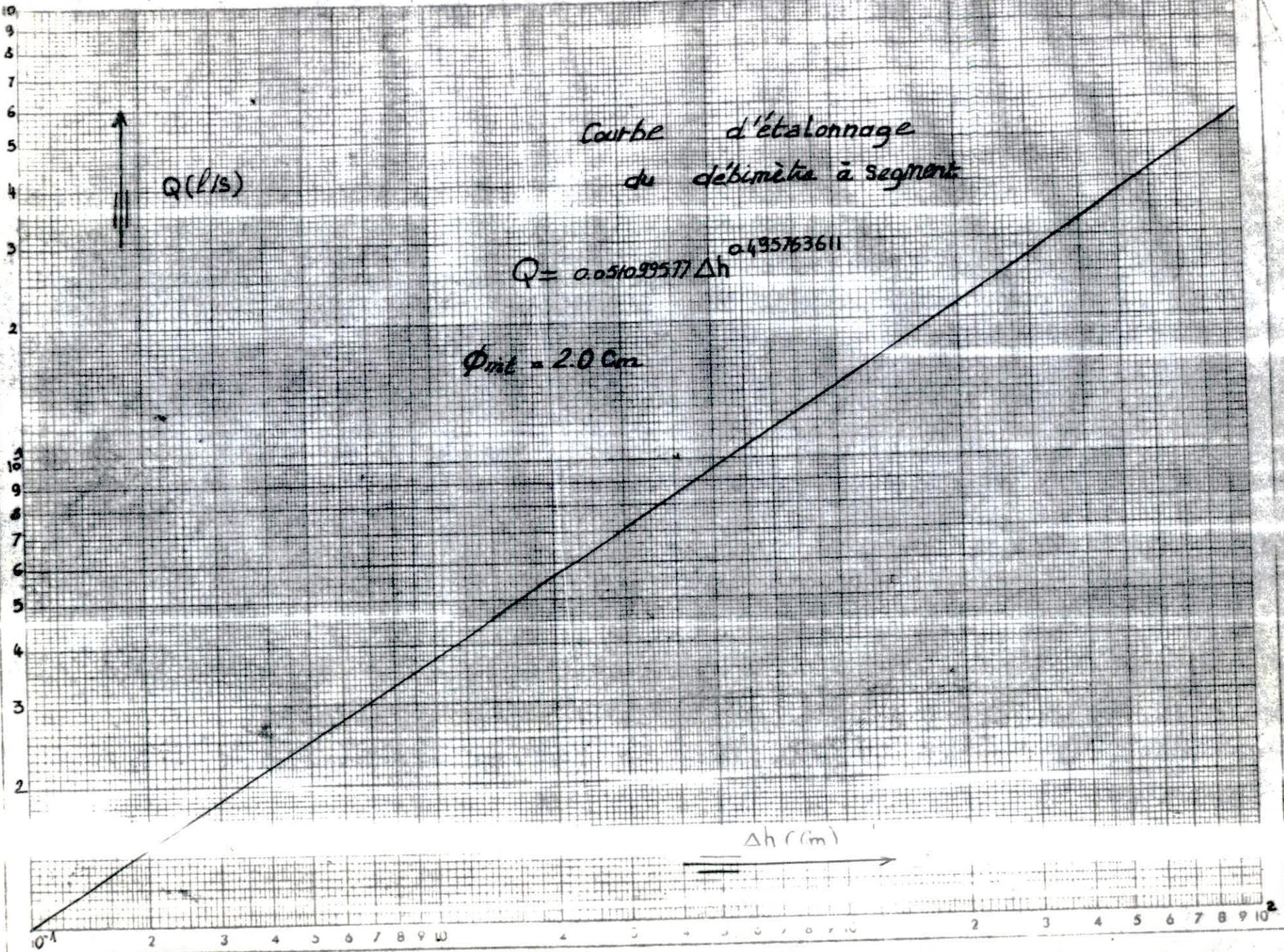
$Q (l/s)$

Courbe d'étalonnage
du débitmètre à segment

$$Q = 0.051099577 \Delta h^{0.495763611}$$

$$\Phi_{int} = 2.0 \text{ cm}$$

$\Delta h (m)$



II - 2 CONCEPTION D'UN MODELE PHYSIQUE -
D'UNE TRANCHE ELEMENTAIRE D'UNE
RAIE D'IRRIGATION

Après avoir exposé précédemment le modèle réduit déjà existant qui ne nous permettait pas de résoudre le problème de la perméabilité nous avons fait recours à la conception d'un appareil qui se présente comme suit.

II - 2 - 1 PRINCIPE DU MODELE.

Nous rappelons que l'infiltration de l'eau dans le sol varie au cours du temps. Elle est forte au débit d'irrigation et faible en fin d'irrigation.

Pour respecter cette caractéristique il faudrait que le débit passant par les tubes capillaires décroît avec le temps ce qui traduit la présence d'un écoulement uniformément varié

Pour répondre à cette condition nous avons fait recours à la contre pression grâce au volume d'eau écoulé de la tranche élémentaire de la raie à travers les tubes capillaires, que nous recueillons dans un bassin dont le fond se trouve sur un plan situé à quelques centimètres plus bas que celui de la tranche élémentaire.

A chaque début d'expérience, les tubes capillaires soient complètement dénoyés pour que la contre pression n'intervienne pas.

- Cette contre pression qui varie avec la hauteur d'eau dans le bassin donc avec le temps, fait décroître le débit passant par les tubes capillaires.

III - 2 - 2 Description du Modèle.

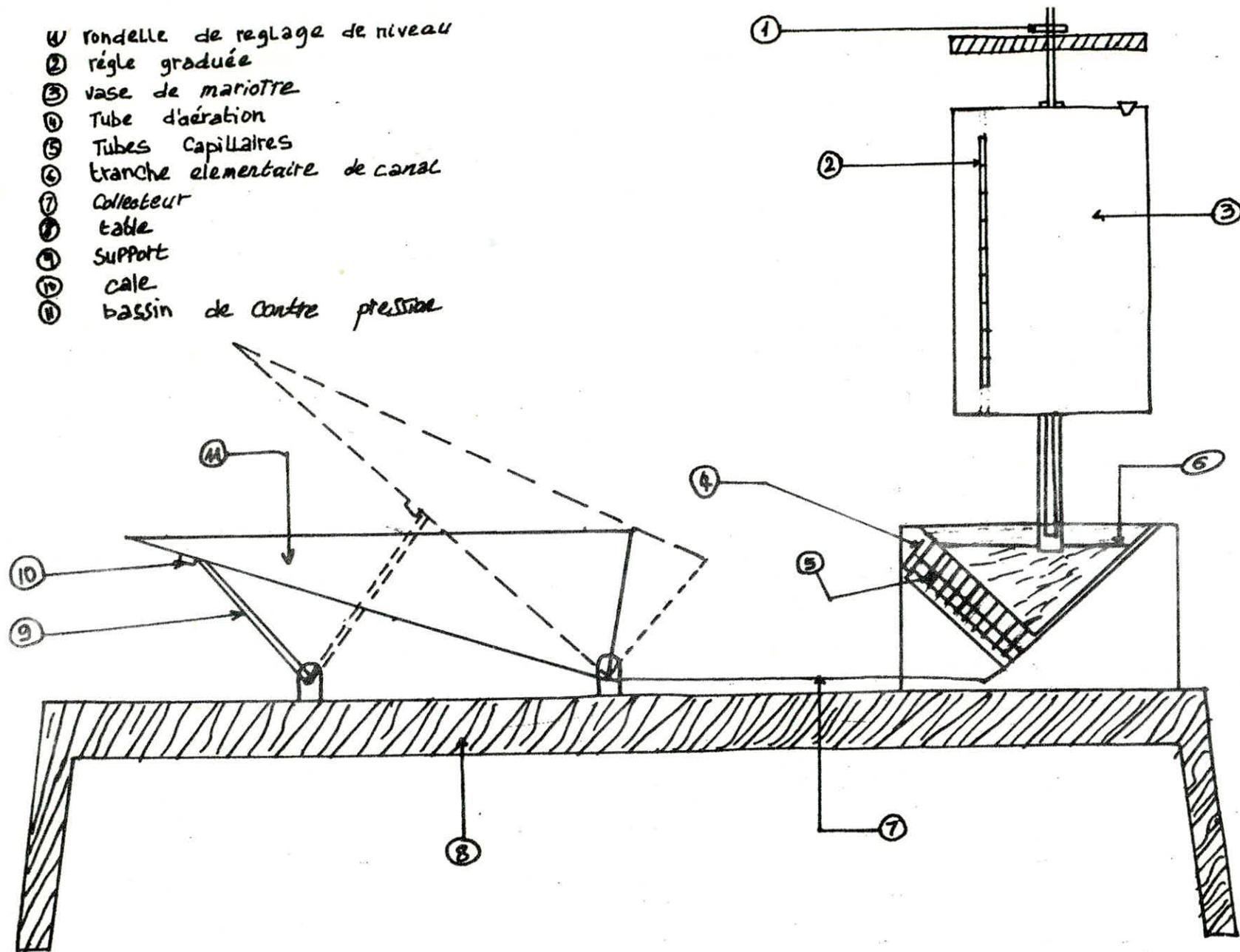
L'installation (voir schéma) se compose.
D'une tranche élémentaire de raie d'irrigation de section triangulaire, équipé d'un dispositif comprenant dix (10) tubes capillaires de deux (2) mm de diamètre et de vingt cinq (25) cm de longueur disposés latéralement à la tranche élémentaires de la raie.

Ces tubes capillaires jouent le rôle du sol, Le dispositif est pourvue d'un dispositif muni d'un tube d'aération. Ce tube est en plastique ayant un diamètre de 10 mm.

- d'un vase de mariotte de 10 litres avec un orifice de remplissage.

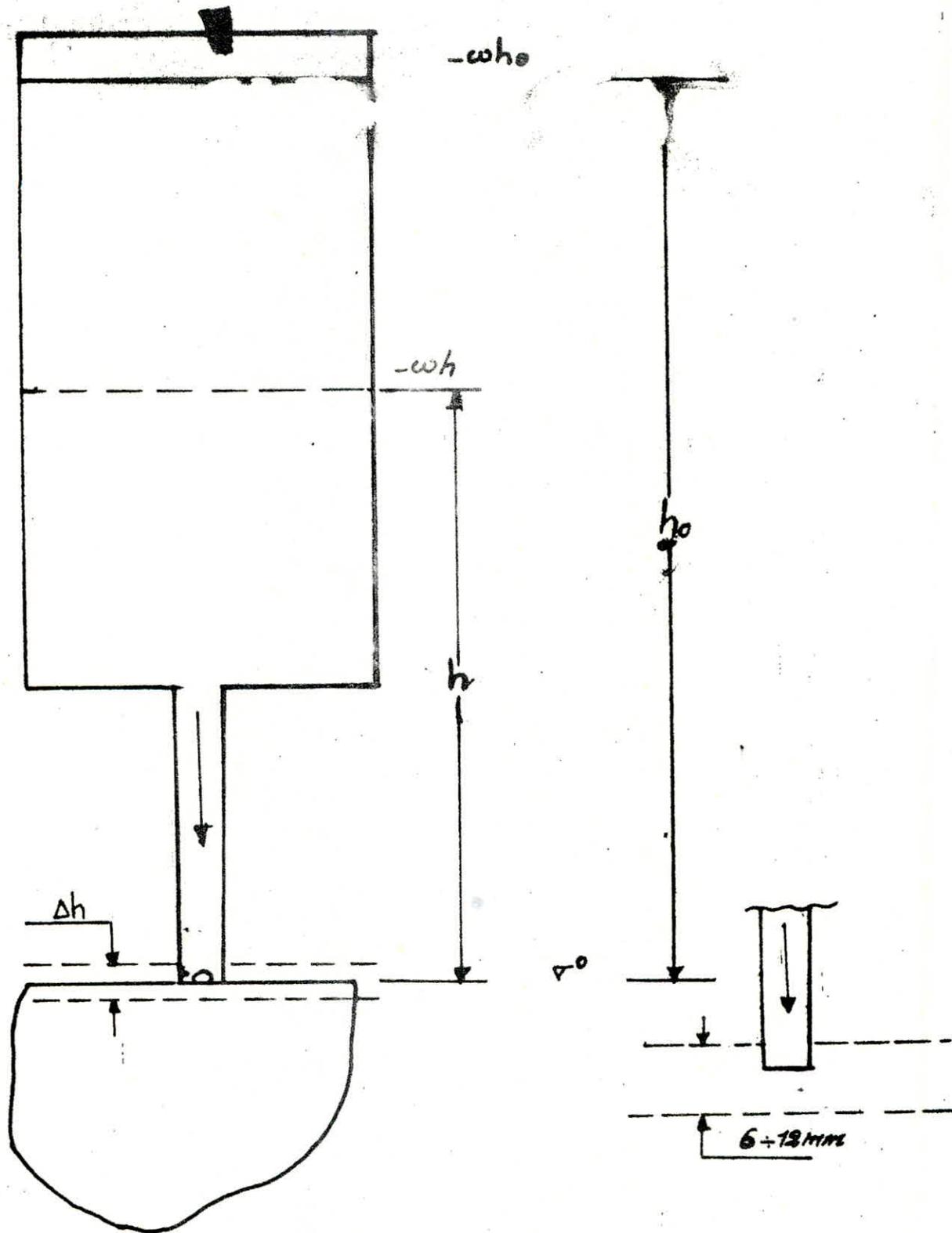
- d'un tube solidaire du vase enfermé d'un dispositif parallélépipédique sur lequel sont pratiqués deux (2) orifices situés sur 2 faces opposées. Ceci pour nous faciliter l'installation de deux vannes de commande servant à rétablir ou à supprimer la communication de l'air d'une part et de l'eau d'autre part entre la vase de mariotte et la tranche élémentaire de la raie d'irrigation.

- ① rondelle de réglage de niveau
- ② règle graduée
- ③ vase de mariotte
- ④ Tube d'aération
- ⑤ Tubes Capillaires
- ⑥ tranche élémentaire de canal
- ⑦ Collecteur
- ⑧ table
- ⑨ support
- ⑩ cale
- ⑪ bassin de contre pression



SCHEMA DU MODELE PHYSIQUE

VASE DE MARIOTTE



- Le dispositif parallépipédique sert à la réduction aux maximum des oscillations occasionnées par la pénétration d'air dans la vase de mariotte ce qui entrainerait d'une descente brusque de l'eau.

Les expériences ont montré que les oscillations dans la raie à la suite d'une descente brusque de l'eau varient entre un minimum de 6 mm et un maximum de 12 mm.

Avec l'installation du dispositif parallépipédique ces oscillations sont réduites au dixième de leurs valeurs.

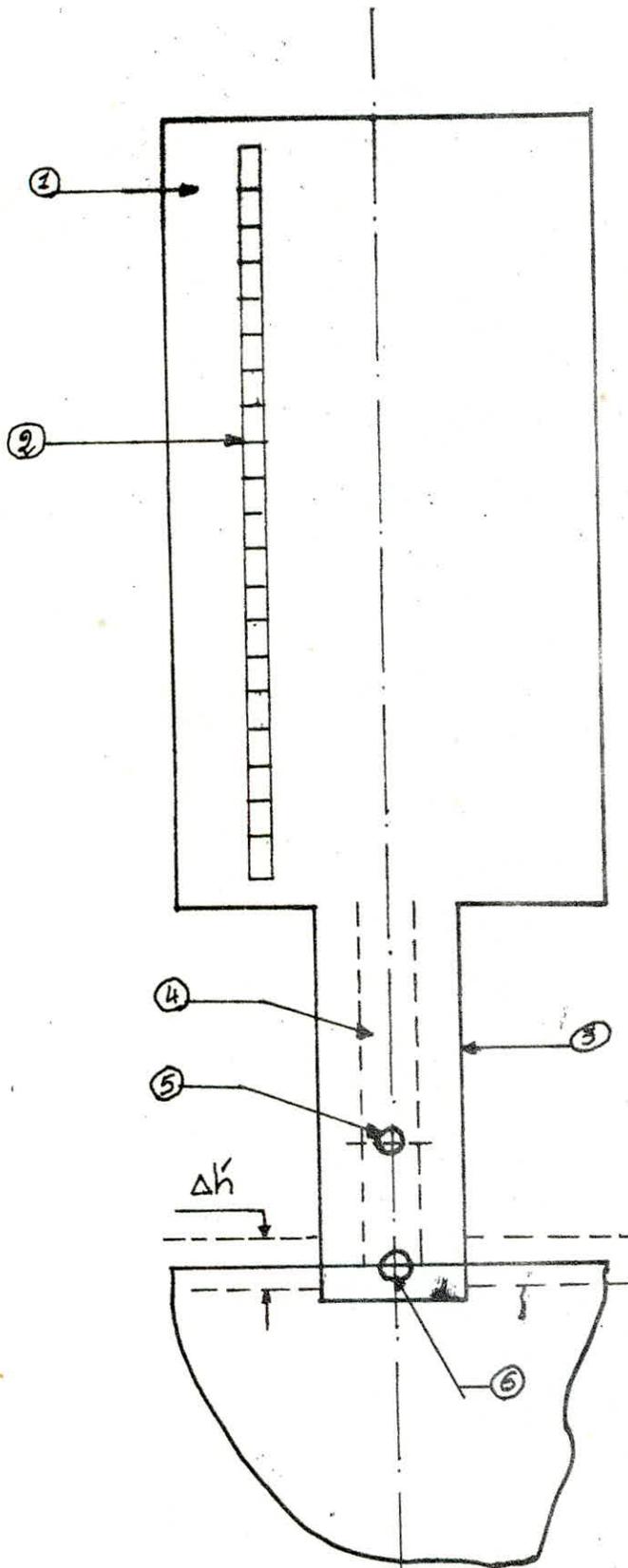
- D'un bassin de contre pression dont la section longitudinale est un triangle dont la section transversale est un rectangle ou l'une des dimensions est variable suivant
la disposition du bassin

Ce bassin de la contre pression est conçu de telle sorte qu'il puisse pivoter autour de son arrêté de manière à ce qui nous puissions lui donner dix(10) positions différentes ce qui entrainerait des chutes de pressions différentes.

Chaque position de la contre pression correspond à certain angle d'inclinaison.

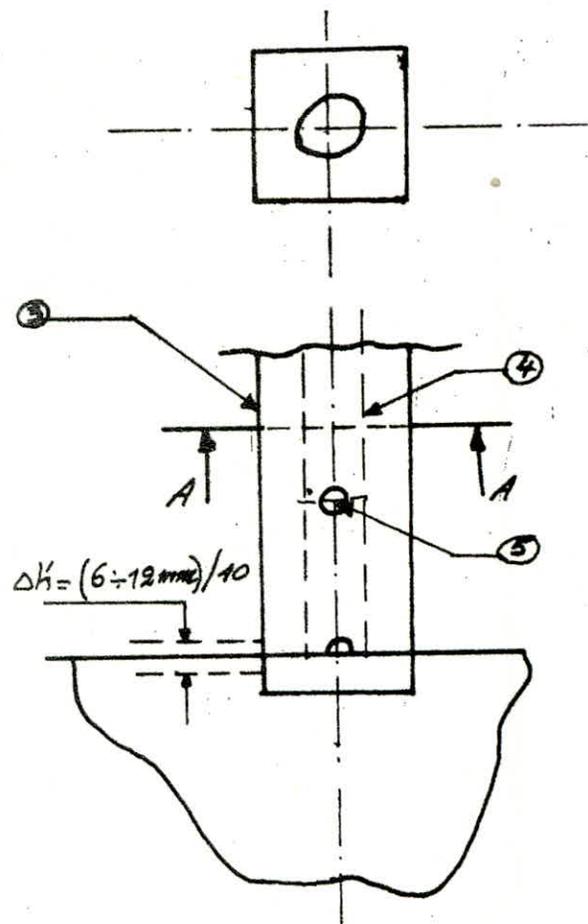
VASE DE MARIOTTE AMELIORÉ

Par MR GESA DE LAPREY



- ① Vase
- ② Reglet
- ③ Dispositif amortisseur
- ④ tube fermé
- ⑤ trou d'entrée d'air
- ⑥ trou de sortie d'air

SECTION A-A



| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|-----|-------|------|-----|-------|-----|------|
| Angle d'inclinaison | 45 ° | 35 ° | 28 ° | 24° | 21°30 | 18 ° | 16° | 14°30 | 13° | 12 ° |
| N° de Position | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

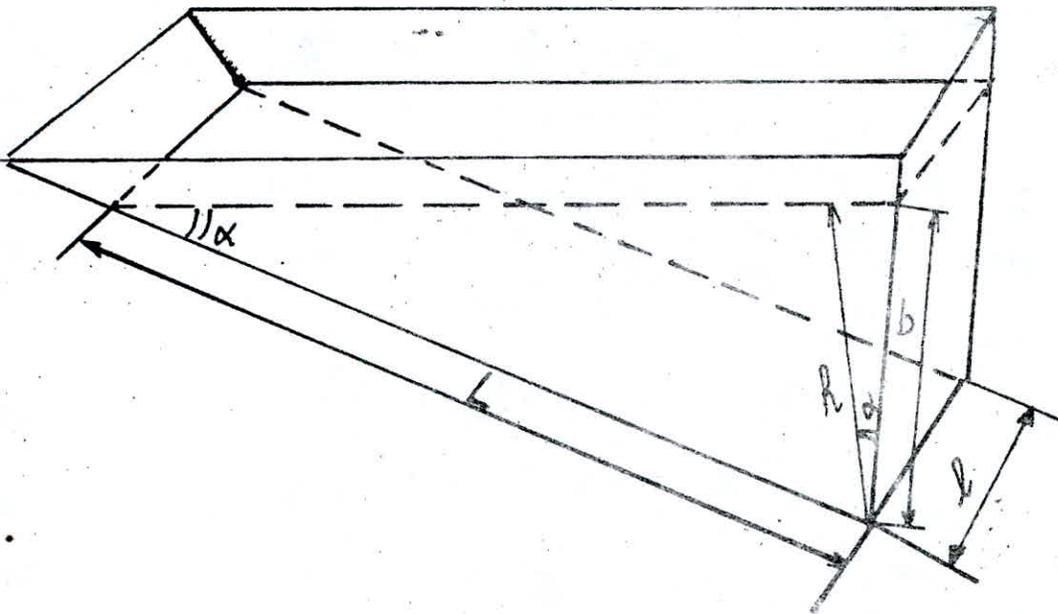
Les chûtes de pression vont influencer directement sur la variation du débit dans le temps.

Les positions extrêmes du bassin sont 1 à 10 ou la position 1 correspond à une position telle que la bissectrice de l'angle du dièdre pivotant soit verticale.

Par contre la position n°10 correspond à une position telle que les arrêtes libres du bassin soient dans un plan horizontal.

Enfin nous signalons que l'assemblage de tous les éléments en pléxiglass constituant l'appareil est réalisé par la chlorophorme et que l'ensemble du modèle repose sur une table.

Schéma du bassin de la contre pression



Expression de la hauteur de la contre pression

$V = S l$ où S : Aire d'une face latérale du dièdre formé par le volume d'eau dans le bassin

l : largeur du bassin

$$S = \frac{b \cdot L}{2} \quad ; \quad b = \frac{h}{\cos \alpha} \quad ; \quad L = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$= b \cdot S = \frac{1}{2} \frac{h \cdot h}{\cos \alpha \sin \alpha} = \frac{h^2}{\sin 2\alpha}$$

$$\Rightarrow V = \frac{h^2}{\sin 2\alpha} \cdot l \quad \Rightarrow h = \left(\frac{V \cdot \sin 2\alpha}{l} \right)^{1/2}$$

Une étude mathématique a été nécessaire pour respecter les conditions d'écoulements laminaires à travers les tubes capillaires. Nous avons vérifié pour chaque tube le nombre de REYNOLDS.

Ce dernier doit être inférieur à 2000.

Les formules exposées au chapitre I nous permettent la détermination du nombre de REYNOLDS, le débit et la longueur de LANGHAAR.

a) Débit à travers le tube capillaire -

Ce débit est exprimé par la formule suivante:

$$Q = \frac{g \pi \cdot j \cdot D^4}{128 \nu}$$

ou J est le gradient de perte de charge qui est égale

à $\frac{\Delta p}{L}$

D : est le diamètre intérieur du tube capillaire

ν : est la viscosité cinématique = 10^{-6} m²/s

b) VITESSE D'ÉCOULEMENT DANS LE TUBE CAPILLAIRES

Il est donné par la formule

$$V = \frac{g J D^2}{32 \mu}$$

c) SECTION DU TUBE CAPILLAIRE

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

d) NOMBRE DE REYNOLDS

$$R = \frac{V \cdot D}{\mu} = \frac{g J D^3}{32 \mu^2}$$

e) LONGUEUR DE LANGHAAR

Ce dernier est exprimé par la formule suivante:

$$L' = 0,058 \quad R D.$$

- Pour la détermination des ces paramètres, Nous avons utilisé le programme sur J I 59 qui est le suivant:

* L B L A * T I X R C L O 1 x 2 $\frac{\circ}{\circ}$ 4 = S T O O 4 9,8
 X R C L O 3 x R C L O 1 x $\frac{\circ}{\circ}$ 32 $\frac{\circ}{\circ}$ R C L O 2 = S T O O 5
 X R C L O 4 = S T O O 6 R C L O 5 x R C L O 1 $\frac{\circ}{\circ}$ R C L O 2
 = S T O O 7 I N V S B R

* L B L B R C L O 7 x 32 x R C L O 2 x X² $\frac{\circ}{\circ}$ 9,8 $\frac{\circ}{\circ}$ R C L O 3
 = I N V Y³ = S T O 11 R/S

Après introduction des valeurs suivantes:

D = 0,002 -----) ST001 ; J = 0,000001 -----) ST002

J = $\frac{\sqrt{2}}{2}$ -----) ST003

Nous appuyons sur la touche A, Nous avons R = I732,4I2

R C L O 4 -----) A = 3,1416 IO⁻⁶ m²

R C L O 5 -----) V = 0,8662 M/S

R C L O 6 -----) Q = 2,7213 IO⁻⁶ M³/S

Contrôle

B -----) D = 0,002 m = D.

A) Nous signalons que la longueur des tubes capillaires doit être supérieure à la longueur de LANGHAAR. Pour cela nous avons vérifié cette dernière longueur qui est égale à L = 0,058 R D

L' = 0,058. I732,4I2 x 0,2 = 20,09 cm.

CHAPITRE III

3.1 ESSAIS AU LABORATOIRE :

Pour Les Expériences on s'est fixé, dans la tranche élémentaire de la raie, trois charges constantes de 10 Cm, 13 Cm et 16 Cm.

Au début de chaque expérience la descente du niveau d'eau dans la raie est rapide car le bassin de la contre pression est vide ; donc la contre pression est nulle ce qui conduit à un débit maximum transité par les tubes capillaires.

Pour connaître ce débit, il suffit dans un peu de temps de mesurer la variation du niveau d'eau dans la vase de mariotte lequel est muni d'un régllet graduée en mm en effet une variation de $DH = 4$ Cm correspond à un volume d'un litre.

Au fur et a mesure que le temps de l'expérience augmente, le bassin de la contre pression tend à se remplir, donc la valeur de la contre pression croît jusqu'à son maximum qui correspondrait à une hauteur d'eau H, qui aurait pour plan d'eau libre le même que celui de la charge de la tranche élémentaire de la raie d'irrigation; en ce moment, l'équilibre se rétablit entre les récipients, et le débit devient nul suite à l'arrêt total de l'écoulement cela correspond à la fin de l'irrigation ou nous pouvons dire que notre sol est l'état de saturation.

Manipulation à faire avant chaque début d'expérience,

Suppression de la communication entre le collecteur du dispositif de tubes capillaires et le bassin de la contre pression.

Vidange du bassin de la contre pression.

Fixer le bassin receptrer en position correspondant au plan d'eau libre désiré.

Fermer les vannes du dispositif amortisseur.

Remplir la vase de Mariotte.

Préparer et mettre le chronomètre à Zéro.

Prendre le soin d'avoir une charge légèrement supérieure à celle désirée ceci pour des raisons d'efficacité du modèle.

Ouvrir les vannes du dispositif amortisseur.

Se tenir prêt à établir la communication entre le bassin receptrer et le collecteur dès que la première bulle d'air pénètre dans la vase de mariotte.

Mise en marche du chronomètre instantanément avec le rétablissement de la communication entre le bassin receptrer et la tranche élémentaire de la raie.

Relever la graduation du plan d'eau libre dans la vase correspondant au temps $t = 0$ aussi l'expérience commence en relevant la graduation du niveau d'eau dans la vase et le temps y correspondant à celui-ci par suite de ces expériences, tous les résultats aussi obtenus sont représentés dans un tableau portant chacun :

- La valeur de la charge H Dans la tranche élémentaire de la raie.
- Le numéro de la position du bassin de la contre pression.
- La température d'eau dans la vase de mariotte.

Les tableaux de résultats de mesures comportent chacun trois colonnes a savoir :

La colonne 1 Contient les relevés de de la variation DH du liquide dans la vase.

La colonne 2 contient les relevés de temps T Correspondant aux variations DH .

La colonne 3 contient les relevés de temps T cumulés correspondant au variation DH .

Enfin, nous signalons que nous pouvons déterminer le volume d'eau admis dans le bassin récepteur ainsi que les valeurs de la contre pression en fonction de la hauteur d'eau dans le bassin.

Cette contre pression est calculée par l'expression

$$C_p = \rho g \sqrt{\frac{V \sin 2x}{L}} = \quad (I)$$

Aussi nous pouvons déterminer cette contre pression à l'aide du programme suivant sut TI 59

LBLA RCL 00 $\frac{I/X}{X}$ x RCL 01 = x (RCL X SUR)

$\sqrt{\quad}$ x 9800 = STO 03 R/S

LBLA (RCL 22 - RCL 11) ÷ 4 = X .. 001 = ST001 INV SBR

Ce programme se compose :

D'un programme principal A et d'un sous programme B qui permet de calculer la valeur du volume figurant dans l'expression (I).

Il suffit d'introduire la valeur de $H_2 N_2$ en STO 11 du niveau d'eau de la vase de mariotte et la TI 59 nous affiche le résultat de la contre pression en appuyant sur la tranche +

L = 0,201 m ST00

2 X ST002

M ST022

N2 ST0 11

Registres RCL 01 V

RCL 03 Cp

L = Constante = 0,201 m c'est la largeur du bassin de la contre pression.

X = valeur de l'angle d'inclinaison

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° I

POSITION I

CHARGE 10 cm

| H (cm) : | t (s) : | T (Δ) : | H (cm) : | t (s) : | T (s) : |
|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 139.80 | 55 | 55 | 134.30 | 150 | 1871 |
| 139.40 | 90 | 145 | 133.80 | 219 | 2090 |
| 139.40 | 81 | 266 | 133.50 | 123 | 2213 |
| 138.70 | 90 | 316 | 133.20 | 130 | 2343 |
| 138.40 | 80 | 396 | 132.90 | 114 | 2457 |
| 138.00 | 95 | 491 | 132.60 | 158 | 2615 |
| 137.70 | 92 | 583 | 132.20 | 189 | 2804 |
| 137.30 | 115 | 698 | 131.80 | 190 | 2994 |
| 136.80 | 107 | 805 | 131.50 | 182 | 3176 |
| 136.60 | 103 | 908 | 131.20 | 186 | 3362 |
| 136.50 | 143 | 1051 | 130.80 | 178 | 3540 |
| 136.40 | 84 | 1135 | 130.50 | 187 | 3737 |
| 135.90 | 104 | 1239 | 130.10 | 242 | 3979 |
| 135.50 | 145 | 1384 | 129.80 | 185 | 4164 |
| 135.20 | 132 | 1516 | 129.40 | 208 | 4372 |
| 134.90 | 103 | 1619 | 129.10 | 247 | 4619 |
| 134.60 | 103 | 1721 | | | |

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 2

POSITION II

CHARGE 10 cm

| H ₁₀₀ : | t (s) | : | T (s) | : | H ₁₀₀ : | t (s) | : | T (s) |
|--------------------|---------|---|---------|---|--------------------|---------|---|---------|
| I40.20 | 68 | : | 68 | : | I33.50 | 80 | : | II40 |
| I40.10 | 40 | : | II6 | : | I33.20 | 60 | : | I200 |
| I39.10 | 28 | : | I44 | : | I32.90 | 81 | : | I28I |
| I30.80 | 31 | : | I75 | : | I32.60 | 89 | : | I370 |
| I38.40 | 52 | : | 227 | : | I32.10 | II2 | : | I482 |
| I38.20 | 51 | : | 278 | : | I31.72 | I21 | : | I603 |
| I38.10 | 42 | : | 320 | : | I31.30 | 96 | : | I699 |
| I37.50 | 72 | : | 392 | : | I31.80 | I93 | : | I802 |
| I37.10 | 58 | : | 450 | : | I30.60 | I07 | : | I909 |
| I36.60 | 78 | : | 528 | : | I30.20 | I27 | : | 2036 |
| I36.20 | 73 | : | 601 | : | I29.90 | 97 | : | 2133 |
| I35.90 | 59 | : | 660 | : | I29.60 | I23 | : | 2256 |
| I35.40 | 85 | : | 745 | : | I29.20 | I40 | : | 2396 |
| I35.00 | 78 | : | 823 | : | I28.70 | I84 | : | 2580 |
| I34.60 | 87 | : | 910 | : | I28.20 | I70 | : | 2750 |
| I34.10 | 93 | : | I003 | : | I27.90 | I61 | : | 2911 |
| I33.80 | 57 | : | I060 | : | I27.50 | I40 | : | 3051 |

11000

Point to 11000

18000

→

→

115

120

125

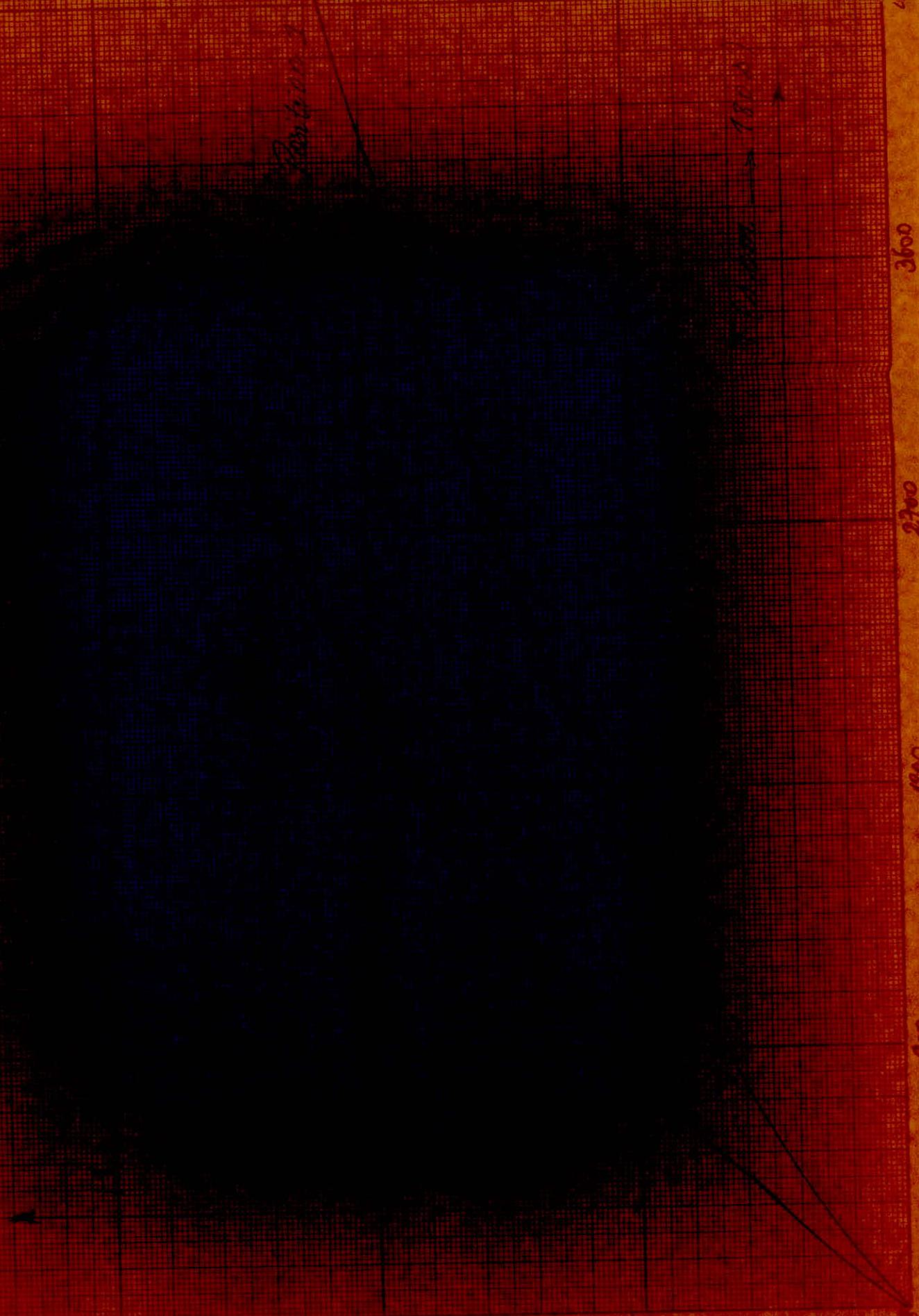
130

300

1800

2700

3600



RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 3

POSITION III

CHARGE 10 cm

| H (m) | t (s) | T (s) | H (m) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 138.90 | 58 | 58 | 132.30 | 176 | 1894 |
| 138.60 | 49 | 107 | 132.00 | 112 | 2006 |
| 138.20 | 75 | 182 | 131.90 | 100 | 2106 |
| 137.90 | 69 | 251 | 131.30 | 224 | 2330 |
| 137.70 | 43 | 294 | 131.00 | 207 | 2537 |
| 137.40 | 55 | 349 | 130.50 | 161 | 2698 |
| 136.90 | 117 | 466 | 130.20 | 194 | 2892 |
| 136.60 | 92 | 558 | 129.80 | 178 | 3070 |
| 136.30 | 56 | 614 | 129.30 | 250 | 3320 |
| 135.90 | 102 | 716 | 128.90 | 205 | 3525 |
| 135.70 | 73 | 792 | 128.60 | 210 | 3735 |
| 135.40 | 81 | 873 | 128.20 | 230 | 3965 |
| 135.10 | 85 | 958 | 127.80 | 252 | 4217 |
| 134.70 | 125 | 1083 | 127.40 | 251 | 4468 |
| 134.40 | 106 | 1189 | 127.00 | 272 | 4740 |
| 134.10 | 114 | 1303 | 126.60 | 282 | 5022 |
| 133.80 | 79 | 1392 | 126.10 | 290 | 5312 |
| 133.20 | 217 | 1589 | 125.80 | 293 | 5605 |
| 132.80 | 129 | 1718 | | | |

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 4

POSITION /V

CHARGE 10 cm

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 138.30 | 56 | 56 | 132.10 | 87 | 1131 |
| 138.00 | 41 | 97 | 131.80 | 92 | 1223 |
| 137.50 | 55 | 152 | 131.30 | 119 | 1342 |
| 135.30 | 31 | 183 | 130.90 | 91 | 1433 |
| 137.00 | 46 | 229 | 130.60 | 85 | 1518 |
| 136.60 | 59 | 288 | 130.30 | 66 | 1584 |
| 136.30 | 43 | 331 | 130.00 | 83 | 1667 |
| 136.10 | 32 | 363 | 129.80 | 84 | 1751 |
| 135.80 | 44 | 407 | 129.40 | 99 | 1850 |
| 135.40 | 66 | 473 | 129.10 | 85 | 1935 |
| 135.200 | 74 | 547 | 128.80 | 92 | 2027 |
| 134.70 | 46 | 593 | 128.50 | 91 | 2118 |
| 134.50 | 47 | 640 | 128.20 | 106 | 2224 |
| 134.30 | 62 | 702 | 127.80 | 127 | 2351 |
| 134.20 | 62 | 760 | 127.40 | 158 | 2509 |
| 133.80 | 58 | 820 | 126.80 | 265 | 2774 |
| 133.50 | 60 | 905 | 126.20 | 151 | 2925 |
| 132.90 | 61 | 966 | 125.90 | 145 | 3070 |
| 132.50 | 78 | 1044 | 125.40 | 179 | 3249 |
| 124.90 | 176 | 3425 | | | |
| 124.60 | 156 | 3581 | | | |

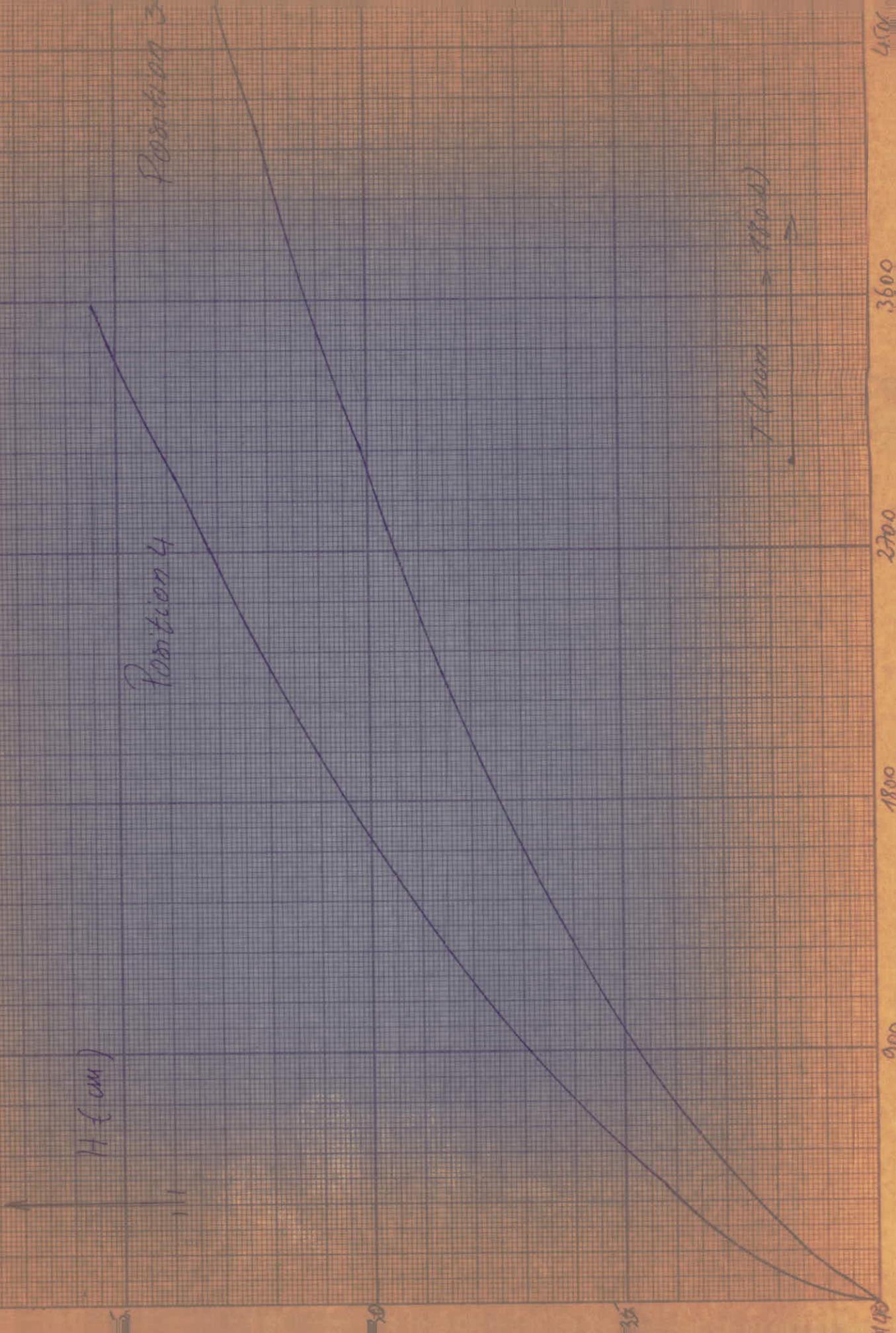
Charge $H = 10 \text{ cm}$

$H \text{ (cm)}$

Position 4

Position 5

$T \text{ (mm)}$



- RESULTATS DE MESURES AU LABORATOIRE -

Expérience n° 5

Position V

Charge : 10 Cm.

| H (cm) | t(s) | T (s) | H (cm) | t(s) | T(s) |
|--------|------|-------|--------|------|------|
| 141,00 | 39 | 39 | 135,00 | 105 | 1858 |
| 140,70 | 55 | 94 | 134,80 | 161 | 2019 |
| 140,30 | 95 | 190 | 134,40 | 166 | 2185 |
| 139,90 | 98 | 288 | 134,00 | 192 | 2377 |
| 139,60 | 94 | 382 | 133,60 | 188 | 2565 |
| 139,30 | 71 | 453 | 133,20 | 174 | 2739 |
| 138,90 | 118 | 571 | 132,80 | 201 | 2940 |
| 138,70 | 64 | 635 | 132,50 | 157 | 3097 |
| 138,30 | 118 | 753 | 132,20 | 192 | 3289 |
| 138,00 | 80 | 833 | 131,90 | 122 | 3411 |
| 137,90 | 65 | 898 | 131,50 | 178 | 3689 |
| 137,50 | 117 | 1015 | 131,20 | 189 | 3778 |
| 137,10 | 136 | 1151 | 130,90 | 166 | 3944 |
| 136,60 | 175 | 1326 | 130,70 | 162 | 4106 |
| 136,30 | 92 | 1418 | 130,40 | 201 | 4307 |
| 136,00 | 142 | 1560 | 129,70 | 378 | 4685 |
| 135,70 | 100 | 1660 | 129,50 | 218 | 4903 |
| 135,40 | 93 | 1753 | 129,00 | 279 | 5182 |
| | ! | ! | | ! | ! |
| | ! | ! | | ! | ! |

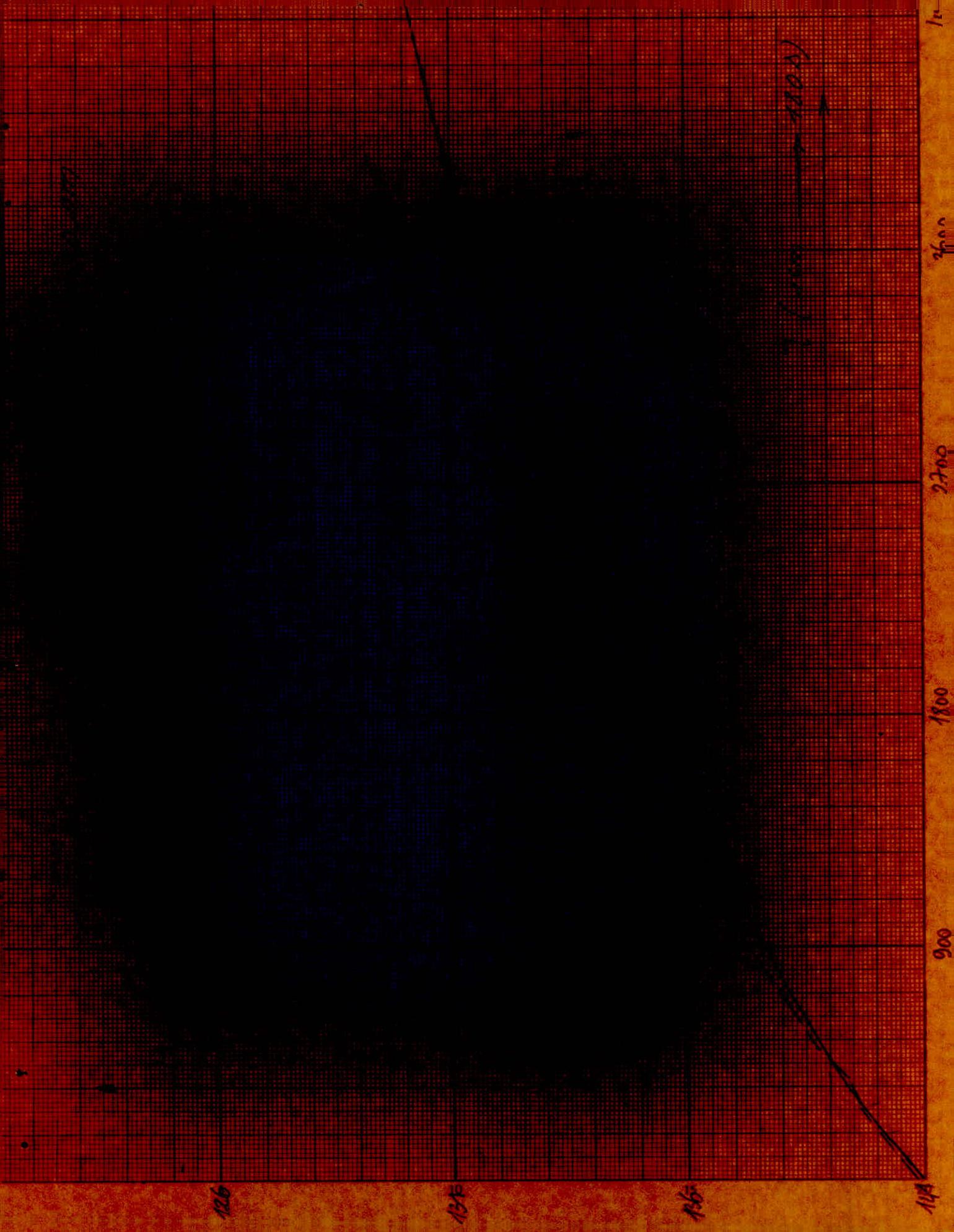
- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 6.

Position VI

Charge : 10 Cm

| H (m) | t(s) | T(s) | H (m) | t(s) | T(s) |
|--------|------|------|--------|------|------|
| I40,90 | 59 | 59 | I33,90 | I39 | 205I |
| I40,60 | 58 | II7 | I33,60 | 98 | 2I49 |
| I40,30 | 47 | I64 | I33,20 | I44 | 2293 |
| I39,90 | 85 | 249 | I32,70 | I95 | 2488 |
| I39,70 | 63 | 3I2 | I32,40 | II0 | 2598 |
| I39,40 | 96 | 408 | I32,00 | I67 | 2765 |
| I38,80 | I07 | 5I5 | I3I,70 | II8 | 2883 |
| I38,40 | 98 | 6I3 | I3I,30 | I8I | 3064 |
| I38,20 | 79 | 692 | I30,90 | II6 | 3I80 |
| I37,80 | 84 | 776 | I30,40 | 226 | 3406 |
| I37,60 | 67 | 843 | I30,I0 | I49 | 3555 |
| I37,40 | 74 | 9I7 | I29,80 | I39 | 3694 |
| I37,00 | II7 | I034 | I29,50 | I43 | 3837 |
| I36,60 | II0 | II44 | I29,I0 | I58 | 3995 |
| I36,40 | 77 | I22I | | | |
| I36,00 | II2 | I333 | | | |
| I35,60 | I30 | I463 | | | |
| I35,30 | I00 | I563 | | | |
| I35,I0 | 72 | I635 | | | |
| I34,80 | 90 | I725 | | | |
| I34,60 | 90 | I8I5 | | | |
| I34,30 | 97 | I9I2 | | | |



- RESULTATS DE MESURES AU LABORATOIRE -

Expérience n° 7

Position VII

Charge : 10 Cm

| H (m) | t(s) | T(s) | H (m) | t(s) | T(s) |
|--------|------|------|--------|------|-----------------|
| I33,30 | 73 | 73 | I24,90 | I30 | 2482 |
| I32,90 | 83 | I56 | I24,50 | I82 | 2664 |
| I32,50 | 86 | 242 | I23,80 | I74 | 2838 |
| I32,10 | I02 | 344 | I23,50 | I60 | 2998 |
| I31,80 | 70 | 4I4 | I23,00 | I86 | 3I84 |
| I31,50 | 76 | 490 | I22,60 | I90 | 3374 |
| I30,00 | I08 | 598 | I22,10 | I92 | 3566 |
| I30,70 | I05 | 703 | I21,60 | 2I5 | 3780 |
| I30,30 | 9I | 794 | I21,00 | 220 | 400I |
| I30,00 | I04 | 898 | I20,50 | 253 | 4254 |
| I29,50 | I49 | I047 | I20,00 | 2I0 | 4464 |
| I29,10 | 94 | II4I | II9,50 | 233 | 4697 |
| I28,70 | 95 | I236 | II8,50 | 246 | 4943 |
| I28,40 | II7 | I353 | | | |
| I27,60 | II3 | I466 | | | |
| I27,60 | II8 | I584 | | | |
| I27,20 | I37 | I72I | | | |
| I26,80 | I08 | I829 | | | |
| I26,40 | I33 | I962 | | | |
| I26,00 | I27 | 2089 | | | |
| I25,70 | I39 | 2228 | | | |
| I25,30 | I24 | 2352 | | | |
| | | | | | |

- RESULTATS DE MESURES AU LABORATOIRE -

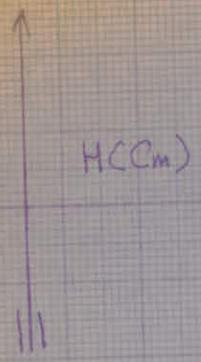
Expérience n° 08

Position VIII

Charge : 10 Cm.

| H (m) | t(s) | T (s) | H (m) | t(s) | T(s) |
|--------|------|-------|--------|------|------|
| I31,90 | 435 | 435 | I23,90 | 226 | 5943 |
| I31,60 | 207 | 642 | I23,50 | 219 | 6162 |
| I31,40 | 182 | 824 | I23,10 | 258 | 6420 |
| I31,10 | 221 | 1045 | I22,70 | 252 | 6672 |
| I30,80 | 2855 | 1330 | I22,20 | 290 | 6962 |
| I30,40 | 269 | 1599 | I21,70 | 281 | 7243 |
| I30,10 | 333 | 1932 | I21,40 | 266 | 7509 |
| I29,70 | 359 | 2291 | I20,80 | 368 | 7877 |
| I29,50 | 385 | 2676 | I20,30 | 303 | 8180 |
| I29,00 | 209 | 3261 | II9,90 | 315 | 8495 |
| I28,50 | 209 | 3470 | II9,30 | 332 | 8827 |
| I28,20 | 214 | 3684 | II8,90 | 317 | 9144 |
| I27,80 | 170 | 3854 | II8,40 | 362 | 9506 |
| I27,40 | 186 | 4040 | | | |
| I27,00 | 195 | 4235 | | | |
| I26,70 | 157 | 4392 | | | |
| I26,20 | 225 | 4617 | | | |
| I25,90 | 174 | 4791 | | | |
| I25,40 | 281 | 5072 | | | |
| I24,80 | 250 | 5322 | | | |
| I24,60 | 191 | 5513 | | | |
| I24,20 | 204 | 5717 | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Charge $H = 10 \text{ cm}$



--- Position 7
— Position 8

119

124

129

134

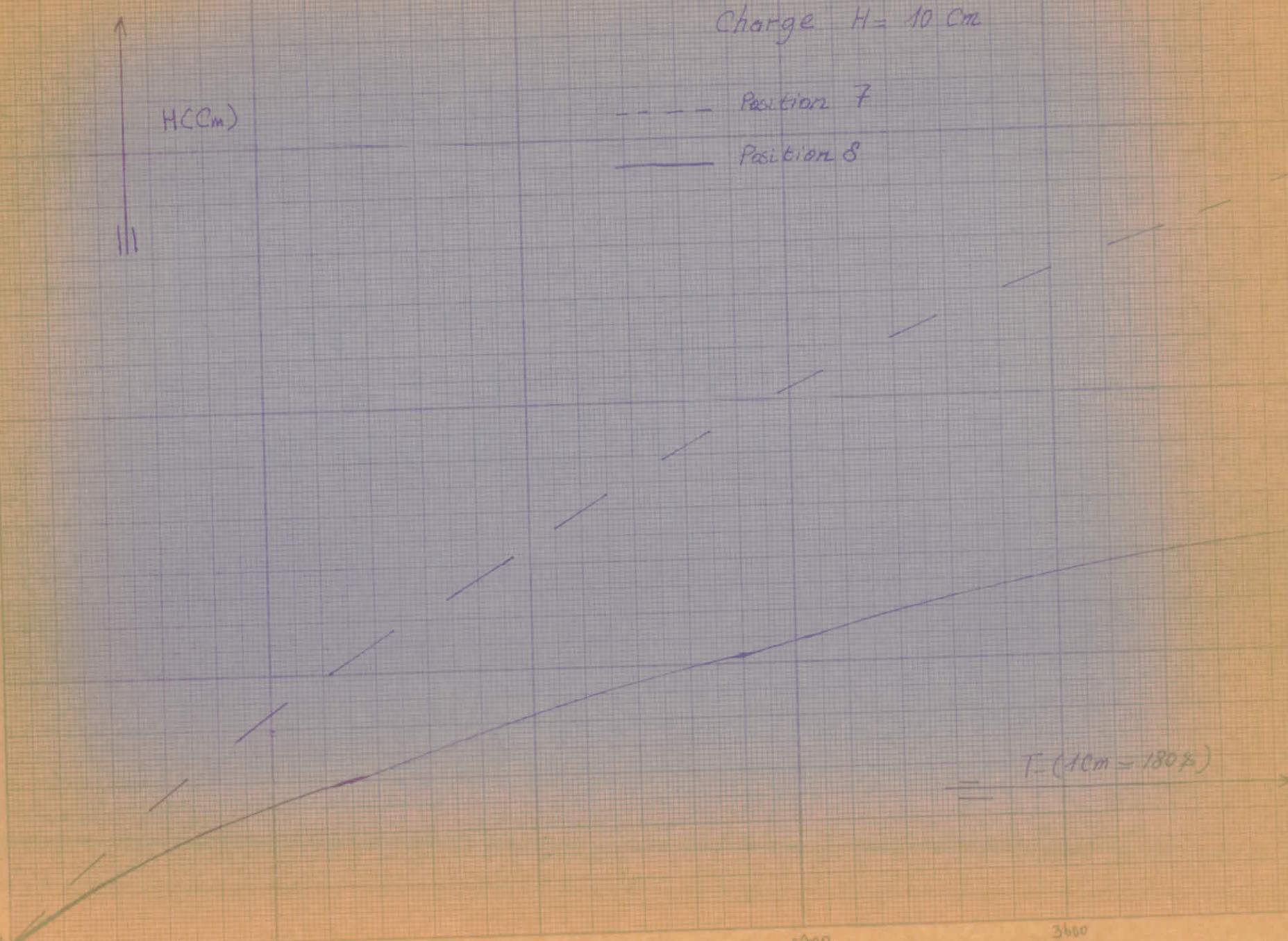
900

1800

2700

3600

$T = (10 \text{ m} = 180 \text{ s})$



- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 9

Position n° IX

Charge : 10 Cm

| H (m) | t(s) | T (s) | H (m) | t(s) | T(s) |
|--------|------|---------|--------|------|------|
| I37,80 | 73 | 73 | I28,70 | I30 | 2500 |
| I37,40 | 77 | I50 | I28,40 | I26 | 2626 |
| I36,90 | 80 | 230 | I27,90 | I31 | 2757 |
| I36,60 | II9 | 349 | I27,60 | I38 | 2895 |
| I36,10 | II3 | a 462 | I27,10 | I53 | 3048 |
| I35,80 | 69 | 531 | I26,70 | I47 | 3195 |
| I35,30 | II2 | 643 | I26,20 | I50 | 3345 |
| I35,00 | II3 | 756 | I25,80 | I66 | 3511 |
| I34,60 | 67 | 823 | I25,40 | I54 | 3665 |
| I34,20 | 93 | 916 | I24,90 | I74 | 3839 |
| I33,80 | I01 | I017 | I24,50 | I70 | 4010 |
| I33,40 | I02 | !! III9 | I24,10 | I54 | 4164 |
| I33,00 | I02 | I221 | I23,80 | I50 | 4314 |
| I32,60 | II2 | I333 | I23,20 | I86 | 4500 |
| I32,20 | I07 | I440 | I22,70 | 208 | 4708 |
| I31,70 | I44 | I584 | I21,80 | 221 | 5108 |
| I31,20 | I26 | I710 | I21,40 | I80 | 5288 |
| I30,90 | 96 | I806 | I20,80 | 240 | 5528 |
| I30,60 | I00 | I906 | | | |
| I30,20 | 92 | I998 | | | |
| I29,90 | II6 | 2114 | | | |
| I29,60 | II9 | 2233 | | | |
| I29,10 | I37 | 2370 | | | |
| | | | | | |

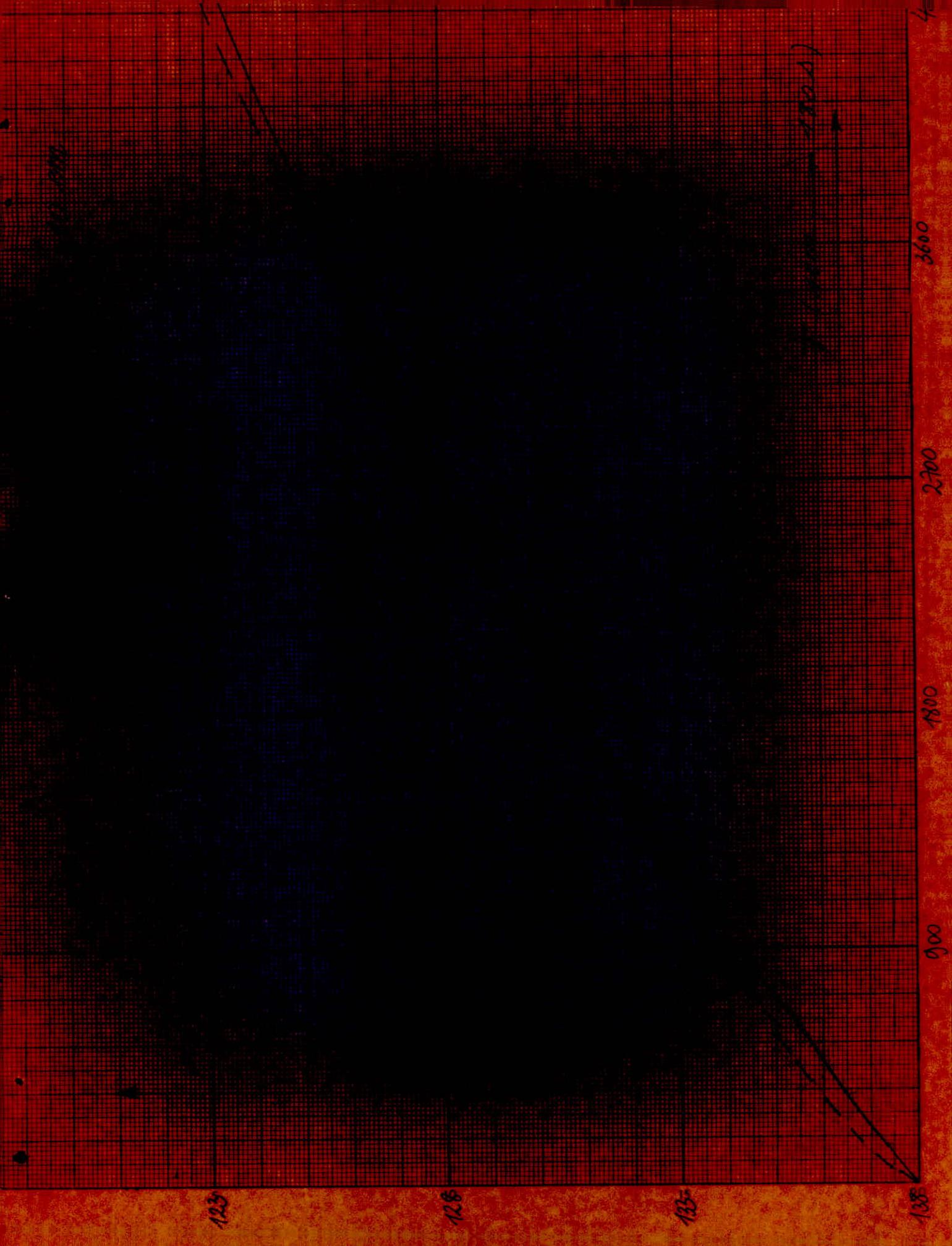
RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

Expérience n° IO

Position N° X

Charge n IO Cm

| H (cm) | t(s) | T (s) | H (cm) | t(s) | T(s) |
|---------|------|-------|--------|------|------|
| I377,60 | 43 | 43 | I29,40 | I29 | 22I4 |
| I37, IO | 78 | I2I | I29,00 | I28 | 2342 |
| I36,90 | 74 | I95 | I28,50 | I43 | 2485 |
| I36,50 | 70 | 265 | I28,IO | I3I | 26I6 |
| I36,00 | I07 | 372 | I27,80 | IIO | 2726 |
| I35,60 | 89 | 46I | I27,40 | I45 | 287I |
| I35,30 | 65 | 526 | I27,00 | I58 | 3029 |
| I35,00 | 70 | 596 | I26,60 | I3I | 3I60 |
| I34,60 | I08 | 704 | I26,IO | I68 | 3328 |
| I34,30 | 80 | 784 | I25,60 | I77 | 3505 |
| I34,00 | 80 | 863 | I25,IO | I82 | 3687 |
| I3,) | I17 | 908 | I24,60 | I90 | 3877 |
| I33,30 | 68 | I048 | I24,IO | I84 | 406I |
| I32,80 | I23 | I17I | I23,70 | I50 | 42II |
| I32,50 | 90 | I26I | I23,40 | I47 | 4358 |
| I32,20 | 85 | I346 | I22,80 | 233 | 469I |
| I3I,90 | 95 | I44I | | | |
| I3I,50 | IIO | I55I | | | |
| I30,IO | I08 | I659 | | | |
| I30,70 | I13 | I772 | | | |
| I30,50 | I14 | I886 | | | |
| I30,00 | I04 | I990 | | | |
| I29,80 | 95 | 2083 | | | |



RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

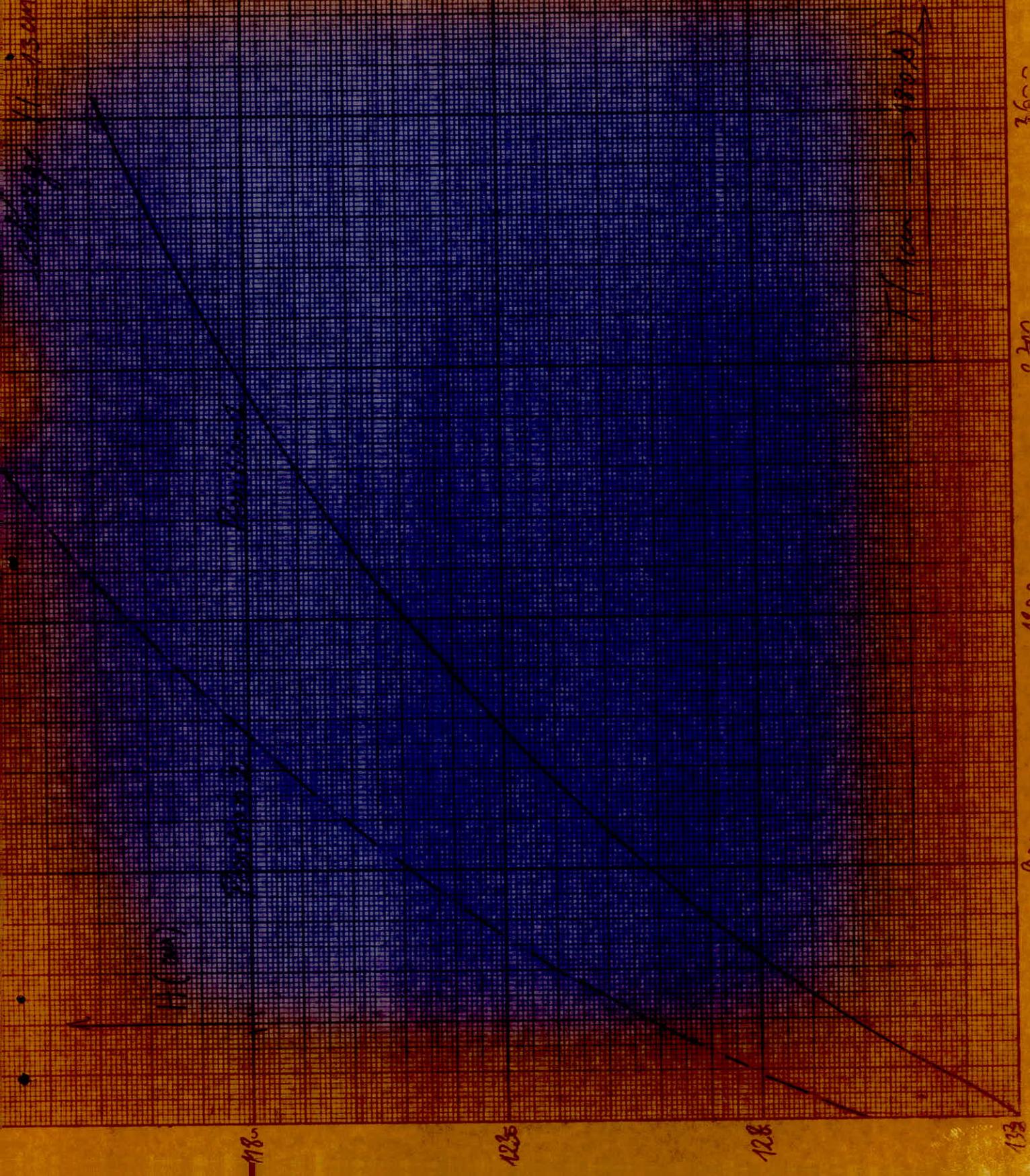
EXPERIENCE N° I2

POSITION II

CHARGE H = 13 cm

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| I29.60 | 32 | 32 | II0.80 | I20 | I42I |
| I29.30 | 29 | 6I | II7.30 | 87 | I508 |
| I28.80 | 42 | I03 | II6.90 | 8I | I589 |
| I28.10 | 5I | I54 | II6.40 | I02 | I69I |
| I27.70 | 35 | I89 | II5.60 | I32 | I823 |
| I27.30 | 39 | 228 | II5.00 | I43 | I966 |
| I26.80 | 42 | 270 | II4.40 | I28 | 2094 |
| I26.30 | 48 | 3I8 | II3.80 | I47 | 224I |
| I25.60 | 62 | 380 | II3.I0 | I50 | 239I |
| I25.30 | 36 | 4I6 | II2.50 | I68 | 2559 |
| I24.60 | 65 | 48I | III.80 | I89 | 2748 |
| I24.I0 | 5I | 532 | III.30 | I32 | 2880 |
| I23.70 | 58 | 590 | II0.60 | I94 | 3074 |
| I23.20 | 52 | 642 | II0.00 | I62 | 3236 |
| I22.80 | 48 | 690 | XXXXXI | 70 | |
| I22.30 | 70 | 760 | | | |
| I2I.70 | 7I | 83I | | | |
| I2I.30 | 55 | 886 | | | |
| I20.80 | 79 | 965 | | | |
| I20.20 | 8I | I046 | | | |
| II9.50 | I02 | II48 | | | |
| II9.00 | 77 | I225 | | | |
| II8.50 | 76 | I30I | | | |

average $H = 150m$



$H(m)$

1180

1235

128

133

$T(100m \rightarrow 100s)$

1180

1235

128

133

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 3 I3

POSITION III

CHARGE H = 13 cm

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I33.00 | 45 | 45 | I21.40 | 74 | I3222 |
| I32.50 | 36 | 81 | I20.90 | 90 | I412 |
| I32.00 | 35 | II6 | I20.30 | 73 | I485 |
| I31.50 | 41 | I57 | II9.90 | 92 | I577 |
| I31.00 | 37 | I94 | II9.10 | I32 | I709 |
| I30.80 | 47 | 241 | II8.60 | 93 | I802 |
| I30.30 | 48 | 289 | II8.00 | I26 | I938 |
| I29.40 | 47 | 336 | II7.30 | I05 | 2033 |
| I29.00 | 31 | 367 | II6.70 | I29 | 2162 |
| I28.50 | 58 | 425 | II6.30 | II2 | 2274 |
| I25.40 | 51 | 534 | II5.80 | II0 | 2384 |
| I26.90 | 53 | 587 | II5.00 | I54 | 2538 |
| I26.50 | 48 | 635 | II4.40 | I68 | 2706 |
| I26.00 | 69 | 704 | II4.00 | I03 | 2809 |
| I25.60 | 42 | 746 | II3.50 | I36 | 2945 |
| I25.00 | 66 | 812 | II3.00 | I01 | 3046 |
| I24.50 | 63 | 875 | | | |
| I23.90 | 80 | 955 | | | |
| I23.40 | 70 | I025 | | | |
| I22.90 | 67 | I090 | | | |
| I22.50 | 63 | II53 | | | |
| I21.90 | 95 | I248 | | | |

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 14

POSITION IV

CHARGE H = 13 cm

| H | t (s) | T (s) | H | t (s) | T (s) |
|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| 133;200 | 43 | 43 | 126;80 | 118 | 1414 |
| 132.40 | 44 | 87 | 120.30 | 80 | 1494 |
| 131.90 | 44 | 131 | 119.80 | 79 | 1573 |
| 131.30 | 44 | 175 | 119.20 | 97 | 1670 |
| 130.70 | 46 | 221 | 118.80 | 74 | 1744 |
| 130.30 | 44 | 265 | 118.20 | 96 | 1840 |
| 130.20 | 45 | 310 | 117.60 | 84 | 1924 |
| 129.10 | 54 | 364 | 117.20 | 91 | 2015 |
| 128.60 | 49 | 413 | 116.80 | 87 | 2102 |
| 128.00 | 56 | 469 | 116.30 | 102 | 2204 |
| 127.50 | 50 | 519 | 115.60 | 125 | 2329 |
| 127.00 | 49 | 568 | 114.80 | 167 | 2496 |
| 126.50 | 57 | 625 | 114.20 | 130 | 2626 |
| 125.80 | 78 | 703 | 113.60 | 129 | 2755 |
| 125.30 | 54 | 757 | 113.00 | 136 | 2891 |
| 124.80 | 62 | 819 | 112.50 | 127 | 3018 |
| 124.30 | 60 | 879 | 111.90 | 147 | 3165 |
| 123.80 | 59 | 938 | | | |
| 123.50 | 48 | 986 | | | |
| 123.00 | 62 | 1048 | | | |
| 122.50 | 63 | 1111 | | | |
| 121.90 | 89 | 1200 | | | |
| 121.20 | 96 | 1296 | | | |

11/11/11

118

125

128

135

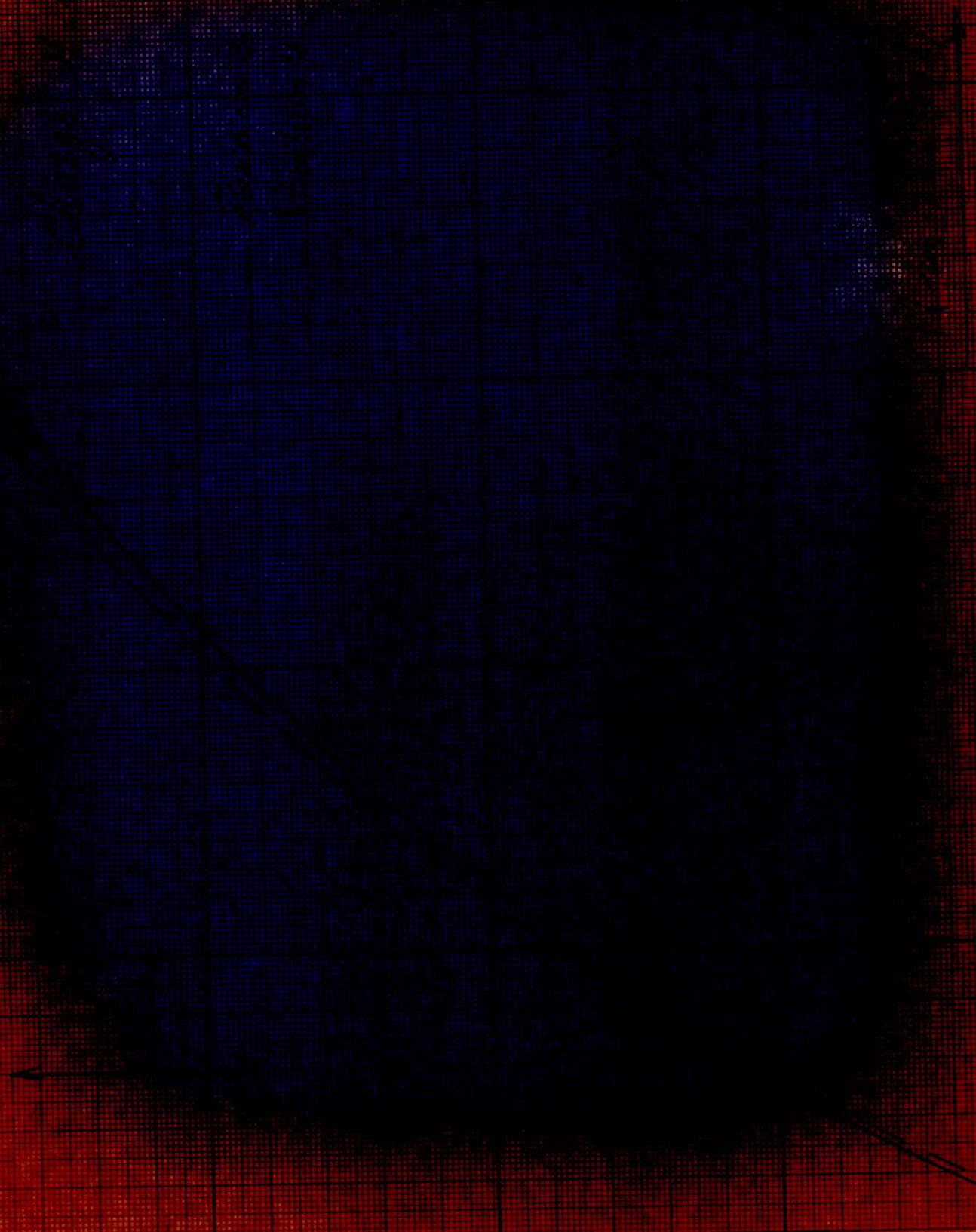
0.00

1100

1700

3600

4



RESULTAT DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 15

POSITION V

CHARGE H = 13 cm

| H | t (s) | T (s) | H | t (s) | T (s) |
|--------|---------|---------|--------|---------|---------|
| 133.60 | 33 | 33 | 121.40 | 121 | 1598 |
| 133.20 | 35 | 68 | 120.90 | 74 | 1672 |
| 132.50 | 59 | 127 | 120.40 | 81 | 1753 |
| 132.10 | 46 | 173 | 119.80 | 104 | 1857 |
| 131.70 | 39 | 212 | 119.30 | 103 | 1960 |
| 131.10 | 54 | 266 | 118.80 | 113 | 2073 |
| 130.70 | 47 | 313 | 118.10 | 134 | 2207 |
| 130.20 | 57 | 370 | 117.60 | 101 | 2308 |
| 129.60 | 63 | 433 | 117.10 | 104 | 2412 |
| 129.00 | 68 | 501 | 116.60 | 110 | 2522 |
| 128.40 | 66 | 567 | 116.10 | 110 | 2632 |
| 127.90 | 56 | 623 | 115.50 | 149 | 2781 |
| 127.50 | 51 | 674 | 114.70 | 173 | 2954 |
| 127.00 | 63 | 737 | | | |
| 126.50 | 58 | 795 | | | |
| 125.90 | 88 | 883 | | | |
| 125.20 | 91 | 974 | | | |
| 124.60 | 97 | 1070 | | | |
| 123.90 | 104 | 1175 | | | |
| 123.50 | 63 | 1238 | | | |
| 122.90 | 87 | 1327 | | | |
| 122.50 | 77 | 1402 | | | |
| 122.00 | 75 | 1477 | | | |

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

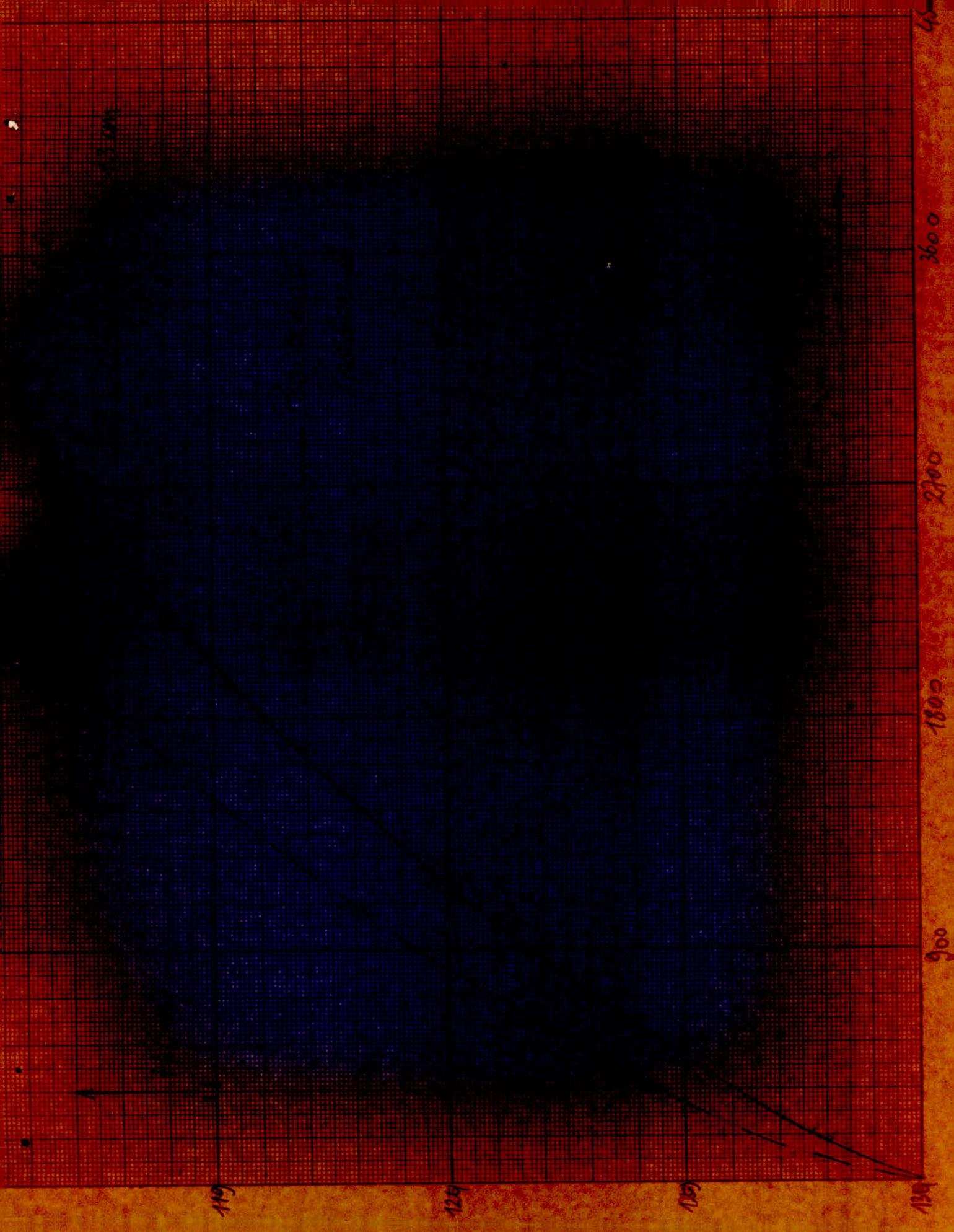
EXPERIENCE N° 16

POSITION V/

CHARGE H = 13 cm

| H (cm) : | t (s) : | T (s) : | H (cm) : | t (s) : | T (s) : |
|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 132.50 | 35 | 35 | 120.00 | 60 | 1339 |
| 131.90 | 42 | 77 | 119.60 | 74 | 1413 |
| 131.30 | 41 | 118 | 119.10 | 68 | 1481 |
| 131.00 | 27 | 145 | 118.72 | 64 | 1545 |
| 130.40 | 493 | 193 | 118.20 | 78 | 1623 |
| 129.90 | 39 | 232 | 117.60 | 85 | 1708 |
| 129.40 | 48 | 280 | 117.10 | 76 | 1784 |
| 128.80 | 51 | 331 | 116.60 | 89 | 1873 |
| 128.40 | 38 | 369 | 116.10 | 86 | 1959 |
| 127.90 | 50 | 419 | 115.60 | 85 | 2044 |
| 127.20 | 68 | 487 | 115.00 | 111 | 2155 |
| 126.70 | 48 | 537 | 114.50 | 112 | 2267 |
| 126.20 | 50 | 585 | 113.90 | 102 | 2369 |
| 125.60 | 65 | 650 | 113.30 | 112 | 2481 |
| 127.00 | 67 | 717 | 112.60 | 141 | 2622 |
| 124.50 | 52 | 769 | | | |
| 124.00 | 72 | 839 | | | |
| 123.40 | 63 | 902 | | | |
| 122.90 | 59 | 961 | | | |
| 122.20 | 81 | 1042 | | | |
| 121.70 | 74 | 1116 | | | |
| 121.00 | 93 | 1209 | | | |
| 120.50 | 70 | 1279 | | | |

58



RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 17

POSITION V//

CHARGE H = 13 cm

| H (s) | t (s) | T (s) | H (s) | t (s) | T (s) |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 133.80 | 38 | 38 | 122.20 | 83 | 1711 |
| 133.50 | 65 | 93 | 121.70 | 117 | 1828 |
| 132.70 | 75 | 168 | 121.10 | 102 | 1930 |
| 132.20 | 58 | 226 | 120.70 | 84 | 2014 |
| 131.90 | 43 | 269 | 120.00 | 138 | 2152 |
| 131.30 | 71 | 340 | 119.50 | 104 | 2256 |
| 131.00 | 35 | 375 | 119.00 | 118 | 2374 |
| 130.50 | 50 | 425 | 118.40 | 112 | 2488 |
| 130.10 | 54 | 479 | 117.90 | 126 | 2612 |
| 129.50 | 86 | 565 | 117.40 | 106 | 2718 |
| 129.00 | 61 | 626 | | | |
| 128.50 | 70 | 696 | 116.90 | 123 | 1841 |
| 128.00 | 73 | 769 | 116.40 | 99 | 2940 |
| 127.60 | 61 | 830 | 115.90 | 133 | 3073 |
| 126.90 | 96 | 926 | 115.40 | 128 | 3201 |
| 126.20 | 93 | 1019 | 114.80 | 154 | 3355 |
| 125.70 | 81 | 1100 | 114.30 | 130 | 3485 |
| 125.30 | 70 | 1170 | | | |
| 124.70 | 101 | 1271 | | | |
| 124.10 | 92 | 1363 | | | |
| 123.60 | 87 | 1450 | | | |
| 123.20 | 94 | 1544 | | | |
| 122.70 | 84 | 1624 | | | |

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

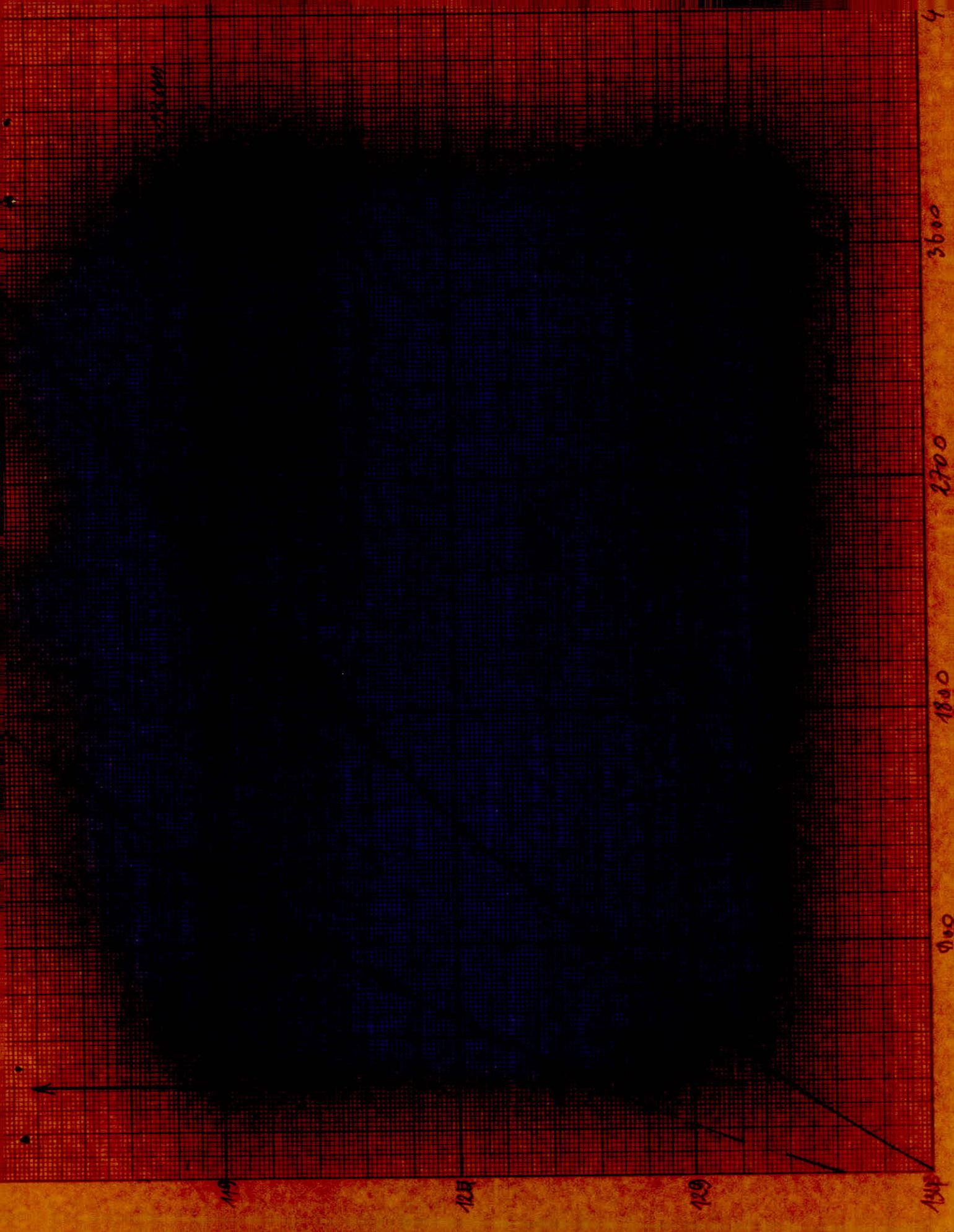
EXPERIENCE N° 18

POSITION VIII

CHARGE H = 15 cm

| H (s) | t (s) | T (s) | H (s) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 130.70 | 27 | 27 | 118.80 | 74 | 1160 |
| 130.20 | 30 | 57 | 118.30 | 59 | 1219 |
| 129.70 | 36 | 93 | 117.80 | 77 | 1296 |
| 129.10 | 47 | 140 | 117.20 | 70 | 1366 |
| 128.50 | 51 | 191 | 116.80 | 60 | 1426 |
| 128.00 | 40 | 231 | 116.20 | 86 | 1512 |
| 127.50 | 36 | 267 | 115.40 | 77 | 1589 |
| 127.10 | 42 | 309 | 115.00 | 77 | 1666 |
| 126.70 | 34 | 343 | 114.20 | 90 | 1756 |
| 126.20 | 43 | 386 | 113.70 | 89 | 1845 |
| 125.70 | 40 | 426 | 113.10 | 90 | 1935 |
| 125.20 | 47 | 473 | 102.50 | 92 | 2027 |
| 124.50 | 68 | 541 | 111.90 | 118 | 2145 |
| 123.90 | 61 | 602 | 111.30 | 96 | 2241 |
| 123.30 | 58 | 660 | 110.70 | 100 | 2341 |
| 122.80 | 48 | 708 | | | |
| 122.40 | 38 | 746 | | | |
| 121.90 | 55 | 801 | | | |
| 121.40 | 58 | 859 | | | |
| 120.90 | 50 | 909 | | | |
| 120.50 | 57 | 966 | | | |
| 120.00 | 59 | 1025 | | | |
| 119.50 | 61 | 1086 | | | |

11.11.11



3600

2700

1800

900

134

129

121

119

4

RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 19

POSITION /X

CHARGE H = 1,0 cm

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I33.00 | 27 | 27 | I20.50 | 82 | II77 |
| I32.30 | 43 | 70 | I20.00 | 62 | I239 |
| I31.80 | 33 | I03 | II9.30 | 79 | I318 |
| I31.40 | 32 | I35 | II8.50 | 97 | I415 |
| I30.80 | 44 | I79 | II7.90 | 80 | I495 |
| I30.40 | 29 | 208 | II7.40 | 64 | I559 |
| I30.00 | 35 | 243 | II6.90 | 69 | I628 |
| I29.50 | 45 | 288 | II6.40 | 71 | I699 |
| I28.90 | 47 | 335 | II5.90 | 71 | I770 |
| I28.40 | 44 | 379 | II5.20 | 80 | I850 |
| I25.80 | 54 | 433 | II4.70 | 73 | I923 |
| I27.30 | 47 | 480 | II4.10 | 78 | 2001 |
| I26.50 | 69 | 549 | II3.50 | 83 | 2084 |
| I26.10 | 48 | 597 | II2.90 | 85 | 2169 |
| I25.50 | 45 | 642 | II2.30 | 97 | 2266 |
| I24.90 | 63 | 705 | III.60 | I00 | 2366 |
| I24.20 | 63 | 768 | III.00 | I09 | 2475 |
| I23.70 | 53 | 821 | | | |
| I23.21 | 48 | 869 | | | |
| I22.90 | 44 | 913 | | | |
| I22.20 | 66 | 979 | | | |
| I21.80 | 43 | I022 | | | |
| I21.20 | 73 | I095 | | | |

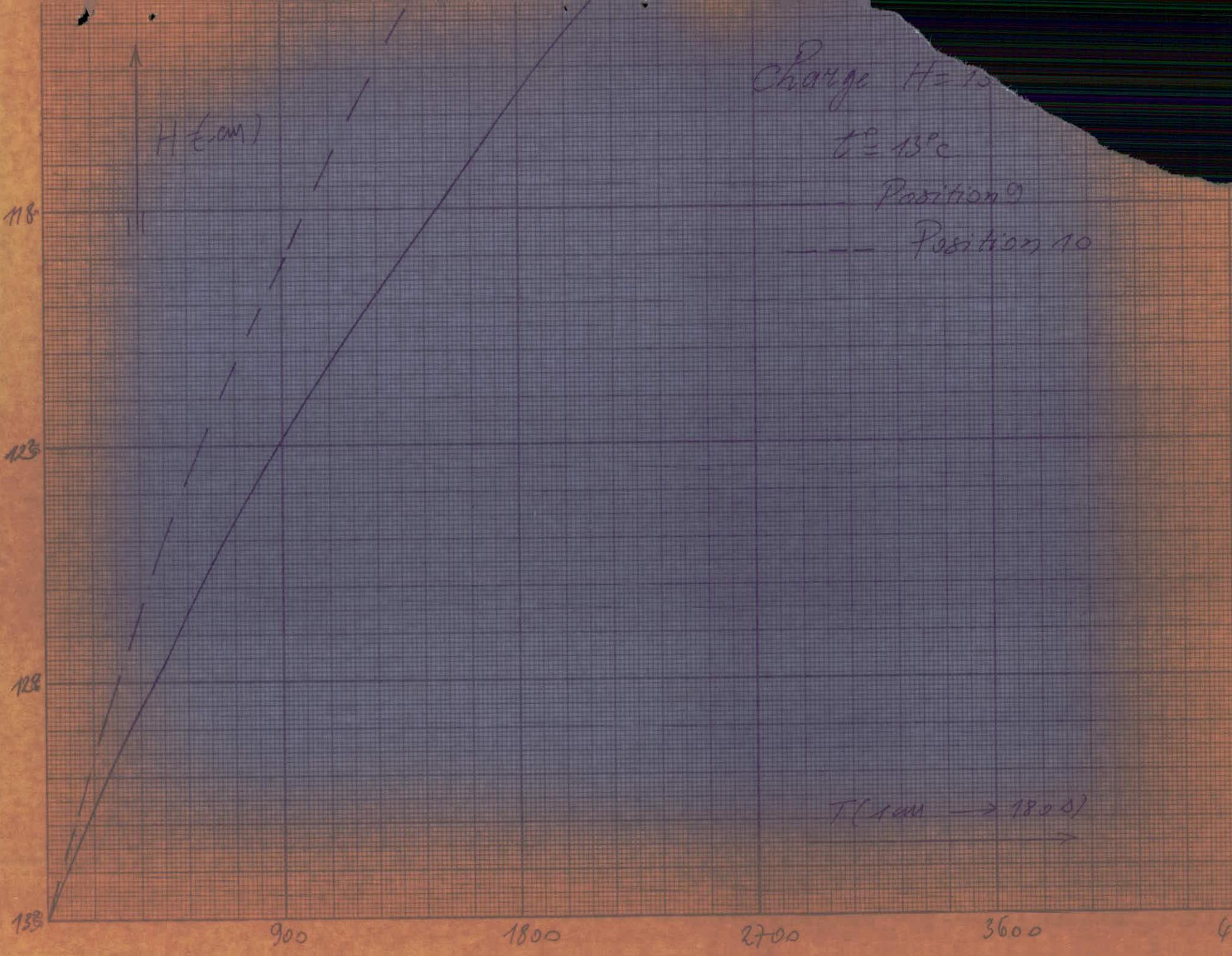
RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE

EXPERIENCE N° 20

POSITION X

CHARGE 13 cm

| Hauteur : | t (s) | T (s) | Hauteur : | t (s) | T (s) |
|-----------|---------|---------|-------------------|----------------|---------|
| 133.00 | 25 | 121.40 | 121.40 | 763 | 725 |
| 132.50 | 23 | 48 | 120.90 | 39 | 764 |
| 132.10 | 16 | 64 | 120.30 | 40 | 804 |
| 131.50 | 29 | 93 | 119.80 | 41 | 845 |
| 131.20 | 15 | 108 | 119.30 | 41 | 886 |
| 130.60 | 29 | 137 | 118.90 | 37 | 923 |
| 129.90 | 35 | 172 | 118.30 | 46 | 969 |
| 129.50 | 24 | 196 | 117.90 | 40 | 1009 |
| 128.90 | 33 | 225 | 117.30 | 48 | 1057 |
| 128.40 | 27 | 256 | 116.70 | 53 | 1110W |
| 127.70 | 37 | 293 | 116.20 | 39 | 1149 |
| 125.00 | 40 | 333 | 115.70 | 45 | 1194 |
| 126.50 | 32 | 365 | 115.10 | 46 | 1240 |
| 125.30 | 42 | 442 | 114.60 | 50 | 1290 |
| 124.80 | 34 | 476 | 114.00 | 57 | 1347 |
| 124.40 | 27 | 503 | 113.40 | 65 | 1412 |
| 124.00 | 28 | 531 | 112.80 | 52 | 1464 |
| 123.50 | 29 | 560 | 112.30 | 49 | 1513 |
| 123.10 | 32 | 592 | 111.80 | 52 | 1565 |
| 122.50 | 48 | 640 | 111.30 | 56 | 1631 |
| 120.00 | 39 | 679 | 110.60 | 46 | 1677 |



- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 21

Position: I

Charge : 16 cm

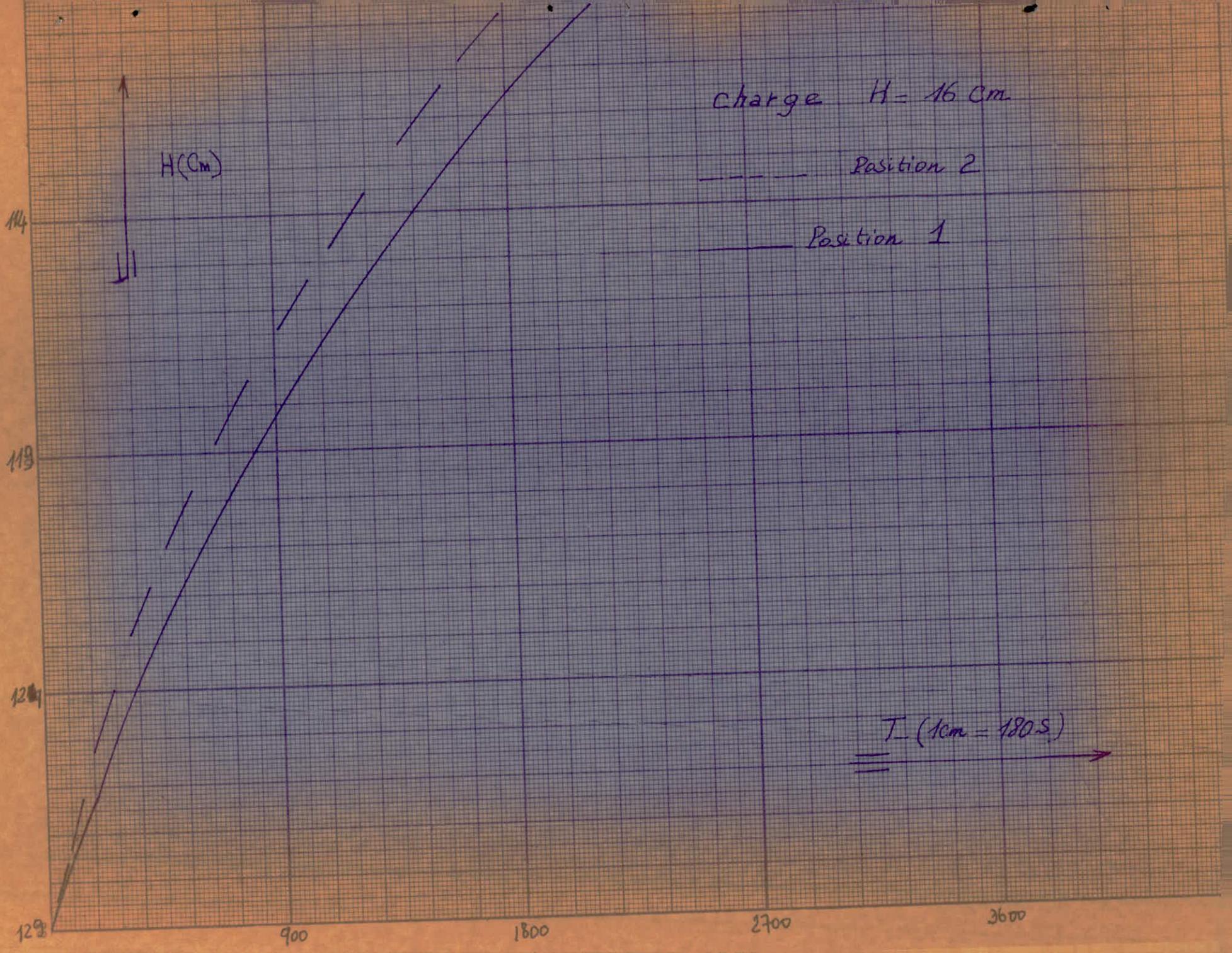
$T^{\circ} = 13^{\circ} C.$

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 128,90 | 28 | 28 | 118,30 | 95 | 886 |
| 128,20 | 42 | 70 | 117,80 | 62 | 948 |
| 127,40 | 44 | 114 | 117,20 | 64 | 1012 |
| 126,60 | 49 | 163 | 116,70 | 76 | 1088 |
| 126,10 | 35 | 198 | 116,20 | 61 | 1149 |
| 125,40 | 46 | 244 | 115,60 | 80 | 1229 |
| 124,80 | 47 | 291 | 115,00 | 76 | 1305 |
| 124,10 | 49 | 340 | 114,40 | 102 | 1407 |
| 123,40 | 64 | 404 | 113,50 | 116 | 1523 |
| 122,80 | 43 | 447 | 122,80 | 117 | 1640 |
| 122,30 | 46 | 483 | 112,00 | 121 | 1761 |
| 121,60 | 64 | 547 | 111,20 | 150 | 1911 |
| 120,50 | 54 | 652 | 110,40 | 133 | 2044 |
| 120,00 | 55 | 707 | 109,80 | 115 | 2159 |
| 119,20 | 84 | 791 | 109,10 | 154 | 2313 |
| | | | 108,20 | 183 | 2496 |
| | | | | | |
| | | | | | |

- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Experience n° 22 Position // Charge : 16 cm t = 13° C

| H (cm) | t(s) | T(s) | H (cm) | t(s) | T(s) |
|--------|------|------|--------|------|------|
| 128,30 | 34 | 34 | 116,40 | 86 | 922 |
| 127,90 | 20 | 54 | 115,90 | 53 | 975 |
| 127,20 | 39 | 93 | 115,40 | 68 | 1043 |
| 126,50 | 33 | 126 | 114,80 | 68 | 1111 |
| 125,70 | 45 | 171 | 114,30 | 66 | 1177 |
| 125,10 | 35 | 206 | 113,30 | 117 | 1294 |
| 124,70 | 28 | 234 | 112,60 | 65 | 1359 |
| 124,10 | 36 | 270 | 112,00 | 93 | 1452 |
| 123,70 | 30 | 300 | 110,10 | 117 | 1569 |
| 123,10 | 39 | 339 | 110,50 | 101 | 1670 |
| 122,20 | 66 | 405 | 109,80 | 124 | 1794 |
| 121,60 | 43 | 448 | 109,00 | 141 | 1935 |
| 121,20 | 29 | 477 | 108,50 | 90 | 2025 |
| 120,40 | 59 | 536 | 107,70 | 143 | 2173 |
| 119,70 | 59 | 595 | 107,00 | 142 | 2315 |
| 119,00 | 67 | 662 | 106,10 | 180 | 2495 |
| 118,40 | 50 | 712 | | | |
| 117,90 | 62 | 774 | | | |
| 117,20 | 62 | 836 | | | |
| | | | | | |



- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 23

Position III

Charge : 16 cm

t₀) 13 ° c

| <u>H (cm)</u> | <u>t (s)</u> | <u>T (s)</u> | <u>H (cm)</u> | <u>t (s)</u> | <u>T (s)</u> |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| 129,50 | 33 | 33 | 118,10 | 88 | 943 |
| 129,00 | 26 | 59 | 117,50 | 75 | 1018 |
| 128,20 | 39 | 98 | 116,70 | 87 | 1105 |
| 127,60 | 34 | 132 | 116,00 | 88 | 1193 |
| 127,20 | 27 | 159 | 115,30 | 76 | 1269 |
| 126,30 | 58 | 217 | 114,80 | 78 | 1347 |
| 125,90 | 31 | 248 | 114,10 | 83 | 1430 |
| 125,10 | 50 | 298 | 113,60 | 75 | 1506 |
| 124,70 | 30 | 328 | 112,80 | 114 | 1620 |
| 124,10 | 44 | 372 | 112,00 | 108 | 1728 |
| 123,50 | 51 | 423 | 111,50 | 79 | 1807 |
| 123,10 | 30 | 453 | 110,80 | 121 | 1928 |
| 122,60 | 41 | 494 | 110,20 | 106 | 2034 |
| 121,90 | 68 | 562 | 109,40 | 129 | 2163 |
| 121,00 | 80 | 642 | 108,80 | 106 | 2269 |
| 120,60 | 40 | 682 | 108,00 | 150 | 2419 |
| 120,00 | 52 | 734 | 107,50 | 100 | 2519 |
| 119,60 | 49 | 783 | | | |
| 119,00 | 72 | 855 | | | |
| | | | | | |

- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

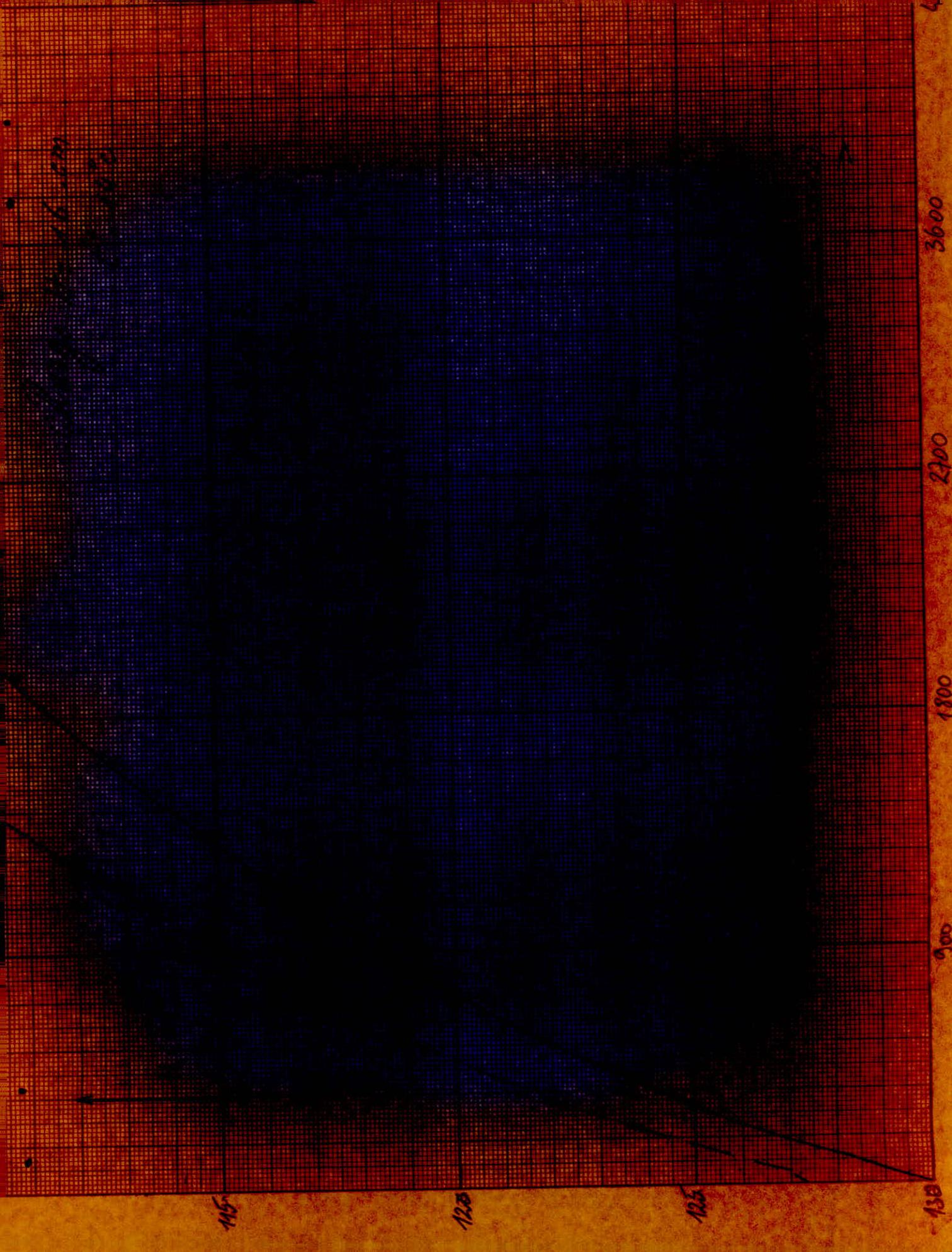
Expérience n° 24

Position IV

Charge : 16 cm

t = 14° 0

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I27,20 | 35 | 35 | II4,80 | 70 | 943 |
| I26,50 | 38 | 73 | II4,10 | 64 | 1012 |
| I25,80 | 38 | III | II3,50 | 53 | 1065 |
| I25,10 | 38 | 149 | II2,70 | 38 | 1153 |
| I24,40 | 41 | 190 | II2,10 | 59 | 1212 |
| I23,80 | 40 | 230 | II1,60 | 65 | 1277 |
| I23,00 | 49 | 279 | III,20 | 48 | 1325 |
| I22,50 | 36 | 315 | II0,40 | 82 | 1407 |
| I21,70 | 55 | 370 | I09,60 | 100 | 1507 |
| I20,90 | 58 | 428 | I09,10 | 67 | 1574 |
| I20,30 | 49 | 477 | I08,40 | 82 | 1656 |
| II9,70 | 40 | 517 | I07,80 | 90 | 1746 |
| II8,90 | 68 | 535 | I07,10 | 88 | 1834 |
| II8,30 | 45 | 630 | I06,50 | 85 | 1919 |
| II7,70 | 51 | 681 | I05,70 | 109 | 2028 |
| II7,10 | 53 | 734 | I05,10 | 94 | 2122 |
| II6,40 | 61 | 795 | I04,20 | 148 | 2270 |
| II5,50 | 83 | 878 | I03,60 | 96 | 2366 |
| | | | | | |



- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Experience n° 25

Position V

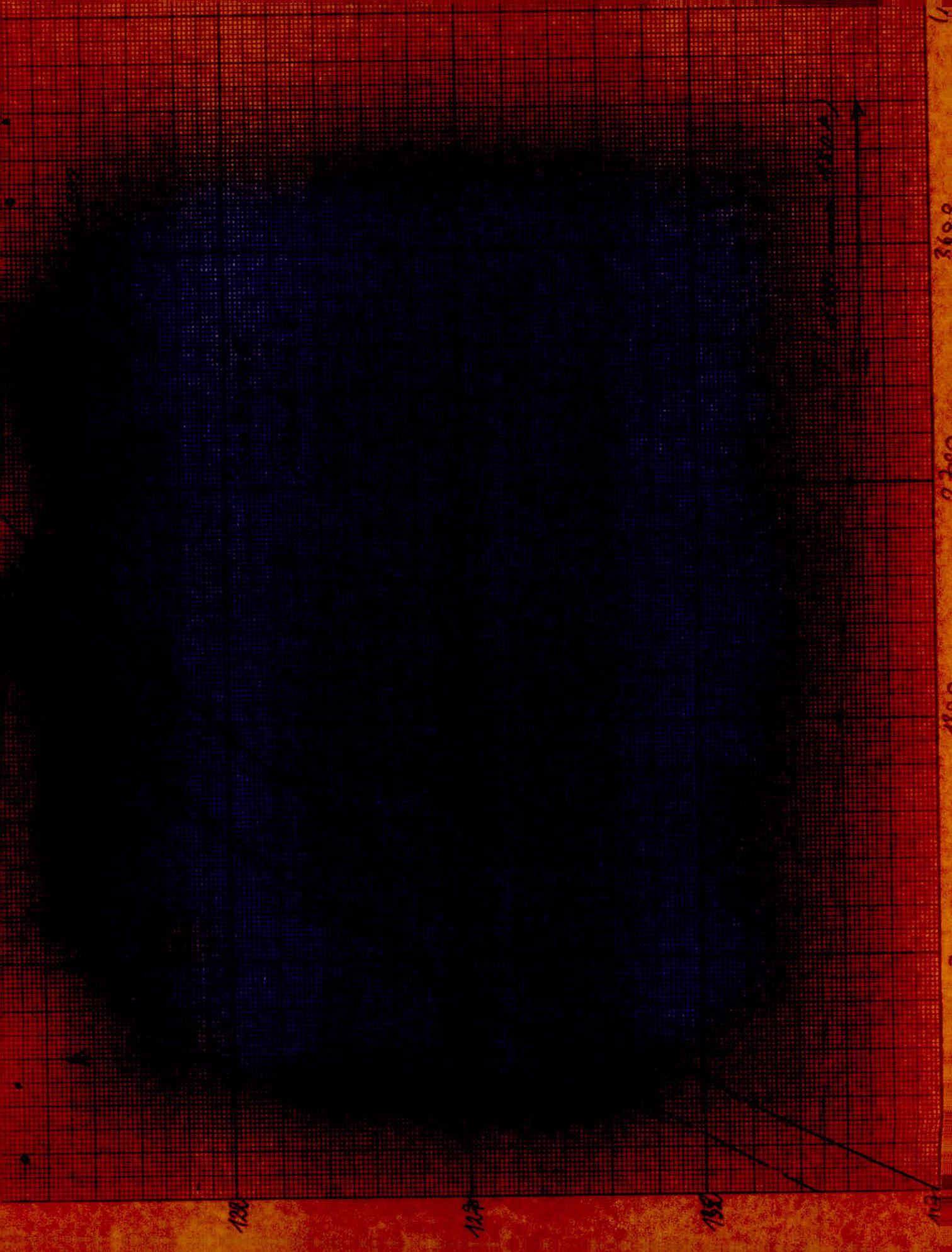
Charge H = 16 cm t° = 12 ° C

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| I36,30 | 45 | 45 | I23,20 | 85 | I597 |
| I35,70 | 52 | 97 | I22,60 | 87 | I684 |
| I35,00 | 65 | I62 | I22,00 | 87 | I77I |
| I34,40 | 66 | 228 | I2I,30 | II5 | I886 |
| I33,70 | 56 | 284 | I20,60 | II8 | 2004 |
| I33,10 | 54 | 338 | II9,90 | II2 | 2II6 |
| I32,30 | 85 | 423 | II9,30 | IOI | 22I7 |
| I3I,60 | 68 | 49I | II8,90 | 83 | 2300 |
| I3I,00 | 6I | 552 | II8,30 | II4 | 24I4 |
| I30,40 | 77 | 629 | II7,80 | 83 | 2497 |
| I29,80 | 74 | 703 | II7,30 | 99 | 2596 |
| I28,30 | 55 | 758 | II6,40 | I74 | 2770 |
| I28,60 | 79 | 837 | II5,60 | I32 | 2902 |
| I28,20 | 55 | 892 | II5,00 | I40 | 3042 |
| I27,60 | 85 | 977 | II4,40 | I35 | 3I77 |
| I27,00 | 85 | I062 | | | |
| I26,20 | I00 | II62 | | | |
| I25,60 | 85 | I247 | | | |
| I25,00 | I00 | I347 | | | |
| I24,20 | 97 | I444 | | | |
| I23,70 | 68 | I5I2 | | | |
| | | | | | |

- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 26 Position VI Charge : H = 16 cm t(± 12° C

| $H_{(th)}$ | t (s) | T (s) | | $H_{(th)}$ | t (s) | T (s) |
|------------|-------|-------|----|------------|-------|-------|
| 134,00 | 46 | 46 | ! | 120,20 | 109 | 1669 |
| 133,70 | 30 | 76 | ! | 119,40 | 119 | 1788 |
| 132,80 | 65 | 141 | ! | 118,90 | 78 | 1866 |
| 132,30 | 49 | 198 | ! | 118,40 | 88 | 1954 |
| 131,60 | 60 | 250 | ! | 117,70 | 110 | 2064 |
| 131,00 | 64 | 314 | ! | 117,00 | 119 | 2183 |
| 130,40 | 54 | 368 | ! | 116,30 | 104 | 2287 |
| 129,80 | 58 | 426 | ! | 115,60 | 122 | 2409 |
| 129,20 | 66 | 492 | ! | 115,10 | 97 | 2506 |
| 128,60 | 64 | 556 | !! | 114,50 | 112 | 2618 |
| 128,00 | 71 | 627 | ! | 113,60 | 165 | 2783 |
| 127,50 | 69 | 696 | ! | 112,80 | 142 | 2925 |
| 126,60 | 102 | 798 | ! | 111,80 | 186 | 3111 |
| 125,70 | 108 | 906 | ! | 111,20 | 109 | 3220 |
| 125,10 | 78 | 984 | ! | 110,70 | 106 | 3326 |
| 124,30 | 102 | 1086 | ! | 110,10 | 114 | 3440 |
| 123,60 | 89 | 1175 | !! | 109,50 | 145 | 3585 |
| 123,00 | 97 | 1272 | ! | | | |
| 122,30 | 90 | 1362 | ! | | | |
| 121,60 | 96 | 1458 | !! | | | |
| 121,00 | 102 | 1560 | ! | | | |
| | | | ! | | | |



- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Expérience n° 27 Position VII Charge H = 16 cm t = 12 C

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I36,70 | 57 | 57 | I23,20 | 109 | I53I |
| I36,00 | 55 | 112 | I22,50 | 9I | I622 |
| I35,30 | 56 | I68 | I22,00 | 84 | I706 |
| I34,90 | 48 | 216 | I2I,30 | 89 | I795 |
| I34,20 | 55 | 27I | I20,80 | 70 | I865 |
| I33,60 | 57 | 328 | I20,10 | 90 | I955 |
| I32,90 | 76 | 404 | II9,30 | II8 | 2073 |
| I32,30 | 53 | 457 | II8,80 | 93 | 2I66 |
| I3I,70 | 68 | 525 | II8,10 | 98 | 2264 |
| I3I,10 | 60 | 585 | II7,50 | 99 | 2363 |
| I30,50 | 57 | 642 | II6,90 | III | 2474 |
| I29,90 | 74 | 716 | II6,40 | 90 | 2564 |
| I29,30 | 58 | 774 | II5,80 | 96 | 2660 |
| I28,70 | 7I | 845 | II5,20 | I08 | 2768 |
| I28,10 | 75 | 920 | II4,60 | III | 2879 |
| I27,50 | 66 | 986 | | !! | ! |
| I26,90 | 8I | I067 | | !! | ! |
| I26,20 | 83 | II50 | | ! | ! |
| I25,40 | 98 | I248 | | ! | ! |
| I24,50 | I07 | I355 | | ! | ! |
| I24,00 | 67 | I422 | | ! | ! |
| | | | | ! | ! |
| | | | | ! | ! |

- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

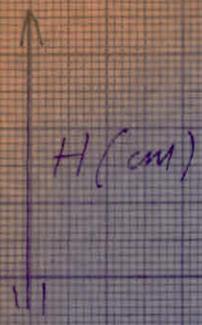
Expérience n° 28

Position VIII

Charge: H = 16 cm t° = 12 C°

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I35,60 | 49 | 49 | I22,30 | 77 | I317 |
| I35,10 | 41 | 90 | I21,60 | 83 | I400 |
| I34,50 | 45 | I35 | I20,90 | 82 | I482 |
| I34,00 | 43 | I78 | I20,30 | 68 | I550 |
| I33,70 | 25 | 203 | II9,80 | 61 | I611 |
| I33,10 | 48 | 251 | II9,10 | 95 | I706 |
| I32,90 | 71 | 322 | II8,60 | 60 | I766 |
| I31,50 | 59 | 381 | II7,90 | 91 | I857 |
| I30,90 | 52 | 433 | II7,10 | 104 | I951 |
| I29,90 | 90 | 523 | II6,70 | 59 | 2029 |
| I29,30 | 59 | 582 | II6,00 | 86 | 2106 |
| I28,70 | 54 | 636 | II5,60 | 62 | 2168 |
| I28,30 | 44 | 680 | II5,00 | 80 | 2248 |
| I27,50 | 74 | 754 | II4,30 | 105 | 2353 |
| I26,90 | 66 | 820 | II3,70 | 92 | 2445 |
| I26,20 | 68 | 888 | II3,00 | 97 | 2542 |
| I25,70 | 54 | 942 | | | |
| I24,80 | 87 | I029 | | | |
| I24,20 | 78 | II07 | | | |
| I23,50 | 65 | II72 | | | |
| I23,00 | 68 | I240 | | | |
| | | | | | |

Charge $H = 16 \text{ cm}$
 $t^{\circ} = 12^{\circ} \text{C}$



— Position 7
- - - Position 8

128

127

132

137.5

900

1800

2700

3600

$T (10 \text{ cm} \rightarrow 180 \text{ A})$

- RESULTATS DE MESURES AU LABORATOIRE -

Expérience n° 29 Position IX Charge H = 16 cm t(°= 13°C

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I35,50 | 35 | 35 | I22,30 | 67 | I006 |
| I34,80 | 43 | 78 | I21,70 | 62 | I068 |
| I34,20 | 33 | III | I20,80 | 79 | II47 |
| I33,50 | 38 | I49 | I20,00 | 74 | I22I |
| I32,90 | 43 | I92 | II9,50 | 53 | I274 |
| I32,20 | 42 | 234 | II9,00 | 45 | I3I9 |
| I3I,30 | 53 | 287 | II8,50 | 48 | I367 |
| I30,90 | 33 | 320 | II7,70 | 84 | I45I |
| I30,29 | 45 | 365 | II7,30 | 48 | I499 |
| I29,70 | 42 | 407 | II6,40 | 83 | I582 |
| I29,30 | 28 | 435 | II5,90 | 6I | I643 |
| I28,90 | 28 | 463 | II5,10 | 85 | I728 |
| I28,20 | 48 | 5II | II4,20 | 94 | I822 |
| I27,50 | 60 | 57I | II3,70 | 58 | I880 |
| I26,90 | 46 | 6I7 | II3,20 | 63 | I943 |
| I26,20 | 49 | 666 | II2,50 | 77 | 2020 |
| I25,60 | 5I | 7I7 | III,80 | 85 | 2I05 |
| I25,00 | 5I | 768 | III,00 | 95 | 2200 |
| I24,40 | 5I | 8I9 | | | |
| I23,50 | 76 | 895 | | | |
| I23,00 | 44 | 939 | | | |
| | | | | | |

- RESULTATS DE MESURE AU LABORATOIRE -

Experience : N° 30 Position X Charge I6 •m $\theta =$ I2° C

| H (cm) | t (s) | T (s) | H (cm) | t (s) | T (s) |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I32,90 | 45 | 45 | II9,80 | 75 | II34 |
| I32,40 | 40 | 85 | II9,30 | 57 | II9I |
| I3I,70 | 38 | I23 | II8,80 | 50 | I24I |
| I3I,I0 | 44 | I67 | II8,30 | 58 | I299 |
| I30,30 | 54 | 22I | II7,70 | 69 | I368 |
| I29,50 | 57 | 278 | II7,00 | 73 | I44I |
| I28,90 | 50 | 328 | II6,40 | 78 | I5I9 |
| I28,30 | 50 | 378 | II5,60 | 88 | I607 |
| I27,40 | 66 | 444 | II5,I0 | 60 | I667 |
| I26,70 | 58 | 502 | II4,20 | I05 | I772 |
| I26,00 | 58 | 560 | II3,70 | 69 | I84I |
| I25,30 | 60 | 620 | II3,00 | 74 | I9I5 |
| I24,90 | 34 | 654 | II2,50 | 6I | I976 |
| I24,40 | 52 | 706 | II2,00 | 63 | 2039 |
| I23,70 | 57 | 763 | III,30 | 93 | 2I32 |
| I23,00 | 68 | 83I | II0,60 | 87 | 22I9 |
| I22,50 | 50 | 88I | I09,80 | I00 | 23I9 |
| I2I,90 | 6I | 942 | I09,20 | 8I | 2400 |
| I2I,20 | 64 | I006 | | | |
| I20,60 | 63 | I069 | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Charge $H = 16 \text{ cm}$
 $t = 12^\circ \text{C}$

$H \text{ (cm)}$

123

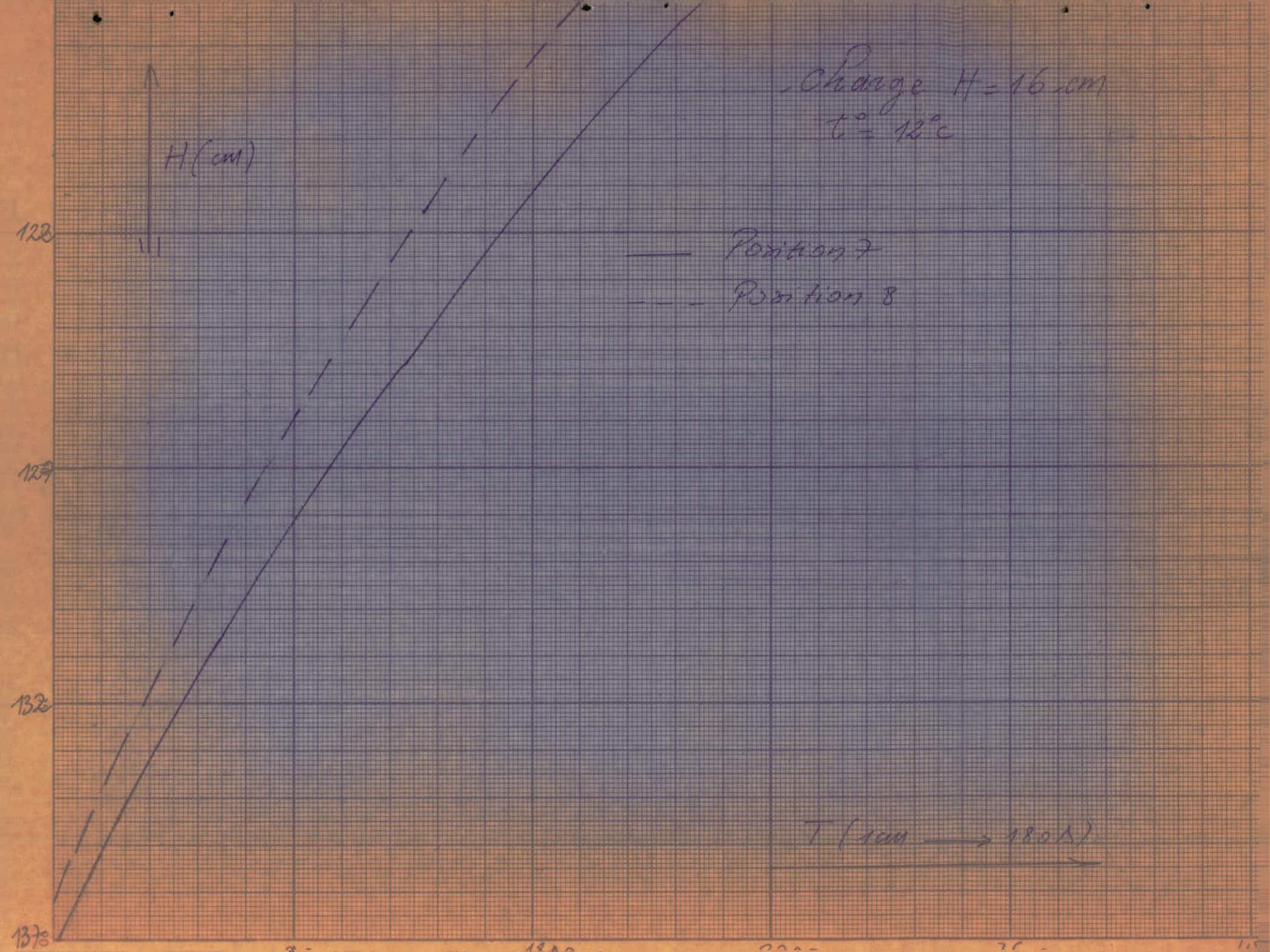
129

132

137.8

— Position 7
- - - Position 8

$T \text{ (cm)} \rightarrow 180 \text{ A}$



ETUDE THEORIQUE

Vu le manque d'instruments qui nous permettent de mesurer le diamètre intérieur du tube capillaire, nous avons établi une méthode théorique qui nous permet la vérification de celui-ci.

$$q = \frac{ng\pi D^4}{128BL} (h-y) = a(h-y) \text{ avec } a = \frac{ng\pi D^4}{128BL} \quad (1)$$

$$dA = edy \text{ avec } e = (tg\alpha + tg\alpha^{-1}) = by \quad (2)$$

$$dt = \frac{dA}{q} = \frac{edy}{q} = \frac{by}{a(h-y)} dy \quad (3)$$

$$\text{de (3)} \quad \frac{dt}{dy} = \frac{by}{a(h-y)} \quad a = \frac{by}{h-y} \cdot a \frac{dy}{dt} \quad (4)$$

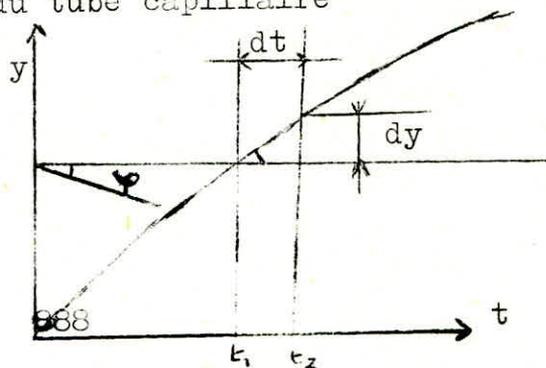
$$\text{de (1) on tire } D^4 = \frac{128BL}{ng\pi} a \quad (5)$$

$$D^4 = \frac{128BL}{ng\pi} \cdot \frac{by}{h-y} \cdot \frac{dy}{dt} \quad (9)$$

ou $b = tg\alpha + tg\alpha^{-1}$ ou α : angle d'inclinaison du bassin de la contre pression

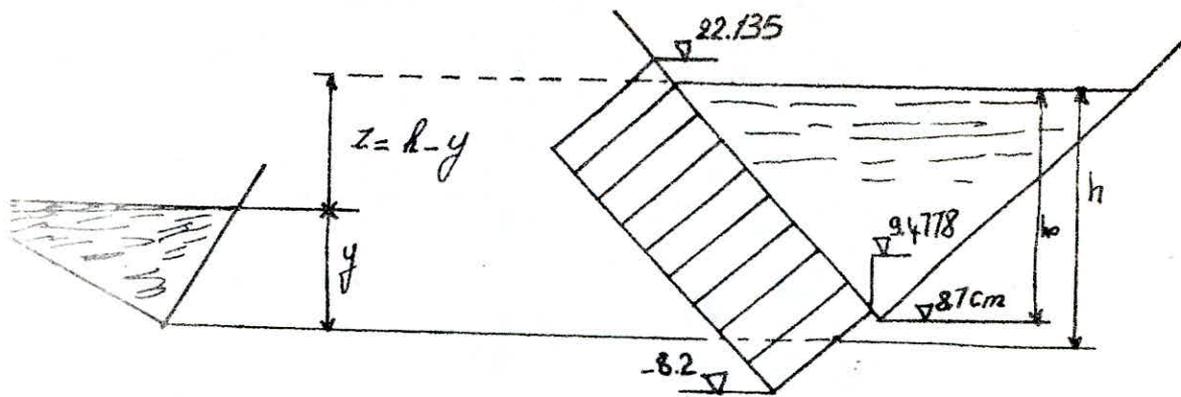
B = largeur de la tranche élémentaire

L = longueur du tube capillaire



$$\frac{dy}{dt} = tg\varphi \quad \text{tiré des courbes expérimentales}$$

Nous déterminons le diamètre D à l'aide du programme sur TI 59 qui est le suivant :



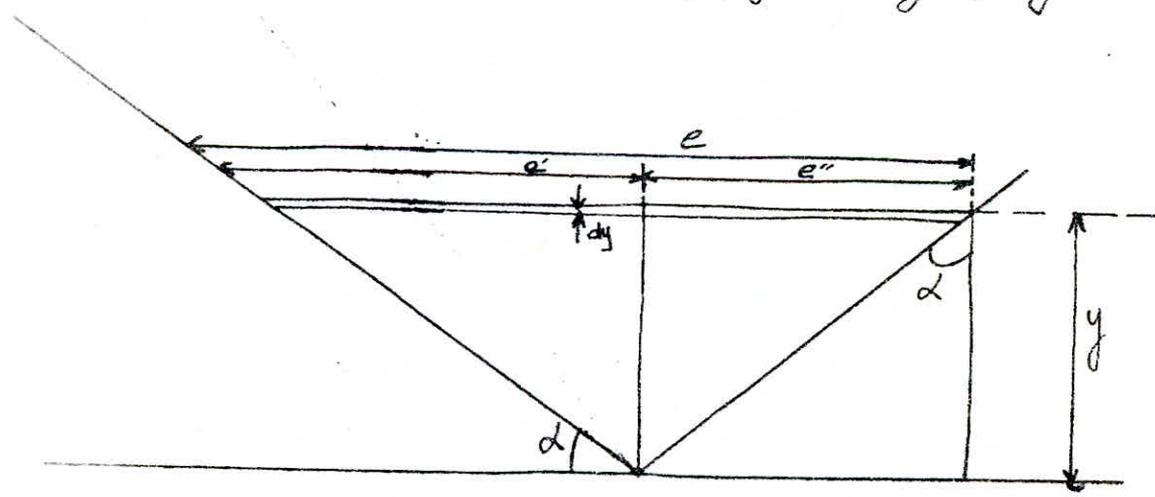
$$h = h_0 + 0,087 \text{ m}$$

$$e' = \frac{y}{\text{tg}\alpha}$$

$$e'' = y \text{tg}\alpha$$

$$e = y(\text{tg}^{-1}\alpha + \text{tg}\alpha)$$

$$dA = y(\text{tg}^{-1}\alpha + \text{tg}\alpha) dy$$



*LBLRCLO4 *tan+RCL04 *tan1/X =Sto10xrclo1
 :(RCL03 - RCL01)xRCL14 = ST009x128 xRCL00
 xRCL11xRCL08+RCL05+9,8 * π = INV
 Y^X4 = ST007 R/S

Pour l'exécution de ce programme nous donnons un exemple:
 $h=0,247m$, $n=10$, $v=1,258 \cdot 10^{-6} m^2/s$
 Nous tirons de la courbe en position 5 -charge 16 cm
 $dt = t_2 - t_1 = 2610 - 2520 = 90$; $dy = 0,004$

$$tg \psi = \frac{dy}{dt} = 4,4444 \cdot 10^{-5}$$

$$= 21^{\circ} 30' \quad y = 16,5 \text{ cm} = 0,195 \text{ m}$$

Nous introduisons les valeurs suivantes :

$$= 1,227 \cdot 10^{-6} \text{ } 00 \quad ; H = 0,247 \text{ } 03$$

$$= 21^{\circ} 30' \text{ } 04 \quad ; y = 0,195 \text{ } 01$$

$$\frac{dy}{dt} = 4,4444 \cdot 10^{-5} \text{ } 14 \quad ; L = 0,25 \text{ } 08$$

$$n = 10 \text{ } 05 \quad ; B = 0,193 \text{ } 11$$

Nous appuyons sur la touche C nous obtenons :

$$C \Rightarrow D = 1,862378 \cdot 10^{-3} = 1,86 \text{ mm}$$

COURBE THEORIQUE

$$\text{de (3)} \quad dt = \frac{by}{a(h-y)} dy .$$

$$\text{En integrant on tire : } t_i = \frac{b}{a} \int_{y=0}^{y=y_i} \frac{y}{b-y} dy$$

$$t_i = \frac{b}{a} \int_{y=0}^{y=y_i} \frac{y}{b-y} dy = \frac{b}{a} \left[(h-y) - h \ln |(h-y)| \right]_0^{y_i} \quad (4)$$

Manuel de base de l'ing "TIDESTROM" page 65 formule 4

$$\text{En posant } Z = h-y \text{ on tire } t_i = \frac{b}{a} \left[Z - h \ln Z \right]_{Z=h}^{Z=Z_i} \quad (5)$$

Pour le calcul de $t = f(h)$ nous utiliserons le programme sur TI 59 qui est le suivant :

```
*1b1a ST001 RCL05×9,8×π×RCL07+128+RCL00+RCL06+RCL08=ST009
033 RCL04 * tan+RCL04 * tan1/X=ST010 + RCL09=ST011×((RCL03-RCL01))
060 RCL03×(RCL03-RCL01) * lnX=ST012 RCL11×RCL03 (1-RCL03lnX)=
090 ST013+/- +RCL12 = ST020R/S
```

Pour l'exécution de ce programme nous continuons l'exemple :

$n = 10 \frac{888}{05} ; \quad = 1,227 \cdot 10^{-6} \frac{00}{03} ; h = 0,247 \frac{03}{04}$
 $= 21 \frac{0}{30} ; B = 0,193 \frac{06}{07} ; D = 1,862378 \cdot 10^{-3}$
 $L = 0,25 \frac{08}{01} , y_i = 0,195 \frac{01}{02}$

$A \Rightarrow t_i = 1139,1703 \text{ s}$

RCL09 $a = 0,00048875974$

RCL10 $b = 2,9325584$

RCL11 $\frac{b}{a} = 5999,9998$

RCL12 $t_i' = 4693,55$

RCL13 $t_0 = 3554,3797$

| y_i | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
|-------|-----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| t_i | 1,248 | 5,137 | 11,905 | 21,824 | 35,205 | 52,410 |
| y_i | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 |
| t_i | 73,859 | 100,046 | 131,557 | 169,092 | 213,501 | 265,828 |
| y_i | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 |
| t_i | 327,371 | 399,581 | 485,191 | 586,437 | 707,393 | 853,559 |
| y_i | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 |
| t_i | 1033,111 | 1258,994 | 1553,533 | 1960,48 | 2586,09 | 3841,074 |
| y_i | 0,246 | 0,2465 | | | | |
| t_i | 6688,9133 | 7713,157 | | | | |

3-2 / ESSAIS SUR LE TERRAIN

Pour mettre en pratique le travail fait au laboratoire Il est nécessaire d'effectuer des mesures de perméabilité sur le terrain. les mesures se font dans une tranchée dont les caractéristiques sont les suivantes:

Longueur = 1 m

- Profondeur = 0,15 m (voir schéma)

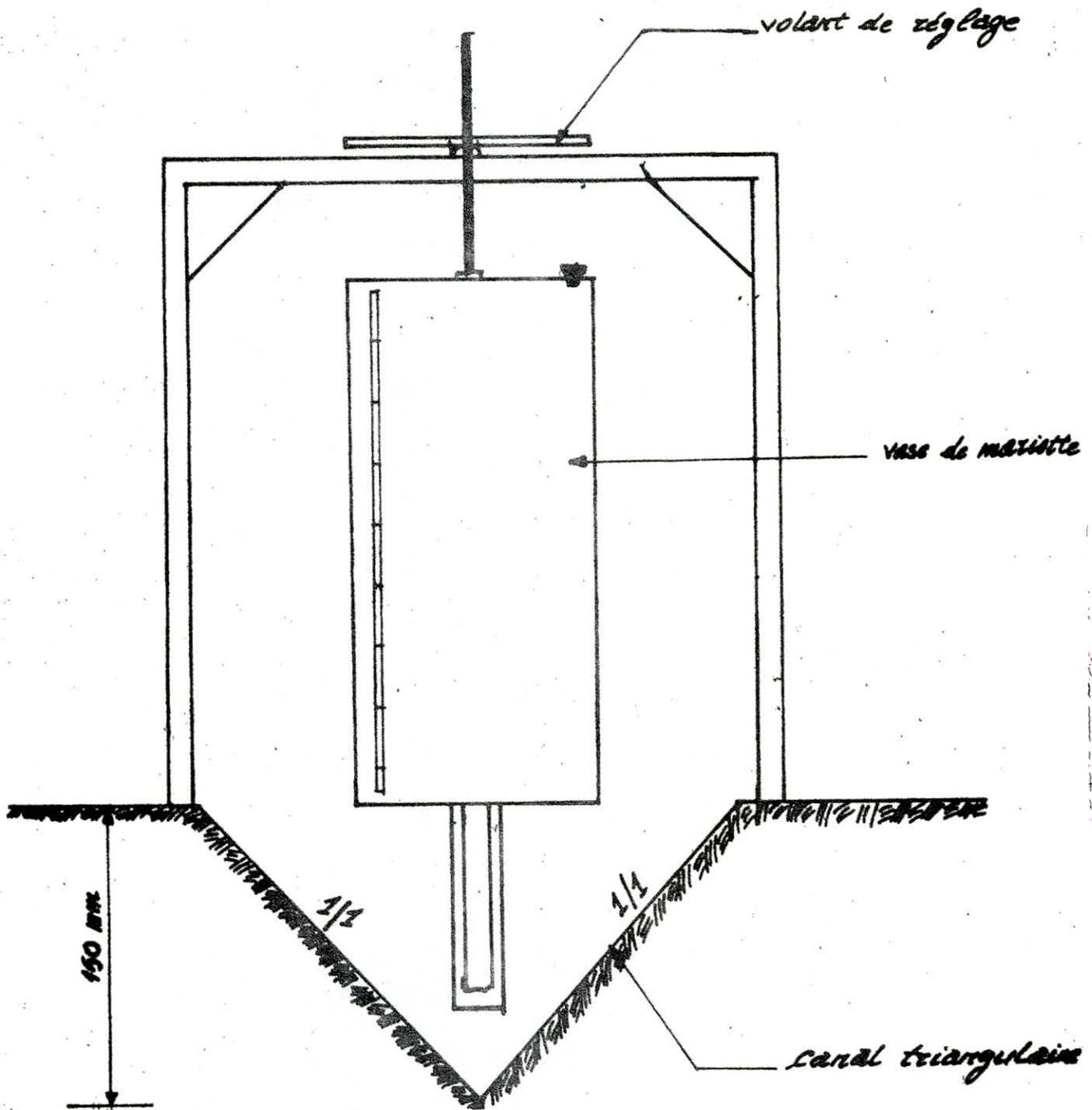
- Talus = 1/1

Ces caractéristiques définissent la tranche élémentaire de la raie pour nous bien placer les mêmes conditions que celles du laboratoire; de façon à établir une analogie entre la courbe de la perméabilité du sol naturel et celles obtenues au laboratoire, on alimente la tranchée, puis on fixe la charge nécessaire que nous maintenons constante grâce au vase de Mariotte, on relève de la même manière qu'au laboratoire, le volume d'eau infiltré dans la raie à chaque pénétration d'air dans la vase, ainsi que le temps y est correspondant.

Pour connaître l'allure de la courbe de perméabilité nous disposons d'un certain nombre d'appareils de MUNTZ que nous placerons aux environs de la raie, afin de nous renseigner d'avantage sur cette perméabilité..

Malheureusement, les conditions atmosphériques étaient très défavorables à la réalisation de ces essais. De ce fait nous nous sommes contentés de nous baser sur les courbes réalisées par Monsieur AHERIZ dans son étude antérieure en 1971.

DISPOSITIF DE MESURE DE LA PERMEABILITE SUR TERRAIN



Pour pouvoir nous prononcer sur la perméabilité. Nous avons interprété les résultats, ainsi obtenues par trois courbes $V = f(t)$ ou V représente le volume d'eau qui s'est écoulé dans le temps et dans les tubes capillaires par analogie c'est le volume d'eau qui serait absorbé par le sol.

3.2- 1 / APPAREIL DE MUNTZ

L'appareil de MUNTZ est un cylindre en tôle d'acier de 0,112 m de diamètre intérieur, ce qui correspond à une section de 1 dm² et de 0,25 m de hauteur, le bord inférieur était aiguisé et tranchant.

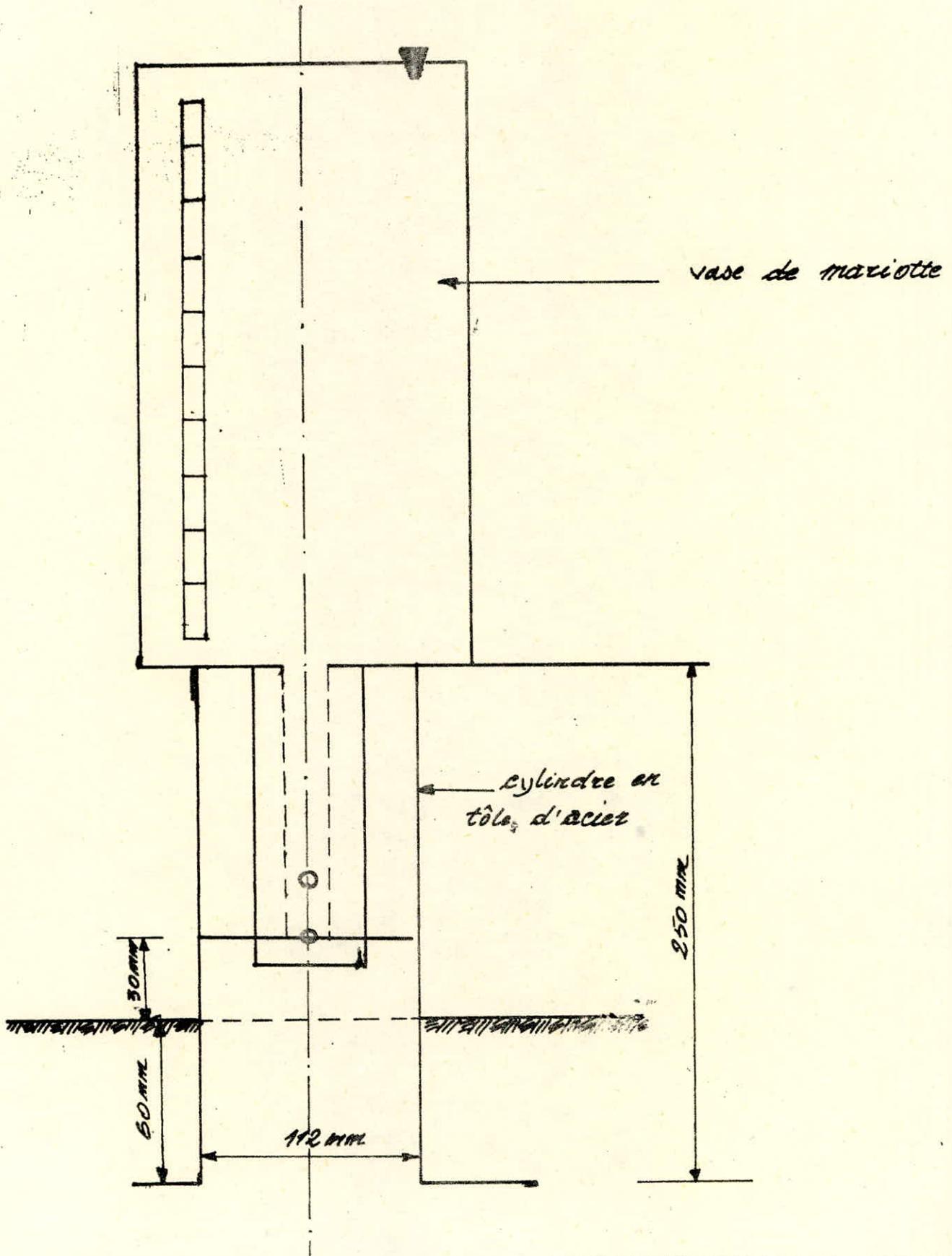
Le tube d'acier sera enfoncé dans le sol de 0,06 m en opérant soigneusement et régulièrement pour ne pas former de fessures, ensuite on verse de l'eau dans le cylindre pour maintenir la charge constante et égale à 0,03 m. Nous utilisons un vase de Mariotte amélioré par Monsieur LAPRAY, d'une capacité de 5 l, ce vase surmontera le tube d'acier et servira de flacon jaugeur celui-ci nous renseignera sur le volume d'eau qui s'écoulera en fonction du temps.

Grace aux dimensions de l'appareil chaque litre d'eau perdu par le vase de mariotte correspond à 0,10 m de hauteur infiltrée.

Cet appareil nous donne les courbes de perméabilité qui nous illustre l'allure du phénomène.

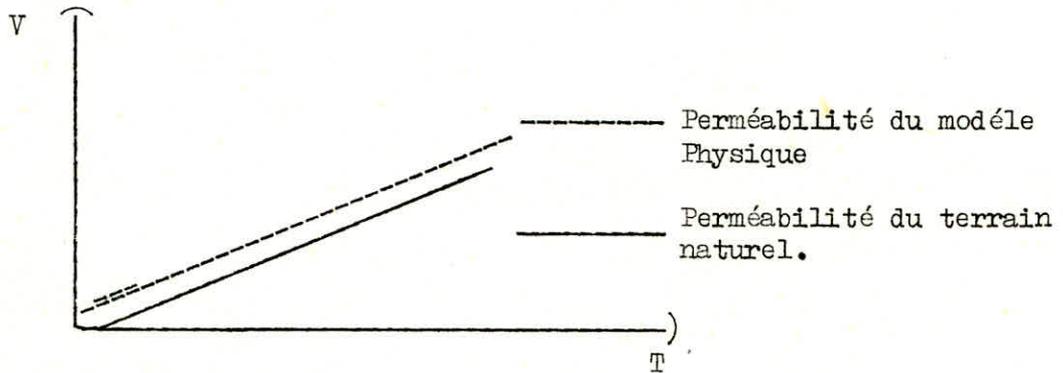
Les courbes de perméabilité des sols déterminées seront utilisées et comparées par la suite aux courbes obtenues dans le laboratoire.

APPAREIL DE MUNTZ



- II COMPARAISON DES RESULTATS -

Pour assurer une irrigation efficace et désirée nous disposons du graphe représentant la perméabilité du terrain naturel. Nous choisissons la courbe du flux la plus rapprochés de celle du terrain de manière à pouvoir déterminer l'intervalle entre les vases que nous devons installer le long d'une raie



En connaissant le temps nécessaire pour irrigation, nous relevant les valeurs V_1 et V_2 des graphes ci-dessus correspondant à ce temps T .

Le rapport V_1/V_2 nous donne l'intervalle exacte à respecter entre 2 vases successifs.

Exemple:

Ce Volume débité par le modèle physique $V_1 = 15$ l dans un temps T .

Le volume infiltré dans le sol $V_2 = 18$ l dans le même temps T .

Le rapport $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{Volume débité par le modèle physique}}{\text{Volume infiltré dans le sol}}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{15}{18} = 0,83 \text{ m}$$

C'est à dire nous devons placer un appareil tous les 83 cm.

VCO
R (ohm)

Charge (in C)

120

2.995
1.7

87

13

181

900

1800

2700

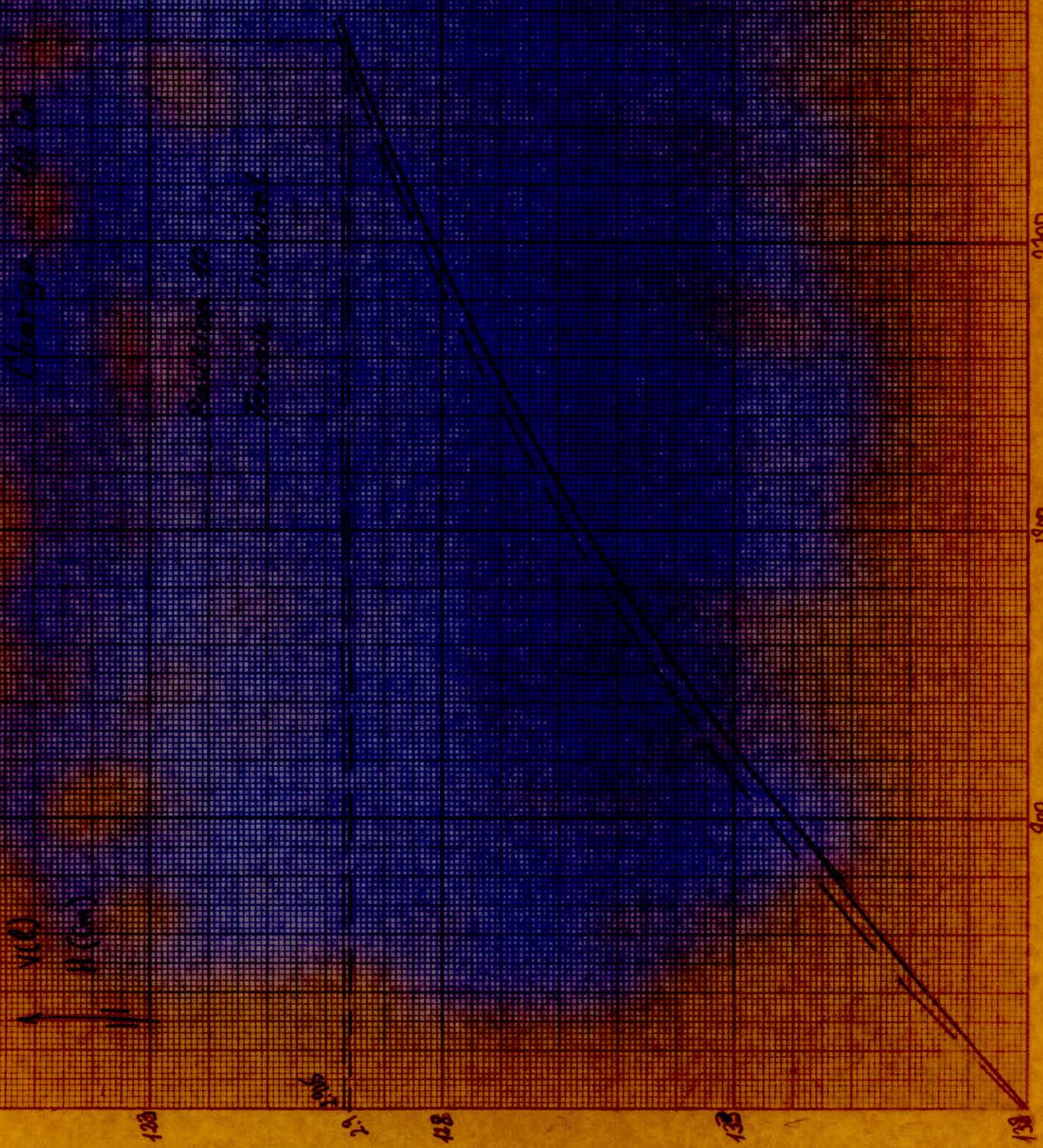
3600

4

Resistor 10

Energy returned

(3600-1000)



(10)

415

390

118

123

128

131



1500

1500

1900-8

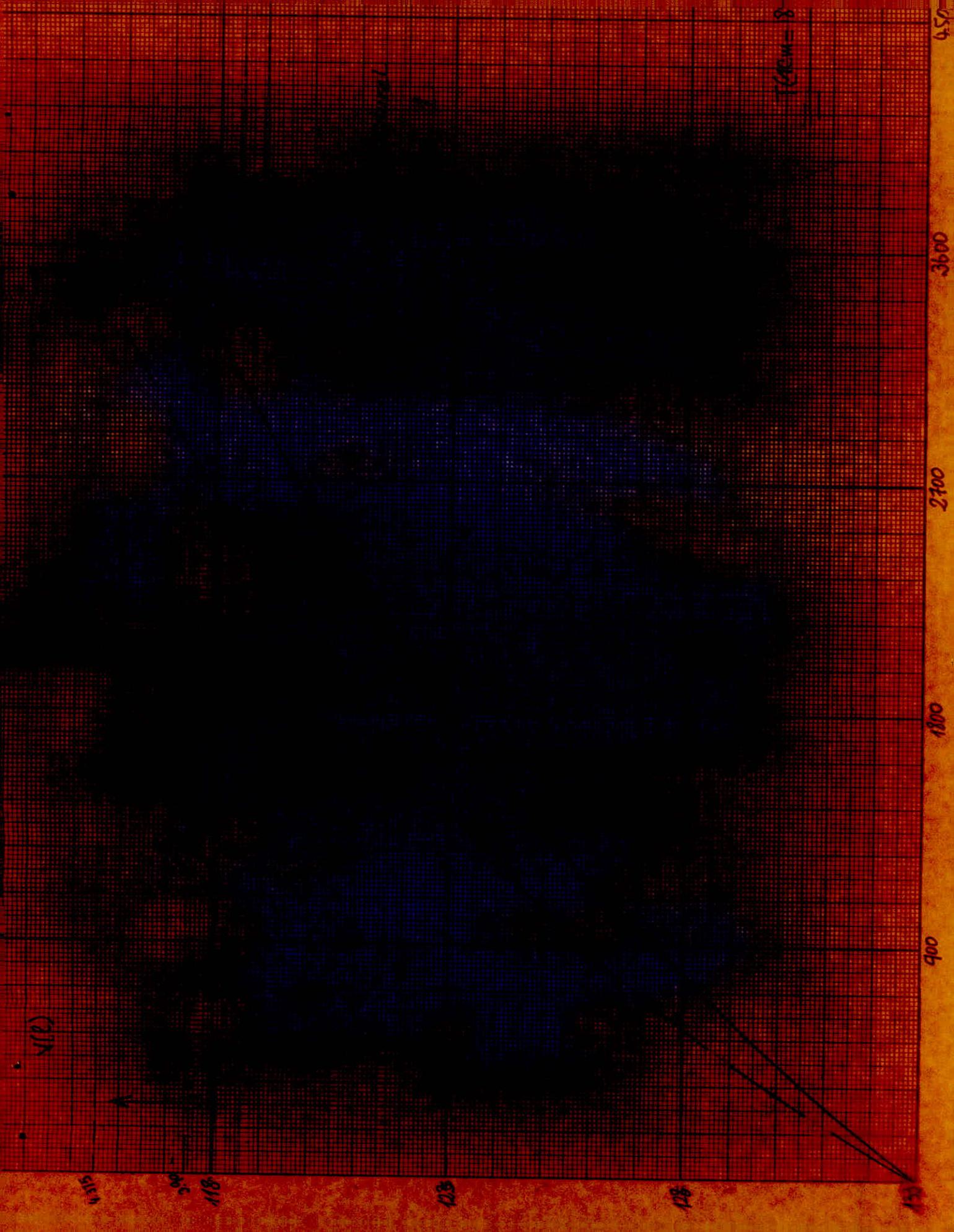
900

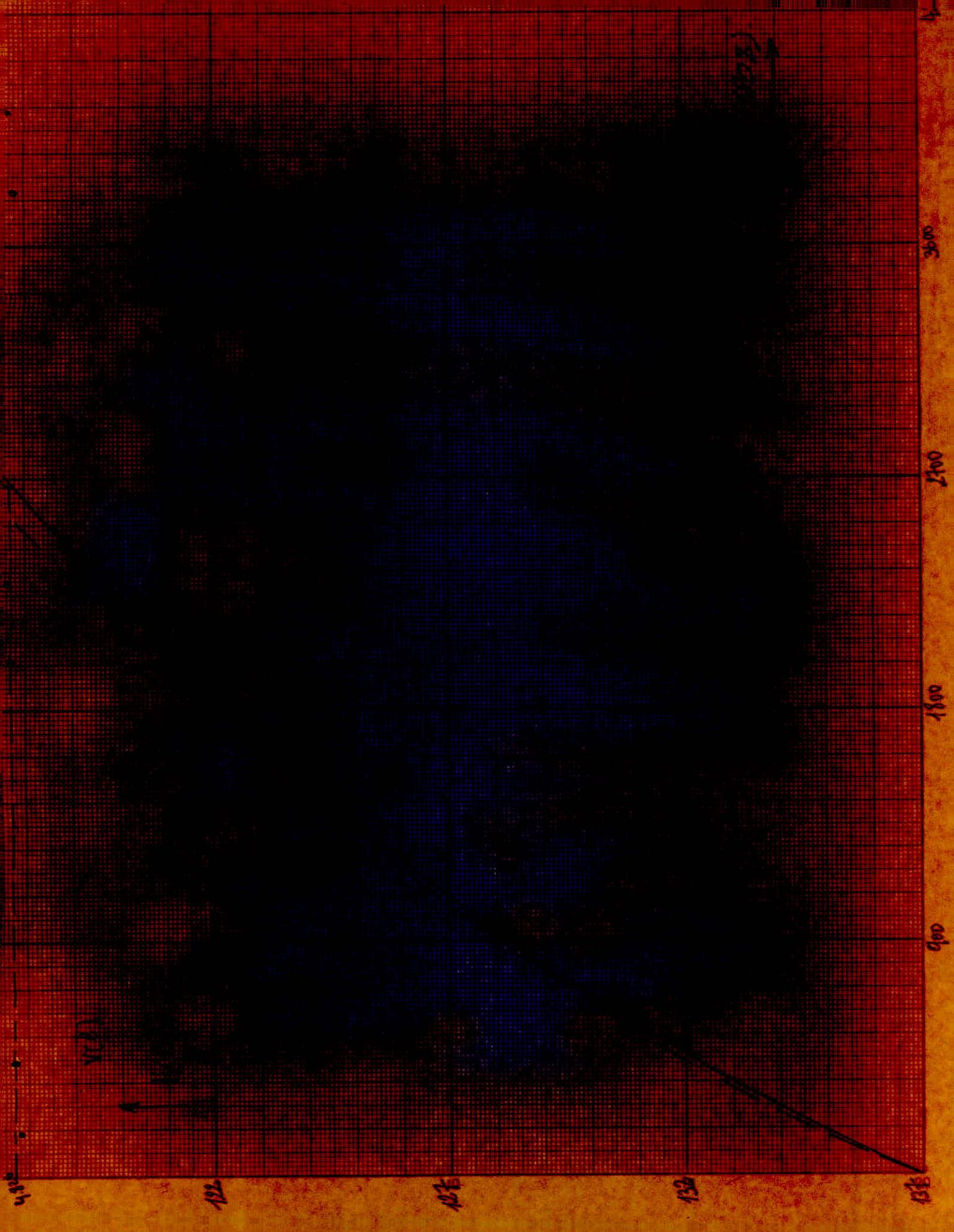
1800

2700

3600

450





Dans le cas où les deux courbes sont indentes, c'est à dire $V_1 = V_2$ alors pour ce cas le rapport $V_1/V_2 = 1$ ce qui conduit à dire que nous devons placer 1 appareil sur chaque mètre de la raie.

RESULTATS DES ESSAIS.

Premier Cas:

- Charge fixée dans la raie d'irrigation = 10 cm
- Temps d'irrigation = 3330 s
- Le Volume débité par modèle Physique $V_1 = 2,925$ l
- Le Volume infiltré dans le sol $V_2 = 2,90$ l

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2,925}{2,90} = 1,008 \text{ m}$$

C'est à dire que nous devons placer un appareil tous les 100,8 cm

Deuxième Cas:

- Charge fixée dans la raie d'irrigation = 13 cm
- Temps d'irrigation = 3510 s
- Le Volume débité par le volume physique $V_1 = 4,375$ l
- Le Volume infiltré dans le sol $V_2 = 3,90$ l

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{4,375}{3,90} = 1,122 \text{ m}$$

C'est à dire nous devons placer un appareil tous les 112,2 cm.

Troisième Cas:

- Charge fixée dans la raie d'irrigation = 16 cm
- Temps d'irrigations = 2682 s
- Le Volume débité par le modèle physique V1 = 5,0 l
- Le Volume infiltré dans le sol V2 = 4,825 l

$$\frac{V1}{V2} = \frac{5,0}{4,825} = 1,036 \text{ m}$$

C'est à dire nous devons placer un appareil tous les 103,6 cm.

Pour connaître le nombre d'appareils à installer le long d'une raie d'irrigation, il suffit de trouver le rapport entre la longueur de celle-ci et les distances trouvées précédemment.

-INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE L'EAU SUR L'ECOULEMENT-

- // - nous rappellons que la température agit sur la viscosité et cette dernière influe à son tour sur le déroulement de l'expérience.

Cette influence est mise en évidence d'une façon remarquable par le fait que les différentes courbes sont plus ou moins convexes selon que la température est plus ou moins basse.

-- C O N C L U S I O N --

I Le but de la présente étude, que nous venons de faire est la réalisation d'un modèle physique semblable à l'infiltration dans le sol dans la nature.

II Nous avons aussi à créer le modèle physique qui nous a permis de provoquer artificiellement au laboratoire un phénomène dont les caractéristiques peuvent être réglées à volonté de façon à ce que les caractéristiques soient identiques à celle que nous pouvons enregistrer dans la nature dans ~~cha~~ chacun des cas étudiés.

D'autre part, nous exposons une méthode permettant de garder la charge dans la raie toujours constante pour une durée d'irrigation quelconque. Ceci par la détermination du nombre de vases que nous devons disposer à égale distance les uns des autres sur le long de la raie d'irrigation.

Il suffit de créer des canaux suspendus à pente et à perméabilité réglables et les alimenter par des débits réglables à volonté.

III Enfin, nous souhaitons le suivi des recherches de cette thèse.

