

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENE

5/83

1 ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

Contribution à la Détermination des Paramètres d'Irrigation en Laboratoire

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

1983

Proposée et dirigée par :

Mr Géza de LAPRAY Dr Ing.

Maitre de Conférences

Etudiée et Réalisée par :

BELKEBIR Md Tahar

MERRI Ahmed

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

HOUARI BOUMEDIENNE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDE

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

Conception d'un modele physique d'une tranche élémentaire de vaie
d'irrigation.

Proposé et dirigé par:

Mr GEZA DE LAPRAY Dr Ingenieur

Maître de conférences

Etudiée et réalisée par

Mrs/ BELKEBIR.M.T

MERRI.A

EDICACES

/(-) ^{ma mère} la memoire de maniere.

/(-). MERRI.

/(-) la memoire de mon père
A mes parents
A mes amis

Md. T. BELKGBIR.

II REMERCIEMENTS.

Nous tenons à remercier Monsieur Gesa DE LAPRAY pour tous les conseils et l'assistance qu'il nous a apporté pendant toute la réalisation de cette étude.

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

TABLES DES MATIÈRES

Introduction

But

Chapitre : I

A : Notions d'Hydraulique Générale

B : Notions de Mécanique des Sols

C : Notions d'Irrigation

Chapitre : II

Canal de démonstration

- Description

- Fonctionnement

Conception d'un modèle physique d'une tranche élémentaire d'1 ^{ml} d'irrigation principe, description et fonctionnement du modèle.

étude mathématique du modèle.

Elaboration de l'appareil de MUNTZ

Description et Fonctionnement.

Chapitre : III

Essais et manipulation au laboratoire

Résultats de mesure et graphes

Essais et manipulation sur terrain naturel.

Résultats de mesure et graphes.

Analogie et détermination du nombre d'appareil à installer dans une raie d'irrigation

Conclusion.

<u>GRANDEURS</u>	<u>SYMBOLES</u>	<u>DIMENSIONS</u>
Longueur	l	L
Temps	t	T
Masse	m	M
Force	f	MLT^{-2}
Aire de la surface	A	L^2
Debit	Q	L^3T^{-1}
Debit unitaire		L^2T^{-1}
Pression	p	$ML^{-1}T^{-2}$
Pesanteur	g	LT^{-2}
Masse Volumetrique	ρ	ML^{-3}
Poids volumetrique	ρ/m	$ML^{-2}T^{-2}$
Viscosité dynamique	μ	$ML^{-1}T^{-1}$
Viscosité dynamique <i>cinématique</i>	ν	L^2T^{-1}
Tension superficielle	σ	MT^{-2}
Module d'elasticite volumetrique K		$ML^{-1}T^{-2}$
Longueur fluideo dynamique	λ	L
Perte de charge debitaine	$J_q = J$	$L^{-6} T^2$
Par unité de longueur	Q_e	
Gradient de pression	dp/dL	$ML^{-2}T^{-2}$
Gradient de vitesse	du/dy	T^{-1}

- INTRODUCTION -

L'Inconstance de la production agricole provoquée par l'irrégularité de la pluviométrie trouble profondément la commercialisation des produits. C'est pourquoi, l'irrigation apparaît aujourd'hui comme étant le régulateur le plus sûr, qui doit permettre à l'agriculteur d'éviter l'alternance des années exédentaires, au cours desquelles les prix s'effondrent, et des années de disette, qui amenuisent des recettes. Cet aspect économique de l'irrigation engage les gouvernements à stimuler cette pratique par d'importants investissements collectifs, assortis de mesures individuelles telles que subventions, prêts et conseils techniques.

Sans doute, les esprits chagrins se demanderont s'il est opportun d'accroître encore les rendements à une époque où des excédents de récolte pesent lourdement sur l'économie agricole mondiale. Mais la nécessité de produire mieux et à meilleur compte domine malgré tout cet angoissant problème des surplus, dont il faut chercher les solutions ailleurs.

A L'Echelon Exploitation, les apports d'eau permettent de se livrer à une gamme plus variée de culture, d'échelonner la production et d'utiliser au mieux les différents types de sols. Satisfaction est ainsi donnée à des consommateurs devenus très exigeants.

Est-il nécessaire de rappeler le rôle primordial joué par l'eau dans la constitution des tissus végétaux ? Tandis que quelques dizaines de grammes des 3 (Trois) éléments fertilisants "Majeurs" azote, acide phosphorique et potasse, suffisent pour engendrer 1 Kilo-gramme de matière sèche, c'est compte tenu des pertes, une masse dépassant souvent une tonne d'eau qui entre en jeu pour effectuer une synthèse.

Ces besoins se manifestent particulièrement en période chaude, quand la poussée végétale atteint son maximum. Et c'est précisément durant la saison estivale que les ressources naturelles en eau atmosphérique sont les plus réduites. Ainsi l'eau intervient toujours comme facteur limite des rendements même sous des climats tempérés.

.../...

L'Irrigation, en effectuant le rapport des eaux hivernales sur la période active de la végétation, régularise l'alimentation des plantes, ce qui permet d'entreprendre des cultures plus variées sur une gamme de terres plus étendues. Mais l'équilibre entre les besoins et les ressources en eau est constamment mis en cause : La moindre faute dans la conduite des arrosages tend à créer des insuffisances ou des excès d'humidité dont on connaît trop les suites fâcheuses. Presque toujours ces accidents sont la cause grave d'une étude insuffisante des paramètres de l'irrigation.

C'est dans le but de réduire dans toute la mesure du possible, les risques et les difficultés que présentent les méthodes de travail millénaires que la présente thèse, a été conçue en s'inspirant de la riche expérience dans la matière de notre promoteur Monsieur LAPREY, lequel nous apporta aide et conseils nécessaires pour la conception des appareils servant à la détermination des paramètres de l'irrigation au laboratoire.

Dans ce chapitre nous allons donner des rappels des notions essentielles d'hydraulique générale, de mécanique des sols et d'irrigation qui sont utilisées par la suite.

I NOTIONS D'HYDRAULIQUE GÉNÉRALE

I/1 Le Concept du nombre de Reynolds et du nombre de WEBER d'écoulement d'un 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 ν ou μ
- de la tension superficielle σ
- du module d'élasticité volumétrique K

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

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

Les paramètres figurant dans l'équation précédente (I-1) sont les suivants :

- Le coefficient de pression $\frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho V^2} = C_p \quad (I-2)$
- Le nombre de FROUDE $Fr = \frac{V^2}{gL} \quad (I-3)$
- Le nombre de WEBER $We = \frac{\rho L V^2}{\sigma} \quad (I-4)$
- Le nombre de MACH $Ma = \frac{V}{\sqrt{K/\rho}} \quad (I-5)$

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 exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à la pesanteur.

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

Dans les tuyauteries courantes, le régime de l'écoulement changera de laminaire en turbulent dans l'intervalle $2000 \leq R \leq 4000$. Nous admettons que le changement de régime est conditionné par un nombre de REYNOLDS $R = 2000$.

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

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

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

- Ecoulement laminaire :

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

- Ecoulement turbulent :

C'est un écoulement caractérisé par un brassage intense du fluide et par des pulsations de vitesse et de pressions. Dans un tel écoulement les lignes de courants ne sont qu'approximativement déterminées par la forme de la conduite. Le mouvement des particules fluides est désordonné et leurs trajectoires sont souvent des courbes déterminées par la forme de la conduite. Ce régime d'écoulement est caractérisé par un important échange transversal des quantités de mouvement.

Nous rappelons que l'effet de la viscosité et l'effet de la tension de cisaillement doivent être pris en considération.

Le nombre de Reynolds est donné par la formule suivante

$$R = \frac{VD}{\nu}$$

V : Vitesse moyenne du courant, comme vitesse caractéristique
D : Diamètre du tube comme longueur caractéristique.

I/ B Exemples d'écoulements laminaires.

Écoulement permanent entre deux plaques parallèles.

.../...

L'Application de l'équation du mouvement et de la loi de Newton de la viscosité à un mouvement permanent en milieu bidimensionnel
(Voir fig (1 - 1)

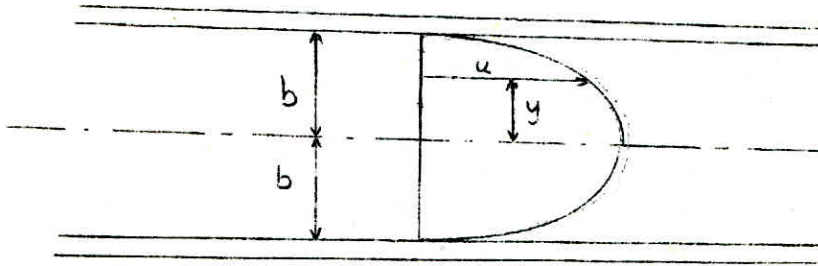


fig (1-1)

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

$2b$: écartement des 2 plaques.

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

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

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 deux plaques parallèles fixes ont une position inclinée l'expression $- dp / dl$ doit être remplacée par l'expression $- d(p + \bar{\omega}z) / dl$. 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 :

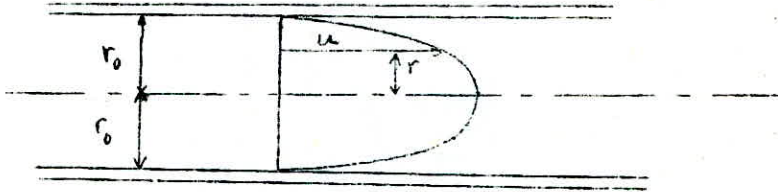
$$\Delta(p + \bar{\omega}z) = 3/2 \cdot \frac{\mu q L}{b^3} \quad (I-11)$$

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

.../...

- Ecoulement permanents laminaires d'un fluide passant par un tube à profil circulaire - Longueur de L AMGHAR.

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 u



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

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

$$u_{max} = - \frac{dp}{dL} \cdot \frac{r_0^2}{4\mu} = \frac{J}{16\mu} D^2 \quad (I-13)$$

Le Débit Q est :

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

ou

$$Q = \frac{\Delta P \cdot \pi r_0^4}{8\mu L} \quad (I-15)$$

ou

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{128\mu L} = \frac{g J \pi D^4}{128 \nu} \quad (I-16)$$

La vitesse moyenne est :

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

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

Les équations (I-12) et (I-18) ne sont pas valables sur un certain tronçon initial de la tuyauterie. Si le fluide en écoulement provient d'un récipient contenant du fluide en état immobile et entre dans la conduite par un orifice moulé, ayant le même diamètre que le tuyau,

.../...

La répartition des vitesses en la section d'entrée sera pratiquement uniforme. L'effet de la tension de cisaillement occasionnée par le contact avec la paroi du tube agit en freinant, dès l'entrée du tube, d'abord seulement sur la couche du fluide limitrophe de la paroi, puis au fur et à mesure cette influence s'étend sur la totalité du courant. Le tronçon initial de transition va jusqu'à la section droite où la répartition des vitesses atteint sa forme parabolique définitive. La longueur L' de ce tronçon est une fonction du nombre de Reynolds et du diamètre. Elle peut être exprimée par l'équation suivante :

$$L' = 0,058 \text{ RD} \quad (I-19)$$

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

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

La perte d'énergie mécanique par unité de volume et par une unité de longueur est donnée par la formule suivante :

$$- \frac{d}{dl} (p + \bar{w} z) = \bar{w} J = \frac{8 \mu Q}{\pi r_0^4}$$

II STRUCTURE DES SOLS

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.

-Éléments grossiers (pierres, cailloux, graviers)

Sont des éléments qui ne peuvent passer au travers d'un tamis de 2 mm de diamètre.

-Les colloïdes :

Ce sont des éléments ayant leur diamètre moyen inférieur à 2 microns.

- Terre très fine :

Elle est constituée d'éléments ayant leur diamètre moyen 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 que 10 % de la terre considérée soit plus fine et 90 % plus grosse.

- Le coefficient d'uniformité. :

C'est le rapport $\frac{D_{60}}{D_{10}}$

où D_{10} : C'est le diamètre efficace

D_{60} : C'est la taille des particules telle que 60% du sol soit plus fin et 40 % plus gros.

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

D_{75} : Taille des particules telle que 75 % du sol soit plus fin et 25% plus gros.

D_{25} : Taille des particules ou 25% du sol soit plus fin et 75% 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.a.d les particules élémentaires s'assemblent en agrégats et ces derniers forment des complexes d'agrégats laissant entre eux des espaces plus ou 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.

$$P = \frac{V - \mathcal{V}}{V}$$

V : Volume du sol en place
 \mathcal{V} : Volume réel des particules
 $V - \mathcal{V}$: Volume des espaces lacunaires

On peut déterminer la porosité de la manière suivante aussi :

$$P = \frac{D_r - D_a}{D_r}$$

D_r : Poids volumique réel
 D_a : Poids volumique apparent

La détermination de la porosité peut se faire sur terrain ou au laboratoire.

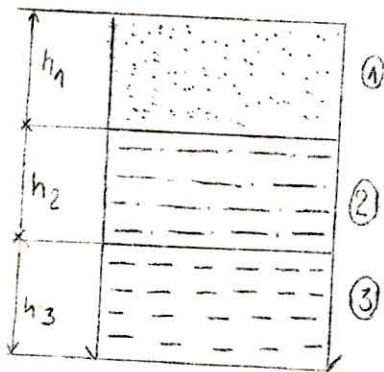
III - RETENTION DE L'EAU DANS LE SOL ET SA CIRCULATION

Dans le sol, l'eau joue un rôle important, elle est d'abord un facteur fondamental de la genèse des sols et de leur évolution. Il est important de connaître d'une part comment elle est retenue par le sol et d'autre part sa circulation dans le sol.

III/A Retention de l'eau dans le sol

La quantité d'eau retenue dans le sol peut être déterminée soit au laboratoire sur un échantillon, soit sur un sol en place. L'humidité que l'on mesure est variable selon le sol étudié et selon le moment où l'on opère et on conçoit que pour un sol donné, elle varie entre un minimum voisin de zéro et un maximum correspondant au cas où la totalité de l'air du sol est chassée.

L'expérience de SCHLOESING nous donne d'avantage d'éclaircissements sur cette variation de l'humidité des sols.



Expérience de SCHLOESING

① On prend un tube vertical de 20 à 40 cm, ouvert en haut et fermé par une toile tendue et liée sur les bords.

② On remplit le tube de terre fine et on y met de l'eau puis on laisse la terre s'égoutter. Au bout d'un moment, la coloration de la terre montre que la teneur va en décroissant du bas vers le haut.

On constate à cet effet que la division se fait en

- l'humidité est faible et uniforme
- l'humidité variable décroissant de bas en haut.
- l'humidité est uniforme et forte.

Cette interprétation nous montre que l'eau est sou-

mise à deux influences principales : La pesanteur et les forces capillaires.

Le rapport entre ces deux forces dépend de la dimension des interstices. Dans un interstice large il y'a beaucoup d'eau pour peu de surface attractive, la pesanteur l'emporte et l'eau descend ; dans le cas contraire, les dimensions sont restreintes, les forces capillaires l'emportent, elles retiennent l'eau et peuvent même la faire remonter.

Dans la partie supérieure du tube de SCHLOESING, la terre s'est ressuyée normalement, c'est à dire que seule est restée l'eau pour laquelle la pesanteur n'a pu vaincre les forces capillaires qui retiennent l'eau des canaux de très petits diamètres.

.../...

Par contre dans la partie inférieure du tube, la terre ne se ressève pas, car la toile formant le filtre crée un certain obstacle à l'écoulement normal de l'eau, obstacle qui n'a pu être traversé lorsque la pression hydrostatique s'est trouvée réduite à la hauteur h_3 , pratiquement tous les interstices sont restés pleins d'eau.

La partie médiane fait la transition, les interstices capillaires de dimensions variables faisant remonter l'eau de la partie inférieure gorgée d'eau à une variable.

Il faut souligner cependant que les résultats de cette expérience sont essentiellement d'ordre qualitatifs, les conditions réalisées dans le tube sont différentes de celles réalisées dans le sol en place. On trouve déjà des résultats différents suivant la hauteur du tube.

Les observations précédentes ont mis en évidence plusieurs valeurs remarquables de l'humidité d'un sol lorsqu'il passe de l'humidité maximale à la sécheresse absolue.

Les principales valeurs remarquables sont les suivantes :
L'humidité maximale (capacité maximale).

L'humidité maximale correspond à la terre gorgée d'eau telle qu'elle se trouve par exemple à la partie inférieure du tube de SCHOLESING.

On la désigne par H_{pm} ou (H_m) quand elle sera exprimée en poids de l'eau par rapport au poids du sol sec. Cette notation deviendrait H_{vm} si elle sera exprimée en volume d'eau par rapport au volume du sol en place. Nous remarquons dans ce cas $H_{vm} = P$

Humidité de rétention (capacité de rétention).

C'est la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir dans les conditions où son drainage se trouve assuré librement.

Cette humidité sera représentée par H_{pr} (H_r) dans le cas où elle est exprimée en poids de l'eau par rapport au poids du sol et par H_{vr} dans le cas où elle est représentée par rapport au volume du sol en place. Notons que cette valeur est d'une extrême importance pour l'agriculture.

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 énergiquement. 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 deça duquel les plantes se fanent d'une façon permanente.

On notera ce taux par H_{pf} (H_f) si le taux est exprimé en poids d'eau par rapport au poids du sol sec et par H_{vf} dans le cas où le taux est exprimé en volume d'eau par rapport au volume du sol en place.

Point d'Hydroscopicité :

Au de la du point de flétrissement, on trouve le point d'hydroscopicité. Quand 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 et règle 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 aussi capacité de libre écoulement.

$$\mu = \frac{\text{Volume des espaces lacunaires remplis d'air après ressuyage}}{\text{Volume apparent du sol}}$$

On remarque que $\mu < p$ est d'autre part une expression mathématique approchée nous donne que $\mu = H_{vm} - H_{vn}$

L'humidité équivalente :

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

Ces conditions sont les suivantes ; l'échantillon est soumis à la force de l'action centrifuge dans une machine du type cœremuse. Elle est obtenue dans un champ de 1000 g (g-acceleration de la pesanteur). On la note par H_{pe} (H_e) dans le cas où elle est exprimée en poids d'eau par rapport au poids du sol en place, dans le cas où elle est exprimée en volume d'eau par rapport du sol en place on la désigne par H_{ve} .

.../...

Les divers modes de rétention de l'eau par le sol :

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 dans un petit canal capillaire ou dans un large interstice et d'autre part, suivant le taux d'humidité du sol.

Les principales forces qui agissent sur les molécules sont :

- Les forces d'adsorption qui s'établissent au contact eau-particules de sol, elles ^{deviennent} du potentiel d'adsorption H_a .

- Les forces de capillarité qui s'établissent au contact eau-air elles dérivent du potentiel capillaire ψ .

- Les forces de pesanteur qui dérivent du potentiel ~~Newtonien~~ $+gz$ (où z étant la profondeur).

- Les forces d'hydrostatiques exercées par le poids des molécules d'eau les unes sur les autres qui dérivent du potentiel P_f (Pression hydrostatique et f poids spécifique).

En conclusion la force qui s'exerce sur une molécule d'eau est la suivante

$$\phi = H_a - \psi + gz + P_f$$

2 - 2) l'eau de capillarité

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

$\phi = -\psi$. Thermodynamiquement le potentiel capillaires $-\psi$ 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 centimètre à laquelle cette différence d'énergie eleverait 1g d'eau dans un champ de la pesanteur.

Quand à la force qui dérive de ce potentiel ^{elle} est appelée tension d'humidité. on la désigne par T . Cette tension varie de façon considérable lorsque l'humidité du sol varie. Aussi étant donné l'ampleur de cette variation, SCHOFIELD a proposé d'utiliser son logarithme décimal et de le noter PF par analogie avec la mesure de l'acidité (PH)

$$\text{On a donc } PF = \log_{10} (Tcm)$$

Pour $T = 1000$ cm (une tension d'humidité égale à 1 atmosphère) On a $PF = 3$

.../...

D'après les expériences on a constaté que, pour tous les sols, les taux d'humidité remarquables correspondent aux mêmes valeurs de PF :

- Point de rétention $H_r \rightarrow PF = 3$
- Point de flétrissement permanent $H_f \rightarrow PF = 4,2$
- Point d'hygroscopicité $H_h \rightarrow PF = 6,5$

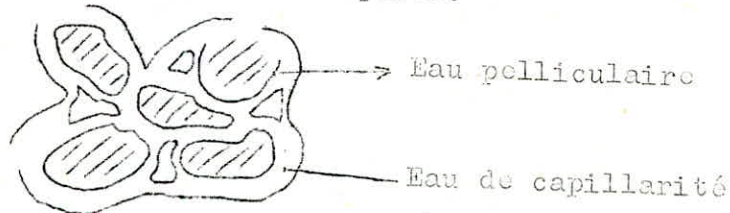
2 - 3 L'eau d'hygroscopicité.

Sur un sol sec au taux d'humidité hygroscopique, l'eau restante est disposée en fines pellicules autour des particules solides.

Le terme H_a de l'expression du potentiel $\phi = H_a - \psi + g z + p/p$ devient largement prépondérant sur tout les autres qui sont alors nuls ou négligeables devant lui.

$$\phi = H_a$$

L'eau hygroscopique est retenue intensément par le sol et il faut des moyens énergétiques pour l'en séparer.



2 - 4 L'eau de saturation (ou de gravitation)

C'est l'eau contenue au delà de la capacité de rétention, celle que l'on appelait autrefois " l'eau libre " parce que le potentiel des forces qui s'exercent sur elles se réduit au potentiel newtonien :

obéit

Elle à la pesanteur et donne naissance à l'écoulement gravitaire. Cette eau s'écoule d'autant plus vite que le volume des pores grossiers du sol est plus élevé. Quand tous les pores du sol sont remplis. C'est l'état de saturation qui peut se produire.

III/B CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOL

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.

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

.../...

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

L'Etude qui est faite jusqu'ici était purement statique.

c à d ne concernait que les sols dont l'humidité se trouvait en état d'équilibre. Nous avons remarqué que sous l'action des différents champs de force, cet état d'équilibre se trouve modifié à chaque instant.

Le problème revient à étudier les conditions dans lesquelles cette eau se meut dans le sol.

Les deux cas principaux sont les suivants :

1er cas :

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

2 ème cas :

Le taux d'humidité du sol est inférieur à la capacité de rétention ($H < H_v$) c à d $PF > 3$ ou $T > 1000$.

Dans le cas le mvt de l'eau régi par diffusion capillaire ensuite, si le dessèchement se poursuit à partir de $PF = 3,7$ correspond sensiblement au pt de flétrissement temporaire, le déplacement ne s'effectue plus que sous l'effet de l'évaporation.

Quand à notre étude portera sur le 2 ème cas c à d notre sol sera gorgé d'eau, aussi nous sommes dans le cas d'un sol saturé d'eau ($H=H_m$) le mvt de l'eau est provoqué par l'action de la gravité.

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

$$V = K \frac{H}{L} = KJ \quad J: \text{Pente motrice (gradient hydraulique)}.$$

Quand à K représente le Coef de perméabilité; il a les dimensions d'une vitesse. Ainsi le débit est déterminé par :

$$Q = V \cdot S = K \cdot S \cdot I$$

La vitesse V est définie comme vitesse apparente.

La vitesse elle même inférieure à la vitesse réelle, d'abord parce que l'écoulement n'est uniforme à l'intérieur des pores, ensuite le filet du liquide doit contourner les particules et ainsi augmente son parcours, donc sa vitesse.

L'eau ne circule que dans une fraction des espaces lacunaires que l'on appelle la capacité de libre écoulement et n'est autre que la porosité d'aération μ défini précédemment, l'autre fraction est occupée par de l'eau liée énergétiquement aux particules ainsi on a :

$$Q = V.S = V' S' \quad (S' \text{ section libre moyenne})$$

On voit que le coefficient μ intègre le fait signalé plus haut 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 énergétique aux particules et ne se déplaçant pas.

ON évalue, généralement K en mètres par seconde, mais dans le cas des sols naturels où la variation de K est de 10^{-8} à 10^{-3} on prend comme unité centimètre par heure.

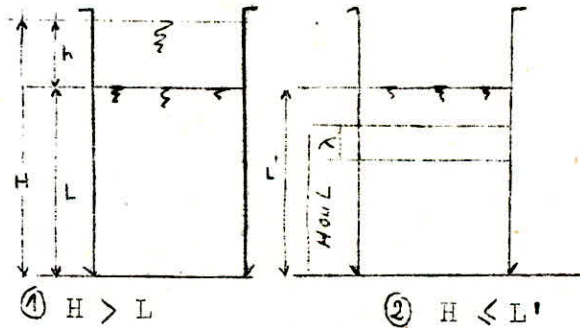
Pour calculer la pente motrice $I = \frac{H}{L}$ dans le cas d'une colonne verticale, lorsque le niveau de la nappe se trouve au-dessus de la surface, on fait appel à la loi de Darcy.

$$H = L + h \quad \text{cas (1)}$$

$$\Rightarrow I = \frac{H}{L} = \frac{L+h}{L}$$

Dans le cas (2) le niveau de la nappe liquide s'abaisse au-dessous de la surface dans ce cas :

$$H = L \quad I = 1$$



Théoriquement, la charge H doit être diminuée d'une quantité λ mesurant les forces capillaires et représentée par la hauteur maximale que l'eau saturante atteint par ascension capillaire :

$$I = \frac{H - \lambda}{L} = \alpha < 1$$

Sachant que : $\lambda = \frac{4 A}{\omega D}$ où

.../...

A, Constante capillaire de l'interface " Eau - Air "

$$A = 0,07 \text{ Kg / m}^2 \text{ / S} \quad (\text{MESA})$$

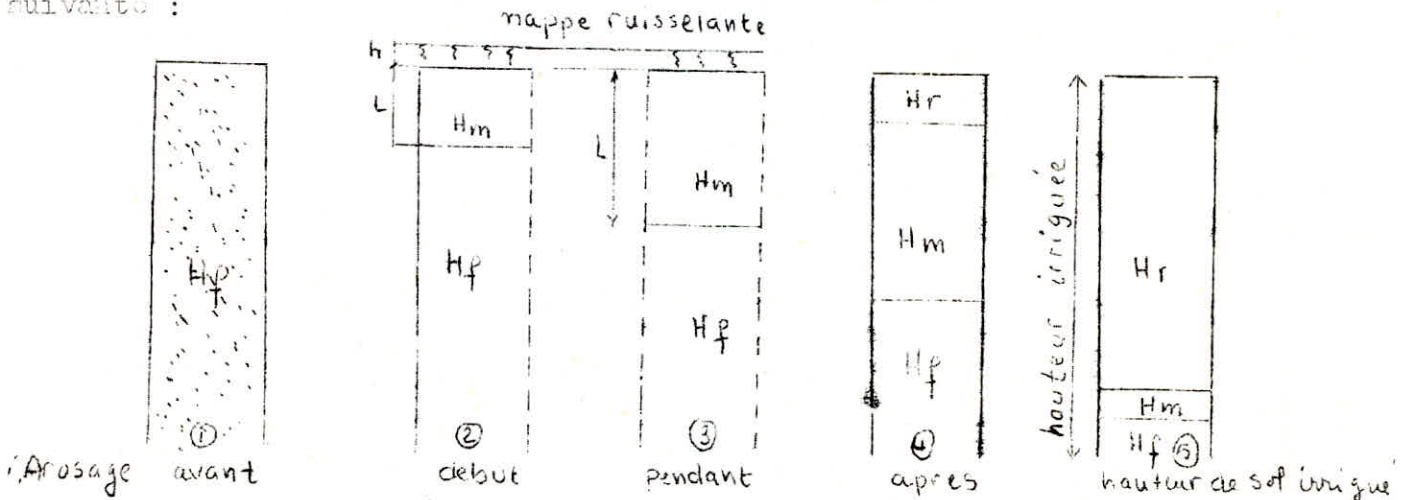
ω , Poids volume de l'eau, soit 9810 newtons/m³

D, diamètre (moyen) des grains interstices (en metres)

En irrigation, on considère toujours que la pente motrice est voisine de 1 et de même que le sol absorbe, sur une surface S un débit :

$$Q = K.S$$

Lors d'un arrosage, la répartition de l'eau dans le sol est la suivante :



Dans le (1) le sol est voisin du point de flétrissement au (2) la pente motrice décroît jusqu'à une valeur voisine de 1 au pt (3) le pente est voisine de 1 quant au débit $Q = K.S$ au (4) le front de la zone d'humidité maximale descend toujours au (5) la hauteur d'humidité maximale est réduite presque à zéro.

Pour mettre en exergue l'importance de la recherche au laboratoire afin de pouvoir maîtriser le phénomène de la percolabilité (qui dépend d'un certain nombre de facteurs) nous signalons que des recherches expérimentales sur le terrain ont été faites au Maroc ; sous la conduite de Monsieur LAFREY durant une période de 20 Années. Malheureusement, ces études n'avaient pas données de résultats satisfaisants pour la simple raison qu'il n'était pas possible de faire que deux (2) essais durant les saisons sèches de l'année.

Donc durant les 20 Années d'expérience, environ 40 essais ont été élaborés et qu'après 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.

Ainsi après chaque analyse, les résultats obtenus étaient tel que le but fixé restait loin d'être atteint.

C'est pourquoi la nécessité de réfléchir sur la conception d'appareils nous permettant la détermination des paramètres d'irrigation directement au laboratoire s'y impose.

II/1 Canal de démonstration :

Pour atteindre le but que l'on s'est fixé, c'est à dire la détermination des paramètres d'irrigation en laboratoire, nous avons fait recours, à un appareil qui avait déjà fait l'objet d'une étude antérieure. Il a été conçu par Monsieur LARREY à très petite échelle et qui permet la variation de plusieurs paramètres à la fois tels :

- La pente du canal
- Le débit d'alimentation donc la charge est le canal et le temps d'administration de ce débit.

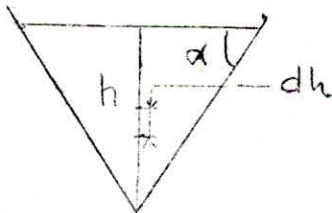
Cet appareil se compose des éléments suivants :

- d'un dispositif central d'alimentation
- de deux canaux à profil triangulaire
- d'un tube de venturi (débitmètre à segment, voir principe et courbe d'étalonnage) permettant la détermination instantanée du débit par simple lecture de différences de hauteurs manométriques.

Cependant, dans ce t appareil, l'infiltration qui se faisait à travers les fentes n'imitait exactement ce qui se passe dans un canal naturel.

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

En débit d'irrigation nous sommes en présence d'un écoulement en milieu poreux : C'est donc un écoulement laminaire.



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

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

$$\Rightarrow q = K / h \cdot dh = K_1 h^2$$

K_1 étant une constante dépendant du sol.

En fin d'irrigation, c'est à dire après saturation du milieu, il y a formation de filets d'écoulement qui ont tous une

pente J qui devient elle aussi constante.

$$dq = K_j dh \Rightarrow q = K_2 \cdot h$$

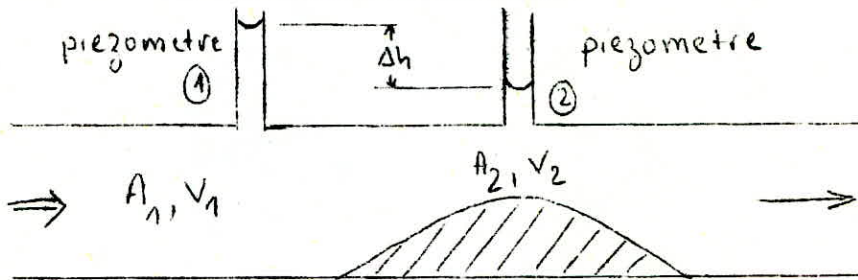
Ce sont là 2 lois, qui caractérisent la perméabilité correspondant au début et à la fin de l'irrigation. Mais entre ces 2 Cas nous ne savons rien sur le caractère du comportement de la perméabilité. Et c'est précisément là le gros inconvénient de ce canal de démonstration qui ne peut répondre à cette exigence de variation, de la perméabilité.

.../...

Néanmoins 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 un dévilmètre à segment placé à l'entrée.
- La pente que nous pouvons changer à volonté
- La largeur de la tranchée.

Principe du dévilmètre à segment :



A_1 = Section 1 , à l'amont

A_2 = Section 2 , au droit du retressicement

V_1 et V_2 = Vitesses moyennes correspondant à chacune des sections

$$\frac{P_1}{\bar{\omega}} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\bar{\omega}} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (\text{Bernoulli})$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\bar{\omega}} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (1)$$

En appliquant l'équation de la continuité on tire :

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

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

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

ainsi donc :

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

Le débit véhiculé par la conduite est :

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{en sachant que} \quad \frac{P_1 - P_2}{\bar{\omega}} = \Delta h$$

.../...

$$\Rightarrow Q = A_1 \left[\frac{2g}{1 - (A_1/A_2)^2} \right]^{1/2} \cdot \sqrt{\Delta h} \quad (3)$$

ou posant
 et la relation (3) devient

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

avec $\alpha =$ coefficient de débit.

Étalonnage d'un débit mètre

Le diamètre intérieur du débit mètre est un $D = 3,4$ cm

$$Q = \frac{V}{t}$$

$Q =$ Débit
 $V =$ Volume
 $t =$ temps

Pour chaque débit Q correspond une différence piézométrique Δh ?
 nous pouvons tracer la courbe

d'étalonnage (mais affectée d'une certaine erreur du débitmètre).

Théoriquement la courbe d'étalonnage est de la forme :

$$Q = a D^b$$

$$\ln Q = \ln a + b \ln D$$

En disposant de valeurs numériques des sections A_1 et A_2 le coefficient (a) serait déterminé, mais n'empêche que les résultats seront toujours affectés d'une certaine erreur systématique.

Pour pouvoir satisfaire le mieux les points donnés respectivement par Δh_1 et Δh_2 et les correspondants trouvés expérimentalement, on effectue un ajustement par la méthode des moindres carrés. Ceci dit il serait plus pratique de linéariser cette fonction en appliquant la notion du logarithme. Ainsi nous avons :

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

$a > 0$

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

$$avec \quad b = \frac{\sum (\lg Q_i) (\lg \Delta h_i) - \frac{1}{n} \sum (\lg Q_i) \sum (\lg \Delta h_i)}{\sum (\lg \Delta h_i)^2 - \frac{1}{n} (\sum \lg \Delta h_i)^2}$$

$$a = \text{Exp} \left(\frac{\sum \ln Q_i}{n} - b \frac{\sum \ln \Delta h_i}{n} \right)$$

Quant au coefficient de corrélation, il est donné par la relation suivante :

$$r^2 = \frac{[\sum (\ln \Delta h_i)(\ln Q_i) - (\sum \ln \Delta h_i)(\sum \ln Q_i)]^2}{[\sum (\ln \Delta h_i)^2 - (\frac{\sum \ln \Delta h_i}{n})^2][\sum (\ln Q_i)^2 - (\frac{\sum \ln Q_i}{n})^2]}$$

N.B: Les notations \lg et \ln sont identiques
c.à.d logarithme neperien

Tableau des résultats de mesure

Exp. N°	V (L)	L (A)	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)
①	21.0	47.9	36.6	45.9
	14.0	46.4	"	"
	16.3	47.1	"	"
②	13.0	35.0	32.5	49.1
	12.2	34.8	"	"
	15.9	35.0	"	"
	14.4	34.7	"	"
③	17.1	24.8	24.9	55.5
	14.0	25.4	"	"
	14.9	25.3	"	"
④	9.8	20.9	17.5	61.6
	17.9	21.7	"	"
	22.6	22.0	"	"
⑤	21.8	18.5	9.0	68.7
	22.1	18.8	"	"
	19.5	18.3	"	"

Tableau des Resultats de mesure (suite)

N°	Δh_i	Q_{im}	$\ln \Delta h_i$	$\ln Q_{im}$	$\frac{\ln \Delta h_i \times \ln Q_{im}}$	$(\ln \Delta h_i)^2$	$(\ln Q_{im})^2$
1	9.3	0.60915	2.23001	-0.49569	-1.10540	4.97296	0.24571
2	16.6	0.81399	1.80940	-0.20581	-0.57820	7.89274	0.04236
3	30.6	1.12589	3.42100	0.11857	-0.40567	11.70324	0.01406
4	44.1	1.33183	3.78646	0.28655	1.08502	14.33728	0.08211
5	59.7	1.57100	4.08933	0.45171	1.84720	16.72664	0.20404
		Σ	16.33620	0.15533	1.65426	55.62886	0.58828

A la lumiere de ces resultats, nous trouvons :

$$a = 0,195778 \quad ; \quad b = 0,508636$$

$$\Rightarrow Q = 0,195778 \Delta h^{0,508636}$$

10.
9.
8.
7.
6.
5.
4.
3.
2.
10.
9.
8.
7.
6.
5.
4.
3.
2.
1.

ADJUSTEMENT
PUISSANCE

COURBE D'ETALONNAGE DU DEBITMETRE
($\varphi_{int} = 3.4 \text{ cm}$)

$$Q = 0.195778 \Delta h^{0.508636}$$

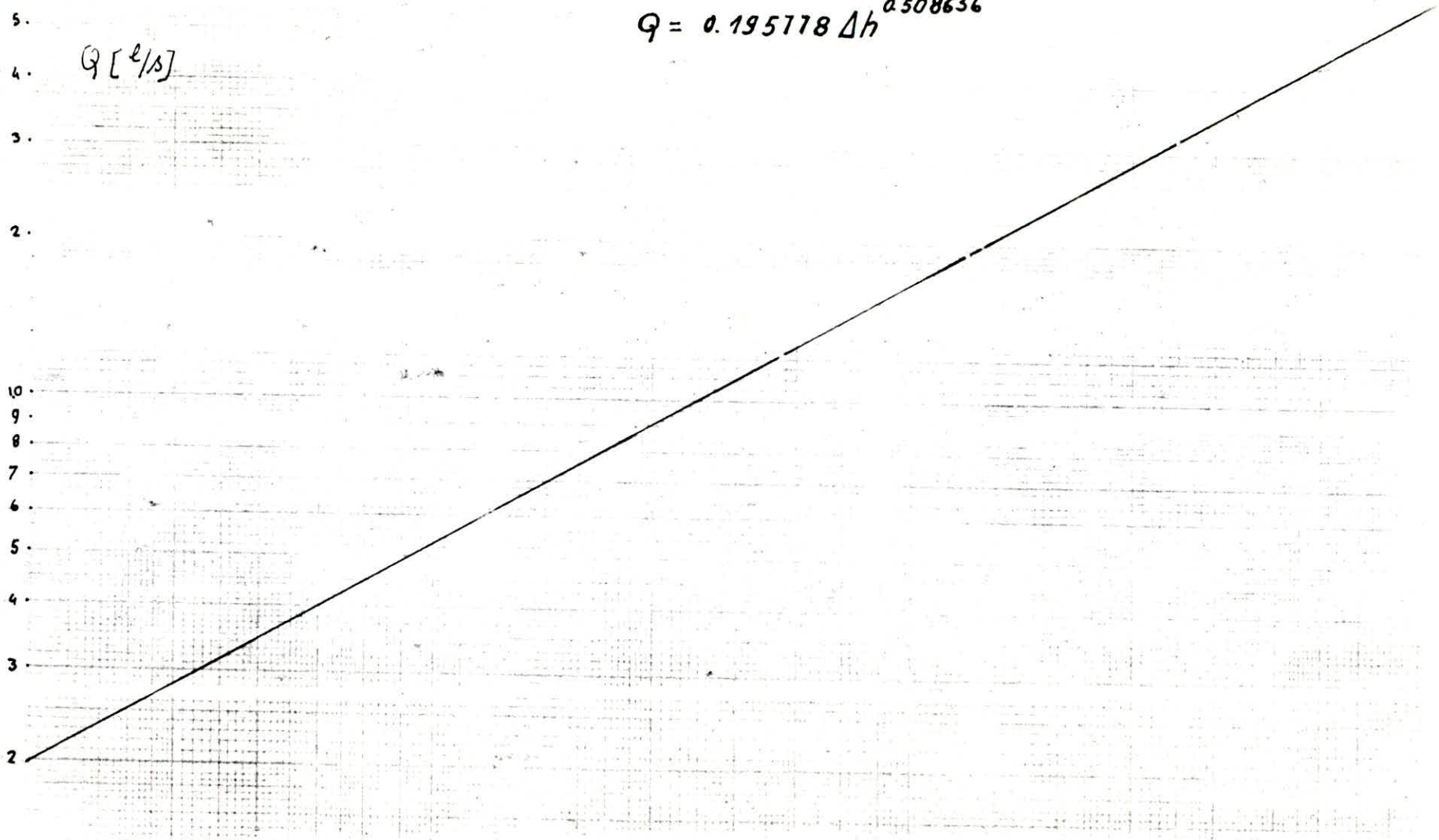
$Q [l/s]$

$\Delta h (cm)$

2 3 4 5 6 7 8 9 10

2 3 4 5 6 7 8 9 10²

2 3 4 5 6 7 8



II/2 Conception d'un modèle physique d'une tranche élémentaire de raie d'irrigation.

Après avoir exposé précédemment le modèle réduit déjà existant qui ne nous permettait pas de résoudre en totalité le problème de la perméabilité, nous avons été ramener à réfléchir sur la conception d'un appareil que nous présentons ci-dessous.

A) Principe du modèle.

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

Pour respecter ce caractère il faudrait que le débit passant par les tubes capillaires (qui jouent le rôle du sol) décroît avec le temps, ce qui nous amène donc en présence d'un écoulement uniformément varié.

En effet, pour répondre à cette condition, nous avons produit une 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.

Ceci pour qu'à chaque début d'expérience, les tubes capillaires soient complètement dénoyés de façon à ce que la contre pression n'intervienne pratiquement pas. Cette contre pression, qui variant avec la hauteur d'eau dans le bassin, donc avec le temps, fait décroître le débit passant par les tubes capillaires

B) Description du modèle :

notre installation se compose (voir schéma)

- d'une tranche élémentaire de raie d'irrigation de section triangulaire, équipée d'un dispositif comprenant 10 Tubes capillaires de diamètre inférieur de 1 mm et de longueur de 15 mm (jouant le rôle du sol) disposés latéralement à la tranche élémentaires de la raie. Le dispositif est pourvue d'un collecteur muni d'une cheminée d'aération.

- d'un vase de Mariotte avec lequel on maintient le niveau constant (charge constante) dans la tranche élémentaire de la raie.

Il se compose des éléments suivants :

- d'un vase cylindrique de 10 litres avec un orifice de remplissage.
- d'un tube solidaire du vase enfermé dans un dispositif parallélépipédique sur lequel nous avons pratiquer 2 Orifices situés sur 2 Faces opposés.

.../...

Ceci pour nous permettre d'installer deux vannes de commande servant à rétablir ou à supprimer la communication de l'air et de l'eau entre la vase et la tranche élémentaire de la raie d'irrigation.

Le rôle du dispositif parallélépipédique est de réduire au maximum les oscillations occasionnées par une pénétration d'air dans le vase de Mariotte ce qui entraînerait une descente brusque de l'eau.

En effet, les expériences ont montré que les oscillations dans la raie suite à une descente brusque de l'eau varient entre un minimum de 6mm et un maximum de 12 mm. Or avec l'installation du dispositif parallélépipédique, ces oscillations sont réduites au dixième de leurs valeurs.

- d'un bassin de contre pression dont la section longitudinale est un triangle et dont la section transversale est un rectangle où 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 arête de fond de manière à ce que nous puissions lui donner dix (10) positions différentes ce qui entraînerait des chutes de pression différentes.

Ces chutes de pression vont ^{sur} influencer directement la variation du débit dans le temps.

Les positions 1 et 10 du bassin sont les positions extrêmes, où 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 telles que les arêtes libres du bassin soient, dans un plan horizontal.

Entre ces 2 positions extrêmes, nous avons choisi huit autres intermédiaires, correspondant chacune à une surface du plan d'eau bien déterminée.

Nous signalons enfin que l'assemblage de tous les éléments en plexiglass constituant l'appareil est réalisé par la chloroforme et que l'ensemble du modèle repose sur une table.

FONDELLE NE PRESLE PAS DE NIVEAU

Fig. 64402

VASE DE MARLOTTE

TUBE D'ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE - PROFILES ALUMINUM

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

PROFILS EN ALUMINE

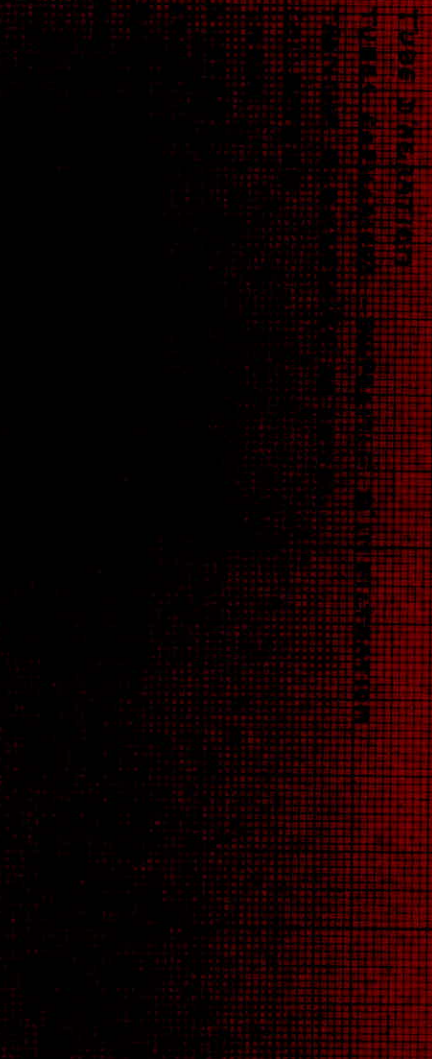
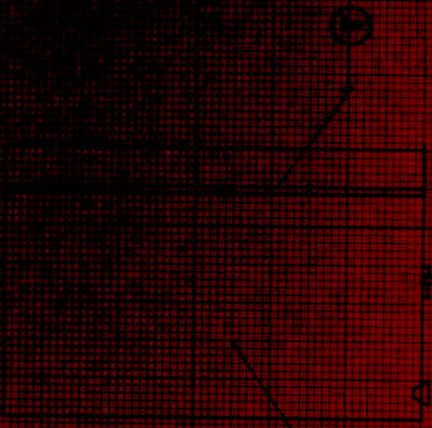
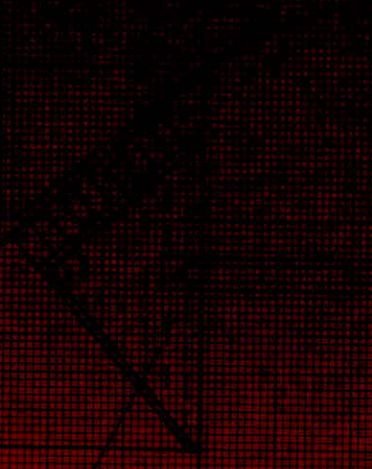
PROFILS EN ALUMINE

①

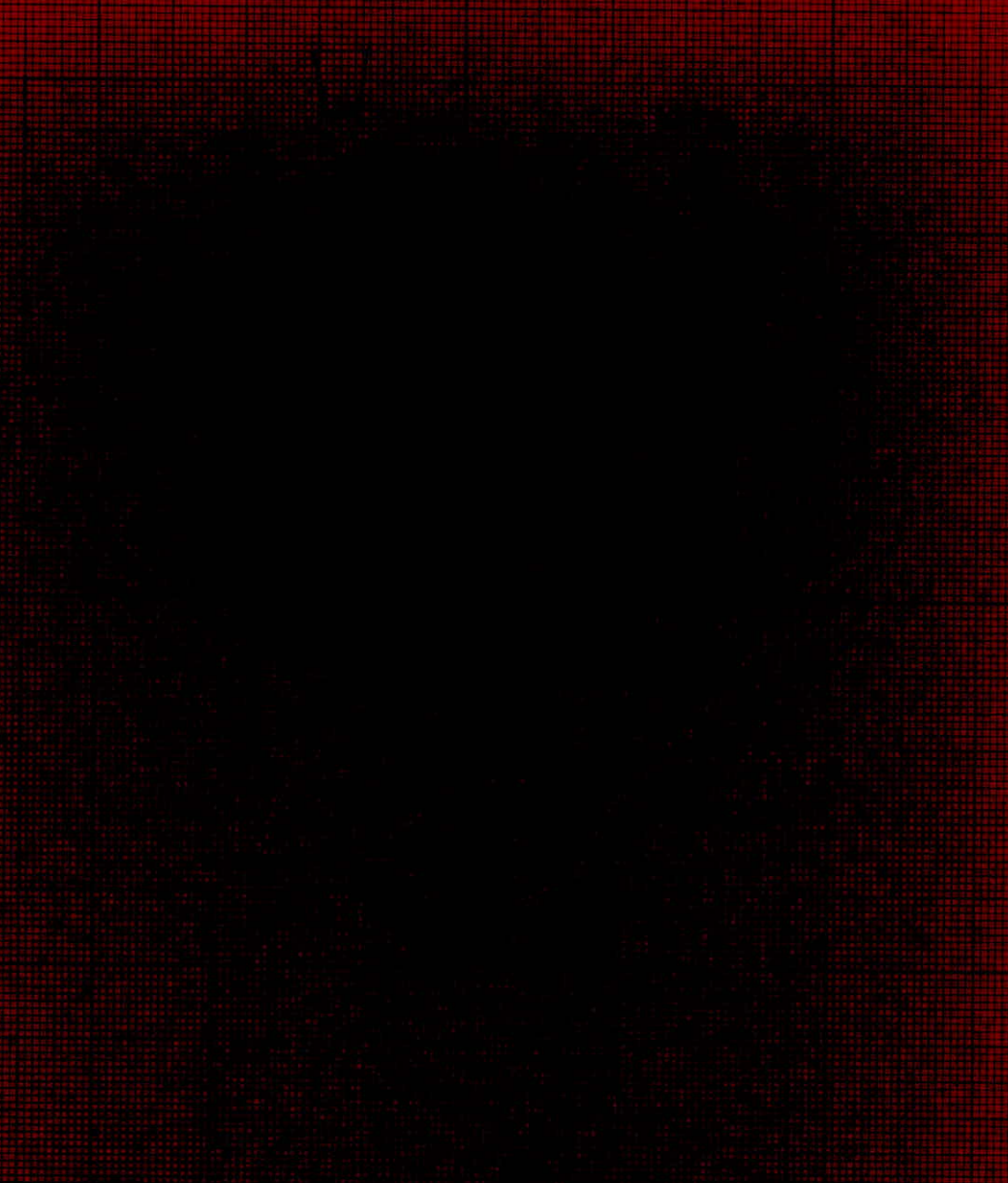
①

③

⑤



VASE DE MARIOTTE



6 x 12 mm

5

10

15

20

VASE DE MARBETTE AMELIORE PAR

LE DOUTEUR J. LAPREY

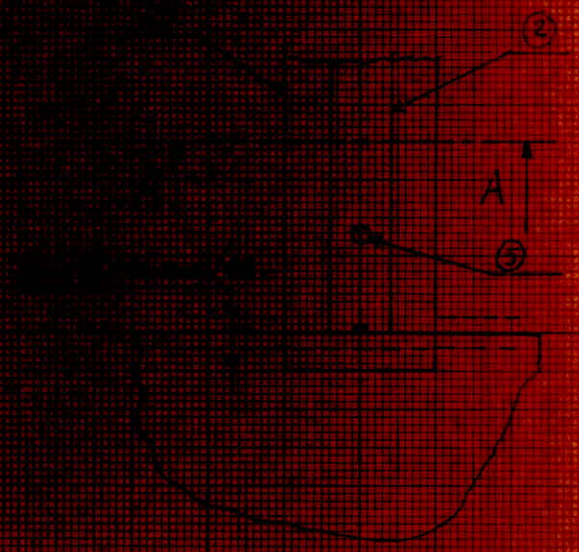
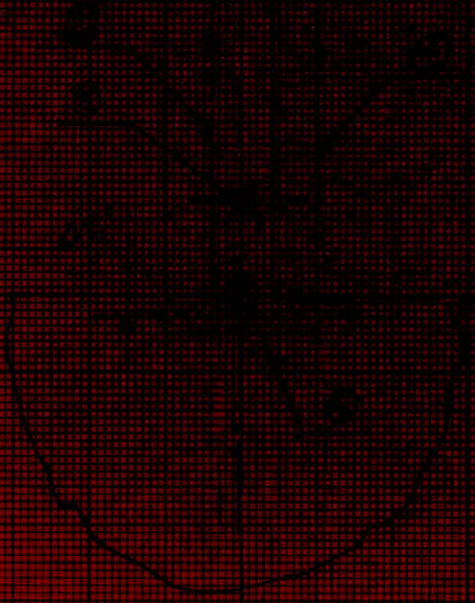
100 GRAMMES

100 GRAMMES

100 GRAMMES

100 GRAMMES

100 GRAMMES



C) ETUDE MATHÉMATIQUE DU MODÈLE PHYSIQUE

Une étude mathématique du modèle physique a été nécessaire pour inspecter les conditions d'écoulement laminaire 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 de déterminer le débit, le nombre de Reynolds et de la longueur de LAMKHAAR.

Le débit est donné par :

$$Q = \frac{9,8 \cdot \pi \cdot J \cdot D^4}{128 \cdot \nu}$$

$$Q = \frac{9,8 \cdot \pi \cdot 10^{-3} \cdot J \cdot D^4}{128 \cdot \nu} = 2,406 \cdot 10^{-8} J D^4$$

- le nombre de Reynolds

$$R = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

La longueur de LAMKHAAR

$$L' = 0,058 R \cdot D$$

On remarque que pour un fluide donné et pour une charge donnée, la longueur de LAMKHAAR ne dépend que du diamètre. Ce diamètre étant de 1mm pour les tubes capillaires du dispositif d'infiltration.

Connaissant ce diamètre, nous calculons :

- La section :

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi}{4} = 0,785 \text{ mm}^2$$

- Le débit :

$$q = \frac{9,8 \cdot \pi \cdot 10^{-3} \cdot J \cdot D^4}{128} = 2,406 J \cdot 10^{-2} \text{ mm}^3/s$$

$$= 240,6 J \text{ mm}^3/s$$

- La vitesse moyenne :

$$v = \frac{q}{A} = \frac{240,6 J}{0,785} = 306 J \text{ mm}^2/s$$

Le nombre de Reynolds

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

- La longueur de LAMKHAAR

$$L' = 0,058 \cdot D$$

$$= 0,058 \cdot 1 \cdot 306 J = 17,78 J \text{ mm}$$

Tous les paramètres dépendent de la pente de charge J. Sachant que la valeur maximale du nombre de Reynolds est de 2000, on conclut que la perte de charge J ne peut dépasser le rapport suivant :

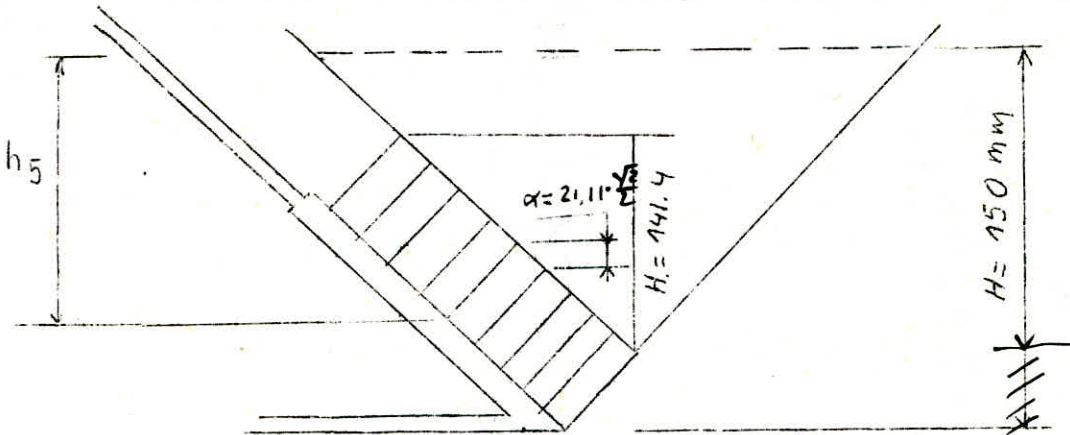
$$J = \frac{R}{306} = \frac{2000}{306} = 6,54$$

.../...

Et la longueur des tubes capillaires doit être inférieure à la longueur de LASKHAAR $L' = 17,78 J = 116,28 \text{ mm}$.

Nous avons fixé la longueur des tubes capillaires de notre dispositif à $L = 75 \text{ mm}$. Cette valeur nous permettra de calculer la perte de charge de chaque tube capillaire.

Considérons le cas où la charge dans le canal est de 150 mm



La perte de charge est donnée par la formule suivante :

$$J_i = \frac{h_i}{L}$$

$$L = 75 \text{ mm}$$

longueur des tubes capillaires

$$i=1 \Rightarrow h_1 = H - H_1 + L \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$i=2 \Rightarrow h_2 = H - H_1 + \alpha \sin 45^\circ + L \sin 45^\circ \\ = 150 - 141.4 + 21.11 \frac{\sqrt{2}}{2} + 75 \frac{\sqrt{2}}{2}$$

d'une manière générale nous pouvons calculer cette perte de charge par la formule suivante :

$$h_i = H - H_1 + (i-1) \alpha \sin 45^\circ + L \sin 45^\circ$$

$$h_1 = 61.63 \Rightarrow J_1 = \frac{61.63}{L} = \frac{61.63}{75} = 0.822$$

$$h_2 = 76.56 \Rightarrow J_2 = 1.02$$

$$h_3 = 91.49 \Rightarrow J_3 = 1.22$$

$$h_4 = 106.41 \Rightarrow J_4 = 1.419$$

$$h_5 = 121.34 \Rightarrow J_5 = 1.618$$

$$h_6 = 136.37 \Rightarrow J_6 = 1.817$$

$$h_7 = 151.2 \Rightarrow J_7 = 2.016$$

$$h_8 = 166.12 \Rightarrow J_8 = 2.215$$

$$h_9 = 181.04 \Rightarrow J_9 = 2.414$$

$$h_{10} = 195.98 \Rightarrow J_{10} = 2.61$$

Le débit passant à travers chaque tube capillaire est déterminé de la manière suivante :

$$q_i = 240,6 \cdot J_i$$

$$q_1 = 240,6 \cdot 0,822 = 197,77$$

$$q_2 = 240,6 \cdot 1,020 = 245,61$$

$$q_3 = 240,6 \cdot 1,220 = 293,53$$

$$q_4 = 240,6 \cdot 1,419 = 341,44$$

$$q_5 = 240,6 \cdot 1,618 = 389,29$$

$$q_6 = 240,6 \cdot 1,817 = 437,17$$

$$q_7 = 240,6 \cdot 2,016 = 485,05$$

$$q_8 = 240,6 \cdot 2,215 = 532,92$$

$$q_9 = 240,6 \cdot 2,414 = 580,81$$

$$q_{10} = 240,6 \cdot 2,610 = 627,97$$

Le débit total théorique est la somme des débits partiels

$$q_{\text{théorique}} = 4131 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Le débit expérimenté sans recours à la contre pression est la suivant

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

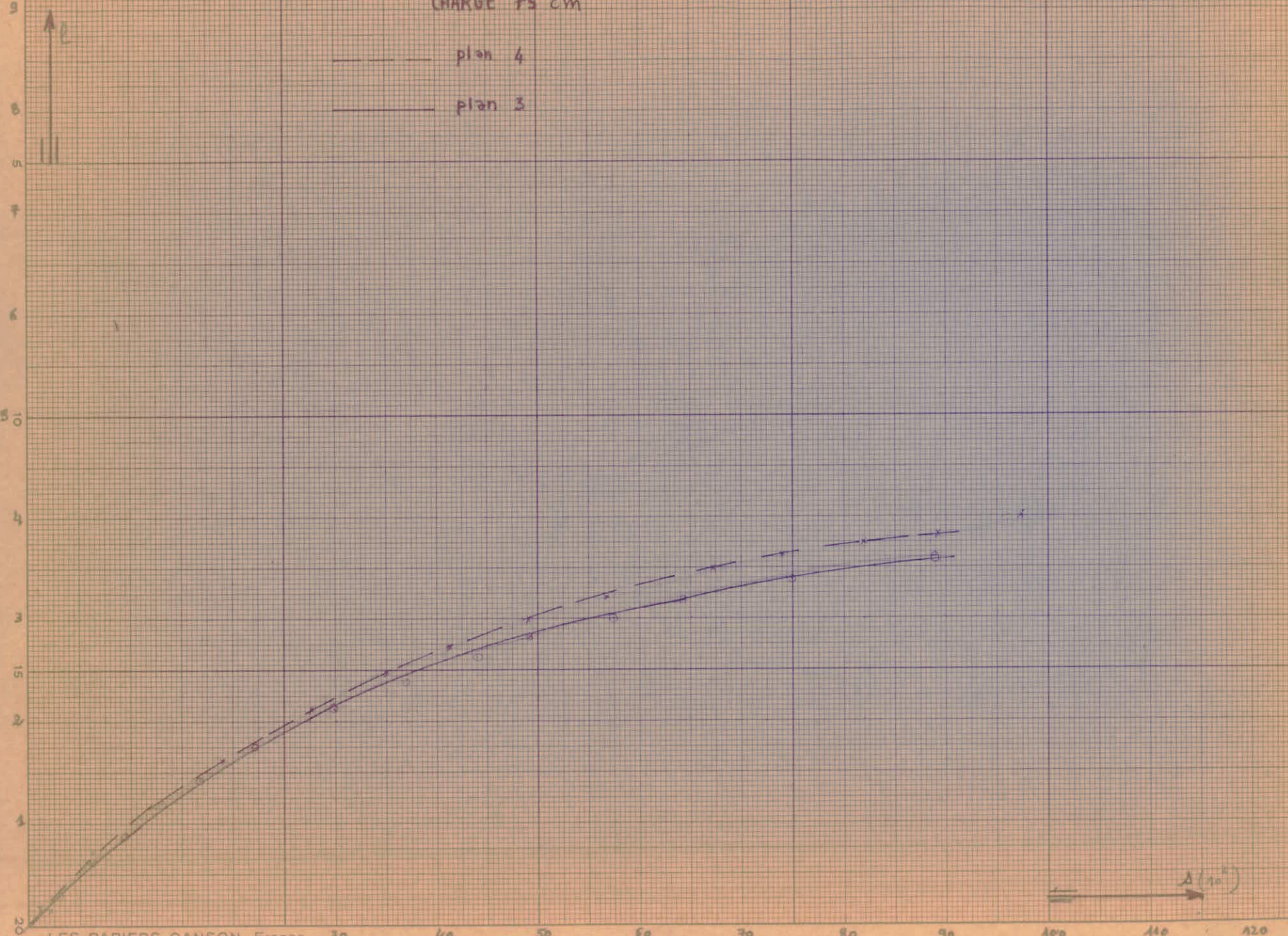
CHARGE 75 cm

plan 4

plan 3

LES PAPIERS CANSON France

$\Delta (10^4)$



Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$ plan d'eau n° 1

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
136.2	0	0.000	0.0	129.8	2087	1.600	874.4
135.8	125	0.100	218.6	129.2	2428	1.750	914.4
135.3	229	0.225	327.9	124.4	2844	1.950	965.3
135.0	295	0.300	378.6	127.8	3261	2.100	1001.7
134.5	463	0.425	450.6	127.3	3564	2.225	1031.1
133.7	621	0.625	546.5	127.0	3895	2.300	1048.3
133.2	798	0.750	598.6	126.5	4597	2.425	1076.4
132.5	1003	0.925	664.8	125.6	5416	2.650	1125.3
132.0	1180	1.050	708.3	124.8	6744	2.850	1166.9
131.0	1550	1.300	788.1	124.2	8606	3.000	1197.3
130.0	1790	1.550	860.6	123.8	10201	3.100	1217.1

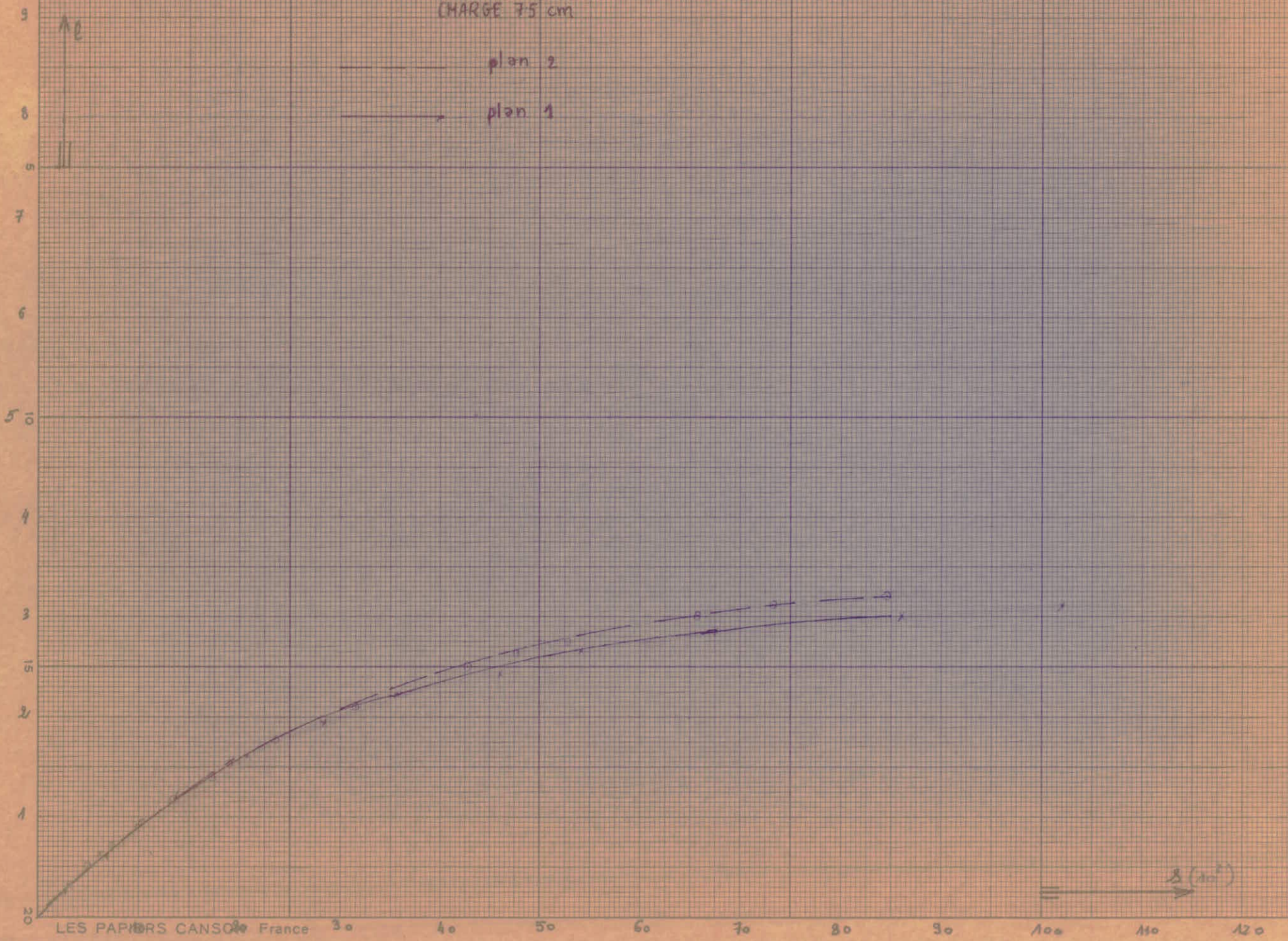
Charge : $H = 7.5\text{cm}$ Plan d'eau N° 2

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
122.5	0	0.000	0.0	116.4	1905	1.525	827.5
121.8	155	0.175	280.3	116.0	2115	1.625	854.2
121.8	155	0.175	280.3	115.0	2345	1.775	892.7
121.0	375.	0.375	410.3	114.9	2640	1.900	923.6
120.5	490	0.500	473.8	114.1	2160	2.100	1017.0
120.0	610	0.625	529.7	112.5	4270	2.500	1059.5
119.6	740	0.725	570.5	112.0	4770	2.625	1085.6
119.2	880	0.825	608.6	111.5	5285	2.750	1111.2
118.7	1025	0.950	653.1	111.0	5832	2.875	1136.2
118.3	1185	1.050	686.6	110.5	6570	3.000	1160.6
117.8	1350	1.175	726.3	110.0	7380	3.125	1184.5
116.9	1720	1.400	792.8	109.7	8460	3.200	1198.7

CHARGE 75 cm

plan 2

plan 1



LES PAPIERS CANSON France

30

40

50

60

70

80

90

100

110

120

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$

Plan d'eau N° 3

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
138.5	0	0.000	0.0	129.5	3310	2.250	944.1
137.8	144	0.175	263.3	129.0	3693	2.375	969.9
137.3	302	0.300	344.7	128.5	3915	2.500	995.1
136.5	476	0.500	445.0	128.0	4392	2.625	1019.7
136.0	624	0.625	497.5	127.6	4653	2.725	1039.0
135.5	767	0.750	545.1	127.2	4920	2.825	1057.9
135.0	954	0.875	588.7	126.9	5267	2.900	1071.8
134.3	1118	1.050	644.9	126.5	5755	3.000	1090.1
133.7	1308	1.200	689.5	126.2	5955	3.075	1103.7
133.3	1466	1.300	717.6	125.8	6420	3.175	1124.5
132.8	1670	1.425	751.3	125.4	6940	3.275	1139.0
132.3	1902	1.550	783.6	125.0	7508	3.375	1153.3
131.5	2217	1.750	832.6	124.7	8145	3.450	1169.0
130.7	2632	1.950	878.9	124.2	8910	3.575	1190.0
130.0	2963	2.125	917.5				

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$

Plan d'eau N° 4

h (mm)	t (s)	V (L)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (L)	$C.P$ (Pa)
124.2	0	0.000	0.0	113.3	4136	2.725	983.5
123.5	106	0.175	249.3	112.7	4465	2.875	1010.4
123.2	199	0.250	297.9	112.2	4893	3.000	1032.1
122.0	287	0.550	441.9	111.8	5335	3.100	1049.2
121.4	621	0.700	498.6	111.3	5683	3.225	1070.1
120.5	910	0.925	573.1	110.7	6150	3.375	1094.7
119.5	1200	1.175	645.9	110.2	6740	3.500	1114.8
118.6	1535	1.400	705.1	109.7	7390	3.625	1134.5
117.7	1900	1.625	759.6	109.2	8192	3.750	1153.9
116.7	2310	1.875	816.0	108.9	8939	3.825	1165.4
115.7	2760	2.125	868.6	108.4	9540	3.950	1184.3
114.3	3548	2.475	937.5	107.8	9736	4.100	1206.6

Charge: $H = 7.5\text{cm}$ Plan d'eau N°7

h (mm)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)
120.9	0	0.000	0.0	110.0	3490	2.725	830.6
120.0	170	0.225	238.7	108.9	3960	3.000	871.6
119.3	362	0.400	318.2	108.5	4230	3.100	886.0
118.3	566	0.600	389.8	107.4	4520	3.300	914.1
117.5	806	0.850	463.9	107.3	4895	3.400	927.8
116.5	1107	1.100	525.8	106.9	5200	3.500	941.4
116.0	1244	1.225	556.9	106.4	5455	3.625	958.0
114.7	1687	1.550	6.265	105.8	5790	3.775	977.7
113.5	2053	1.850	684.4	105.5	6192	3.850	987.3
112.6	2386	2.075	724.8	104.9	6460	4.000	1006.4
112.0	2573	2.225	750.6	104.4	6895	4.125	1022.0
111.6	2805	2.325	767.3	103.8	7343	4.275	1040.4
111.0	3045	2.475	794.6	101.8	9455	4.775	1099.6
110.5	3228	2.600	811.4				

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 8

h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)
131.4	0	0.000	0.0	122.0	3987	2.350	737.8
131.0	102	0.100	152.2	121.8	4194	2.400	745.6
130.7	208	0.175	201.3	121.3	4420	2.525	764.8
130.0	461	0.350	284.7	121.0	4660	2.600	776.1
129.5	702	0.475	331.7	120.0	5190	2.850	812.5
128.9	922	0.725	380.5	119.5	5400	2.975	830.2
128.2	1172	0.800	430.5	118.5	6102	3.225	864.3
127.5	1410	0.975	475.2	118.3	6415	3.275	817.0
126.8	1775	1.150	516.1	117.8	6735	3.400	887.5
126.2	1997	1.300	548.8	117.5	7102	3.475	897.2
125.9	2142	1.375	564.4	117.0	7432	3.600	913.2
125.4	2295	1.500	589.5	116.4	7841	3.750	932.0
125.0	2490	1.600	608.8	115.9	8290	3.875	947.4
124.3	2830	1.775	641.2	115.4	8811	4.000	962.6
123.5	3205	1.975	676.4	9320	9320	4.125	977.5
122.8	3590	2.150	705.5	114.4	9835	4.250	992.2
122.4	3786	2.250	721.9	113.9	10366	4.375	1006.7

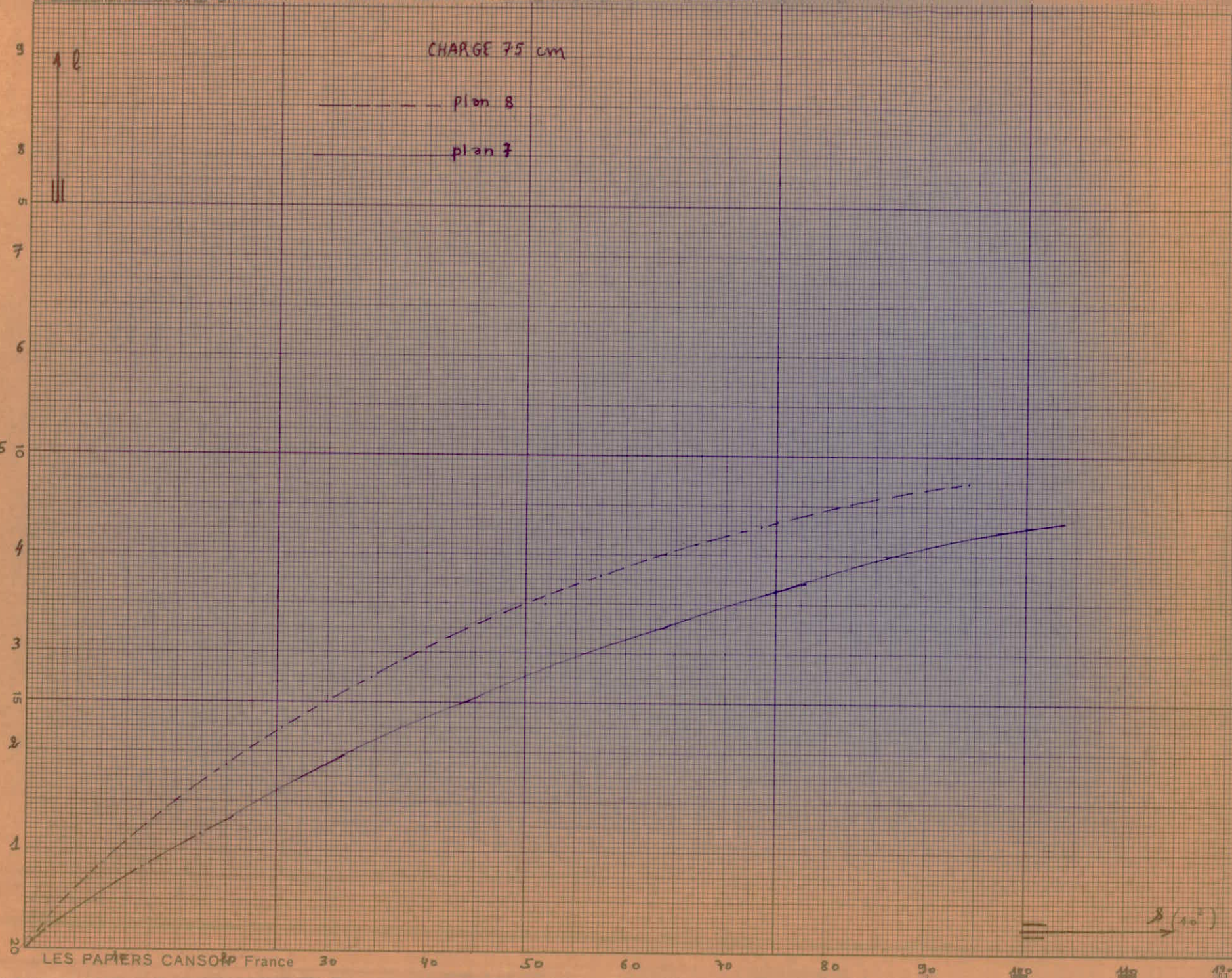
CHARGE 75 cm

--- plan 8
— plan 7

9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

LES PAPIERS CANSON France 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

$\delta (10^2)$



Charge: $H=7.5\text{ m}$ Plan d'eau N° 9

h (mm)	t (s)	V (l)	$c.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	$c.p$ (Pa)
140.0	0	0.000	0.00	128.1	4571	2.975	789.4
139.0	235	0.250	228.8	127.5	4929	3.125	809.0
138.8	330	0.300	250.7	126.7	5345	3.325	834.5
138.0	555	0.500	323.6	126.3	5580	3.425	847.0
137.2	835	0.700	382.9	125.6	6020	3.600	868.4
136.7	1040	0.825	415.7	124.4	6790	3.900	903.8
136.3	1210	0.925	440.2	123.7	7285	4.075	923.9
135.5	1360	1.125	485.4	123.0	7755	4.250	943.5
135.0	1630	1.250	511.7	122.3	8395	4.425	962.7
134.5	1850	1.375	536.7	121.8	8691	4.550	976.2
133.9	2055	1.525	565.2	121.5	9037	4.625	984.2
133.0	2380	1.750	605.4	121.0	9315	4.750	997.5
132.5	2585	1.875	626.7	120.7	9605	4.875	1010.5
132.0	2810	2.000	647.2	120.0	10250	5.000	1023.4
131.5	3070	2.125	667.2	119.5	10652	5.125	1036.1
130.7	3325	2.325	697.8	119.0	11212	5.250	1048.6
130.4	3620	2.475	720.0	118.2	12219	5.450	1068.4
129.8	3768	2.550	730.8	117.7	12768	5.575	1080.6
129.2	4057	2.700	752.0	117.2	13360	5.700	1092.7
128.5	4393	2.875	776.0				

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$

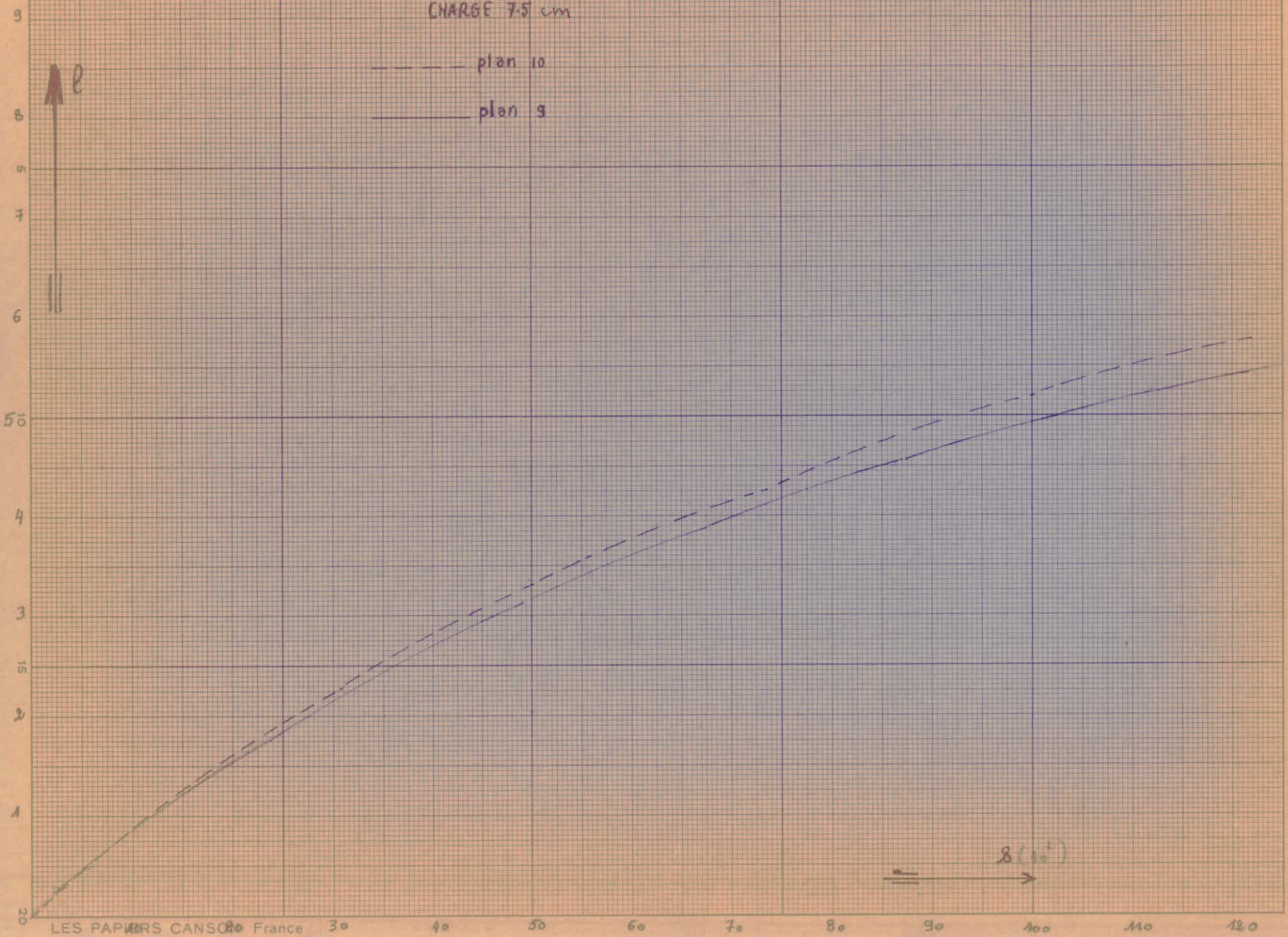
Plan d'eau N° 10

h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)
142.1	0	0.000	0.0	132.3	3310	2.450	690.0
141.3	219	0.200	197.2	132.0	3460	2.525	700.5
140.9	339	0.300	241.5	131.5	3715	2.650	717.6
140.4	490	0.425	287.4	130.8	4002	2.825	741.0
139.8	632	0.575	334.3	130.0	444.6	3.025	766.7
139.5	775	0.650	355.4	129.3	4737	3.200	788.6
139.0	910	0.775	388.1	129.0	4909	3.275	797.8
138.5	1066	0.900	418.2	128.3	5312	3.450	818.8
137.9	1217	1.050	451.7	127.6	5643	3.625	839.3
137.5	1340	1.150	472.8	127.3	5854	3.700	848.0
137.0	1562	1.275	497.8	125.8	6688	4.075	889.9
136.5	1730	1.400	521.6	125.1	7130	4.250	908.8
136.0	1897	1.525	544.4	124.8	7400	4.075	916.8
135.6	2004	1.625	562.0	124.0	7860	4.525	937.8
135.0	2269	1.775	587.3	123.3	8480	4.700	955.7
134.3	2538	1.950	615.6	122.4	9093	4.925	978.3
134.2	2578	1.975	619.5	122.0	9443	5.025	988.2
133.2	2952	2.225	657.6	121.2	10068	5.225	1007.7
132.9	3075	2.300	668.6	118.9	12260	5.800	1061.7
132.6	3100	2.375	679.4	118.1	13190	6.000	1079.8

CHARGE 7.5 cm

--- plan 10

— plan 9



LES PAPIERS CANSON France 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$ plan d'eau N° 5

h (mm)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)
141.5	0	0.000	0.0	132.2	3377	2.325	870.4
140.9	220	0.150	221.1	131.6	3715	2.475	898.1
140.2	345	0.325	325.4	131.0	4050	2.625	924.9
139.7	465	0.450	382.9	130.3	4455	2.800	955.2
139.2	645	0.575	432.9	129.4	4810	3.025	992.8
138.8	890	0.675	469.0	128.9	5590	3.150	1013.2
137.7	1080	0.950	556.4	128.2	6190	3.325	1040.9
137.1	1305	1.100	598.7	127.7	6435	3.450	1060.3
136.7	1460	1.200	623.3	127.4	6810	3.525	1070.4
136.0	1675	1.375	669.4	127.0	7095	3.625	1086.9
135.2	1995	1.575	716.4	126.6	7520	3.725	1101.7
134.5	2225	1.750	755.2	126.3	7913	3.800	1112.8
134.2	2400	1.825	771.2	125.9	8325	3.900	1127.3
133.7	2655	1.950	797.1	125.5	8735	4.000	1147.7
133.0	2925	2.125	832.1	125.2	9245	4.075	1152.8
132.4	3240	2.275	861.0	124.7	9855	4.200	1166.8

Charge: $H = 7.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 6

h (mm)	t (s)	V (L)	$C.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (L)	$C.p$ (Pa)
124.5	0	0.000	0.0	112.6	4580	2.975	914.1
123.7	179	0.200	2.370	111.6	5290	3.225	951.7
123.0	392	0.375	324.5	111.0	5650	3.375	973.6
122.2	608	0.575	324.5	110.5	6065	3.500	991.5
121.2	862	0.825	481.4	110.0	6460	3.625	1009.0
120.2	1185	1.075	549.5	109.5	6914	3.750	1026.0
119.4	1490	1.275	598.4	109.0	7370	3.875	1043.2
118.4	1850	1.525	654.4	108.5	7788	4.000	1059.9
117.4	2204	1.775	706.1	108.0	8407	4.125	1076.3
116.5	2590	2.000	749.5	107.5	8942	4.250	1092.5
115.7	3030	2.200	786.0	107.0	9651	4.375	1108.5
114.6	3475	2.475	833.7	106.4	10147	4.525	1127.3
113.7	4020	2.700	870.8	106.0	10884	4.625	1139.7

CHARGE P. 100

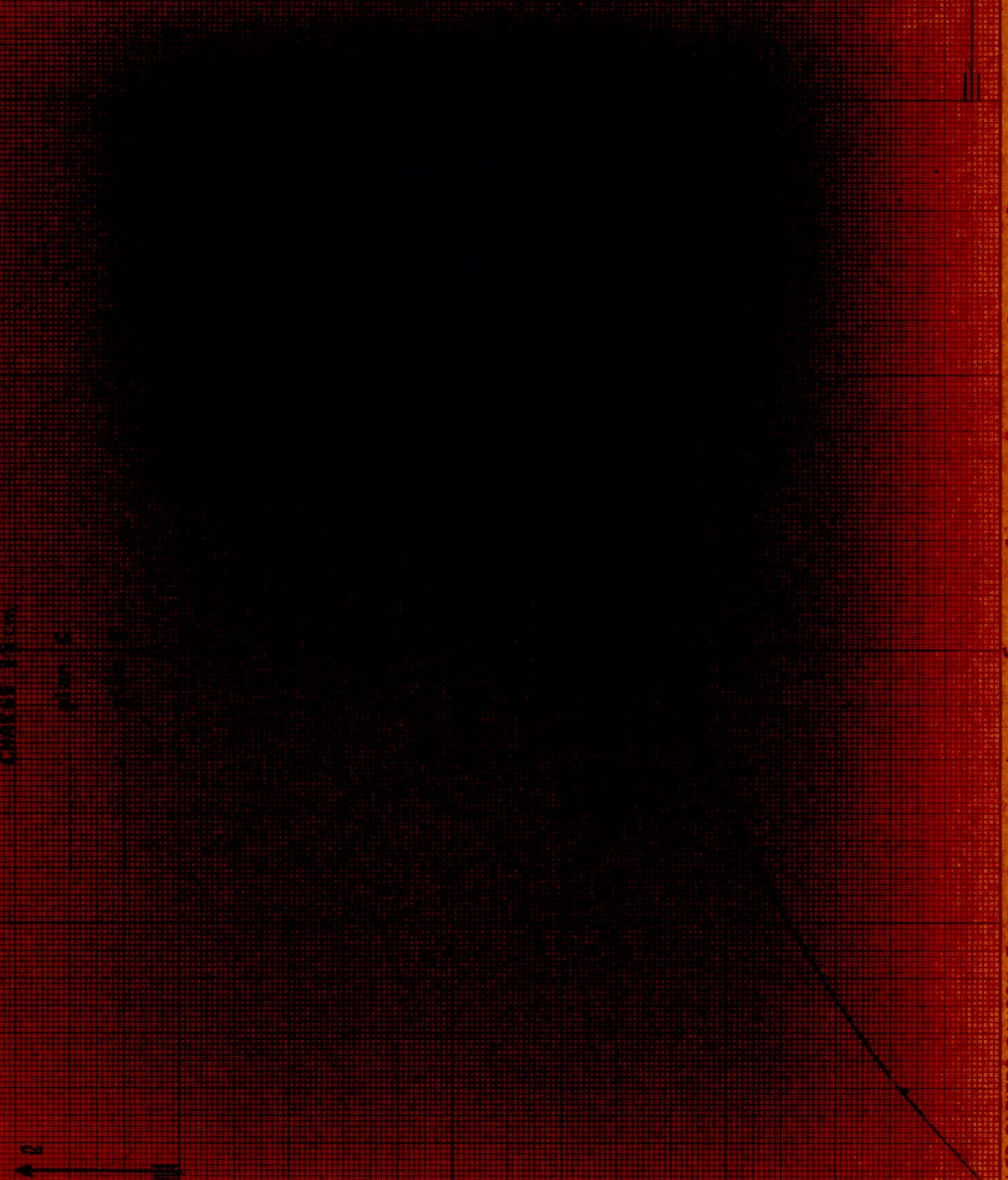
1000

δ

δ (10⁻⁵)

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

LES PAPIERS CANSON France 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120



Charge: $H = 10\text{cm}$

Plan d'eau N° 1

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
123.8	0	0.000	0.0	114.3	1805	2.375	1065.3
122.2	192	0.400	437.2	113.4	2183	2.600	1114.6
121.2	320	0.650	557.2	112.9	2387	2.725	1141.1
120.3	492	0.875	646.6	112.4	2569	2.850	1166.9
119.5	650	1.075	716.7	111.0	3228	3.200	1236.5
119.0	750	1.200	752.2	109.7	3893	3.525	1297.8
118.0	950	1.450	832.4	109.2	4267	3.6500	1320.6
116.9	1182	1.725	907.9	108.7	4625	3.775	1343.0
116.2	1334	1.900	952.8	107.5	5543	4.075	1395.4
115.5	1649	2.075	995.7	106.5	7140	4.325	1437.5

Charge: $H = 10 \text{ cm}$

Plan d'eau N° 2

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
124.5	0	0.000	0.0	109.8	4565	3.675	1284.5
123.6	140	0.225	317.8	109.4	4955	3.775	1301.9
121.9	450	0.650	540.2	109.0	5260	3.875	1319.0
121.0	625	0.875	626.8	108.6	5630	3.975	1339.5
120.0	800	1.125	710.7	107.8	6180	4.275	1369.1
119.2	1015	1.325	771.3	107.4	6830	4.275	1385.4
118.3	1230	1.550	834.2	106.7	7420	4.450	1413.5
117.2	1495	1.825	905.2				
116.3	1730	2.050	959.4				
115.6	1910	2.225	999.5				
115.1	2100	2.350	1027.2				
114.6	2275	2.475	1054.2				
114.2	2435	2.575	1075.3				
113.6	2625	2.725	1106.1				
113.0	2830	2.875	1136.2				
112.5	3070	3.000	1160.6				
112.0	3339	3.125	1184.5				
111.4	3600	3.275	1212.6				
110.9	3880	3.400	1235.6				
110.3	4190	3.550	1262.5				

CHARGE 10 cm

plan 2

plan 1

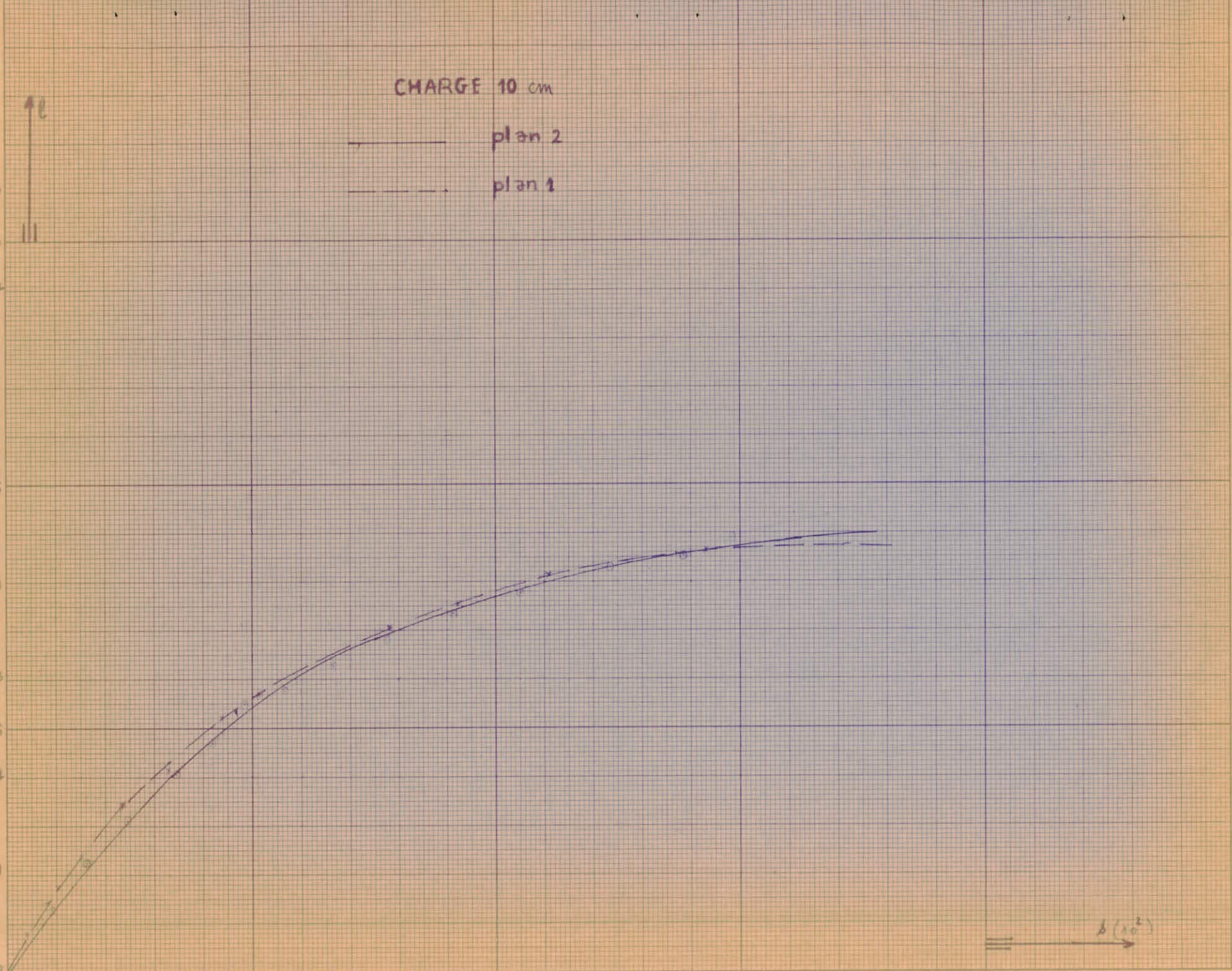
9
8
5
7
6
5
4
3
2
1
0

100

0

LES PAPIERS CANSON France 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

$\delta (10^{-2})$



Charge: $H = 10 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 3

h (mm)	t (s)	v (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	v (l)	C.P (Pa)
140.7	0	0.000	0.0	123.6	5330	4.125	1278.3
139.2	125	0.225	298.5	122.0	6560	4.525	1338.8
137.5	445	0.650	507.4	120.7	8085	4.850	1386.1
136.8	650	0.825	571.7				
135.8	855	1.075	652.6				
134.6	1095	1.375	738.6				
133.6	1360	1.625	802.5				
132.6	1600	1.815	861.8				
131.6	1800	2.125	947.5				
130.5	2135	2.375	969.6				
129.9	2345	2.550	1005.8				
129.1	2645	2.750	1043.7				
128.5	2905	2.900	1071.8				
127.7	3175	3.100	1108.1				
127.0	3512	3.275	1139.0				
126.2	3895	3.475	1173.3				
125.5	4111	3.650	1202.4				
125.2	4430	3.725	1214.7				
124.4	4884	3.925	1246.9				

Charge: H = 10 cm

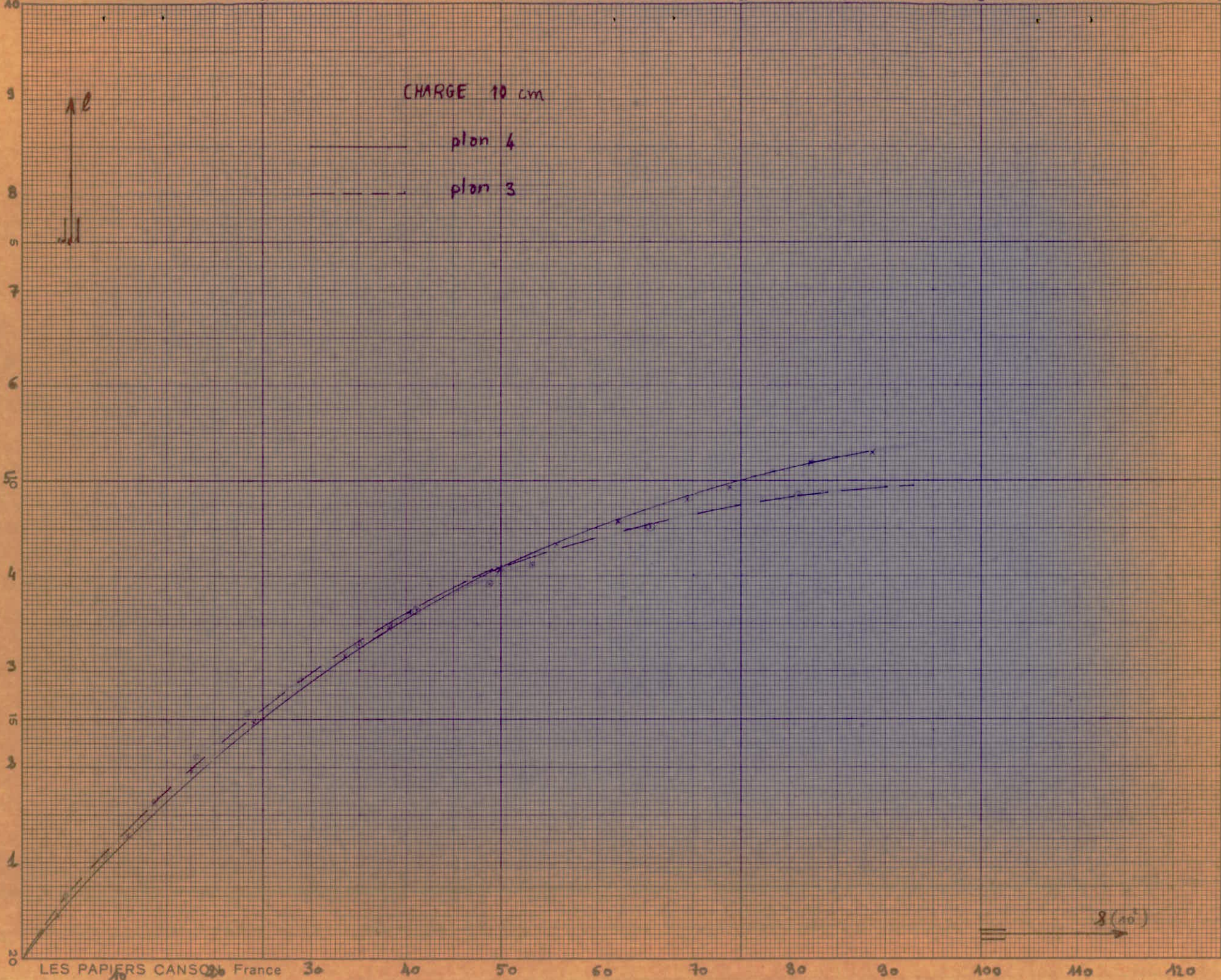
Plan d'eau N°4

h (mm)	t (s)	V (L)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (L)	C.P (Pa)
140.3	0	0.000	0.0	122.1	6216	4.550	1271.1
139.5	155	0.200	266.5	121.6	6553	4.675	1288.4
138.5	375	0.450	399.7	121.1	6950	4.800	1305.5
136.8	670	0.875	557.4	120.6	7410	4.925	1322.5
135.2	1101	1.275	672.9	119.6	8226	5.175	1355.6
133.4	1555	1.725	782.6	119.2	8820	5.275	1368.6
132.5	1789	1.950	832.1				
131.8	1980	2.125	868.6				
130.4	2409	2.475	935.7				
130.1	2552	2.550	951.6				
128.8	2911	2.875	1010.4				
128.3	3218	3.000	1032.1				
127.7	3343	3.150	1057.6				
127.2	3497	3.275	1078.4				
126.5	3824	3.450	1106.8				
125.0	4396	3.825	1165.4				
124.0	4998	4.075	1202.9				
123.6	5290	4.175	1217.6				
123.0	5580	4.325	1239.2				
122.5	5858	4.450	1257.0				

CHARGE 10 cm

plan 4

plan 3



LES PAPIERS CANSON France

S(10)

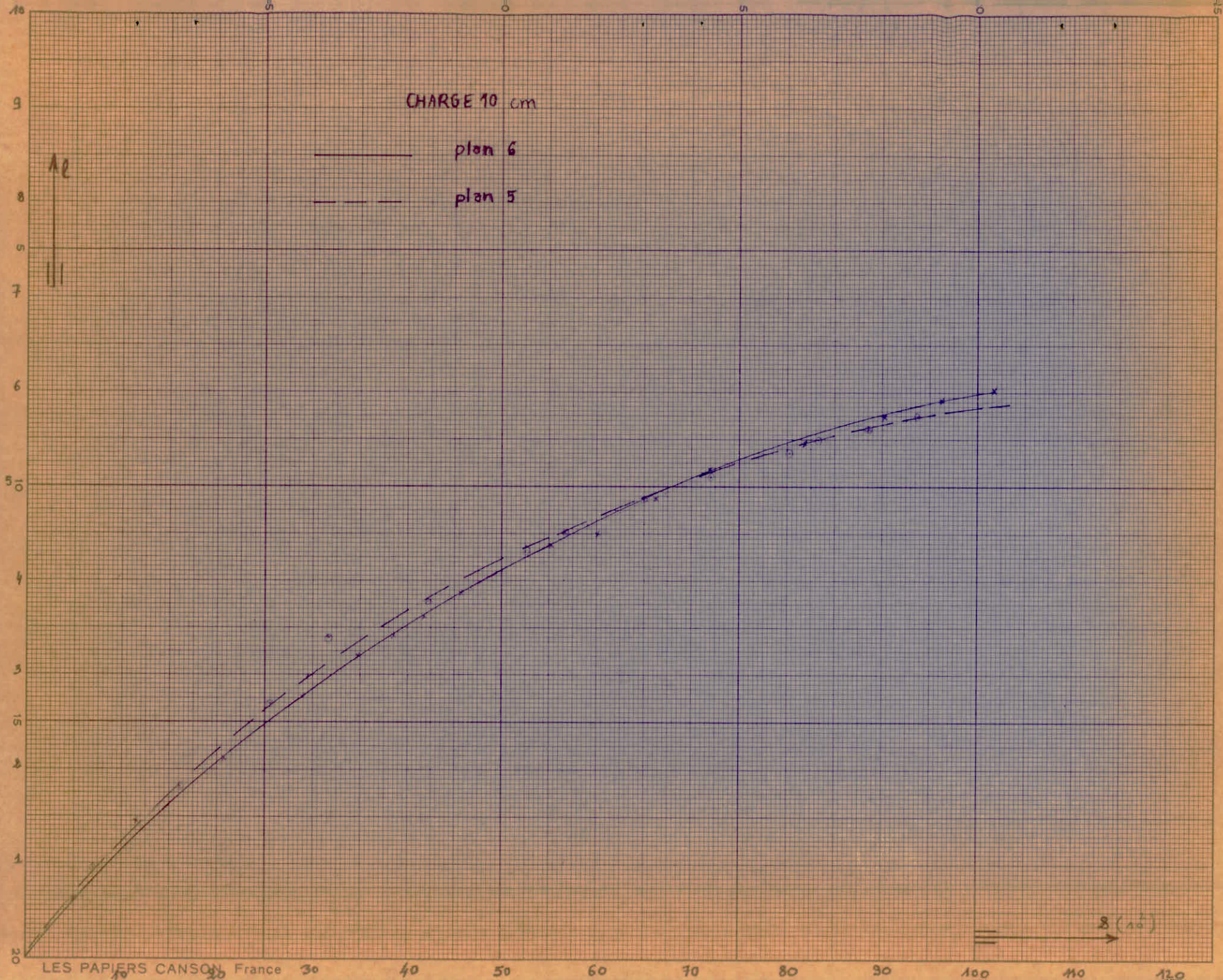
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Charge: $H = 10 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 5

h (mm)	t (s)	V (L)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (L)	C.P (Pa)
138.8	0	0.000	0.0	117.7	7550	5.275	1311.1
137.6	225	0.300	317.7	117.4	8015	5.350	1320.4
136.9	360	0.475	393.4	116.8	8320	5.500	1338.8
135.0	710	0.950	556.4	116.4	8850	5.600	1350.9
133.5	1140	1.325	657.1	115.8	9370	5.750	1368.8
131.5	1590	1.825	771.2				
129.5	2100	2.325	870.4				
128.0	2550	2.700	938.0				
126.8	2965	3.000	988.7				
125.2	3160	3.400	1052.6				
124.5	3870	3.575	1079.3				
123.7	4235	3.775	1109.5				
122.9	4589	3.975	1138.1				
121.6	5198	4.300	1183.7				
121.2	5420	4.400	1197.4				
120.7	5667	4.525	1214.3				
119.8	6200	4.750	1244.1				
119.3	6502	4.875	1260.4				
118.8	6846	5.000	1276.5				
118.4	7192	5.100	1289.2				

Charge: H = 10cm
 Plan d'aou N° 6

135.0	0	0.000	116.5	6019	4.625	1139.7
133.8	180	0.300	116.0	6290	4.750	1155.0
132.5	505	0.625	115.5	6621	4.875	1170.1
131.1	840	0.975	115.0	6901	5.000	1185.0
129.2	1160	1.450	114.3	7201	5.175	1205.8
127.7	1715	1.825	113.6	7706	5.350	1225.8
126.5	2085	2.125	113.2	8190	5.450	1237.2
124.8	2590	2.550	112.6	8548	5.600	1254.1
123.9	2910	2.775	112.0	9035	5.750	1270.8
122.7	3330	3.075	111.4	9627	5.900	1287.3
122.2	3490	3.200	110.9	10169	6.025	1300.8
121.7	3672	3.325	966.4			
121.3	3846	3.425	980.8			
120.9	3998	3.525	990.0			
120.5	4180	3.625	1009.0			
120.0	4362	3.750	1026.2			
119.5	4583	3.875	1043.2			
118.0	5287	4.250	1092.5			
117.5	5532	4.375	1108.5			
117.0	5802	4.500	1124.2			



Charge : $H = 10 \text{ cm}$

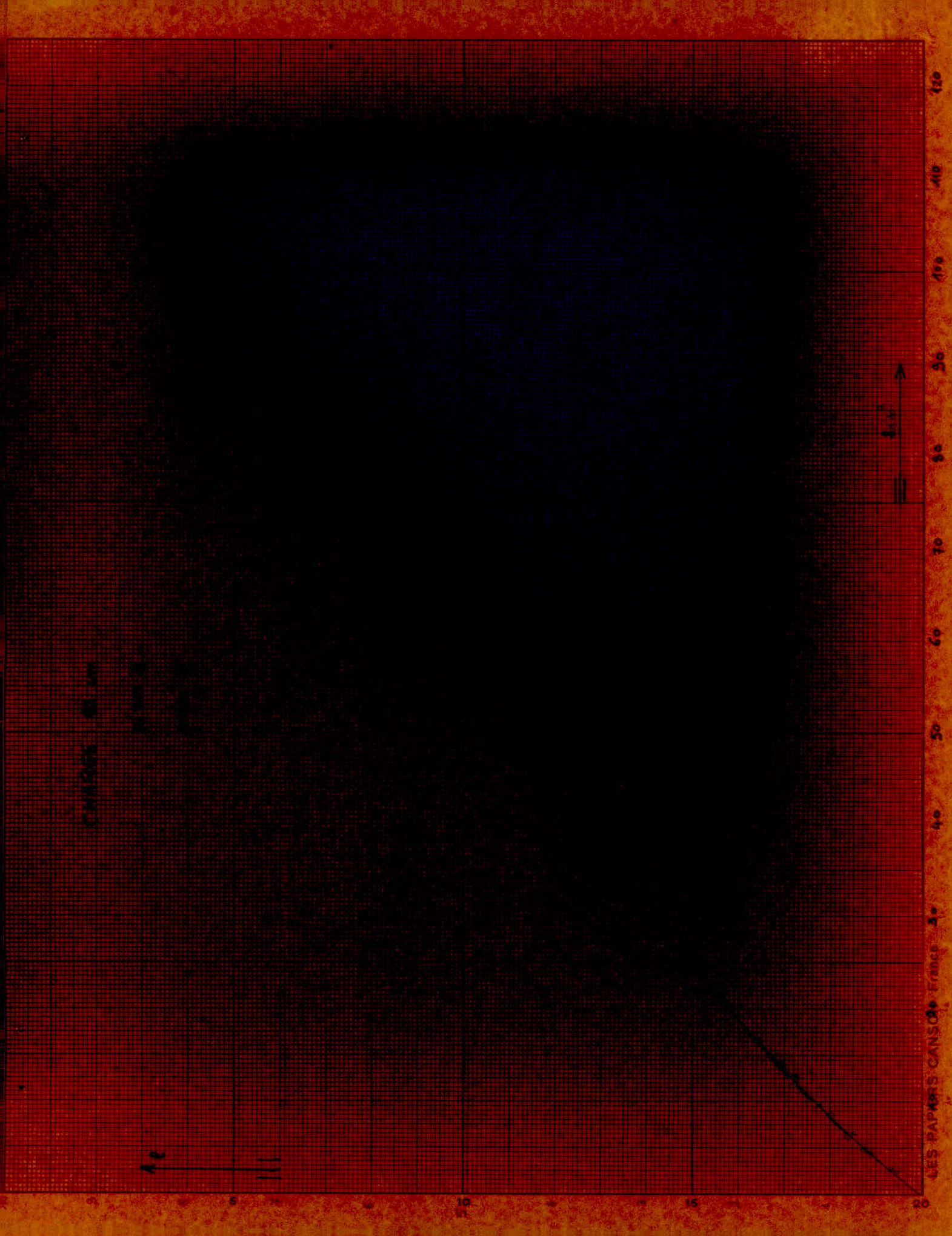
Plan d'eau N° 7

h (mm)	t (s)	v (ℓ)	c_p (Pa)	h (mm)	t (s)	v (ℓ)	c_p (Pa)
131.5	0	0.000	0.0	109.6	7370	5.475	1177.4
130.5	160	0.250	251.6	109.2	7745	5.575	1188.1
130.1	255	0.350	297.7	109.2			
129.7	360	0.450	337.6				
129.0	483	0.625	397.8				
128.3	625	0.800	450.7				
128.0	755	0.875	470.7				
127.5	855	1.000	503.2				
126.8	1020	1.175	545.4				
125.3	1410	1.550	626.4				
124.0	1700	1.875	689.0				
122.9	2025	2.15	737.8				
122.1	2255	2.350	777.4				
121.1	2520	2.600	817.4				
120.1	2840	2.850	849.5				
119.2	3140	3.075	882.4				
118.3	3415	3.300	914.1				
116.2	4150	3.825	984.1				
115.1	4615	4.100	1018.9				
112.0	6154	4.875	1111.0				

Charge: $H = 10 \text{ cm}$

Plan d'eau N°8

h (mm)	t (s)	v (l)	$c.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	v (l)	$c.p$ (Pa)
138.8	0	0.000	0.0	122.5	4270	4.075	971.6
137.8	210	0.250	240.6	122	4470	4.200	986.4
137.5	270	0.325	274.4	120.7	4953	4.525	1023.8
137.0	350	0.450	322.9	120.2	5124	4.650	1039.9
136.6	460	0.550	356.9	119.3	5490	4.875	1062.7
136.2	560	0.650	388.0	118.8	5680	5.000	1076.2
135.8	640	0.750	416.8	118.3	5867	5.125	1089.6
135.1	830	0.925	462.9	118.0	6078	5.200	1097.5
134.3	960	1.125	510.5	116.4	6714	5.600	1139.0
134.0	1085	1.200	527.2	115.5	7237	5.825	1161.60
133.3	1265	1.375	564.4	115.0	7448	5.950	1174.0
132.4	1440	1.600	608.8	114.5	7700	6.075	1186.3
131.5	1.665	1.825	650.2	113.5	8279	6.325	1210.4
130.7	1915	2.025	684.9	111.9	9271	6.725	1248.1
129.5	2230	2.325	733.9	110.7	9980	7.025	1275.7
128.7	2430	2.525	764.8	110.0	10495	7.200	1291.5
127.6	2740	2.800	805.4	109.5	10920	7.325	1302.6
126.5	3070	3.075	844.0	108.9	11405	7.475	1324.7
124.5	3660	3.575	910.0	105.8	14637	8.250	1382.4
124.2	3790	3.650	919.5				



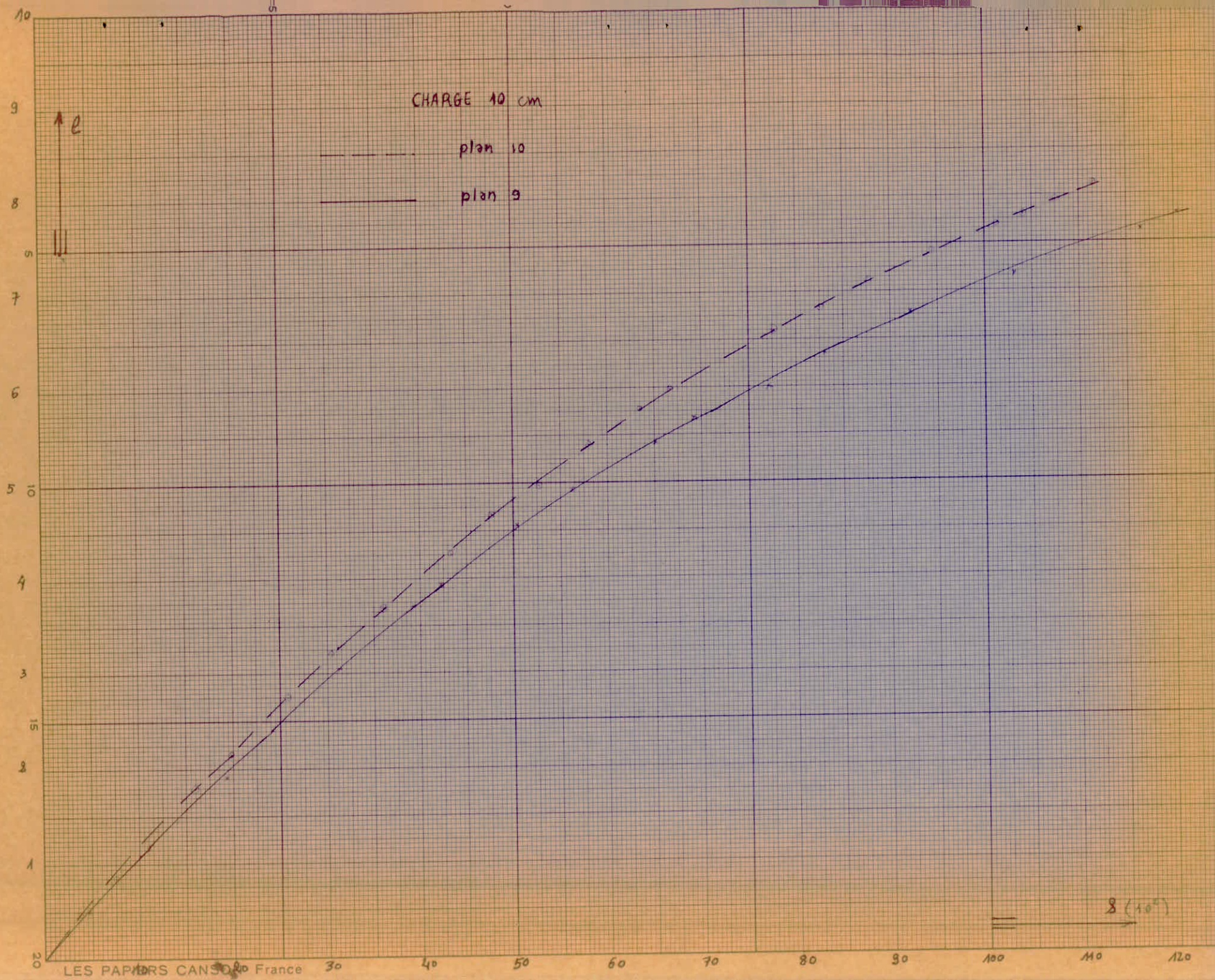
Charge: $H = 10 \text{ cm}$

Plan d'eau N° 9

h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$C.P$ (Pa)
137.7	0	0.000	0.0	118.0	5630	4.925	1015.7
137.0	130	0.175	191.5	116.5	6300	5.300	1053.6
136.6	230	0.275	210.0	116.0	6500	5.425	1066.0
136.1	300	0.400	289.5	115.5	6725	5.550	1078.2
135.7	465	0.500	323.6	115.0	6925	5.675	1090.3
135.0	650	0.675	376.0	114.0	7440	5.925	1114.0
133.0	1097	1.175	496.1	113.7	7710	6.000	1121.0
130.3	1794	1.850	622.5	112.9	8000	6.200	1139.6
130.0	1881	1.925	635.0	112.3	8290	6.350	1193.3
128.8	2180	2.225	682.7	111.3	8870	6.600	1175.8
128.0	2413	2.425	712.7	110.5	9214	6.775	1191.2
127.2	2620	2.625	741.5	109.5	9925	7.050	1215.2
125.5	3122	3.050	799.3	109.0	10315	7.175	1225.9
123.2	3800	3.625	871.4	108.5	10720	7.300	1236.6
122.9	3939	3.700	883.0	107.2	11640	7.625	1263.8
122.4	4060	3.825	895.1	106.7	12020	7.750	1274.1
121.0	4505	4.175	935.1	104.8	13480	8.225	1312.6
122.0	4230	3.925	906.7	105.5	13110	8.0500	1298.5
119.5	5040	4.550	976.2	104.1	14200	8.400	1326.4
119.0	5240	4.675	989.6	103.5	14900	9.550	1338.2

Charge: $H = 10 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 10

h (mm)	t (s)	v (l)	C. P (Pa)	h mm	t (s)	v (l)	C. P (Pa)
141.2	0	0.000	0.0	121.5	5120	4.925	978.3
140.0	220	0.300	241.5	121.2	5270	4.975	985.8
139.3	385	0.475	303.8	120.7	5607	5.125	998.0
138.5	585	0.675	362.2	119.6	5800	5.400	1024.4
137.8	745	0.850	406.4	119.2	5990	5.500	1033.9
137.0	895	1.050	451.7	118.3	6350	5.725	1054.8
136.4	1095	1.200	482.9	118.0	6520	5.800	1061.7
134.8	1449	1.600	557.6	117.5	6675	5.925	1073.5
134.0	1607	1.800	591.4	115.5	7490	6.425	1111.4
133.5	1810	1.925	611.6	114.9	7735	6.575	1130.4
132.6	1988	2.150	646.4	113.9	8255	6.825	1159.7
131.0	2360	2.550	704.0	112.8	8780	7.100	1174.7
130.2	2580	2.750	737.0	112.1	9110	7.275	1189.1
129.5	2767	2.925	754.0	111.5	9440	7.425	1201.2
128.4	3040	3.200	788.6	111.0	9815	7.550	1211.3
127.5	3280	3.425	815.9	110.4	10120	7.700	1223.3
126.5	3842	3.900	845.1	110.0	10400	7.800	1231.2
125.6	3842	3.900	870.6	109.4	10774	7.950	1243.0
124.0	4360	4.300	914.1	108.7	11160	8.125	1256.6
122.5	4180	4.675	953.2				



Charge: $H=12.5$ cm, Plan d'eau N° 1

h (cm.m)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)	h (m.m)	t (s)	V (l)	$C.P$ (Pa)
140.6	0	0.000	0.0	119.5	7435	5.215	1587.6
140.0	180	0.150	267.7	118.8	9220	5.450	1613.7
139.0	304	0.400	437.2	118.3	10420	5.550	1628.5
138.0	495	0.650	557.3	117.7	11950	5.750	1653.9
137.0	650	0.900	658.8				
136.0	881	1.150	741.3				
135.0	1042	1.400	817.9				
134.0	1244	1.650	887.9				
133.0	1580	1.900	952.8				
132.0	1795	2.150	1013.6				
131.0	2086	2.400	1070.6				
130.0	2357	2.650	1125.3				
129.0	2765	2.900	1177.1				
128.0	3102	3.150	1226.8				
127.0	3420	3.400	1274.6				
126.0	3960	3.650	1320.6				
125.0	4455	3.900	1365.1				
124.0	5140	4.150	1408.2				
122.8	5785	4.450	1458.2				
122.0	6555	4.650	1490.6				

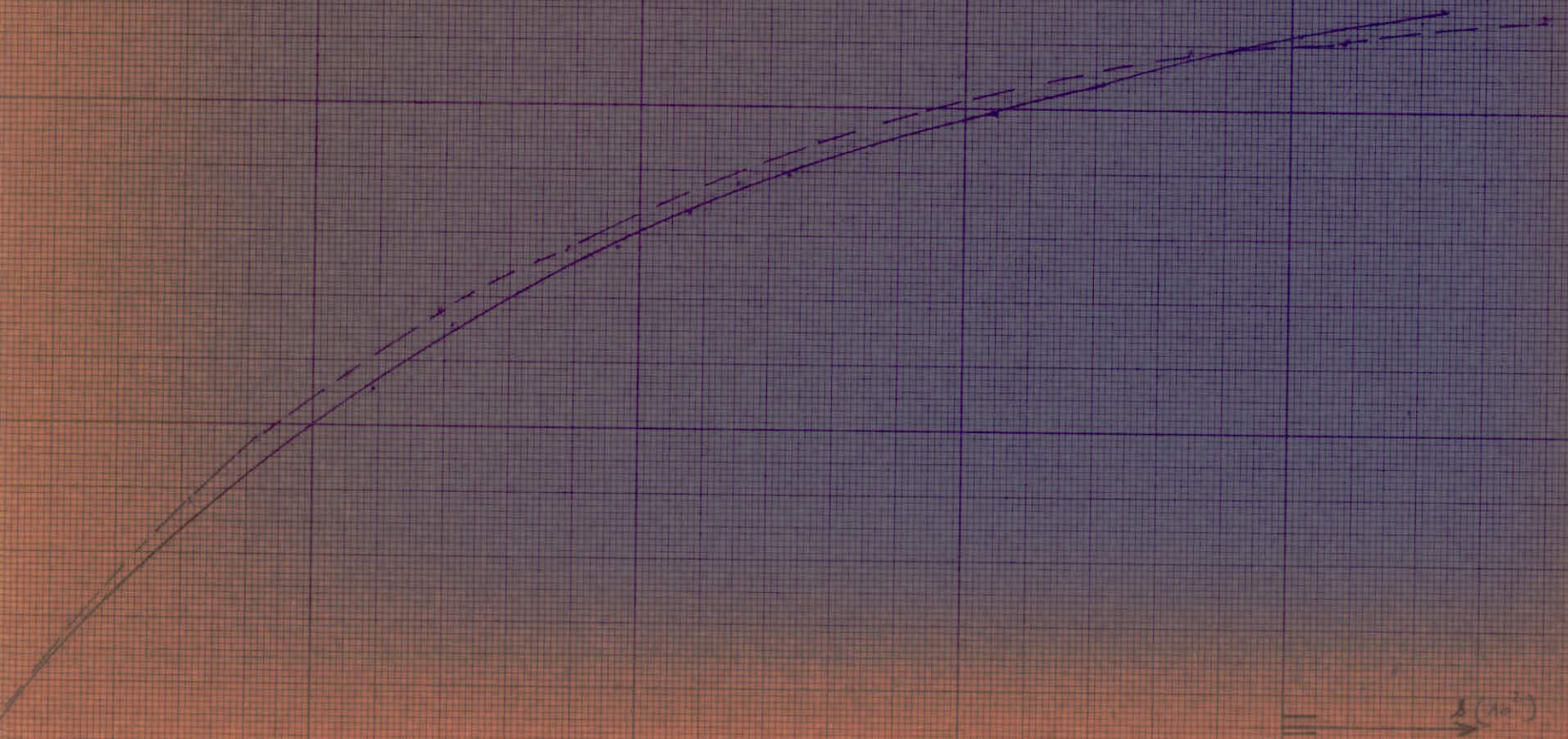
Charge: $H = 12.5$ plan d'eau N° 2

h (mm)	t (s)	v (l)	$c.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	v (l)	$c.p$ (Pa)
138.6	0	0.000	0.0	123.0	4837	3.900	1223.3
138.0	116	0.150	259.5	122.5	5121	4.025	1344.3
137.0	294	0.400	423.8	121.9	5385	4.175	1369.1
136.0	502	0.650	540.2	121.2	5722	4.350	1397.5
135.1	694	0.875	617.5	120.7	6147	4.475	1417.5
134.0	922	1.150	718.6	119.6	6899	4.750	1460.5
133.5	1080	1.275	756.6	118.7	7695	4.975	1494.6
133.0	1198	1.400	792.8	118.3	8122	5.075	1509.5
132.5	1399	1.525	827.5	117.8	8557	5.200	1528.0
131.6	1571	1.750	886.4	117.0	9650	5.400	1557.1
130.8	1884	1.950	937.5	116.3	10077	5.575	1528.1
129.4	2239	2.300	1016.2	115.8	10647	5.700	1599.8
128.5	2523	2.525	1064.8	115.4	11148	5.800	1613.7
127.5	2956	2.775	1146.2	114.3	12565	6.075	1651.6
126.5	3304	3.025	1165.4	113.8	13537	6.200	1668.5
125.5	3614	3.275	1242.6	113.1	15707	6.375	1691.8
125.0	3842	3.400	1235.6	112.8	18530	6.450	1701.8
124.5	4077	3.525	1258.1				
124.0	4323	3.650	1280.2				
123.3	4632	3.825	1340.5				

CHARGE 125 cm

plan 2

plan 1



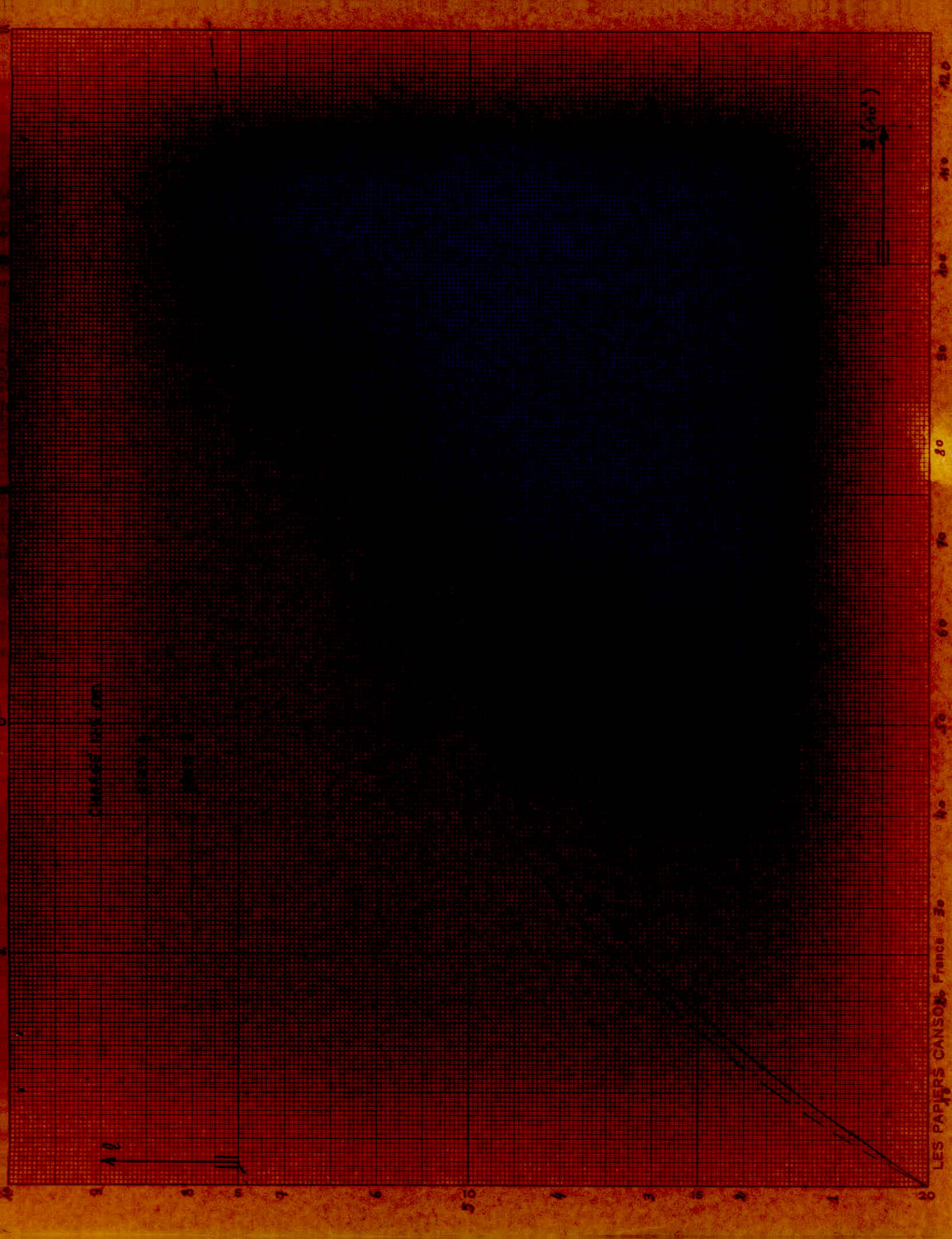
Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 3

h (m)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
134.7	0	0.000	0.0	114.3	5340	5.100	1421.3
134.4	120	0.075	172.4	112.5	5670	5.550	1482.7
133.6	290	0.275	330.1	111.8	6650	5.725	1505.9
132.3	465	0.600	487.5	111.1	6825	5.875	1525.5
131.4	585	0.825	571.7	109.8	8930	6.200	1567.2
130.5	750	1.050	644.9	108.5	9775	6.550	1610.8
130.4	940	1.150	674.9				
128.8	1070	1.475	764.4				
127.5	1270	1.800	844.4				
126.5	1520	2.050	901.1				
125.5	1623	2.300	954.5				
124.3	1983	2.600	1014.8				
123.3	2190	2.850	1062.5				
122.2	2475	3.125	1112.6				
121.2	2760	3.375	1156.3				
120.5	3080	3.550	1185.8				
118.9	3420	3.950	1250.9				
117.7	3800	4.250	1297.5				
116.8	4250	4.475	1331.4				
115.3	4870	4.850	1386.1				

Charge : 12.5

Plan d'eau n° 4

h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$c.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (ℓ)	$c.p$ (Pa)
138.7	0	0.000	0.0	117.4	4725	5.325	1375.1
137.9	170	0.200	266.5	115.5	5490	5.800	1435.1
137.0	255	0.425	388.5	115.0	5790	5.925	1450.5
136.0	395	0.675	489.6	114.0	6010	6.175	1480.8
135.0	530	0.925	573.1	113.1	6710	6.400	1507.5
134.2	685	1.125	632.0	112.5	7050	6.550	1525.1
133.0	915	1.425	711.3	112.0	7450	6.675	1539.5
132.1	1050	1.650	765.4	111.5	7860	6.800	1553.9
131.2	1210	1.875	816.0	110.7	8220	7.000	1576.6
130.0	1420	2.175	878.8	110.0	8855	7.175	1592.2
129.0	1600	2.425	927.9	109.6	9445	7.275	1607.2
128.1	1780	2.650	970.0	109.0	9985	7.425	1623.5
126.5	2155	3.500	1040.7	108.5	10800	7.550	1637.3
125.6	2394	3.275	1078.4	107.7	11505	7.750	1658.9
124.3	2657	3.600	1130.6	107.3	12660	7.850	1669.8
123.6	2800	3.775	1157.8				
122.7	3050	4.000	1191.8				
121.0	3505	4.425	1253.5				
120.0	3857	4.675	1288.5				
119.0	4175	4.925	1322.4				



COURSES (1000 m)

TEMPS (min)

Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 5

h (mm)	t (s)	V (l)	$C.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	$C.p$ (Pa)
142.3	0	0.000	0.0	122.6	3650	4.925	1266.8
141.2	145	0.275	299.4	121.8	3910	5.125	1292.3
140.5	255	0.450	382.9	120.8	4190	5.375	1323.5
140.0	345	0.575	432.9	120.2	4500	5.525	1341.8
139.0	460	0.825	518.5	118.8	4840	5.875	1383.6
138.5	580	0.950	556.4	117.0	5415	6.325	1435.7
137.5	700	1.200	625.3	116.0	6135	6.575	1463.8
136.5	865	1.450	687.4	114.8	6365	6.875	1496.8
135.5	1030	1.700	744.3	113.8	6890	7.125	1523.7
134.3	1210	2.000	807.3	112.8	7380	7.375	1550.2
133.2	1395	2.275	861.0	111.8	8020	7.625	1576.3
132.2	1575	2.525	907.1	111.2	8385	7.775	1591.7
131.2	1750	2.775	950.9	110.7	8760	7.900	1604.5
130.2	1920	3.025	992.8	110.2	9200	8.025	1617.1
129.3	2100	3.250	1029.1	109.5	9665	8.200	1634.7
128.2	2265	3.525	1071.8	108.9	10260	8.350	1649.5
127.7	2405	3.650	1090.6	108.3	12000	8.500	1664.3
126.6	2680	3.925	1130.9	107.7	11505	8.650	1676.5
125.7	2890	4.150	1162.9	107.1	12285	8.800	1693.4
124.8	3120	4.375	1194.0	106.5	13335	8.950	1707.8

Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$

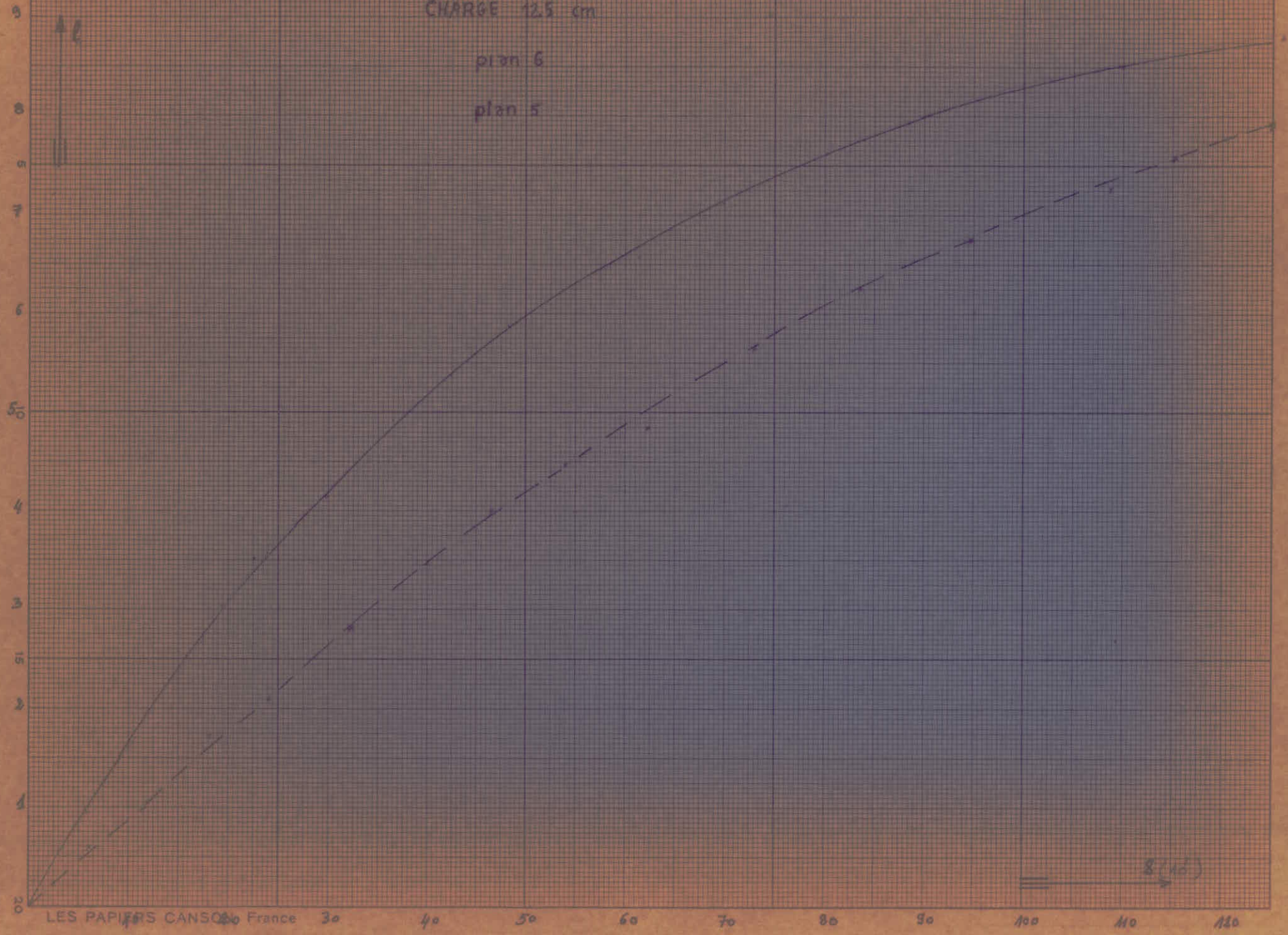
Plan d'eau N° 6

h (mm)	t (s)	V (ℓ)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (ℓ)	C.P (Pa)
140.4	0	0.000	0.0	118.3	6710	5.525	1247.5
139.5	250	0.225	251.4	117.8	7290	5.650	1259.7
139.0	350	0.350	313.5	116.8	7830	5.900	1287.3
138.0	592	0.600	410.5	115.5	8345	6.225	1322.2
137.2	920	0.800	474.0	114.5	8945	6.475	1348.5
136.2	1170	1.050	543.0	113.4	9485	6.750	1376.9
135.1	1505	1.325	610.0	112.0	10190	7.025	1404.6
133.5	1818	1.725	696.0	111.4	10880	7.250	1426.9
132.7	2195	1.925	735.3	110.1	11535	7.575	1458.6
132.0	2410	2.100	768.0	108.8	12575	7.900	1489.5
130.0	2838	2.600	854.5	107.8	13165	8.150	1512.9
129.1	3230	2.825	890.7	106.5	14523	8.475	1542.8
127.0	3537	3.350	970.0	105.8	15260	8.650	1558.6
126.5	4006	3.475	987.9				
125.9	4380	3.625	1009.0				
123.3	5060	4.275	1095.7				
122.5	5400	4.475	1121.1				
122.0	5635	4.600	1136.6				
121.0	6232	4.850	1167.1				
124.4	4650	4.000	1059.9				

CHARGE 125 cm

plan 6

plan 5



LES PAPIERS CANSON France

S. (16)

Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 7

h (mm)	L (Δ)	V (ℓ)	C_p (Pa)	h (m.m)	L (Δ)	V (ℓ)	C_p (Pa)
143.5	0	0.000	0.0	123.5	3280	5.000	1225.2
142.8	85	0.175	210.5	122.0	3600	5.375	1166.6
142.3	185	0.300	275.6	120.8	3855	5.675	1198.7
141.7	255	0.450	337.6	119.8	4140	5.925	1224.8
141.0	335	0.625	397.8	118.6	4430	6.225	1255.5
140.1	480	0.850	443.9	117.6	4720	6.475	1280.4
139.2	590	1.075	521.7	116.4	5050	6.775	1309.7
138.3	720	1.300	573.7	115.3	5390	7.050	1336.1
136.6	960	1.725	660.9	114.2	5755	7.325	1361.9
135.5	1084	2.000	711.6	113.0	6153	7.625	1389.5
134.3	1285	2.300	763.1	112.1	6610	7.850	1409.8
133.3	1465	2.550	803.5	111.2	6920	8.075	1429.9
132.3	1625	2.800	842.0	110.3	7395	8.300	1449.7
131.3	1805	3.050	878.8	109.3	7635	8.550	1471.3
129.3	2145	3.550	948.1	108.0	8210	8.875	1499.1
128.0	2335	3.875	990.5	107.2	8527	9.075	1515.8
127.3	2525	4.050	1012.7	106.5	8958	9.250	1530.4
126.2	2720	4.325	1046.5	105.3	9735	9.555	1555.0
125.4	2895	4.525	1070.4	104.6	9830	9.725	1569.2
124.4	3090	4.775	1099.6	104.1	13225	10.600	1638.3

Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$

Plan d'eau N° 8

h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	C.P (Pa)
136.0	0	0.000	0.0	112.5	3241	5.875	1166.6
134.5	125	0.375	294.7	111.7	3330	6.075	1186.3
133.6	240	0.600	372.8	111.1	3470	6.225	1200.9
132.0	390	1.000	481.3	109.4	3842	6.650	1241.2
131.0	520	1.250	538.1	107.6	4259	7.100	1282.5
130.1	630	1.475	584.5	106.5	4448	7.375	1307.1
129.2	760	1.700	627.5	105.4	4760	7.650	1331.2
128.2	875	1.950	672.1	104.5	4935	7.875	1350.6
127.2	995	2.200	713.9	104.0	5110	8.000	1361.3
126.0	1175	2.500	761.0	103.3	5309	8.175	1376.1
125.2	1245	2.700	790.9	102.5	5485	8.375	1392.9
124.2	1375	2.950	826.7				
122.0	1590	3.500	900.4				
121.5	1752	3.625	916.4				
119.9	1970	4.025	965.6				
118.6	2197	4.350	1003.8				
117.5	2365	4.625	1035.1				
115.7	2639	5.075	1084.3				
114.1	2930	5.475	1226.2				
113.6	3020	5.600	1139.0				

TABLEAU N° 10

Part 1

Part 2

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

110

120

130

140

150

160

170

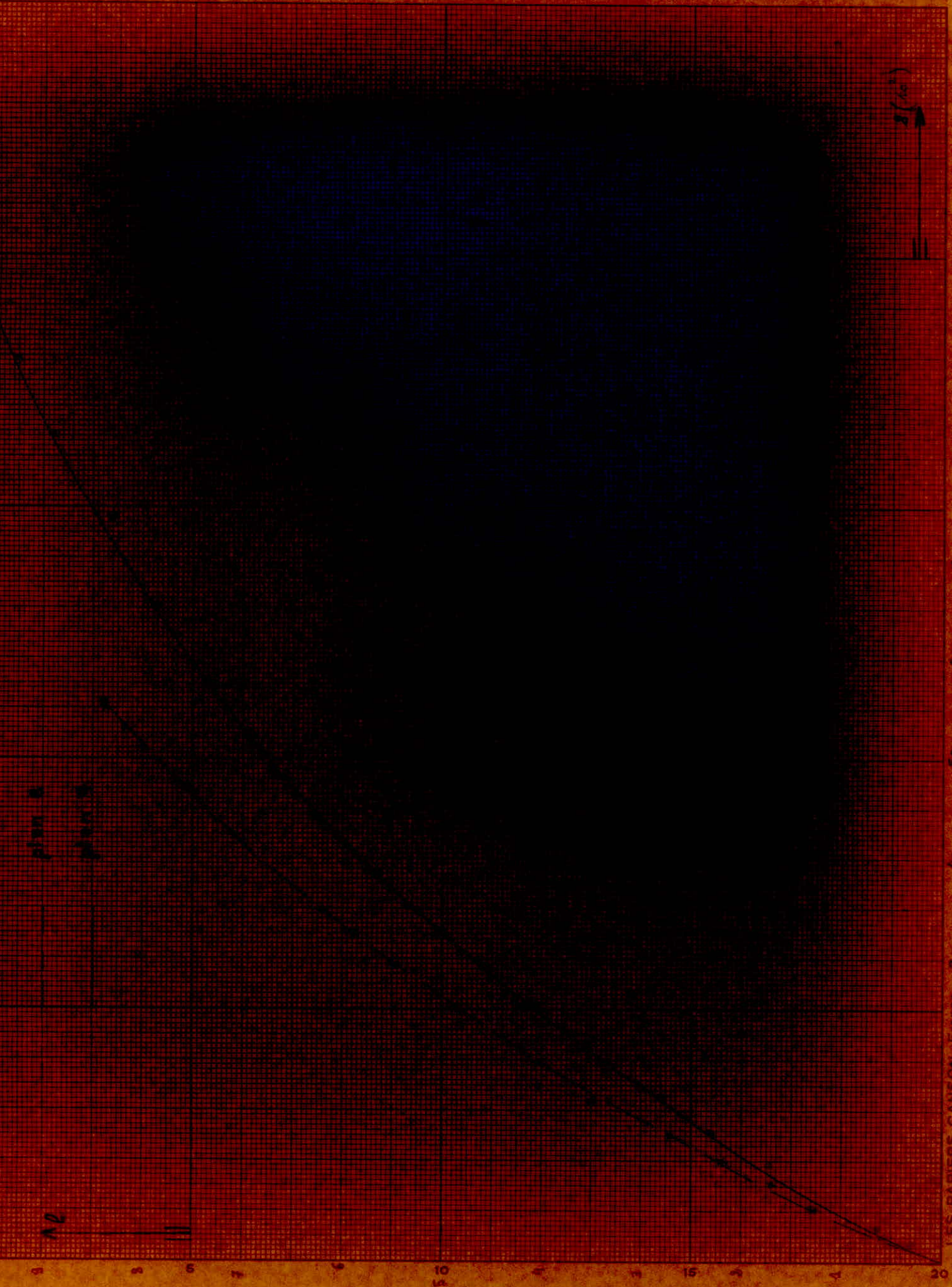
180

190

200

$\beta(\text{cm}^2)$

LES PAPIERS CANSON, France 36 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200



Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 9

h (mm)	t (s)	V (L)	C_p (Pa)	h (mm)	t (s)	V (L)	C_p (Pa)
138.2	0	0.000	0.0	119.7	2260	4.625	984.2
137.0	79	0.300	250.7	118.5	2411	4.925	1015.7
136.4	147	0.450	307.0	117.3	2590	5.225	1046.1
135.5	254	0.675	376.0	116.3	2790	5.475	1070.9
135.0	287	0.800	409.3	115.3	2948	5.725	1095.1
134.0	400	1.050	469.0	114.3	3110	5.975	1118.7
133.0	500	1.300	521.8	113.1	3336	6.275	1146.5
131.6	668	1.650	587.9	111.9	3560	6.575	1173.5
130.7	737	1.875	626.7	110.5	3860	6.925	1204.4
129.6	894	2.150	671.1	109.5	4050	7.175	1225.9
129.3	968	2.225	682.7	108.9	4160	7.325	1238.7
128.2	1074	2.500	723.6	108.2	4290	7.500	1253.4
127.5	1150	2.675	748.5	107.7	4419	7.625	1263.8
126.7	1282	2.875	776.0	106.6	4624	7.900	1286.4
125.3	1437	3.225	821.9	106.0	4790	8.050	1298.5
124.9	1520	3.325	834.5	105.4	4970	8.200	1310.6
123.8	1640	3.600	868.4	104.9	5130	8.325	1320.5
123.0	1770	3.800	892.2	104.3	5240	8.475	1332.4
121.7	1940	4.125	929.5	103.7	5240	8.625	1344.1
120.7	2100	4.375	957.3	103.1	5576	8.775	1355.7

Charge: $H = 12.5 \text{ cm}$ Plan d'eau N° 10

h (mm)	t (s)	V (l)	$c.p$ (Pa)	h (mm)	t (s)	V (l)	$c.p$ (Pa)
139.0	0	0.000	0.0	106.7	4800	8.075	1252.7
136.3	165	0.675	362.2	106.0	4990	8.250	1256.2
134.9	360	1.025	446.3	105.4	5165	8.400	1277.7
132.8	620	1.550	548.8	104.7	5385	8.575	1290.9
130.7	850	2.075	635.0	104.1	5500	8.725	1302.2
129.2	1080	2.450	690.0	103.3	5630	8.925	1317.0
128.3	1220	2.675	721.0	102.7	5775	9.075	1328.0
126.3	1496	3.175	785.5	102.2	5985	9.200	1337.1
124.0	1770	3.750	8.537				
122.3	2045	4.175	900.8				
121.0	2280	4.500	935.2				
119.0	2575	5.000	985.8				
117.5	2765	5.375	1022.1				
116.5	3015	6.625	1045.6				
114.8	3300	6.050	1084.3				
113.3	3596	6.425	1117.4				
122.0	3770	6.750	1145.3				
110.7	4105	7.075	1172.6				
108.8	4430	7.550	1211.3				
107.7	4968	7.825	1233.2				

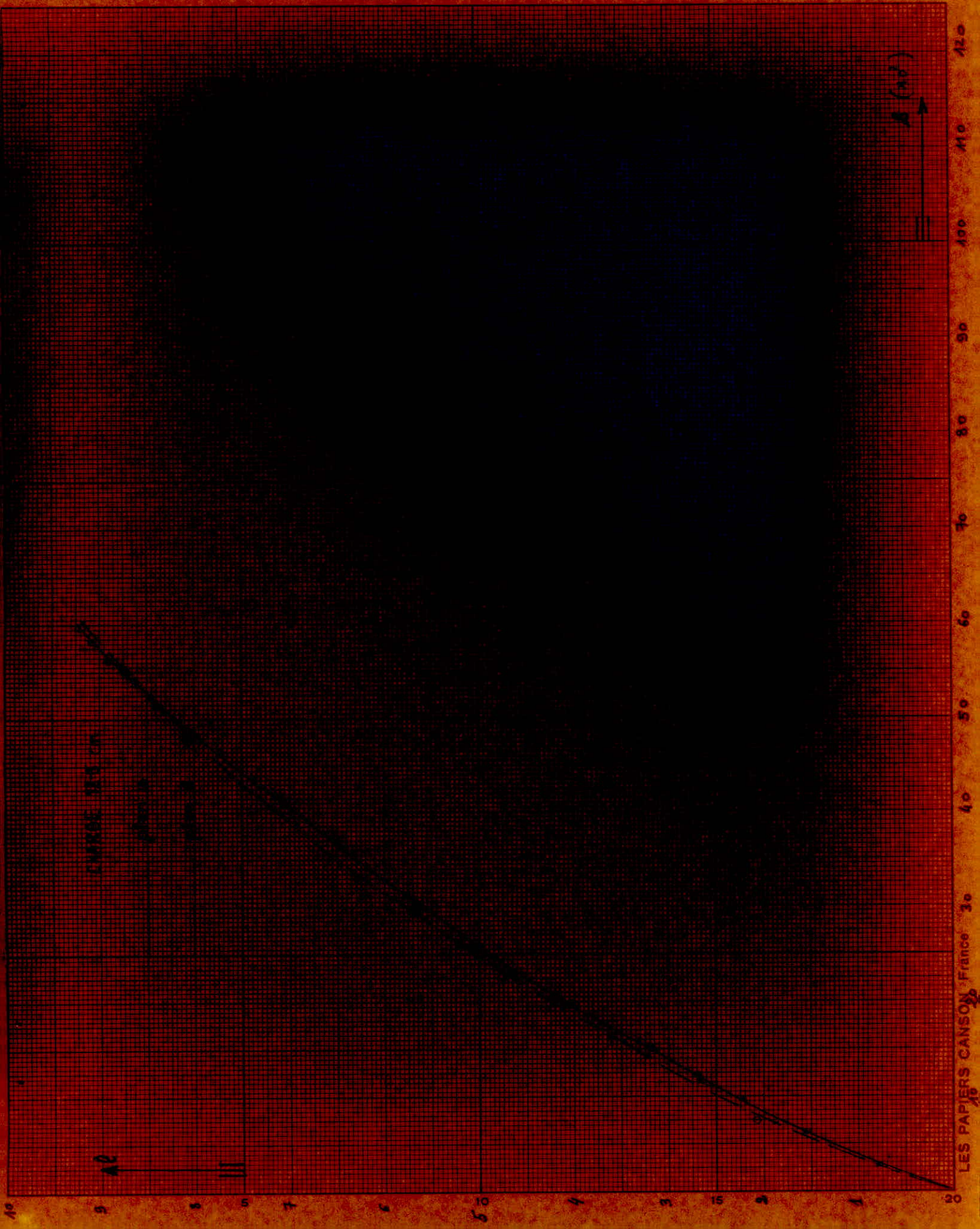


TABLEAU DES
 Valeurs de
 A en fonction
 de d

C) ESSAIS

Pour les expériences ~~qui vont suivre~~ ^{Précédentes}, on s'est fixé, dans la tranche élémentaire de la raie, trois charges constantes de 7,5 cm, 10 cm et 12,5 cm.

Au début de chaque expérience la descente du niveau d'eau dans le vase est rapide car le bassin de la contre pression se trouve vide. Donc la contre pression est nulle, ce qui correspond au débit maximum transité par les tubes capillaires

Pour déterminer ce débit, il suffit dans un laps de temps, de mesurer la variation du niveau d'eau dans le vase de Mariotte lequel est d'ailleurs muni d'un reglet gradué en mm. En effet une variation de $DH = 4$ cm correspond à un volume d'un litre.

Au fur et à mesure que le temps de l'expérience augmente, le bassin de la contre pression tend à se remplir, donc la contre pression va en augmentant jusqu'à sa valeur maximale 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 où nous pouvons dire que notre sol est à 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 récepteur en position correspondant au plan d'eau libre de la raie
- Fermer les vannes du dispositif amortisseur.
- Remplir le vase de Mariotte.
- Obturer le trou de remplissage du vase lorsque celui-ci serait plein.
- Préparer et mettre le chronomètre à zéro.
- Prendre le soin d'avoir, dans la tranche élémentaire de la raie, 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 rétablir la communication entre le bassin récepteur et le collecteur dès que la première bulle d'air pénètre dans le vase de Mariotte.
- Mise en marche du chronomètre instantanément avec le rétablissement de la communication entre le bassin récepteur et la tranche élémentaire de la raie.
- Relever la graduation du plan d'eau libre dans le vase correspondant au temps $t = 0$.

...//...

Ainsi l'expérience commence en relevant la graduation du niveau d'eau dans le vase et le temps y correspondant à celui-ci.

Toutefois, si l'expérience à réaliser est la première d'une nouvelle série, il faut prendre le soin de commencer par régler la position du vase de Mariotte de sorte que l'extrémité inférieure du tube enfermé dans le dispositif amortisseur soit à une hauteur qui correspondrait à la charge souhaitée.

Par suite de ces expériences, tous les résultats ainsi obtenus sont représentés dans des tableaux portant chacun :

- a) la valeur de la charge H dans la tranche élémentaire de la raie
- b) le numéro du plan d'eau relatif à l'angle d'inclinaison α qui détermine la position du bassin de la contre pression.

Les tableaux de résultats de mesures comportent chacun quatre colonnes à savoir

§ La colonne 1 contient les relevés de la variation Dh du liquide dans le vase.

§ La colonne 2 contient les relevés de temps relatifs aux variations Dh .

§ La colonne 3 contient les valeurs de la variation du volume d'eau, dans le temps admis dans le bassin récepteur.

§ La colonne 4 comporte les valeurs de la contre pression en fonction de la hauteur d'eau dans le bassin.

Cette contre pression est calculée par l'expression :

$$C_p = \rho g \sqrt{\frac{v \text{ sur } 2 x}{l}} \quad (I)$$

En effet, dans le souci de gagner le maximum de temps, nous avons programmé l'expression (I) comme suit :

```
LBLA B RCL 00 1/x x RCL 01 = x (RCL 02 x sur) = V x x 9800 = STO 03 R/S
LBL B (RCL hi - RCL h2)  $\cdot$   $\frac{V}{4}$  = X ..001 = ST001 INV SBR.
```

Il apparaît clairement que ce programme se compose de d'un programme principal A et d'un sous-programme B qui permet de calculer la valeur du volume figurant dans l'expression (I)

Ainsi grâce à l'application de ce programme, il suffit d'introduire la valeur de h_2 en STO 11 du niveau d'eau dans le vase de Mariotte et la TI 59 nous affiche le résultat de la contre pression en appuyant sur la touche A.

1 = 0,201 m ——— ST000

...//...

.../...

2 α _____ ST002
h₁ _____ S^oST022
h₂ _____ STO 11
Registres : RCL0I _____ V
RCL 03 _____ cp

l = constante = 0,201 m : c'est la largeur du bassin de la contre pression
(voir schema)

α : étant la valeur de l'angle d'inclinaison (voir tableau ci-après) qui détermine la position du bassin par conséquent il définit le numéro du plan d'eau de la contre pression.

α	45 °	35 °	28 °	24 °	21 ° 30 '	18 °	16 °	14 ° 30 '	13 °	12 °
N° du plan d'eau	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Pour pouvoir nous prononcer sur la perméabilité, nous avons interprété les résultats, ainsi obtenus, par trois flux de courbes de la forme $V = f(t)$ où V représente le volume d'eau qui s'est écoulé, dans le temps et dans les tubes capillaires.

Par analogie nous dirons que c'est le volume d'eau qui serait absorbé par le sol.

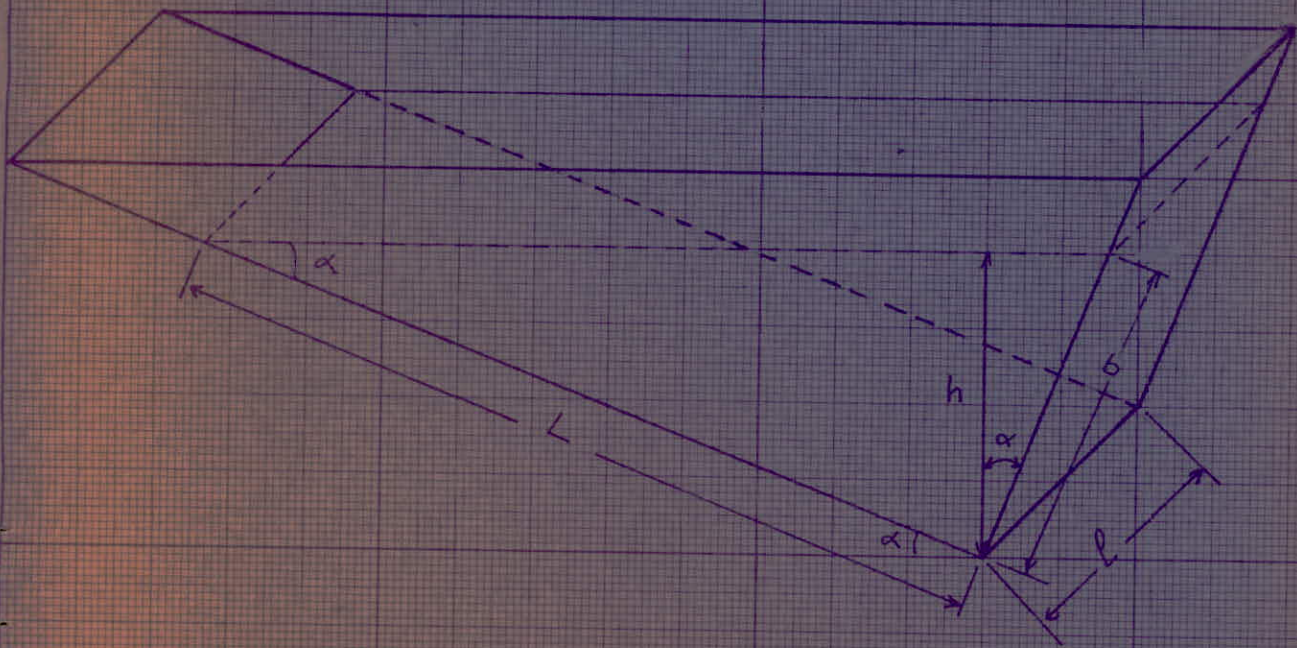
Dans ces flux, il se trouve, que certaines courbes se diffèrent par rapport aux autres par la nature de leur convexité qui est plus ou moins aigue. Et finissent quelquefois par se croiser en un point quelconque du plan.

Ainsi cet état de fait nous a incité à réfléchir davantage quant à une explication exacte d'une telle situation.

Et bien après une profonde réflexion, la réponse que nous formulons est l'influence de la température du milieu ambiant sur le déroulement de l'expérience.

En effet, comme la température agit sur la viscosité, alors cette dernière influe à son tour sur le déroulement de l'expérience. Et que 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 du milieu est plus ou moins basse.

BASSIN DE LA CONTRE PRESSION



Determination de l'expression de la hauteur de la contre pression h .

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

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

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

$$\Rightarrow V = \frac{h^2}{\sin 2\alpha} \cdot \ell \quad \Rightarrow \quad h = [V \cdot \sin 2\alpha / \ell]^{1/2}$$

ESSAIS SUR LE TERRAIN

Pratique

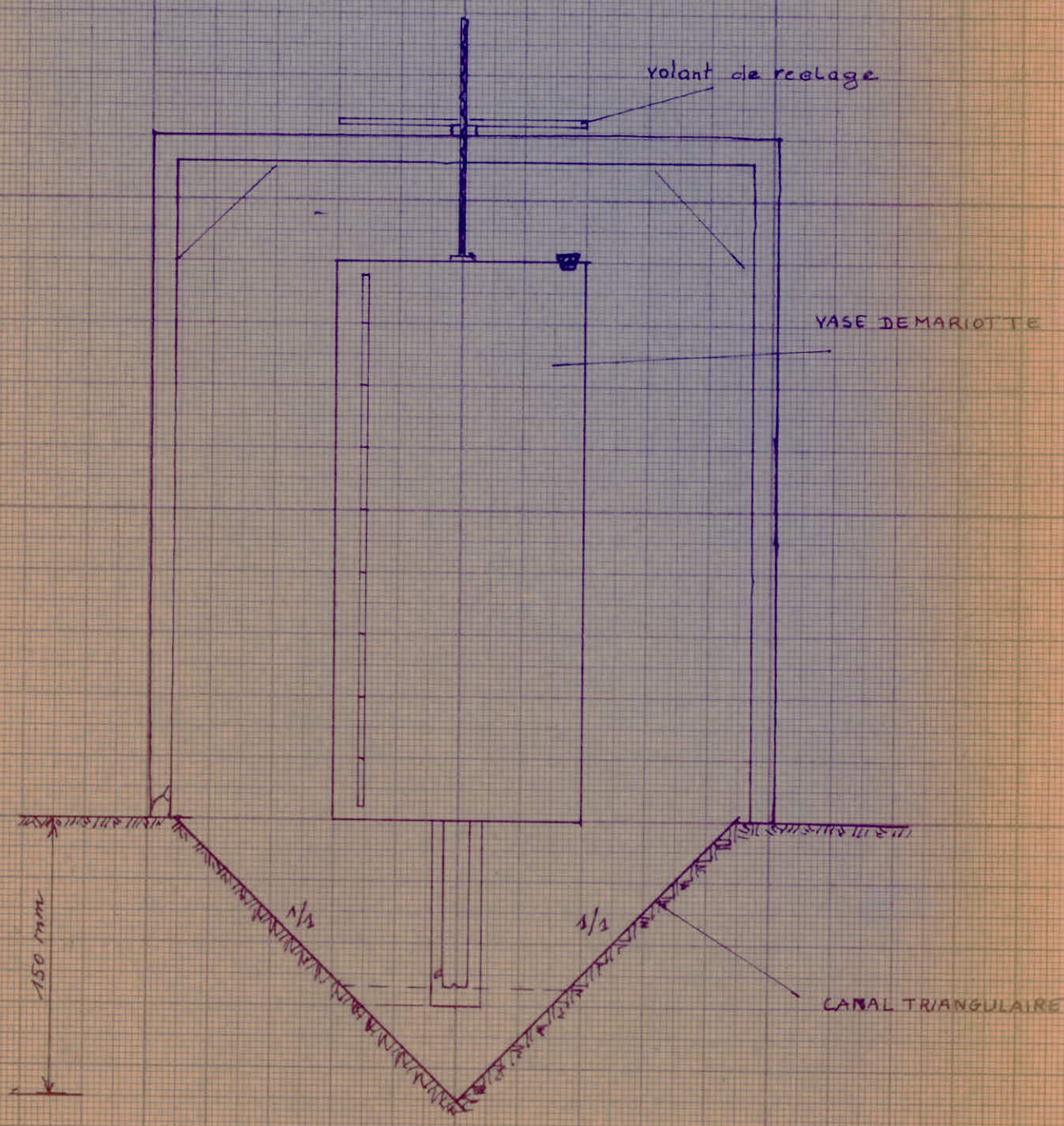
Pour mettre en ~~motique~~ le travail effectué au laboratoire il est indispensable de procéder à les mesures de permeabilité sur le terrain. Les mesures se font dans une tranchée ayant les caractéristiques suivantes :

- Longueur de = 1m
- Profondeur = 0,15 m (VOIR SCHMA).
- Talus = 1/1.

qui définissent la tranche élémentaire de la Raie ceci pour nous placer dans les mêmes conditions que celles du laboratoire, de façon à établir une analogie entre la courbe de la permeabilité 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 le vase, ainsi que le temps qui est correspondant.

Toutefois, dans le souci de connaître, l'allure exacte de la courbe de permeabilité, nous disposons d'un certain nombre d'appareil de MUNIZ que nous placeront aux environs de la raie, afin de nous renseigner davantage sur cette permeabilité (l'appareil de MUNIZ et les caractéristiques sont décrits ultérieurement).

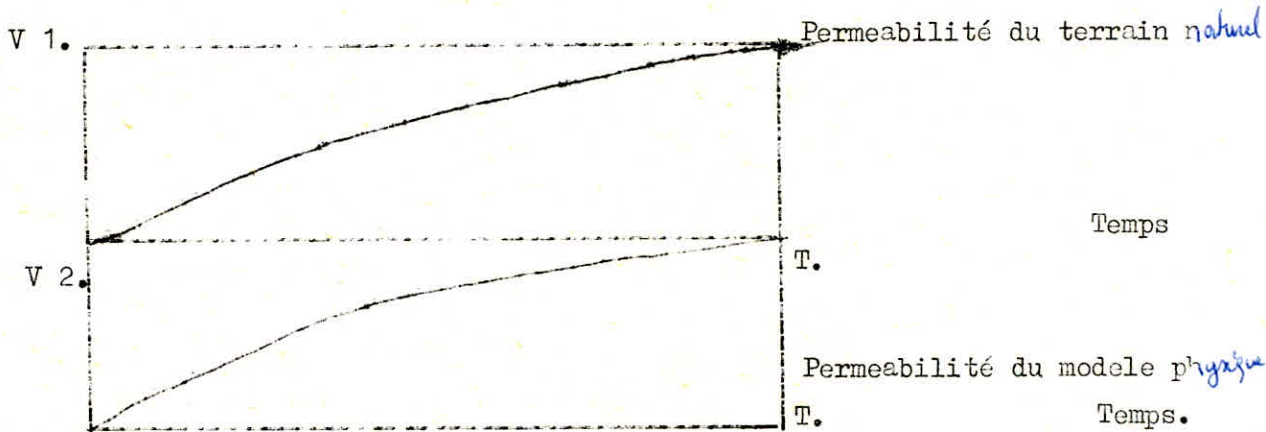
Malheureusement, les conditions atmosphériques étaient très défavorables à la réalisation de ces essais. De ce fait nous nous sommes contentés de nous baser sur les courbes réalisées par Monsieur AHRIZ dans son étude antérieure.



DISPOSITIF DE MESURE DE LA
PERMEABILITE SUR TERRAIN

COMPARAISON DES RESULTATS

En disposant du graphe representant la permeabilite du terrain naturel nous essayons de choisir une courbe du flux la plus rapprochee de celle du terrain de maniere a pouvoir determiner l'intervalle entre les vases de que nous dev installer le long d'une raie, afin d'assurer une Irrigation efficace et souveraine



Lorsque le choix s'est effectue, en connaissant le Temps necessaire pour une Irrigation, nous relevons en ce sens les valeurs V1 et V2 des graphes ci-dessus correspondant justement a ce temps T.

Dans ce cas $V1/V2$ nous donne l'interval exacte a respecter entre deux vases de Mariotte successifs

EXEMPLE :

$$V2 = 50 \text{ l} \text{-----} T.$$

$$V1 = 45 \text{ l} \text{-----} T.$$

Pour un meme temps le rapport

$$V2 = \frac{50}{45} = 1,1$$

$$V1 \quad 45$$

Ceci veut dire que nous devons placer un appareil tous les 1,1 m qui maintiendra la charge voulue dans la raie.

Si par contre, les deux courbes sont identiques par consequent $V1 = V2$ pour un temps t donne le rapport $V1/V2 = 1$ ce qui conduit a dire que nous devons 1 appareil sur chaque metre de la raie.

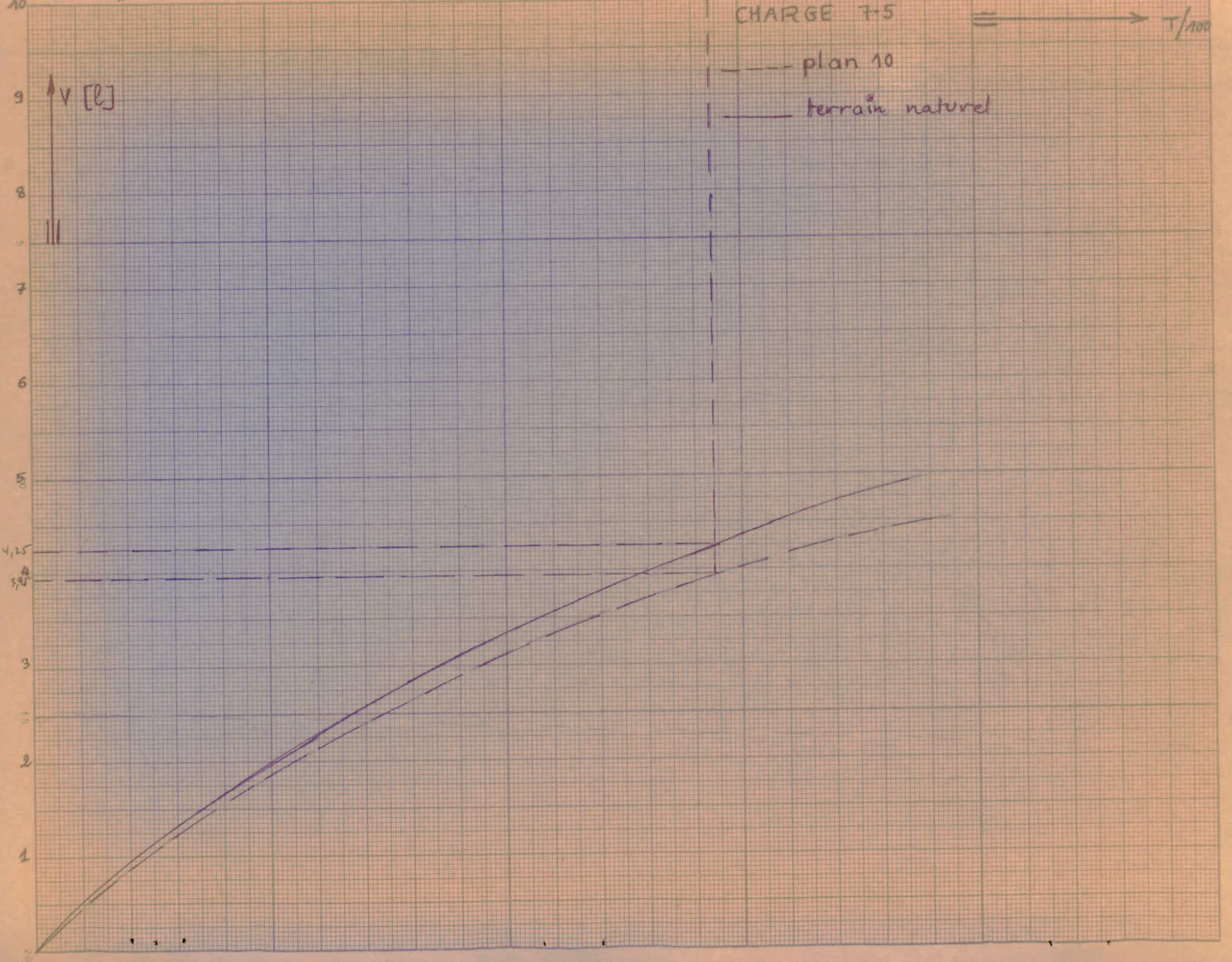
CHARGE 7-5

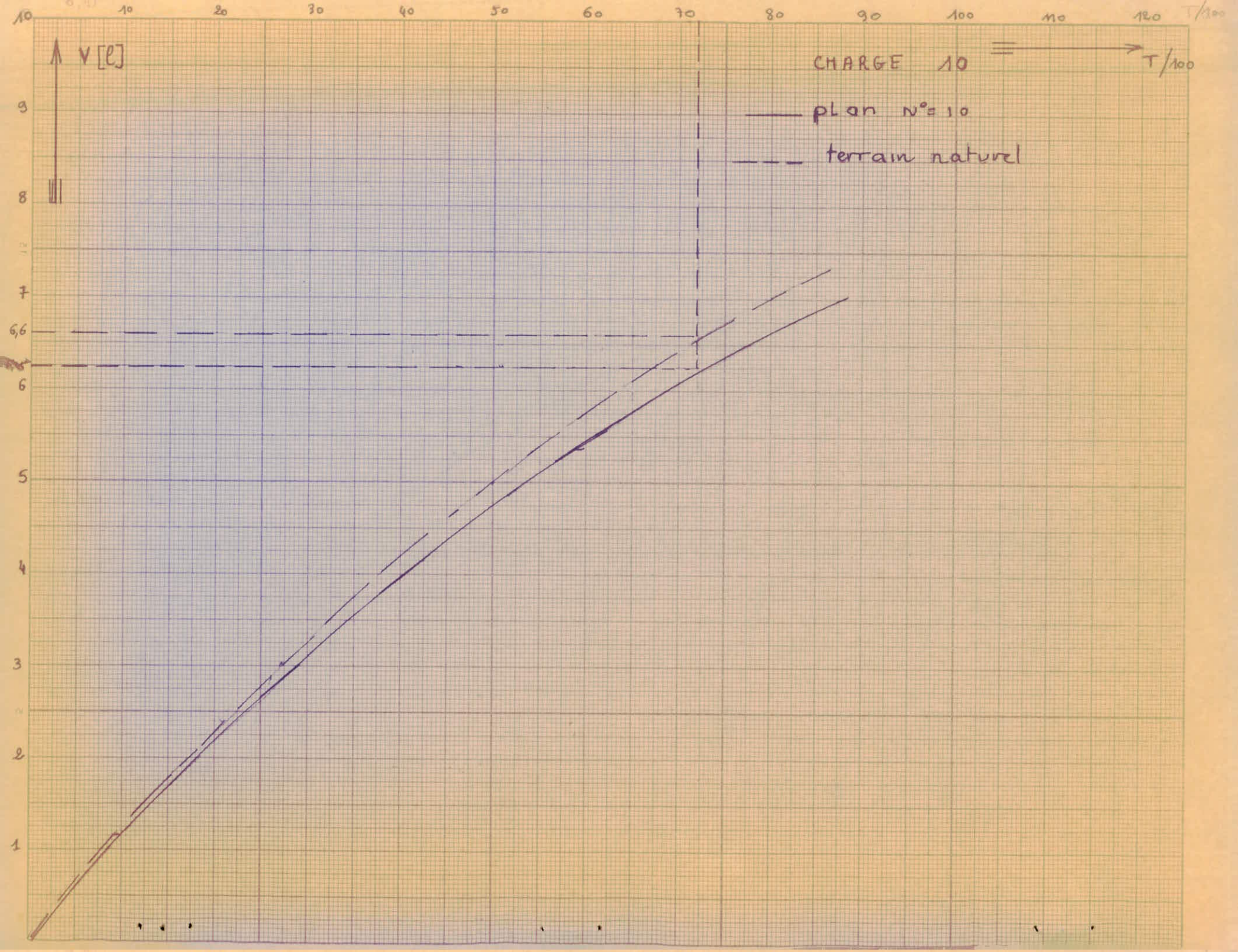
$\tau/100$

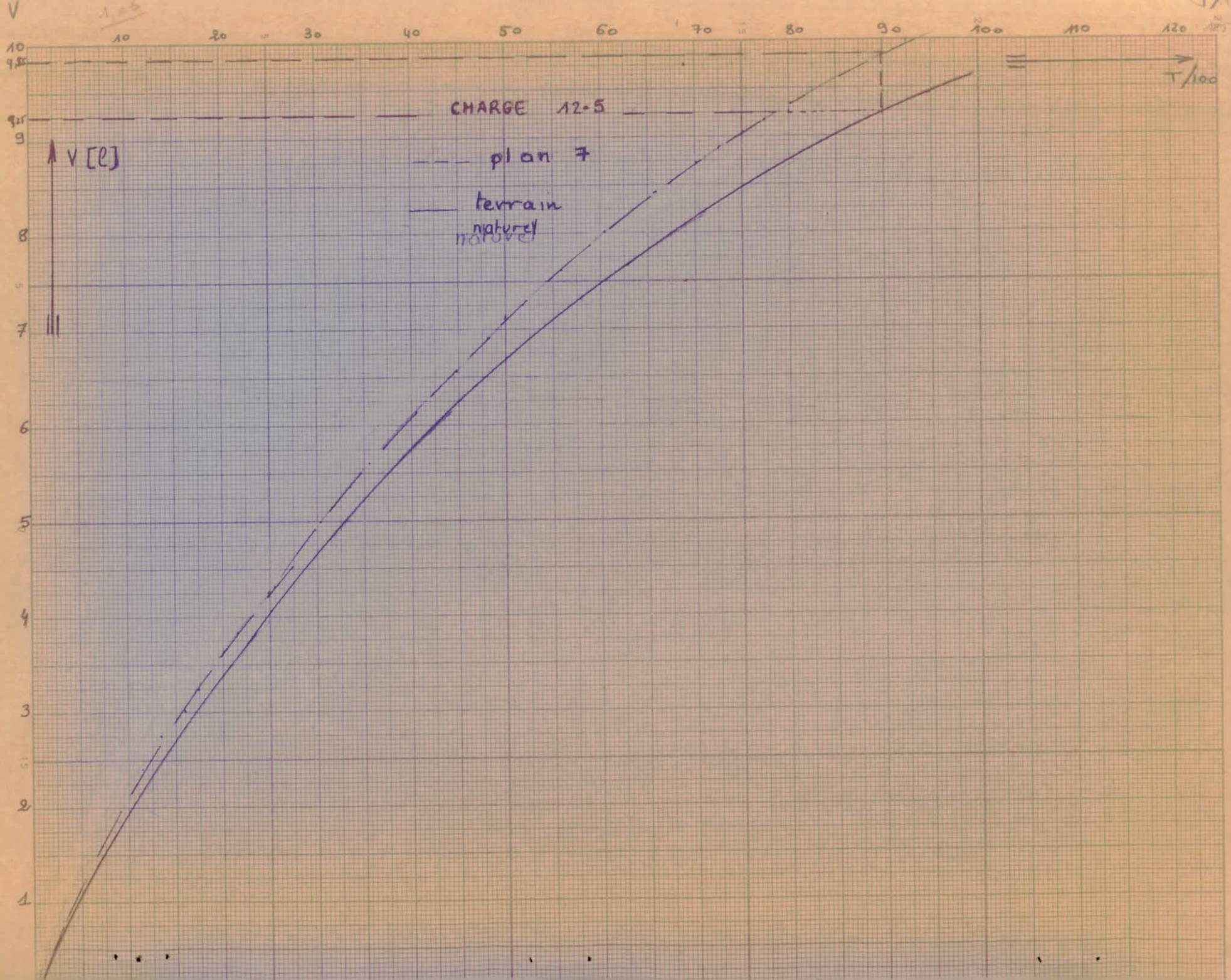
$v [R]$

plan 10

terrain naturel







Resultats des essais.

* La charge dans la raie d'irrigation est fixée à $H = 12,5 \text{ cm}$
temps d'irrigation est $t = 9000 \text{ s}$

$V_1 =$ volume débité par le modèle physique : $V_1 = 9,85 \text{ l}$

$V = 9,25 \text{ l}$: volume infiltré dans le sol.

$$\frac{V_1}{V} = \frac{9,85}{9,25} = 1,06$$

c.à.d, nous devons placer un appareil tous les 106 cm

* La charge dans la raie d'irrigation est fixée à $H = 10 \text{ cm}$

Temps d'irrigation $t = 7200 \text{ s}$

$V_1 = 6,5 \text{ l}$ = volume débité par le modèle physique

$V = 6,6 \text{ l}$ - volume infiltré dans le sol

$$\frac{V_1}{V} = \frac{6,5}{6,6} = 0,95 \quad \Rightarrow \quad \text{nous devons installer un}$$

vase de mariotte tous les 95 cm

* La charge dans la raie est fixée à $H = 7,5 \text{ cm}$

Temps d'irrigation $t = 7200 \text{ s}$

$$\frac{V_1}{V} = \frac{3,95}{4,25} = 0,93 \quad \Rightarrow \quad \text{l'installation d'un vase tous les 93 cm}$$

Pour déterminer le nombre d'appareils à installer le long d'une raie d'irrigation, il suffit de trouver le rapport entre la longueur de cette dernière et les distances trouvées précédemment.

APPAREIL DE MVTZ

C'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 fesseuses, ensuite on verse de l'eau dans le cylindre.

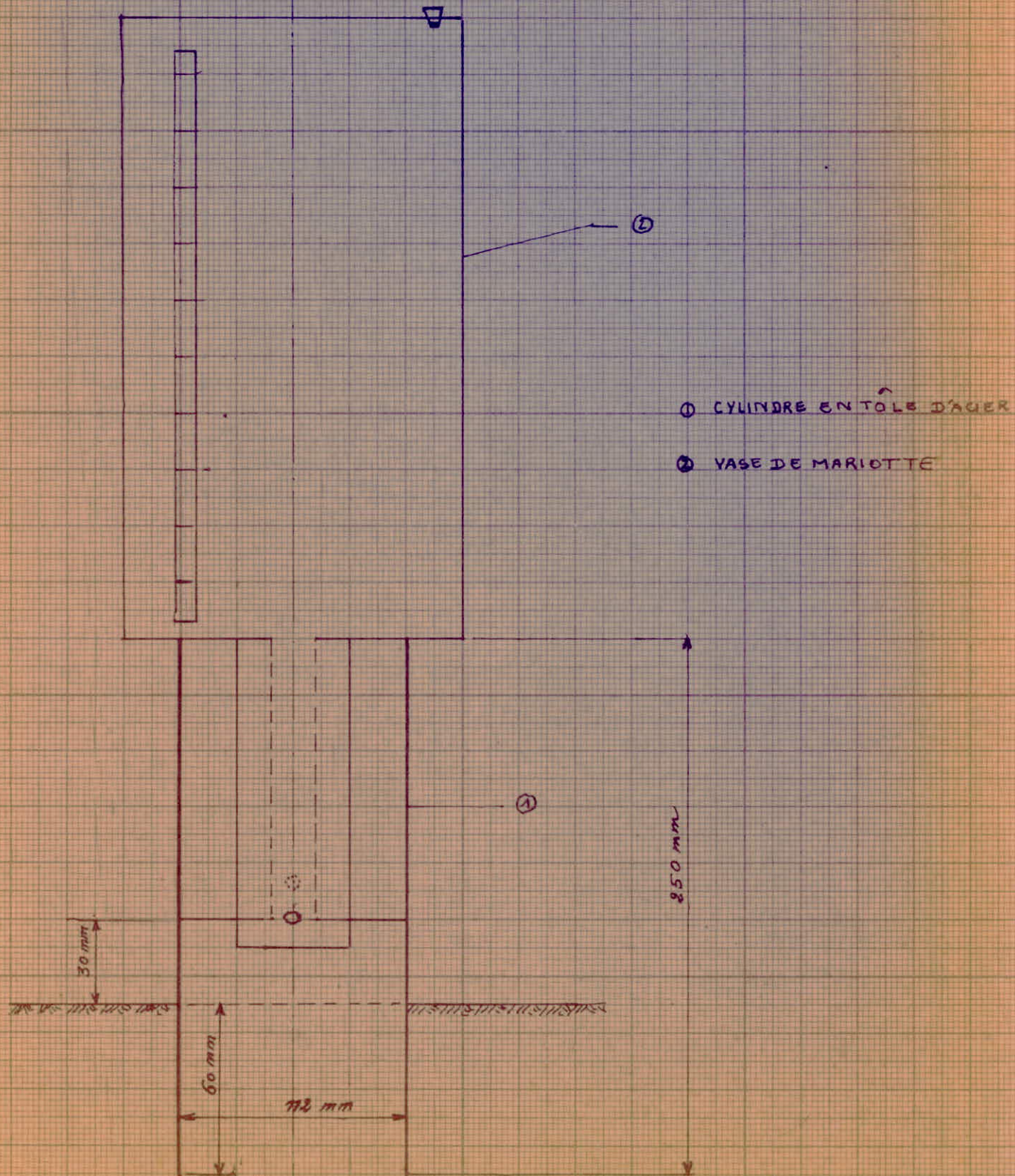
Pour maintenir la charge constante et égale à 0,03 m, nous utiliserons un vase de Mariot amélioré par Mr LAPRAY, d'une capacité de 5l ce vase surmontera le tube d'acier et servira de flacon jaugeur dans le fonctionnement est déjà expliqué.

Il nous renseignera ^{sur} ~~du~~ volume d'eau qui s'écoulera en fonction du temps. Grâce aux dimensions de l'appareil, chaque litre d'eau perdu par le vase de Mariot ~~te~~ correspond à 0,10 m de hauteur infiltrée.

Cet appareil sera d'une utilité appréciable pour l'agriculture en nous donnant les courbes de perméabilité qui nous illustre l'allure du phénomène.

^{les} Courbes de perméabilité des sol déterminées seront utilisées et comparées par la suite aux courbes obtenues dans le laboratoire.

APPAREIL DE MUNTZ



INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE L'EAU SUR L'ÉCOULEMENT

Après constatation du croisement des courbes, nous avons été ramené à réfléchir profondément, quant aux causes de ce phénomène.

En effet, après consultation de M^e LAPRAY, nous avons déduit que l'unique cause de ce phénomène est l'influence de la température du milieu ambiant, qui agit sur la viscosité de l'eau, car, lors des essais, la température du milieu a baissé considérablement par suite du changement des conditions atmosphériques.

Ainsi, pour mieux mettre en évidence cette influence, nous avons jugé intéressant d'effectuer un essai avec une eau glacée, dont nous présentons les résultats ci-dessous lesquels confirment avec efficacité notre hypothèse de départ.

Ainsi, avec cette confirmation de l'influence de la température de l'eau sur l'écoulement, nous pouvons maintenant régler à volonté l'allure des courbes de notre modèle physique.

Influence de la température de l'eau sur l'écoulement
 Résultats de l'essai sur modèle physique

v (l)	t (s)	v (l)	t (s)	v (l)	t (s)
0.650	505	3.475	3875	4.825	7743
1.250	1020	3.725	4305	4.925	8355
1.505	1250	3.905	4770	5.075	9040
1.825	1570	4.075	5220	5.275	9730
2.210	1899	4.225	5670	5.425	10450
2.505	2350	4.425	6200	5.475	10925
2.875	2760	4.575	6750	5.575	11850
3.325	3430	4.650	7235		

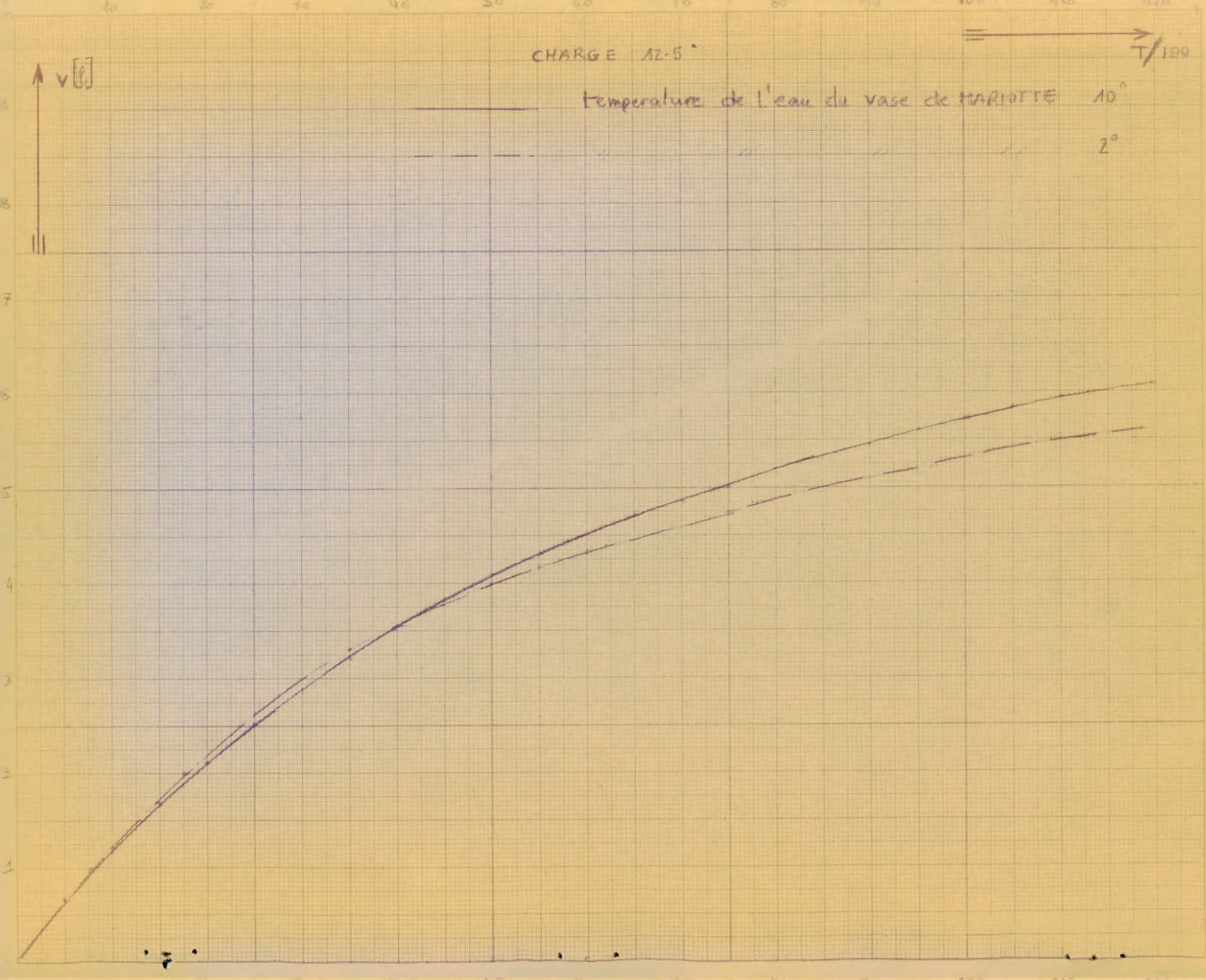
CHARGE 12.5

$\frac{T}{100}$

Température de l'eau du vase de MARIOTTE 10°

2°

$v [l]$



CONCLUSION

Par la présente étude, nous venons de faire un modeste pas en avant dans le domaine de l'irrigation par raie. En ce sens que la détermination des paramètres d'irrigation au laboratoire est désormais permise, grâce à la mise au point du modèle physique que nous venons d'exposer précédemment et qui du même coup nous permet la réalisation d'une gamme appréciable d'essais relatifs à une importante variété de sols.

Cet appareillage ainsi créé, nous permet un réglage à volonté de manière que les caractéristiques soient identiques à celles que nous pouvons enregistrer dans la nature. Et cela à une cadence d'un essai par heure, alors que les essais dans la nature exigeaient une cadence d'un essai tous les trois mois et seulement pendant la saison sèche d'Avril à Octobre.

En outre, par cette présente thèse, nous exposons une méthode nous 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 égales distances les uns des autres sur tout le long de la raie d'irrigation.

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

À la lumière des résultats obtenus, nous émettons le vœux d'approfondir les recherches dans cette direction.

