

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

3/78

Biblio  
2ex

UNIVERSITÉ D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

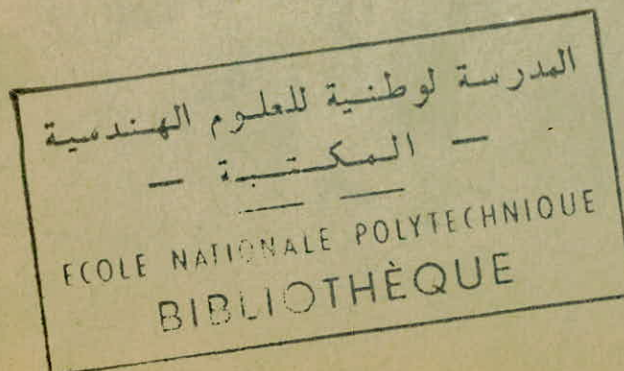
Département Génie Chimique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Sujet : PROFIL DE PRESSION LE LONG D'UNE  
COLONNE A TRANSPORT PNEUMATIQUE

Proposé par : K. ALIA  
Maitre Assistante

Etudié par : F. BENTAHAR  
F. IDDIR



Année Universitaire : 1977 . 1978



- Remerciements -

- Qu'il nous soit permis de renouveler nos vifs remerciements à notre promotrice Mademoiselle K. **ALLA** pour sa bienveillante attention lors de l'élaboration de ce projet.
- Nos remerciements s'adressent aussi à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.
- Que tous ceux qui ont participé de près comme de loin à notre travail, puissent trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

Objet du sujet

000

Notre travail consiste à déterminer un modèle mathématique rendant compte du profil de pression dans un tube où circulent des billes de verre poussées par un gaz (air).

L'alimentation se faisant par un lit fluidisé, nous avons jugé nécessaire d'étudier la fluidisation de ces particules dans l'unité E.I.V.S.

Notre travail portera donc aussi bien sur la fluidisation que sur le transport pneumatique des billes de verre de diamètre :

+ 40 $\mu$  - 70  $\mu$  +  
+ 70 $\mu$  - 110  $\mu$  +  
+ 90 $\mu$  - 150  $\mu$  +  
+ 150 $\mu$  - 250  $\mu$  +  
+ 300 $\mu$  - 400  $\mu$  +

Le transport pneumatique des matériaux granulaires était surtout utilisé pour le déplacement des céréales, du ciment, du charbon etc...

Actuellement, il connaît un nouvel essor aussi bien dans l'industrie chimique que pétrochimique et, notamment dans les procédés mettant en jeu des granulés solides et des réactions gazeuses.

Mais ces dernières années, plusieurs auteurs se sont penchés sur un nouveau procédé qui est ~~le réacteur catalytique à lit transporté~~, qui présente plusieurs avantages :

- Facilité de régénération du catalyseur dans un réacteur conçu uniquement pour cette opération.
- Remplacement facile du catalyseur pendant la marche de l'unité.
- Le réglage de la température rendu plus souple le catalyseur peut être chauffé ou refroidi avant introduction dans le réacteur.

Nous pouvons distinguer deux types de transport pneumatique :

- Le transport pneumatique à faible concentration de solide
- Le transport pneumatique à forte concentration de solide

Les facteurs les plus étudiés en transport pneumatique sont :

- La vitesse relative  $U_R = U_c - U_D$ 
  - $U_c$  : Vitesse de la phase continue (gaz)
  - $U_D$  : Vitesse de la phase dispersée (billes de verre)
- Le coefficient de traînée  $C_{D_{aux}}$
- Les pertes de charge dues effets électrostatiques.

Généralement, il est plus intéressant de déterminer la perte de charge globale ou le profil de pression le long de la colonne de transport de façon à pouvoir optimiser l'énergie consommée lors d'un transport pneumatique

## I GENERALITES

L'alimentation de la colonne de transport étant un lit fluidisé, il est important de donner quelques notions concernant la fluidisation et ce, avant de passer au transport pneumatique.

### I. 1. La fluidisation

#### I. 1. 1. Définition

La fluidisation est le procédé par lequel de fines particules solides sont maintenues en suspension dense à l'intérieur d'un courant fluide ascendant.

La fluidisation est en fait l'état intermédiaire entre le lit fixe et le transport de particules.

La couche obtenue est le siège de mouvements à la fois rapides et désordonnés qui rappellent grossièrement l'agitation des bulles de vapeur au sein d'une masse liquide en ébullition.

Il existe deux types de fluidisation :

- La fluidisation homogène.
- La fluidisation hétérogène.

Dans ce qui suit, nous nous limiterons au cas de la fluidisation hétérogène.

#### I. 1. 2. Description générale de la fluidisation (2)

Soit un matériau solide constitué de fines particules sur une hauteur  $Z_0$ , reposant sur une plaque poreuse à travers laquelle circule un courant fluide ascendant.

- pour un faible débit d'air, la masse solide conserve son aspect compact.

$Z_0$  est constant : On a donc un lit fixe.

A la traversée de la couche, l'air subit une chute de pression  $P$  due :

- Aux frottements sur les parois du récipient.
- Aux frottements sur la surface des grains.
- Aux sinuosités qu'impose à chaque filet gazeux, la présence du solide.

Au fur et à mesure que l'on augmente le débit l'air, le lit se gonfle et ce, jusqu'à atteindre une hauteur ( $Z_{mf}$ ) les particules restent toujours immobiles. Cet état du lit est appelé "Seuil minimal de fluidisation". Nous avons alors une nouvelle valeur du vide ( $\epsilon_{mf}$ ) - La perte de charge augmente sensiblement et devient égale à ( $\Delta P_{mf}$ )

Si l'on continue à augmenter le débit d'air, le lit tout entier se met alors en mouvement à la manière d'un liquide qui bout. C'est ce qu'on appelle la fluidisation tranquille en phase dense. l'état du lit est pseudo-fluide.

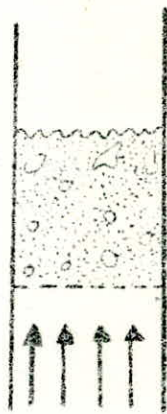
Il apparaît alors des rides à la surface libre du lit dues aux vibrations provoquées sur la paroi. La perte de charge ( $\Delta P_{mf}$ ) reste invariable.

Un nouvel accroissement du débit d'air modifie littéralement le phénomène; on observe alors :

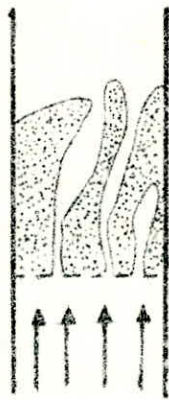
- Soit le pistonnage ou formation de poches d'air qui occupent toute la section et soulèvent le lit qui devient très hétérogène.
- Soit le renardage ou passage préférentiels de l'air à travers le lit.

pour de grands débits d'air, nous assistons à l'entraînement des particules à l'extérieur du lit ou transport des particules en phase diluée. (Voir fig.1)

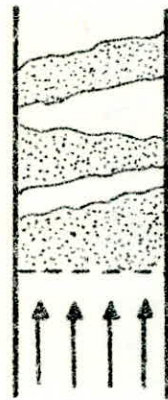
# DIVERS ASPECTS DE LA FLUIDISATION [6]



Bullage



Renardage



Pistonnage



Bullage Turbulent

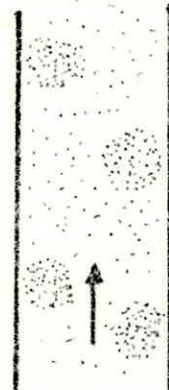
## REGIMES D'ÉCOULEMENT EN [1] TRANSPORT PNEUMATIQUE VERTICAL



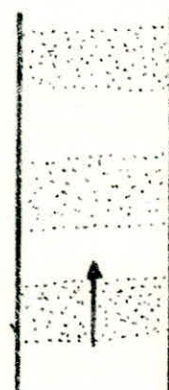
(a)



(b)



(c)



(d)

*Fig 1*

## I.2. Le transport pneumatique

Soit un système de transport pneumatique constitué :

- d'une colonne munie d'un dispositif permettant l'introduction des particules à l'entrée et d'un séparateur à la sortie.

Cette colonne peut être en position horizontale, inclinée ou verticale.

L'air est aspiré pour un transport horizontal et soufflé pour un transport vertical.

### I.2.1. Les différents types de transport pneumatique (2)

Dans les trois cas cités plus haut, le débit d'air est réglé initialement à une valeur assez élevée pour permettre la circulation des particules introduites.

En maintenant le débit de solide  $G_D$  (Kg/ Sec.) constant, on réduit la concentration des particules solide dans le courant transporteur.

On observe alors une diminution de la perte de charge jusqu'au moment où le débit devient **insuffisant**.

- En transport vertical, les particules ne sont plus véhiculées mais s'accumulent à la base du transporteur où elles se comportent alors comme un lit fluidisé avec pistonage.

- En transport incliné, les particules s'agglomèrent sous forme de dunes sur la paroi inférieure, et au fur et à mesure que le débit d'air diminue, celles-ci augmentent de volume et réduisent la section de passage. Cela entraînera alors un bouchage.

- En transport horizontal, les particules solides s'accumulent dans la partie inférieure du tube pour former des dunes ce qui réduit la section de passage et accroît la vitesse de l'air qui continue à véhiculer quelques particules avant le bouchage de la colonne.

Ce point critique, appelé point de transition est caractérisé dans les cas par une brusque augmentation de la perte de charge correspondant la vitesse minimale de transport.

Ces résultats ont été traduits par ZENZ sur un diagramme où il porte la perte de charge en fonction de la vitesse de l'air pour divers débits de particules. ( Voir fig. 2. )

Sur la figure (2). nous remarquons pour des vitesses de l'air nettement supérieures à  $U_m$ , la perte de charge croît légèrement avec le débit de particules. Cette perte de charge reste dans le même ordre de grandeur que la

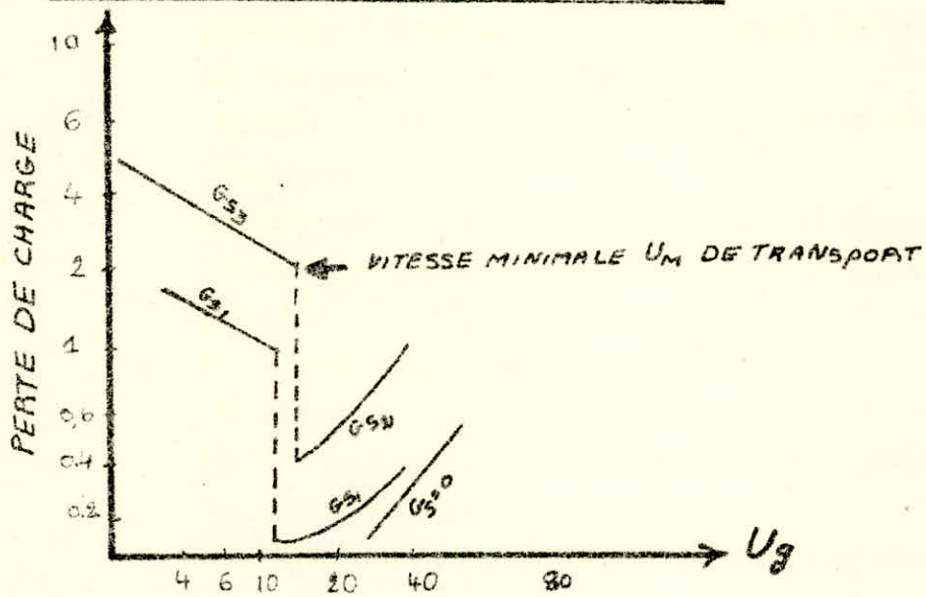
$\Delta P$  relatif. à la tuyauterie où ne circule que l'air.

- On constate que  $U_m$  est peu influencé par le débit de particules  $G_D$  mais par contre le diamètre a une incidence non négligeable. (2)



# PERTE DE CHARGE EN FONCTION DE LA VITESSE DU GAZ (ZENZ)

## TRANSPORT HORIZONTAL



## TRANSPORT VERTICAL

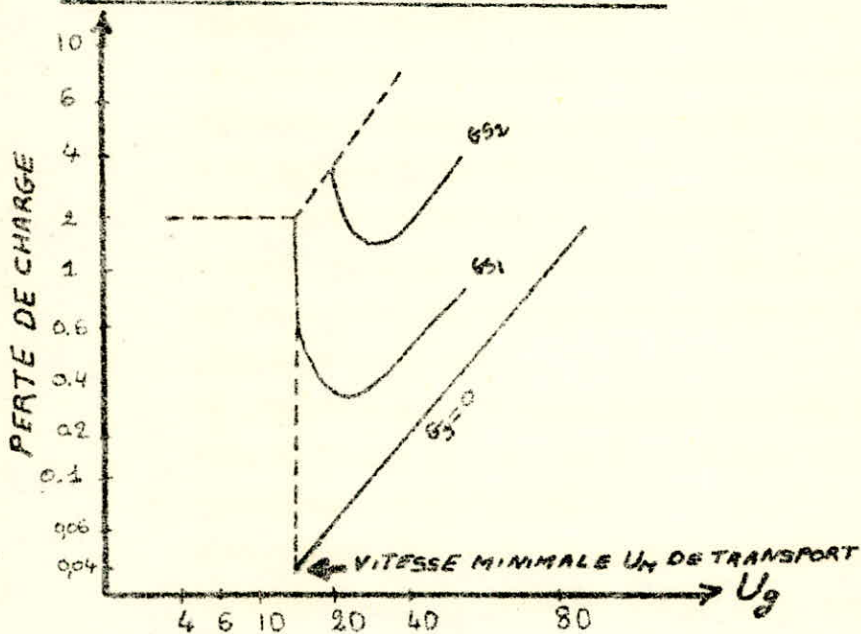


FIG 2

Selon la vitesse du gaz d'entraînement, nous pouvons assez du transport dilué au transport concentré avec le débit de solide. Nous pouvons alors observer divers régimes d'écoulement.

### I. 2. 2. Régimes d'écoulement (1)

#### a) - Ecoulement en suspension diluée.

En suspension diluée, la concentration massique du solide ( est inférieure à la concentration massique du gaz ( $\alpha \rho_s < (1-\alpha) \rho_g$ )

On peut tout aussi bien dire :

- qu'en suspension diluée, le débit massique du solide est inférieur au débit massique du gaz :  $G_D < G_G$

que la fraction volumique de solide est inférieure à 1 %. Si l'une des trois définitions est vérifiée, notre écoulement se fait en suspension diluée. (

Voir fig. 1. (a) )

#### b) - Ecoulement en suspension concentrée

En suspension concentrée, la concentration du solide est supérieure à 1 % mais inférieure à la concentration d'engorgement.

L'engorgement est en fait la limite à partir de laquelle, le gaz n'est plus apte à maintenir les particules en suspension. ( Voir fig. 1. (b) )

#### c) Ecoulement en paquets

Dans ce cas, les particules véhiculées par le courant gazeux, s'agglomèrent en paquets, surtout au niveau de la paroi. Il est à noter que la concentration à l'intérieur de ces paquets est voisine de celle que l'on rencontre au minimum de fluidisation. ( Voir fig. 1. (c) )

#### d) - Ecoulement en bouchons

Au fur et à mesure, que le débit gazeux diminue, les paquets décrits ci-dessus, tendent à occuper toute la section offerte sur une certaine hauteur de la colonne de transport. Nous avons alors la formation de bouchons séparés par des poches d'air de concentration de solide voisine de zéro. La concentration à l'intérieur de ces bouchons est voisine de 0,50 à 0,60. ( Voir fig. 1. (d) ).

Les divers régimes d'écoulement existants en transport pneumatique vertical ascendant, ont été explicités sur un diagramme appelé "diagramme caractéristique de ZENZ". ( Voir fig. 3 ).

ZENZ porte  $\log \frac{G_D}{G_G}$  en fonction de  $\log V_g$ . les courbes sont tracées à flux massique de solide  $G_s$  constant. Considérons les courbes II ' J du diagramme. Partons d'un point I où  $V_g$  ( vitesse du gaz d'entraînement ) est très élevée et où la suspension est très diluée. En réduisant le flux gazeux et en maintenant  $G_s$  constant, la concentration de solide augmente du point I' au point J. Il apparaît alors de grandes fluctuations des grandeurs mesurables et le gaz n'est plus capable de supporter les grains sous forme de suspension uniforme.



Il a été constaté par des moyens cinématographiques que les grains se groupent en paquets notamment au voisinage de la paroi.

- Au point J, le gaz n'est plus apte à supporter la suspension, des bouchons apparaissent. Les points J sont dits "points d'engorgement".

- La courbe AB exprime la perte de charge par unité de longueur d'un lit fixe, BD celle d'un lit fluidisé.

- La courbe HD traduit une fluidisation très diluée. Le point D exprime la suspension d'un grain unique, par le gaz. DG exprime l'écoulement du gaz. Les zones hachurées D-I'G et HJ'I'D représentent respectivement les domaines du transport dilué et de la suspension concentrée.

-  $Q_p$  représente le transport en lit fluide.

-Partie                      Théorique-

II.1. DEFINITIONS

Afin de caractériser le matériau à fluidiser ou à transporter, il est nécessaire de définir certains paramètres.

II.1.1. Morphologie d'un grain

On ne peut individualiser tous les grains solides, mais si cela était possible, chacun d'eux serait caractérisé par sa masse volumique, sa grosseur et sa forme.

a) La masse volumique, que nous désignerons par  $\rho_D$  est une notion claire dont les déterminations sont bien connues. (Voir partie expérimentale)

b) La grosseur d'un grain

La grosseur d'un grain peut être définie par son volume mais la notion de diamètre équivalent semble plus appropriée. Par définition, c'est le diamètre de la sphère de même volume (appelée sphère équivalente). cette grandeur est désignée par  $d_g$ . La valeur de  $d_g$  dépend de la méthode utilisée. La sédimentation, la centrifugation etc... , fournissent des mesures de grandeur liées soit à la surface, soit à la surface, soit au volume de la particule et conduisent ainsi à la notion de sphère équivalente du grain.

- Soit  $V_g$  (volume du grain supposé non poreux )
- Soit  $A_g$  (l'aire de la surface externe du grain )

La surface externe spécifique de la particule sera égale au rapport

$$\frac{A_g}{V_g} \text{ telle que } a_g = \frac{A_g}{V_g}$$

Si la particule est une sphère de diamètre  $d_g$  :

$$V_g = \frac{\pi d_g^3}{6} \quad A_g = \pi d_g^2$$

alors 
$$a_g = \frac{6}{d_g}$$

Si la particule est de forme quelconque, on peut définir 4 diamètres

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V_g}{\pi}} ; \quad d_A = \sqrt{\frac{A_g}{\pi}} \quad d_g = \frac{6V_g}{A_g} ; \quad d_c = \sqrt{\frac{4V_g}{\pi}}$$

avec

- $d_v$  : diamètre de la particule ayant le même volume que le grain.
- $d_A$  : diamètre de la particule ayant la même surface que le grain.
- $d_g$  : diamètre de la particule ayant la même surface spécifique que le grain.
- $d_c$  : diamètre de la particule ayant la même surface projetée que celle du grain.

c) La forme d'un grain

La forme d'un grain est une notion très complexe. On convient de la représenter par un nombre sans dimension  $\Psi$  qu'on appelle le facteur de sphéricité.

$\Psi$  est toujours inférieur à 1 et ceci d'autant plus que le grain est éloigné de la forme sphérique.

II.1.2. Morphologie d'un lit de particules

Une couche solide est constituée d'un très grand nombre de grains de caractéristiques différentes. Tous peuvent avoir la même masse volumique mais il n'en est pas de même pour leur diamètre et leur forme.

Un matériau divisé est caractérisé par trois facteurs.

- La masse volumique  $\rho_0$
- le diamètre moyen  $d$
- Le facteur de sphéricité  $\Psi$ .

III.3. Porosité d'une couche de grains

On appelle porosité, le quotient du volume libre par le volume total de la couche. Ce paramètre est désigné par

$$\varepsilon = \frac{\text{Volume libre}}{\text{Volume total}}$$

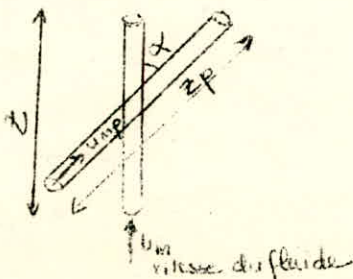
Dans ce cas, nous avons un empilement de grains, il est donc nécessaire de considérer simultanément  $\varepsilon$  et  $\alpha$  tel que  $\alpha + \varepsilon = 1 \implies \varepsilon = 1 - \alpha$  ;  $\alpha$  étant la concentration volumique de solide.

II. 2. Fluidisation Hétérogène

II.2.1. Modèle utilisé par KOZENY

Considérons un cylindre de section  $\Omega$  contenant un lit poreux d'épaisseur  $Z$  et de volume  $V$ .

KOZENY assimile le volume poreux à un faisceau de  $N_p$  pores non interconnectés, de longueur  $Z_p$  et de diamètre  $d_p$ .



Soit  $\varepsilon V$ , le volume poreux

$$V = N_p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Z_p \cdot d_p^2$$

Soit  $A$ , la surface externe des pores

$$A = N_p \cdot \pi \cdot d_p \cdot Z_p$$

On définit par  $T$ , le coefficient de Tortuosité comme étant égal au rapport  $Z_p$  par  $Z$

$$T = \frac{Z_p}{Z} = \frac{1}{\cos \alpha} \quad \text{or} \quad d_p = \frac{4 \sum V}{A} = \frac{4 \varepsilon}{a g (1 - \varepsilon)}$$

La vitesse du fluide  $U_m$  est égale à :

$$U_m = U_{mp} \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha$$

Le débit  $Q$  est égal à :

$$Q = U_m \cdot \Omega = \varepsilon \cdot \Omega \cdot U_{mp} \cos \alpha$$

$$\text{donc} \quad U_{mp} = U_m \frac{T}{\varepsilon}$$

KOZENY et CARMAN appliquent à chacun des  $N_p$  pores, l'équation de Poiseuille donnant la perte de charge en fonction de la vitesse .

$$\Delta P = \frac{32 \psi \eta U_{mp} \cdot Z_p}{d_p^2}$$

$\psi$  étant le facteur de circularité

$\psi = 1,5$  pour une ~~conduite~~ conduite rectangulaire infiniment allongée.

$\psi = 0,83$  pour un triangle équilatéral.

$$P = \frac{32 \psi \cdot \eta \cdot U_m \frac{T}{\varepsilon} \cdot T \cdot Z}{\left( \frac{4 \varepsilon}{a g (1 - \varepsilon)} \right)^2}$$

$$\Delta P = 2 \psi T^2 \eta \cdot U_m \cdot a^2 g \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3}$$

Posons  $h_k = 2 \psi T^2 =$  cote de KOZENY

d'où

$$\frac{\Delta P}{Z} = h_k \cdot \eta \cdot U_m \cdot a^2 g \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3}$$

généralement, on prend  $\psi = 1 \pm 0,5$  , pour des conduites de forme courante

$$T = 1,5 \pm 0,2$$

$$\text{donc} \quad h_k = 4,5 \pm 1,5$$

L'équation de KOZENY - CARMAN peut être mise sous la forme adimensionnelle.

Il en est de même pour l'équation de Poiseuille qui peut s'exprimer en fonction du coefficient  $f$  de frottement :

$$f = \frac{\text{constante}}{\text{Reynolds}} = \text{fraction d'énergie cinétique dissipée à la paroi}$$



$$f/2 = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad T : \text{Contrainte à la paroi}$$

$$f/2 = a \text{Rey}^b \quad a \text{ et } b \text{ étant des constantes}$$

$$f/2 = \frac{\Delta P}{Z} \cdot \frac{dp}{4 \rho u_m^2} \quad \left. \vphantom{\frac{\Delta P}{Z}} \right\} \quad f/2 = \frac{8\mu}{\text{Re}}$$

$$\text{Rey} = P. \frac{U_{mp} \cdot dp}{\eta}$$

Dans le cas où la couche poreuse est constituée d'un empilement de grains,  $a$  se s'exprime par  $\frac{6}{dg}$  et nous obtenons

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{36 h_k \cdot \eta \cdot U_m (1-\epsilon)^2}{dg \cdot \epsilon^3}$$

BURKE PLUMER présente un modèle plus perfectionné que celui de BURKE où il suppose que l'axe de chaque pore cylindrique est une ligne brisée. Chaque coude est le siège d'un rémous dans lequel une certaine fraction de l'énergie cinétique du fluide est convertie en chaleur.

- En plus de la chute de pression par glissement visqueux, représentée par l'équation de KOZENY - CARMAN, il existe une deuxième chute de pression que nous exprimons comme une fraction de l'énergie cinétique du fluide au niveau des coudes.

$$\frac{\Delta P}{Z} = \beta N \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U_m^2$$

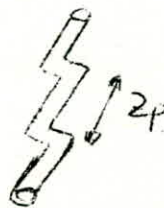
où  $N$  est le nombre de Coudes par pore cylindrique

$$N = \frac{Z_p}{dp}$$

$Z_p$  longueur de chaque segment

donc

$$\frac{\Delta P}{Z} = \beta \cdot \frac{Z_p}{\lambda dp} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U_m^2$$



donc

$$\frac{\Delta P}{Z} = h \beta \cdot a g \cdot \rho_c \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \cdot U_m^2$$

$$\text{avec } h \beta = \frac{R \cdot T^3}{8 \lambda}$$

L'équation d'ERGUN est obtenue en sommant les deux termes de KOZENY - CARMAN et de BURKE - PLUMER.

$$\frac{\Delta P}{z} = \underbrace{hk \cdot \eta \cdot \frac{a^2}{g} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} u_m^2}_{1^{\text{st}}} + \underbrace{h\beta \cdot \rho_c \cdot a g \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^2} u_m^2}_{2^{\text{nd}}}$$

- 1<sup>st</sup> - En régime laminaire
- 2<sup>nd</sup> - En régime turbulent.

REMARQUE

Les billes de verre étudiées ne sont pas sphériques, il serait plus correct d'introduire un facteur de forme  $\psi$ .

II.2.2. VITESSE MINIMALE DE FLUIDISATION :  $U_{minf}$

Dans l'état préfluidisé qui correspond à la vitesse minimale du courant gazeux susceptible de maintenir les particules solides en suspension, la couche fixe se transforme en couche fluidisée - On peut donc appliquer.

- d'une part, les équations de perte de charge en lit fixe.
- d'autre part, la loi fondamentale des lits fluidisés suivant laquelle la chute de pression est égale au poids de la couche fluidisée par unité d'aire de section droite .

$$\Delta P = (\rho_s - \rho_c) \cdot z \cdot (1 - \epsilon) \cdot g$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{z} = (\rho_s - \rho_c) (1 - \epsilon) \cdot g$$

- En régime laminaire :

$$\frac{\Delta P}{z} = (1 - \epsilon) (\rho_s - \rho_c) \cdot g = hk \cdot \eta \cdot \frac{a^2}{g} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} u_{minf}^2$$

$$\Rightarrow u_{minf} = \frac{(\rho_s - \rho_c) \cdot \epsilon^3 \cdot g}{hk \cdot \eta \cdot a^2 \cdot (1-\epsilon)}$$

avec  $ag = \frac{6}{dg}$  et  $hk = 5$

Nous obtenons alors :

$$U_{minf} = \frac{(\rho_s - \rho_c) \cdot g \cdot \epsilon_{pf}^3}{180 \eta (1 - \epsilon_{pf})^2}$$

où  $\epsilon_{pf}$  = porosité du lit

II.3. Transport PNEUMATIQUE VERTICAL

II.3.1. Facteurs influençant le transport pneumatique vertical 3

Le transport pneumatique dépend du type de matériaux à transporter ( densité des particules, surface caractéristique des particules etc...)

La perte de charge est très importante et est fonction de la colonne utilisée ( longueur, diamètre etc...) de son inclinaison, du rapport entre les deux courants gazeux et solide, du nombre de reynolds des particules, de la distribution des particules et du taux d'humidité.

II.3.2. Bilans de matière et de quantité de mouvement

- Hypothèses

soit un courant gazeux incompressible vertical, ascendant véhiculant.

Des particules supposées sphériques, de diamètre  $d$ , de vitesse  $U_D$ , de masse volumique  $\rho_D$  et de flux massique  $G_D = L \cdot \rho_D \cdot U_D$  dans un tube de transport cylindrique droit ( $d \ll D$ )

-on suppose que :

- Les interactions entre les particules sont négligeables
- Les distributions des vitesses du fluide et du solide sont uniformes sur une section sauf contre la paroi
- L'écoulement est **turbulent** ( cas le plus fréquent en transport pneumatique
- Le régime est permanent.

$U_D$  : vitesse solide (m/S)

$U_C$  : vitesse du gaz (m/S)

$U_R$  : vitesse relative =  $U_C - U_D$

$P$  : Pression (Pa)

$F_Z$  : force de hainée exercée par le fluide sur le solide par unité de volume

$L$  : concentration volumique du solide.

$\Omega$  : section du tube de transport ( $m^2$ )

$D$  : diamètre de la particule (m)

$G_D$  : flux massique de solide ( $kg/m^2 \cdot Sec$ )

$G_C$  : flux massique de gaz ( $kg/m^2 \cdot Sec$ )

$U_T$  : vitesse terminale de chute libre (m / Sec)

$\rho_D, \rho_C$  : sont respectivement les masses volumiques du solide et du gaz

$Z$  : Côte (m).

- Ecrivons les équations de bilan de matière et de quantité de mouvement pour chaque phase et ce pour un élément de volume compris entre  $Z$  et  $Z + dz$

a) Bilan de matière

soit une particules  $\beta$

à la côte  $Z$  :

flux entrant par convection :

$$\varphi_\beta = \rho_\beta \cdot U$$

quantité de matière entrant =  $\varphi_\beta \cdot \Omega = \rho_\beta \cdot U \cdot \Omega$

à la côte  $Z + dz$  nous aurons

$$\varphi_\beta + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_\beta \cdot U) \cdot dz$$

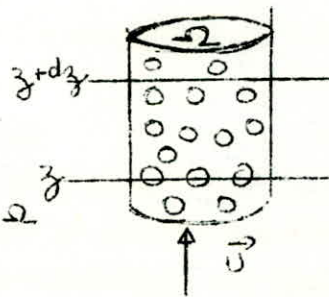
Il n'ya pas de réaction, le flux de production est donc nul.

Le flux entrant par diffusion est :

$$J_\beta = -\rho \cdot D \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_\beta / \rho) = 0$$

le flux d'accumulation :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_\beta) \cdot \frac{\Omega \cdot dz}{\Omega} = \frac{\partial}{\partial t} (\rho_\beta) dz \quad (\text{par unité de section})$$



- Le bilan total sera donc :

$$\rho u = \rho \beta u + \frac{\delta}{\delta z} (\rho \beta u) dz + \frac{\delta}{\delta t} \rho \beta \cdot dz$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial t} \rho \beta = \frac{\delta}{\delta z} (\rho \beta u) = 0$$

pour toutes les particules

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\delta}{\delta z} (\rho u) = 0$$

sur tout l'espace, nous avons :

$$\frac{\delta}{\delta t} \rho + \text{div}(\rho \cdot \vec{u}) = 0$$

- phase continue : gaz

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1-\alpha) \rho_c] + \frac{\delta}{\delta z} [(1-\alpha) \rho_c \cdot u_c] = 0$$

- phase discontinue : solide

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha \rho_D) + \frac{\delta}{\delta z} (\alpha \rho_D \cdot u_D) = 0$$

b) Bilan de quantité de mouvement

Les forces mises en jeu sont :

- Les forces de pression ou plus exactement les chutes de pression subies par le courant gazeux à la traversée d'une couche de hauteur L.  $\left( \frac{P}{L} \right)$  ( gaz - paroi, solide - paroi paroi gaz )
- La force de trainée  $F_z$
- Les forces de pesanteur : le poids =  $g \cdot dz$  ( par unité de section
- La pression P

à la côte Z + dz

- La pression P devient égale à  $P - \frac{\alpha P}{z} dz$
- La quantité  $\rho U$  contenue dans un cylindrique de volume U par unité de section est  $\rho U^2$

à la côte Z + dz, elle devient égale à  $\rho U^2 + \frac{\partial}{\partial z} (\rho U^2) dz$

en appliquant :

débit de quantité de mouvement entrante x Fentrées = débit de quantité de mouvement qui sont + débit de quantité de mouvement accumulé.

$$\pm F_z dz + \rho U^2 + P - \left( \frac{\alpha P}{L} \right) dz - \rho g dz = \rho U^2 + \frac{\partial}{\partial z} (\rho U^2) dz + P - \frac{\alpha P}{\delta z} dz + \frac{\delta}{\delta t} (\rho U) dz$$

$\frac{\delta}{\delta t} (\rho U) dz$  représente le flux d'accumulation par unité de section :

on donc :

on a donc :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u^2) = -\rho g - \left( \frac{\Delta P}{L} \right) + \frac{dP}{dz} \pm F_z$$

en phase continue : gaz

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1-\alpha) \rho_c u_c] + \frac{\partial}{\partial z} [(1-\alpha) \rho_c u_c^2] = -(1-\alpha) \rho_c g - \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fg} + (1-\alpha) \frac{dP}{dz} - F_z \quad (I)$$

en phase discontinue, solide

$$\frac{\partial}{\partial t} [\alpha \rho_D u_D] + \frac{\partial}{\partial z} [\alpha \rho_D u_D^2] = -\alpha \rho_D g - \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fs} + \alpha \frac{dP}{dz} + F_z \quad (II)$$

la somme des équations ( I ) et (II) nous donne

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1-\alpha) \rho_c u_c] + \frac{\partial}{\partial z} [(1-\alpha) \rho_c u_c^2] + \frac{\partial}{\partial t} [\alpha \rho_D u_D] + \frac{\partial}{\partial z} [\alpha \rho_D u_D^2] = - (1-\alpha) \rho_c g - \left[ \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fg} + \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fs} \right] - \alpha \rho_D g + (1-\alpha) \frac{dP}{dz} + \alpha \frac{dP}{dz}$$

Initialement, on avait supposé que le régime est permanent ( $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ )

donc :

$$\frac{\partial}{\partial z} [(1-\alpha) \rho_c u_c^2] + \rho_D \cdot \frac{\partial}{\partial z} [\alpha u_D^2] = -\alpha \rho_D g - (1-\alpha) \rho_c g + \frac{dP}{dz} - \left[ \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fg} + \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fs} \right]$$

$$\frac{dP}{dz} = \frac{\partial}{\partial z} [(1-\alpha) \rho_c u_c^2] + \rho_D \frac{\partial}{\partial z} [\alpha u_D^2] + g [\alpha \rho_D + (1-\alpha) \rho_c] + \left[ \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fg} + \left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fs} \right]$$

- Le frottement gaz - parois exprime par :

$$\left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fg} = \frac{2}{D} f_g \cdot (1-\alpha) \cdot \rho_c \cdot u_c^2$$

avec  $f_g = 0,046 \operatorname{Re}^{-0,2}$  ( d'après BLASIUS )

pour des vitesses de solide très élevées et des vitesses de gaz faibles, frottement gaz - paroi est négligeable.

- Le frottement solide parois exprime par

$$\left( \frac{\Delta P}{L} \right)_{fs} = \frac{2}{D} \cdot f_s \cdot \alpha \cdot \rho_D \cdot u_D^2$$

on prendra  $f_s = 10^3$

- Dans ce qui suit, nous supposons que::

La masse volumique du gaz est telle que  $\rho_c \ll \rho_D$

- Les pertes de charge par frottement ( $\frac{\Delta P}{L}$ )<sub>fg</sub> et ( $\frac{\Delta P}{L}$ )<sub>fs</sub>

sont négligeable.

$$\frac{dP}{dz} = \rho_D \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\alpha u_D^2) + g \alpha \cdot \rho_D$$

.../...

- Soit  $GD = \alpha \int_D UD \Rightarrow \alpha = \frac{GD}{\int_D \cdot UD}$

$$\frac{dP}{dz} = +g \cdot \frac{GD}{UD} + \rho \frac{d}{dz} \left( \alpha U^2 \cdot \right)$$

$$\frac{dP}{dz} = G_D \left[ \frac{g}{U_D} + \frac{d}{dz} U_D \right]$$

La vitesse du solide UD étant fonction de z, il faudra donc résoudre en premier lieu  $U_D = f(z)$  pour pouvoir résoudre l'équation différentielle ci-dessus.

II.3.3. force de traînée

Soit  $F_z$  : la force de traînée par unité de volume exercée par le gaz sur les particules.

- Soit  $F_z$  = la force exercée par le gaz sur une particule dans le volume  $\Omega$  d z.

- Pour N particules, la force résultante  $F_z$  sera égale à :  $F_z = N \cdot F_{1z}$

-  $\alpha = \frac{\text{volume occupé par les particules}}{\text{Volume total}} = \frac{N \cdot \pi d^3}{\Omega \cdot dz \cdot 6}$

-  $N = \frac{6 \alpha \cdot \Omega \cdot dz}{\pi \cdot d^3}$

donc  $P_z = \frac{6 \alpha \cdot \Omega \cdot dz}{\pi d^3} \cdot F_{1z}$

or  $F_z = \frac{P_z}{dz} = \frac{6 \alpha \cdot \Omega \cdot dz}{\pi d^3} \cdot F_{1z} \cdot \frac{1}{\Omega \cdot dz}$

$$F_z = \frac{6 \alpha}{\pi d^3} \cdot F_{1z}$$

or  $F_{1z} = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot U_r^2$  avec  $U_r = U_C - U_D$

$\rho$  = maître couple de l'obstacle

$$F_z = \frac{6 \alpha}{\pi d^3} \cdot \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho \cdot (U_C - U_D)^2$$

$$F_z = \frac{3}{4} \cdot \frac{C_D}{d} \cdot \rho \cdot (U_C - U_D)^2$$

-  $C_D$  : coefficient de traînée est fonction du Reynolds Relatif aux particules:

$$Rep = \frac{\rho \cdot C \cdot d \cdot (U_C - U_D)}{\mu}$$

- Pour notre modèle, nous considérons la relation générale de  $C_D$ :

$$C_D = a \cdot Re^{-n}$$

- où a et n sont des constantes qui dépendent de Re :

- a = 24                      n = 1    pour Re < 1    Régime de STOCKES
- a = 18,5                    n = 0,6    Re > 1    Régime d'ALLEN

.../...

$a = 0,44$        $n = 14$        $Re > 10^3$       Régime de NEWTON

Vu le Reynolds troué ( voir tableau 11 ), nous sommes en régime d'ALLEN.

FZ sera donc :

$$FZ = \frac{3}{4} \cdot \frac{\alpha}{d} \cdot a Re^{-n} \cdot \rho_C (U_C - U_D)^2$$

Remplaçons la valeur de FZ dans l'équation simplifiée :

$$\rho_D \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\alpha U_D^2) + \alpha \frac{\partial P}{\partial z} - \alpha \rho_D g + F_Z$$

$$\Rightarrow \alpha \rho_D U_D \frac{\partial}{\partial z} U_D = + \alpha \frac{\partial P}{\partial z} - \alpha \rho_D g + \frac{3}{4} \frac{\alpha}{d} \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot \rho_C (U_C - U_D)^2$$

Remplaçons  $\frac{\partial P}{\partial z}$  par sa valeur :

$$\alpha U_D \rho_D \cdot \frac{\partial}{\partial z} U_D = \alpha G_D \left[ \frac{g}{U_D} + \frac{\partial}{\partial z} U_D \right] - \alpha \rho_D g + \frac{3}{4} \frac{\alpha}{d} \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot \rho_C \cdot U_D^2$$

$$G_D \cdot \frac{\partial}{\partial z} U_D = G_D \cdot \alpha \left[ \frac{g}{U_D} + \frac{\partial}{\partial z} U_D \right] - \alpha \rho_D g + \frac{3}{4} \frac{\alpha}{d} \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot \rho_C \cdot U_D^2$$

$$(1-\alpha) \frac{\partial U_D}{\partial z} = - \frac{(1-\alpha)g}{U_D} + \frac{3}{4} \frac{\alpha \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot \rho_C \cdot (U_C - U_D)^2}{d \cdot U_D \cdot \rho_D}$$

$$\frac{\partial U_D}{\partial z} = - \frac{g}{U_D} + \frac{3}{4} \frac{\alpha \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot \rho_C \cdot (U_C - U_D)^2}{d \cdot U_D \cdot \rho_D \cdot (1-\alpha)}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial U_D}{\partial z} &= - \frac{9,81}{U_D} + \frac{0,903 \cdot a \cdot Re^{-n} \cdot (U_C - U_D)^2}{d \cdot \rho_D \cdot (U_D \rho_D - G_D)} \\ \frac{dP}{dz} &= G_D \left[ \frac{9,81}{U_D} + \frac{\partial}{\partial z} U_D \right] \end{aligned} \right.$$

### II.3.3.1 : Vitesse terminale de chute libre

La vitesse terminale de chute libre est la vitesse pour laquelle la force de trainée  $\vec{F}_T^D$  est égale au poids

$$F_Z = \frac{1}{2} C_{DS} \cdot \rho^D \cdot \rho^C \cdot \Omega' \cdot U_T^2$$

$$P = mg (\rho^D - \rho^C)$$

à l'équilibre :  $\vec{F}_T = \vec{P}$

nous obtenons  $U_T = \sqrt{\frac{2 mg (\rho^D - \rho^C)}{C_{DS} \cdot \rho^C \cdot \rho^D \cdot \Omega'}}$

où  $C_{DS}$  : Coefficient de trainée pour une particule solide  
 $m$  : masse d'une particule solide

$g$  : accélération gravitationnelle  
 $\rho_D$  : densité des particules solides  
 $\rho_C$  : densité du gaz  
 $\Omega'$  : maître couple de l'obstacle.

- Le coefficient CDS dépend du nombre de Reynolds des particules (Rep)

Pour les particules sphériques :

$$m = \rho_D \cdot V = \rho_D \times \frac{\pi d_p^3}{6} \quad d_p = \text{diamètre des particules}$$

$$U_T = \sqrt{\frac{4 g d_p (\rho_D - \rho_C)}{3 \rho_C \cdot CDS}}$$

- Appliquons l'équation générale du coefficient de traînée  
 $C_D = a \text{ Rep}^{-n}$  où  $a$  et  $n$  dépendent du Rep.

- La vitesse terminale de chute libre sera donc :

$$U_t^{2-n} = \frac{4}{3} \frac{(\rho_D - \rho_C) g \cdot d_p^{1+n}}{a \rho_C^{1-n}}$$

- On introduit 2 nombres adimensionnels X et Y tels que :

$$X = C_D \cdot \text{Rep}^2$$

$$Y = \frac{\text{Rep}}{C_D}$$

$$\text{donc } X = \frac{4}{3} \rho_C (\rho_D - \rho_C) \frac{d_p^3 g}{\eta^2} = K \cdot d_p^3$$

$$Y = \frac{3}{4} \frac{\rho_C^2 \cdot \pi \eta^3}{\eta (\rho_D - \rho_C) g} = K' \cdot U_t^3$$

- Connaissant les diamètres  $d_p$  des différentes sortes de particules, nous pouvons calculer X donc déterminer le régime d'écoulement selon le Reynolds des particules Rep.

$$X = 24 \quad \text{et} \quad Y = \frac{1}{24} \quad \text{Rep} = 1$$

$$X = 410 \quad Y = 2,44 \quad \text{Rep} = 10$$

$$X = 16700 \quad Y = 15 \quad \text{Rep} = 100$$

$$X = 440000 \quad Y = 27400 \quad \text{Rep} = 1000$$

- Connaissant  $a$  et  $n$ , nous pouvons déterminer  $U_T$  à partir de l'équation (1)

(4) exprime CDS = f (Rep) de la manière suivante



Pour  $10^3 < Re_p < 25 \cdot 10^4$  :

CDS varie entre 0,4 et 0,5 avec une ~~volumne~~ moyenne de 0,44 :

$$CDS = 0,44 \implies U_T = 1,74 \sqrt{\frac{\rho \cdot d_p \cdot (SD - SC)}{SC}} \quad (1)$$

Pour  $2 < Re_p < 103$  :

- Le coefficient de trainée CDS est exprimé par :

$$CDS = 24 \cdot (Re_p)^{-1} + 3,6 (Re_p)^{-0,313} \quad \text{=====}$$

$$U_T = \frac{0,153 \cdot d_p^{1,14} \cdot \rho^{0,71} \cdot (SD - SC)^{0,71}}{\mu^{0,43} \cdot \rho^{0,29}} \quad (2)$$

Pour  $Re_p < 800$  :

$$CDS = (CDS)_{\text{stockes}} \left[ 1 + 0,150 (Re_p)^{0,687} \right]$$

avec  $(CDS)_{\text{stockes}} = \frac{24}{Re_p}$  pour  $Re_p \leq 0,1$

Pour  $Re_p \leq 0,1$  :

- La force de trainée est représentée par la loi de stockes :

$$CDS = \frac{24}{Re_p} \implies U_T = d_p^2 \cdot \frac{(\rho_D - \rho_C) g}{18 \cdot \mu}$$

- Pettyjohn et Christiansen [4] ont obtenu la valeur de la vitesse terminale de chute libre des particules non sphériques en régime laminaire et intermédiaire par multiplication des valeurs obtenues des équation (2) et (3) avec un facteur correctif  $K_1 / K_1 = 0,843 \cdot \log \frac{\psi}{0,065}$ .

- où  $\psi$  : facteur de sphéricité.

en Régime de Newton :  $(Re_p > 10^3)$

- Le coefficient de trainée est donné par l'équation

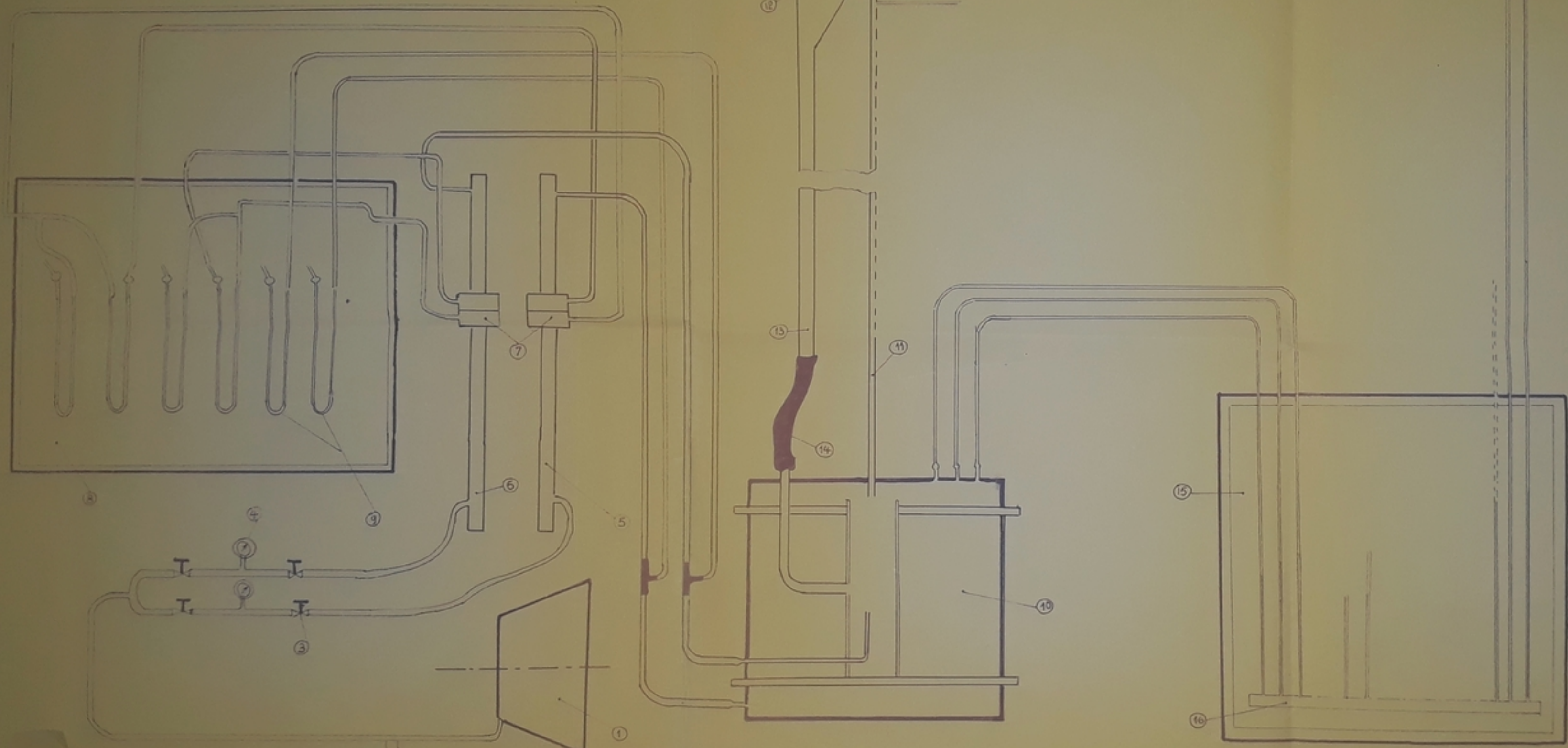
$$(CDS)_{\text{NON}} = 5,31 - 4,88\psi$$

- où  $(CDS)_{\text{NON}}$  : coefficient de trainée pour une particule non sphérique avec un facteur de sphéricité  $\psi$

# INSTALLATION DE TRANSPORT PNEUMATIQUE

PC 00378  
avant p. 22

## - Légende -



1. compresseur
2. Filtre
3. Vannes
4. Manomètres
5. Canalisation de Fluidisation
6. Canalisation de Transport
7. diaphragmes
8. Tableau Support des tubes U
9. Tubes en U remplis de lig
10. Bac d'alimentation
11. colonne de Transport
12. colonne de retour
13. Separateur
14. Tuyeau Flexible
15. Tableau Support de prises de Pression
16. Manifold

III . 1 Appareillage

L'appareillage est composé :

- d'un bac d'alimentation, dans lequel le lit est fluidisé avant d'être transporté.

- d'une colonne de transport où on effectue des prises de pression l'aide d'un manifold.

Cette colonne est reliée à une autre colonne dite de retour de manière à pouvoir travailler en continu ( Voir schéma ).

Diamètre intérieur de la colonne de transport = 25,5 mm

" " " " " de retour = 52 mm

" " d'arrivée d'air de fluidisation = 15,8 mm

" " " " de transport = 4 mm

III. 2. METHODES DE MESURE

III. 2.1. Mesure des densités des particules D

Parmi les nombreuses méthodes de détermination de la densité des particules, nous pouvons citer :

- Le prosimètre à mercure
- La mesure de porosité des surfaces.

La méthode que nous avons utilisé pour déterminer les densités de nos billes de verre, consiste à saturer le volume poreux avec de l'eau. Ce dernier est déterminé par différence de masse avant et après saturation

III. 2. 2. MESURE DE DEBIT GAZ

Le débit du gaz est mesuré par l'intermédiaire d'un diaphragme construit d'après la Norme DIN.

- Les prises de pression sont relevées dans les angles morts d'amont et d'aval, tout à fait contre les faces du diaphragme 9
- L'étalonnage des diaphragmes de transport de fluidisation, a été fait à l'aide d'un débitmètre BROOKS R<sup>9</sup> M-253 - 9 R 533, dont le débit maximum est de 21,25 m<sup>3</sup>/h. ( Voir annexe ).

Les fluides utilisés pour l'étalonnage des diaphragmes de transport et de fluidisation, sont respectivement du mercure et de l'huile de densité = 0,8723g/cm<sup>3</sup> à T = 18°C.

III. 2. 3. MESURE DU DEBIT SOLIDE D'ALIMENTATION

Parmi les mesures du débit solide d'alimentation, nous pouvons citer celle où le solide est détourné pour un temps de mesure compris entre 30 et 120 secondes dans un collecteur, puis pesé 3

- Lors de nos expériences, nous avons mesuré le débit massique de solide en l'emprisonnant pendant un temps t, correspondant à une hauteur h de la colonne de retour préalablement étalonné ( hauteur = f((masse))).

#### III.2.4. MESURE DES PERTES DE CHARGE

- La pression de service et les différences de pression aux diaphragmes sont mesurées à l'aide de manomètres à mercure et à huile (  $d = 0,8723$  à  $18^{\circ}\text{C}$  ) d'autre part les chutes de pression le long de la colonne de transport sont mesurées à l'aide d'un manifold à eau.

- La première prise de pression est à 5cm du bas de la colonne, la seconde à 15cm de la première, la troisième à 10cm de la seconde, les 21 autres prises de pression sont distantes de 12,5cm et les 12 dernières sont distantes de 25cm.

#### III. 3. RESULTATS CONCERNANT LA FLUIDISATION

##### III. 3. 1. Caractéristiques du lit fluidisé

- Initialement, l'unité de fluidisation en phase gazeuse EIVS comportait 2 débitmètres Brooks ( 0 - 5  $\text{N m}^3/\text{h}$  ) et 01 = 12  $\text{N m}^3/\text{h}$  ) Pour un faible débit d'air ( 0,5  $\text{N m}^3/\text{h}$  ) le lit de particules était déjà fluidisé . Il nous était donc impossible de distinguer tous les aspects de la fluidisation pour y remédier, nous avons placé différents débitmètres G A L L E N K A M P ( Voir courbes d'étalonnage )
- Les résultats expérimentaux obtenus, pour les différentes sortes de billes de verre sont donnés dans les Tableaux ( 1, 2, 3, 4, 5, ) ( le débit étant exprimé en air équivalent T.P.N. )
- La pression de travail était de 1,6 bars à  $T = 15^{\circ}\text{C}$ .



FLUIDISATION:  $40\mu < d_p < 70\mu$   
 débitmètre (200-4000CC/MIN)

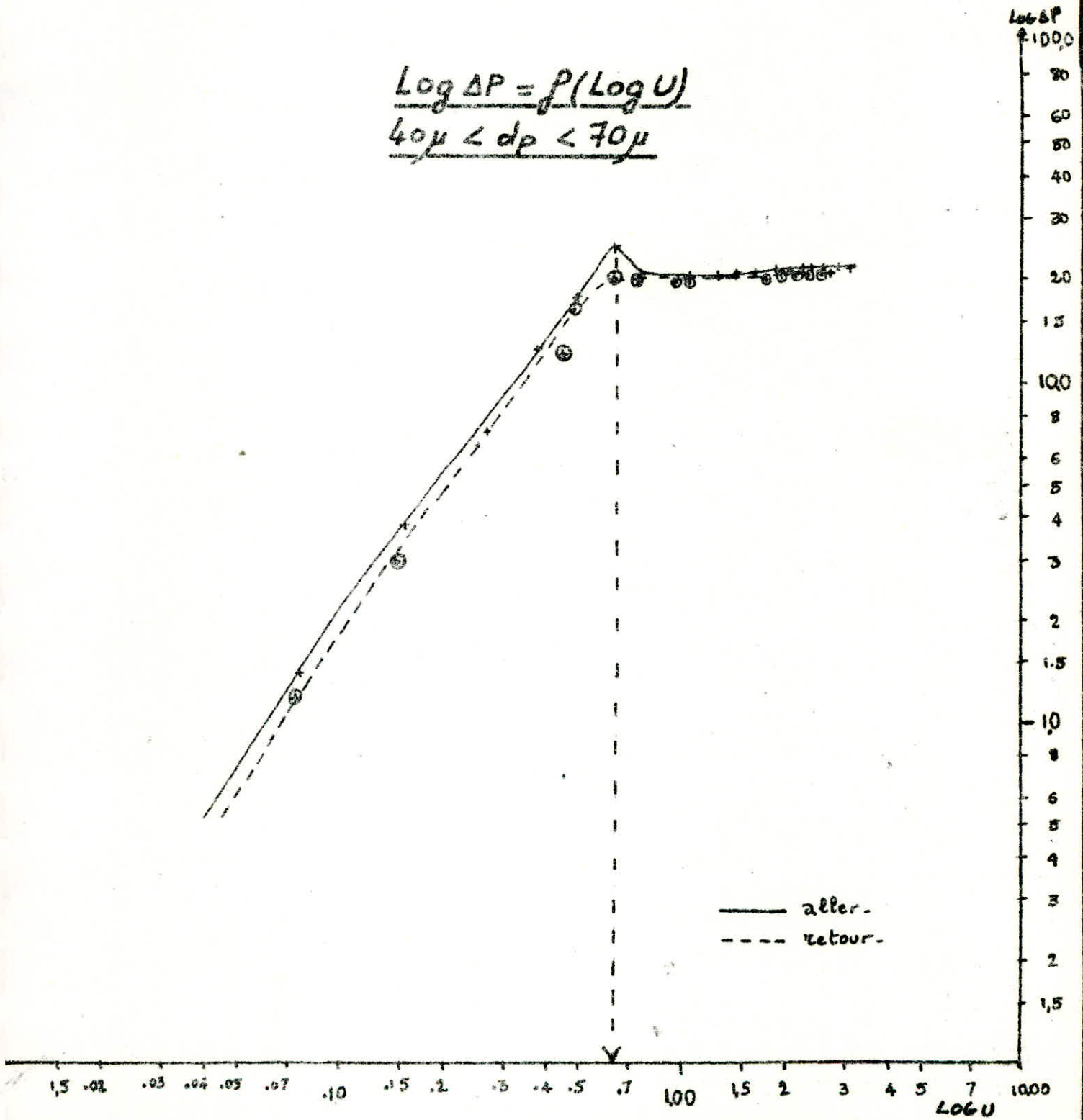
TABLEAU N° 1

Z (cm)	Q (litres/min)	Q <sub>0</sub> (l/min)	U (cm/s)	$\Delta P$ expérimental	$\Delta P_{AL}$ théorique	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{AL}}$
16,80	1,00	0,10	0,08	1,40	2,52	0,55
16,80	1,50	0,20	0,15	3,80	5,05	0,75
16,80	2,00	0,34	0,27	7,10	8,82	0,80
16,80	2,50	0,50	0,38	12,50	15,19	0,82
16,90	3,00	0,65	0,50	17,80	16,04	1,10
17,70	3,50	0,80	0,65	25,20	17,65	1,42
17,75	4,00	1,00	0,77	20,60	20,57	1,00
17,80	4,50	1,20	1,00	20,80	26,45	0,80
17,90	5,00	1,41	1,03	20,80	28,12	0,73
18,00	5,50	1,69	1,30	21,00	33,04	0,63
18,10	6,00	1,91	1,47	21,00	36,00	0,60
18,20	6,50	2,15	1,66	21,10	36,62	0,60
18,30	7,00	2,40	1,85	21,10	44,28	0,50
18,40	7,50	2,62	2,02	21,10	47,73	0,44
18,55	8,00	2,90	2,23	21,10	51,12	0,41
18,65	8,50	3,15	2,42	21,50	54,40	0,40
18,70	9,00	3,40	2,62	21,55	58,09	0,40
18,80	9,50	3,70	2,85	21,55	62,15	0,34
19,00	10,00	3,95	3,04	21,50	69,65	0,30
18,80	9,50	3,70	2,85	21,50	65,66	0,32
18,75	9,00	3,40	2,62	21,30	60,88	0,34
18,70	8,50	3,15	2,42	21,50	56,91	0,40

aller

retour

$\text{Log } \Delta P = f(\text{Log } U)$   
 $40\mu < d_p < 70\mu$



40p < dp < 70p

20-200

TABLEAU N° 1

(SUITE)

$\bar{z}$ (cm)	$\Phi$ (divisions)	$\Phi$ (g/min)	$U$ (cm/s)	$\Delta P$ experimental (mmHg)	$\Delta P$ Mesurage (mmHg)	$\frac{\Delta P_{\text{theo}}}{\Delta P_{\text{exp}}}$
18,55	8,00	2,90	2,23	21,40	53,89	0,40
18,45	7,50	2,62	2,02	21,10	49,60	0,42
18,25	7,00	2,40	1,85	21,50	47,19	0,45
18,20	6,50	2,15	1,65	21,50	42,69	0,50
18,10	6,00	1,91	1,47	21,60	38,67	0,55
18,00	5,50	1,69	1,30	21,50	34,88	0,62
17,95	5,00	1,41	1,08	21,30	29,41	0,72
17,90	4,50	1,20	1,00	20,70	27,38	0,75
17,80	4,00	1,00	0,77	20,70	21,52	0,96
17,80	3,50	0,80	0,65	20,60	18,28	1,12
17,70	3,00	0,65	0,50	17,00	14,26	1,20
17,60	2,50	0,50	0,46	12,20	13,46	0,90
17,40	2,00	0,34	0,27	6,80	8,17	0,83
17,40	1,50	0,20	0,15	3,00	4,68	0,64
17,40	1,00	0,10	0,08	1,40	2,34	0,60



FLUIDISATION:  $70N < dp < 110N$

DEBITMETRE 200 - 4000 CC/MIN

TABEAU N° 2

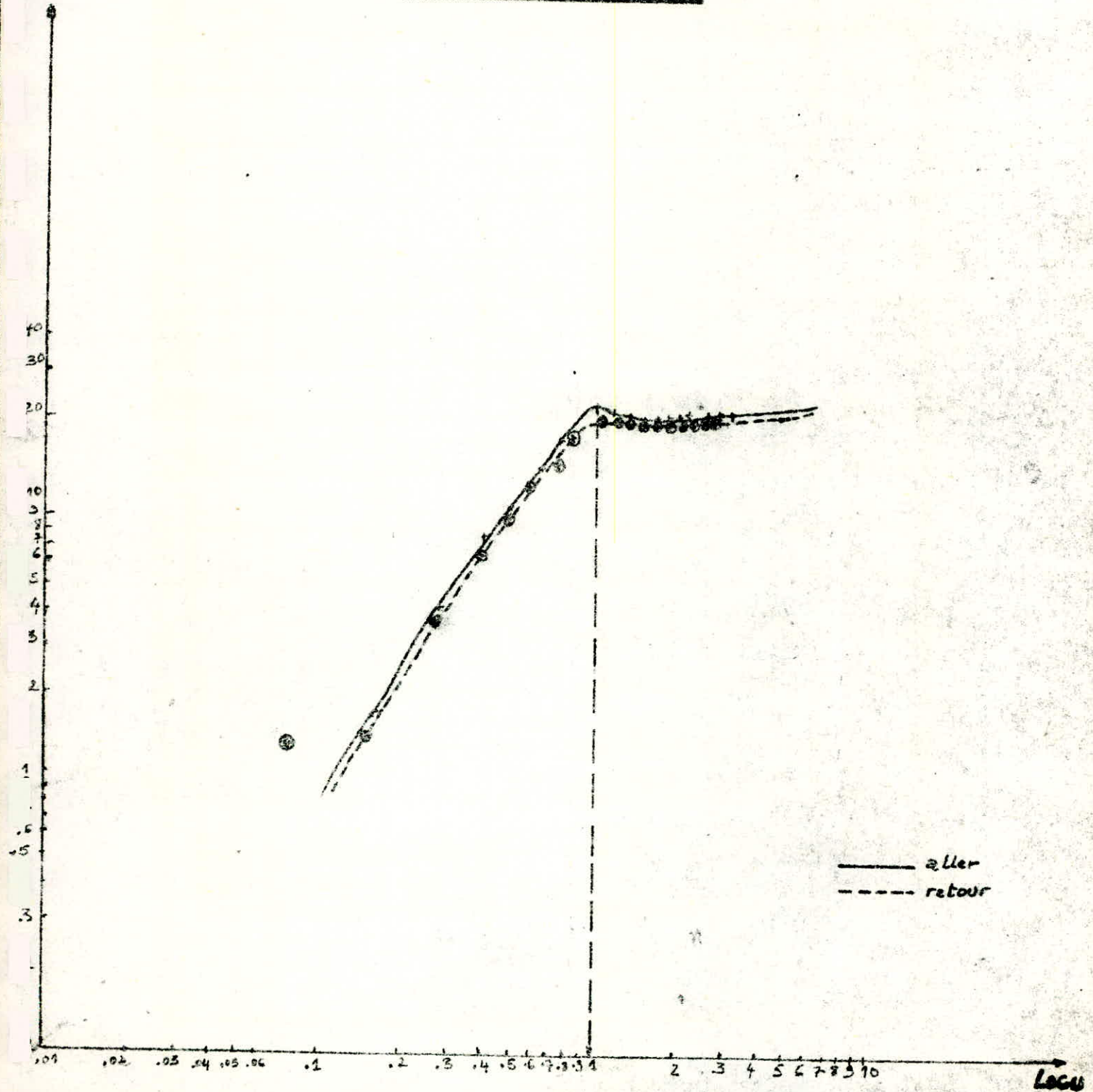
Z (cm)	Q (divisions)	Q (l/min)	U (cm/s)	$\Delta P$ expérimental (cmbar)	$\Delta P$ théorique (cmbar)	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
15,00	1,00	0,10	0,08	1,60	1,10	1,45
15,00	1,50	0,20	0,15	1,70	2,20	0,77
15,00	2,00	0,35	0,27	4,20	3,80	1,10
15,00	2,60	0,51	0,33	7,50	5,57	1,35
15,00	3,00	0,65	0,50	9,80	7,12	1,38
15,00	3,80	0,83	0,64	13,30	9,03	1,47
15,10	4,00	1,00	0,77	17,00	10,58	1,61
15,20	4,70	1,30	1,00	21,90	13,42	1,63
15,40	5,15	1,50	1,15	21,40	14,65	1,46
15,60	5,50	1,63	1,30	20,95	15,75	1,33
15,70	6,00	1,93	1,48	21,05	17,34	1,21
15,75	6,50	2,15	1,65	20,90	19,18	1,09
15,80	7,00	2,40	1,85	20,90	20,65	1,01
15,95	7,50	2,65	2,04	20,90	22,54	0,93
16,00	8,00	2,90	2,23	21,25	24,32	0,87
16,10	8,50	3,15	2,43	21,40	25,84	0,83
16,15	9,00	3,41	2,63	21,30	27,66	0,77
16,20	9,50	3,70	2,85	21,50	29,60	0,73

aller

$$\underline{\underline{\text{LOG } \Delta P = f(\text{LOG } U)}}$$

$$\underline{\underline{70p < dp < 110p}}$$

LOG  $\Delta P$



$$70\mu < d_p < 110\mu \quad 70-110\mu$$

TABLEAU N° 2  
(SUITE)

$Z$ (cm)	$\varnothing$ (division)	$\varnothing$ (l/min)	$U$ (cm/s)	$\Delta P$ expérimental (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta P$ théorique (kg/cm <sup>2</sup> )	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
16,20	10,00	3,95	3,04	21,50	31,60	0,68
16,20	9,50	3,70	2,85	21,30	29,76	0,72
16,15	9,00	3,49	2,63	21,20	27,75	0,76
16,10	8,50	3,13	2,43	21,10	25,94	0,82
16,05	8,00	2,90	2,23	20,60	24,15	0,86
16,00	7,50	2,65	2,04	20,50	22,35	0,92
15,95	7,00	2,40	1,85	20,50	20,48	1,01
15,75	6,50	2,15	1,65	20,50	19,27	1,06
15,70	6,00	1,93	1,48	20,40	17,46	1,17
15,65	5,50	1,69	1,30	20,50	15,53	1,32
15,50	5,00	1,45	1,12	20,40	13,84	1,47
15,40	4,50	1,20	0,92	18,00	11,76	1,53
15,10	4,00	1,00	0,77	14,00	10,61	1,32
15,10	3,50	0,83	0,64	12,4	7,88	1,57
15,10	3,00	0,65	0,50	9,50	6,20	1,53
15,10	2,50	0,51	0,39	7,00	4,86	1,44
15,05	2,00	0,35	0,27	4,10	3,77	1,08
15,05	1,50	0,20	0,15	1,50	2,15	0,70
15,05	1,00	0,10	0,08	1,40	1,08	1,29

retour

FLUIDISATION:  $90\mu < d_p < 150\mu$

debitre 1-12 LIT/MIN

Tableau N° 3

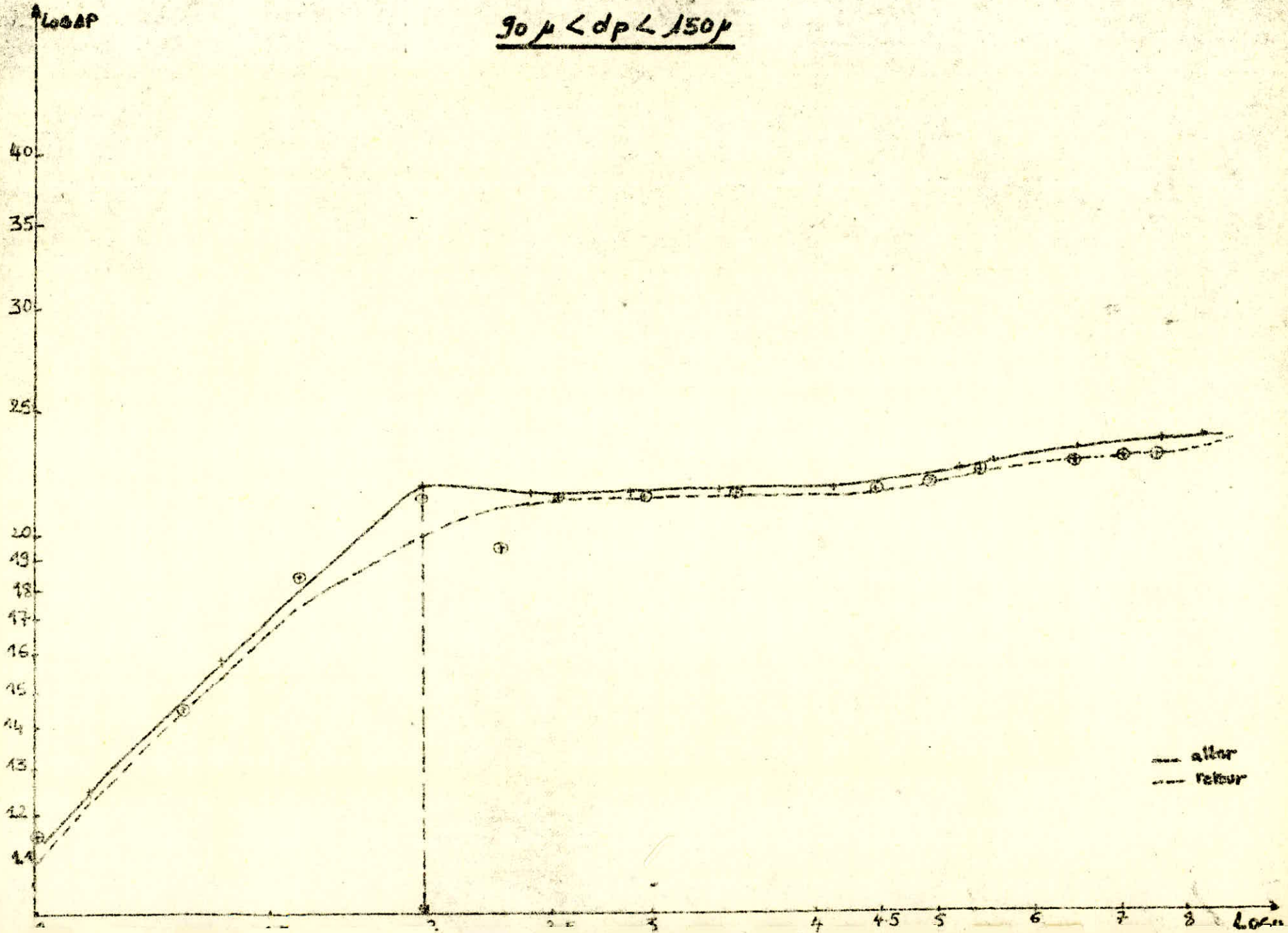
Z (cm)	$\phi$ (divisions)	$\phi$ ( $\mu$ /mm)	U (cm/s)	$\Delta P$ experimental (mbar)	$\Delta P$ theorique (mbar)	$\Delta P_{exp}$ $\Delta P_{theo}$
15,30	1,50	1,40	1,08	12,40	8,96	4,38
15,30	1,90	1,90	1,40	15,80	11,76	4,34
15,30	2,50	2,70	1,99	21,70	16,72	4,30
15,50	3,00	3,30	2,43	21,40	19,12	4,12
15,80	3,50	3,90	2,87	21,40	20,89	4,03
16,00	4,00	4,60	3,39	21,40	23,44	0,92
16,20	4,50	5,20	3,83	21,40	25,24	0,85
16,50	5,00	5,80	4,27	21,50	26,24	0,82
16,60	5,50	6,50	4,78	21,60	28,75	0,75
16,80	6,15	7,20	5,30	22,40	30,46	0,74
16,90	6,50	7,70	5,67	22,60	31,87	0,71
17,00	7,00	8,30	6,11	22,60	33,42	0,68
17,20	7,50	9,00	6,62	23,10	34,96	0,66
17,70	8,50	10,20	7,50	23,50	35,8	0,66
17,80	9,50	11,40	8,39	23,70	39,28	0,60
18,25	10,00	12,00	9,24	23,40	39,77	0,59
18,00	9,50	11,40	8,78	22,30	39,57	0,56
17,90	9,00	10,80	8,31	22,00	38,19	0,58
17,70	8,25	9,90	7,62	22,80	36,38	0,63
17,20	7,00	8,40	6,47	22,70	34,13	0,67

aller

retour

$$\underline{\underline{\text{LOG} \Delta P = f(\text{LOG } U)}}$$

$$\underline{\underline{90 \mu < dp < 150 \mu}}$$



$$90\mu < d_p < 150\mu$$

Tableau N° 3

(Suite)

Z (cm)	$\Phi$ (divisions)	$\Phi$ ( $\mu$ /mm)	U (cm/s)	$\Delta P$ experimental (mmHg)	$\Delta P$ theorique (mmHg)	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
16,85	6,00	7,10	5,47	22,60	31,08	0,73
16,50	5,50	6,50	5,00	21,80	30,77	0,71
16,40	5,00	5,80	4,46	21,70	28,09	0,77
16,10	4,50	5,20	4,00	21,70	27,05	0,80
15,90	4,00	4,60	3,54	21,60	25,37	0,85
15,85	3,50	3,95	3,04	21,30	21,86	0,98
15,80	3,00	3,30	2,54	21,30	18,50	1,15
15,50	2,75	3,00	2,31	18,40	18,18	1,01
15,40	2,50	2,70	2,08	21,30	16,21	1,27
15,40	2,00	2,10	1,62	18,40	13,08	1,40
15,40	1,75	1,70	1,31	14,60	10,58	1,38
15,40	1,50	1,40	1,08	11,80	8,72	1,35
15,40	1,20	1,00	0,77	8,40	6,23	1,35
15,40	1,00	0,70	0,54	0,20	4,36	0,05

FLUIDISATION :  $150\mu < d_p < 250\mu$

debitaire 2.5 - 25 LIT/MIN

Tableau N° 4

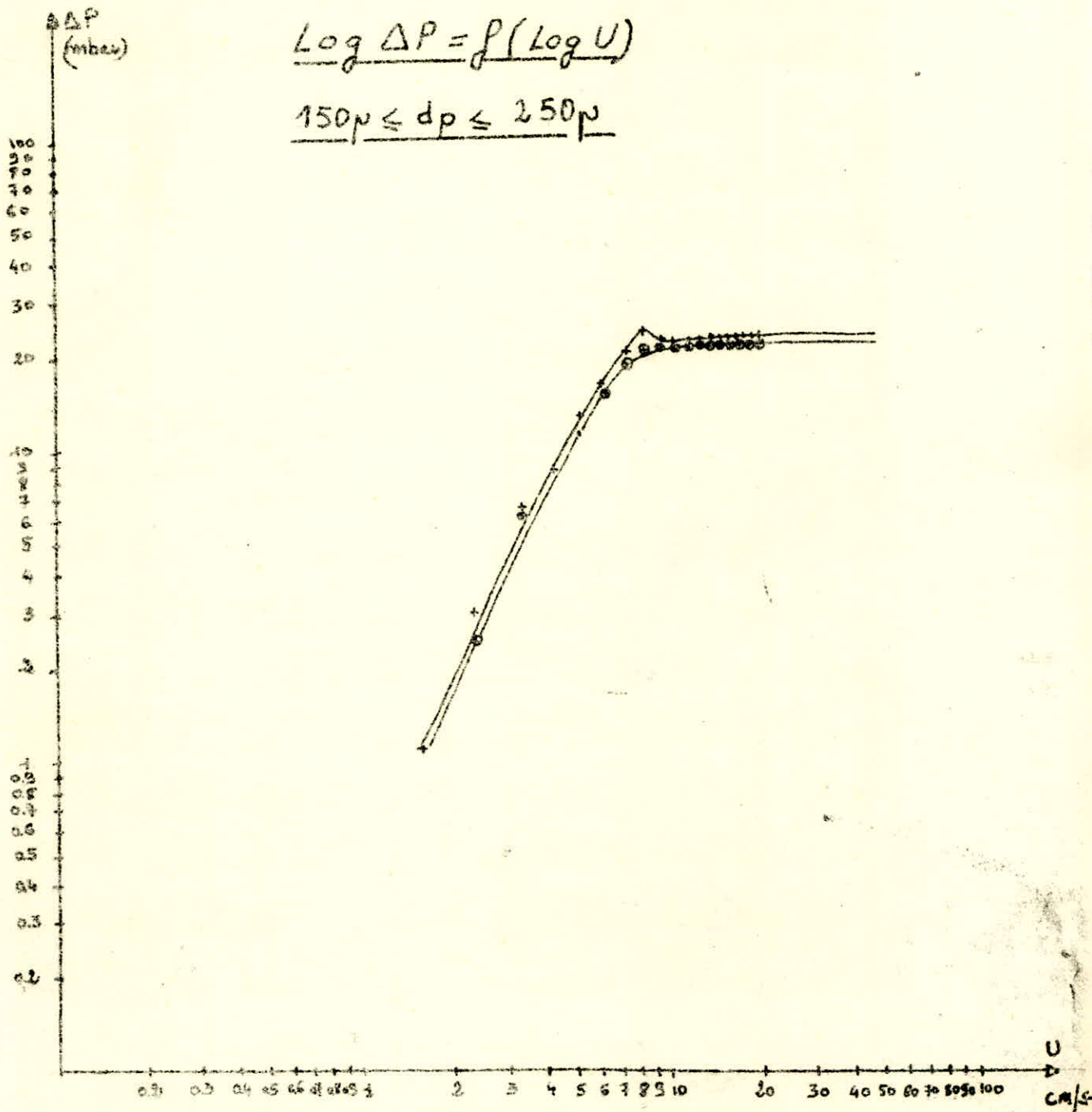
Z (cm)	$\Phi$ (divisions)	$\Phi$ (g/min)	U (cm/s)	$\Delta P$ experimental (cm H <sub>2</sub> O)	$\Delta P$ theorique (cm H <sub>2</sub> O)	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
15,20	1,00	2,00	1,54	4,10	3,59	0,31
15,20	1,50	3,00	2,31	3,00	5,38	0,56
15,20	2,00	4,25	3,27	6,50	7,62	0,85
15,20	2,50	5,50	4,23	8,70	9,86	0,83
15,20	3,00	6,75	5,19	13,00	12,10	1,07
15,20	3,50	8,00	6,16	16,20	14,34	1,13
15,25	4,00	9,50	7,31	20,50	16,89	1,21
15,30	4,50	10,75	8,27	24,20	18,73	1,29
16,00	5,00	12,25	9,43	22,90	18,04	1,27
16,45	5,50	13,50	10,39	22,20	17,99	1,24
16,85	6,00	15,00	11,55	22,70	18,44	1,23
17,05	6,50	16,50	12,70	23,00	19,41	1,18
17,55	7,00	17,75	13,66	23,10	19,03	1,21
17,80	7,50	19,00	14,63	23,10	19,46	1,19
18,30	8,00	20,25	15,59	23,50	18,95	1,24
18,70	8,50	21,50	16,55	23,50	18,93	1,24
19,00	9,00	22,75	17,51	23,60	19,03	1,24
19,30	9,50	24,00	18,47	23,70	19,25	1,23
19,80	10,00	25,00	19,24	23,70	18,55	1,28
19,30	9,50	24,00	18,47	23,60	19,25	1,23
19,20	9,00	22,75	17,51	23,10	18,51	1,25
18,80	8,50	21,50	16,55	23,50	18,67	1,26

aller

retour

$$\underline{\text{Log } \Delta P = f(\text{Log } U)}$$

$$\underline{150\mu \leq d_p \leq 250\mu}$$





150-200u

150N <math>d\_p < 250N</math>

Tableau N° 4

(suite)

$Z$ (mm)	$\phi$ (divisions)	$\phi$ (mm)	$U$ (cm/s)	$\Delta P$ experimental (cmbar)	$\Delta P$ théorique (cmbar)	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
18,40	8,00	20,25	15,59	22,40	18,68	1,20
17,80	7,50	19,00	14,63	22,30	19,46	1,15
17,55	7,00	17,75	13,66	22,20	19,03	1,17
17,30	6,50	16,50	12,70	22,20	18,52	1,20
16,80	6,00	15,00	11,55	22,20	18,58	1,19
16,40	5,50	13,50	10,39	22,20	18,21	1,22
16,00	5,00	12,25	9,43	22,20	18,12	1,22
15,85	4,50	10,75	8,27	20,90	18,50	1,13
15,25	4,00	9,7	7,31	19,00	16,76	1,13
15,20	3,50	8,00	6,16	15,10	14,34	1,05
15,20	3,00	6,75	5,19	11,80	12,10	0,97
15,20	2,50	5,50	4,23	8,90	9,86	0,90
15,20	2,00	4,25	3,27	6,20	7,62	0,81
15,20	1,50	3,00	2,31	3,40	5,38	0,45
15,20	1,00	2,00	1,54	1,70	2,89	0,59

FLUIDISATION:  $300\mu < d_p < 400\mu$

debitre 5-50 LIT/MIN

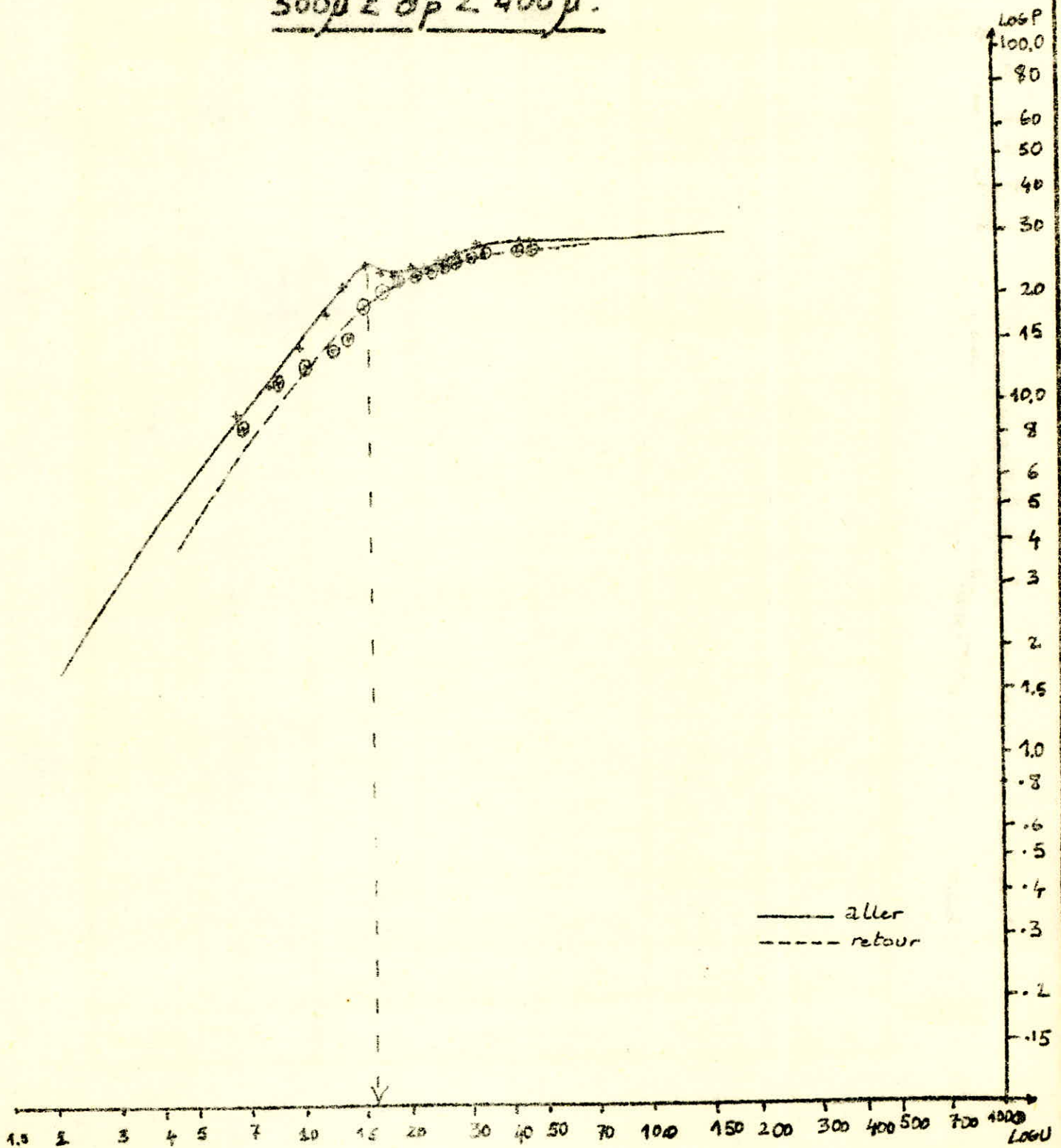
Tableau N°5

Z (cm)	$\Phi$ (divisions)	$\Phi$ (g/min)	U (cm/s)	$\Delta P$ (expérimental) (mmHg)	$\Delta P$ théorique (mmHg)	$\frac{\Delta P_{exp}}{\Delta P_{theo}}$
15,30	2,00	8,90	6,85	9,20	4,61	1,99
15,30	2,50	11,00	8,47	11,20	5,76	1,94
15,30	3,00	13,50	10,39	14,40	6,07	2,40
15,30	3,50	15,90	12,24	17,80	7,15	2,50
15,40	4,00	18,10	13,93	21,20	7,95	2,70
15,50	4,50	20,50	15,78	24,10	8,80	2,74
16,25	5,00	23,00	17,71	23,95	8,38	2,85
16,75	5,50	25,50	19,63	23,85	8,41	2,83
17,50	6,00	28,00	21,55	24,20	8,05	3,01
18,05	6,50	30,50	23,48	24,80	7,99	3,10
18,90	7,00	33,90	25,33	25,10	7,53	3,33
19,85	7,50	35,10	27,02	25,70	7,02	3,70
20,35	8,00	37,90	29,17	26,40	7,09	3,72
20,80	8,50	40,00	30,79	26,50	7,07	3,74
22,35	9,00	42,90	33,02	28,10	6,34	4,43
22,85	9,50	45,00	34,64	28,70	6,31	4,54
23,10	10,00	48,00	36,95	28,80	6,56	4,40
23,85	9,50	45,00	34,64	28,00	6,32	4,43

aller

retour

$\text{LOG } \Delta P = f(\text{LOG } U)$   
 $300\mu < dp < 400\mu$



300N < dP < 400N

Tableau N°5  
(SUIVE)

Z (cm)	φ (divisions)	φ (mm)	U (cm/s)	ΔP experimental (mm)	ΔP (theor) théorique	ΔP exp / ΔP theo
21,35	9,00	42,90	33,02	27,20	7,12	3,82
20,80	8,50	40,00	30,79	26,80	7,09	3,78
20,10	8,00	37,90	29,17	26,80	7,34	3,65
19,35	7,50	35,10	27,02	26,80	7,53	3,56
18,80	7,00	32,90	25,33	26,30	7,65	3,44
18,10	6,50	30,50	23,48	24,20	7,92	3,06
17,85	6,00	28,00	21,55	24,10	7,57	3,18
16,85	5,50	25,50	19,63	22,60	8,25	3,74
16,60	5,00	23,00	17,71	20,80	7,82	2,66
15,80	4,50	20,50	15,78	18,50	8,22	2,25
15,70	4,00	18,10	13,83	15,00	7,42	2,02
15,70	3,50	15,90	12,24	14,00	6,52	2,14
15,70	3,00	13,50	10,39	12,40	5,54	2,34
15,70	2,50	11,00	8,47	11,50	4,52	2,55
16,60	2,00	8,90	6,85	8,50	3,73	2,27

# TRANSPORT: $40\mu \leq d_p \leq 70\mu$

		P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>
$G_D = 6,57 \cdot 10^{-3}$ kg/sec $P_s(T) = 367,26$ cm <sup>3</sup> /cau $P_s(F) = 55,75$ cm <sup>3</sup> /cau $Q(T) = 4,14$ m <sup>3</sup> /h $Q(F) = 1,85$ m <sup>3</sup> /h $R = \frac{G_D}{G_c} = 4,74$ $U_{g_0} = 91,62$ m/s	P (cm <sup>3</sup> /cau)	5,10	5,20	5,10	4,90	4,70	4,50	4,20	4,10	3,90	3,80	3,60	3,50	3,45	3,40
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0
$G_D = 6,52 \cdot 10^{-3}$ kg/sec $P_s(T) = 127,85$ cm <sup>3</sup> /cau $P_s(F) = 46,25$ cm <sup>3</sup> /cau $Q(T) = 6,04$ m <sup>3</sup> /h $Q(F) = 1,85$ m <sup>3</sup> /h $R = \frac{G_D}{G_c} = 3,22$ $U_{g_0} = 133,9$ m/s	P (cm <sup>3</sup> /cau)	4,60	4,20	4,00	3,80	3,60	3,50	3,30	3,10	3,10	3,00	2,90	2,80	2,70	2,50
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0
$G_D = 5,54 \cdot 10^{-3}$ kg/sec $P_s(T) = 70,72$ cm <sup>3</sup> /cau $P_s(F) = 46,25$ cm <sup>3</sup> /cau $Q(T) = 4,43$ m <sup>3</sup> /h $Q(F) = 1,85$ m <sup>3</sup> /h $R = \frac{G_D}{G_c} = 3,74$ $U_{g_0} = 97,98$ m/s	P (cm <sup>3</sup> /cau)	4,00	3,80	3,60	3,50	3,30	3,20	3,00	3,00	2,80	2,70	2,60	2,60	2,60	2,50
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0
$G_D = 5,45 \cdot 10^{-3}$ kg/sec $P_s(T) = 300,56$ cm <sup>3</sup> /cau $P_s(F) = 43,64$ cm <sup>3</sup> /cau $Q(T) = 8,89$ m <sup>3</sup> /h $Q(F) = 1,85$ m <sup>3</sup> /h $R = \frac{G_D}{G_c} = 1,83$ $U_{g_0} = 196,61$ m/s	P (cm <sup>3</sup> /cau)	3,80	3,70	3,50	3,30	3,10	2,90	2,60	2,50	2,40	2,30	2,10	2,00	1,90	1,80
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0
$G_D = 1,94 \cdot 10^{-3}$ kg/sec $P_s(T) = 43,06$ cm <sup>3</sup> /cau $P_s(F) = 48,62$ cm <sup>3</sup> /cau $Q(T) = 4,22$ m <sup>3</sup> /h $Q(F) = 1,85$ m <sup>3</sup> /h $R = \frac{G_D}{G_c} = 1,385$ $U_{g_0} = 93,2$ m/s	P (cm <sup>3</sup> /cau)	2,60	2,50	2,40	2,10	2,00	1,90	1,65	1,60	1,50	1,40	1,30	1,30	1,25	1,20
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0

TABLEAU N° 6

$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{15}$	$P_{16}$	$P_{17}$	$P_{18}$	$P_{19}$	$P_{20}$	$P_{21}$
3,2	3,20	3,10	3,00	2,80	2,70	2,60	2,50	2,40	/	1,90	1,70	1,60	/	1,20	/	0,8	/	/	/	0
19,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
2,45	2,40	2,30	2,20	2,20	2,10	2,00	1,90	1,80	/	1,70	1,50	1,40	/	0,9	/	0,7	/	/	/	0
19,25	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
2,1	2,30	2,20	2,10	2,00	2,00	2,00	1,90	1,80	/	1,50	1,30	1,10	/	0,80	/	0,50	0,30	/	/	0
19,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
1,70	1,60	1,50	1,40	1,40	1,30	1,20	1,00	1,00	/	0,80	0,75	0,70	/	0,60	/	0,30	/	/	/	0
1,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
1,15	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,10	1,00	0,9	/	0,70	0,65	0,60	/	0,40	/	0,20	/	/	/	0
1,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5

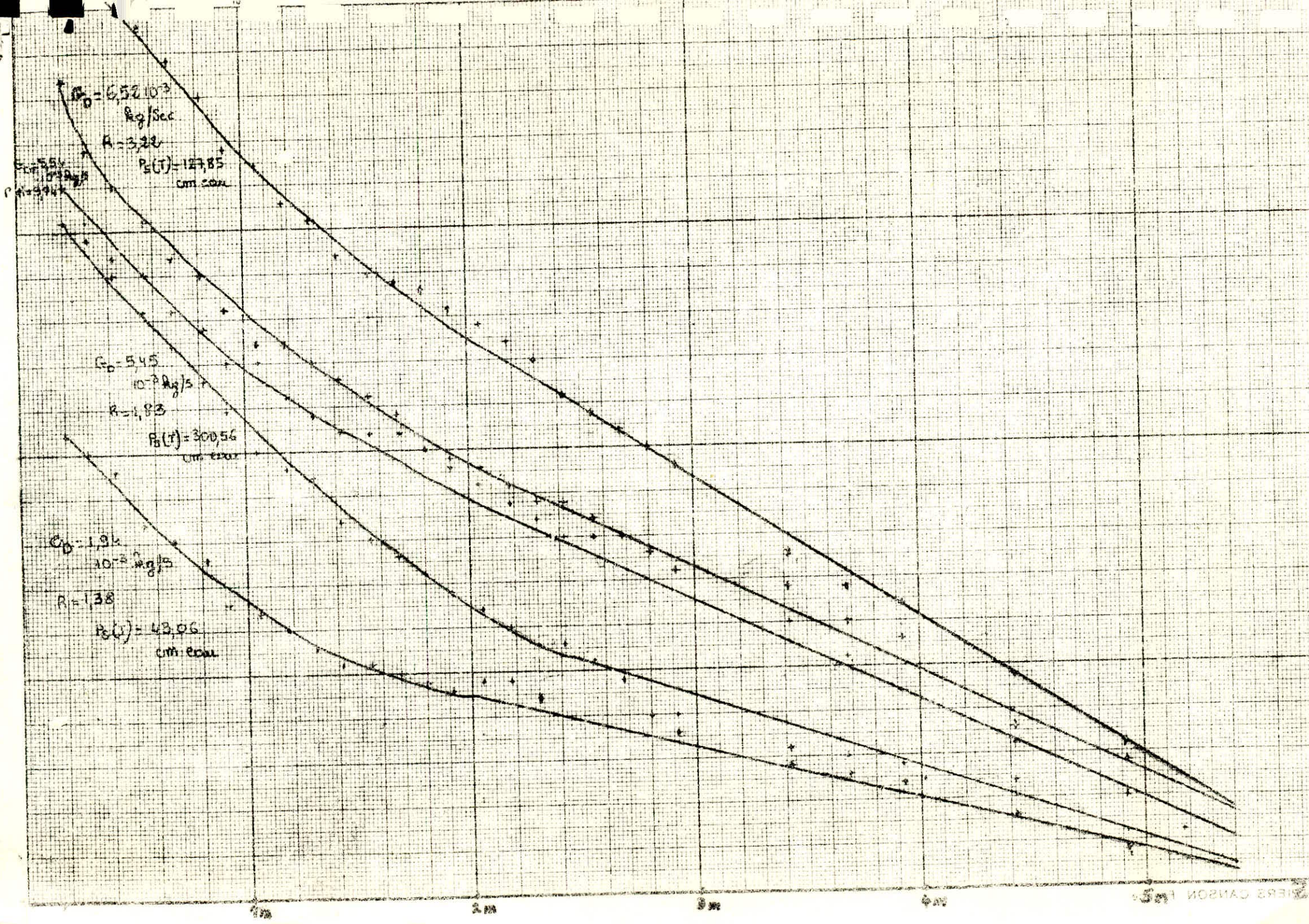
TRANSPORT:  $40\mu \leq dp \leq 70\mu$

$$P = F(Z)$$

$$G_D = 6,57 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/sec}$$

$$R = \frac{\sigma_D}{G_C} = 4,74 ; P_S(T) = 367,20$$

cm eau



Flow Rate

Time



# TRANSPORT: $70\mu \leq d_p \leq 110\mu$

		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>
$G_D = 14,13 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(T) = 143,48 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(F) = 55,42 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 9,25 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,56$ $U_{g0} = 204,6 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	8,50	8,00	7,75	7,55	7,35	7,20	6,95	6,65	—	6,35	6,05	5,75	5,55	5,35	
	Z (cm)	200	300	42,5	550	67,5	800	92,5	1050	117,5	1300	142,5	155	167,5	1800	
$G_D = 13,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(F) = 46,58 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(T) = 274,04 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 7,86 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 5,08$ $U_{g0} = 173,8 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	6,15	5,95	5,85	5,65	5,50	5,25	5,00	—	4,35	4,70	4,60	4,30	4,10	4,00	
	Z (cm)	200	300	42,5	55	67,5	80,0	92,5	1050	117,5	1300	142,5	155,0	167,5	1800	
$G_D = 3,79 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(F) = 43,18 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(T) = 64,26 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 4,46 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 2,54$ $U_{g0} = 98,7 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	4,60	4,40	4,30	4,20	4,05	3,95	3,85	3,75	3,65	3,45	3,35	3,25	3,15	3,00	
	Z (cm)	200	300	42,5	55,0	67,5	800	92,5	1050	117,5	1300	142,5	1550	167,5	1800	
$G_D = 3,69 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(F) = 43,18 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(T) = 112,37 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 4,94 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 2,23$ $U_{g0} = 109,3 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	4,10	4,00	3,90	3,80	3,70	3,60	3,50	3,40	3,25	3,20	3,10	2,90	2,80	2,70	
	Z (cm)	200	300	42,5	550	67,5	800	92,5	1050	117,5	1300	142,5	1550	167,5	1800	
$G_D = 2,98 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(F) = 43,18 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(T) = 38,42 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 3,14 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 2,83$ $U_{g0} = 69,5 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	4,00	3,95	3,85	3,75	3,60	3,50	3,40	3,30	3,20	3,10	2,95	2,85	2,75	2,65	
	Z (cm)	200	300	42,5	55,0	67,5	800	92,5	105	117,5	1300	142,5	155	167,5	1800	

TABLEAU N° 7

	P <sub>12</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>
5	5,05	4,95	4,55	4,65	4,55	4,35	4,15	3,95	3,15	3,45	3,00	2,60	/	2,10	0,25	1,35	1	/	/	0
10,5	2,05	2,17,5	2,30	2,42,5	2,55	2,67,5	2,80	2,92,5	3,17,5	3,42,5	3,67,5	3,92,5	4,17,5	4,42,5	4,67,5	4,92,5	5,17,5	5,42,5	5,67,5	5,92,5
3,30	3,80	3,70	3,50	3,90	3,55	3,40	3,30	3,15	0,85	2,65	2,25	2,00	/	1,50	/	1,00	0,70	/	/	0
19	2,05	2,17,5	2,30	2,42,5	2,55	2,67,5	2,80	2,92,5	3,17,5	3,42,5	3,67,5	3,92,5	4,17,5	4,42,5	4,67,5	4,92,5	5,17,5	5,42,5	5,67,5	5,92,5
2,90	2,85	2,75	2,55	2,60	2,55	2,40	2,30	2,20	0,40	1,75	1,60	1,40	/	1,05	/	0,70	0,50	/	/	0
15,5	2,05	2,17,5	2,30	2,42,5	2,55	2,67,5	2,80	2,92,5	3,17,5	3,42,5	3,67,5	3,92,5	4,17,5	4,42,5	4,67,5	4,92,5	5,17,5	5,42,5	5,67,5	5,92,5
2,	2,40	2,40	2,35	2,20	2,10	1,90	1,80	1,70	0,20	1,50	1,30	1,20	/	1,00	/	0,50	0,30	/	/	0
19	2,05	2,17,5	2,30	2,42,5	2,55	2,67,5	2,80	2,92,5	3,17,5	3,42,5	3,67,5	3,92,5	4,17,5	4,42,5	4,67,5	4,92,5	5,17,5	5,42,5	5,67,5	5,92,5
2,55	2,55	2,45	2,35	2,20	2,00	1,95	1,20	1,00	0,85	1,45	1,25	1,05	/	0,70	0,35	0,35	0,30	/	0,05	0
19	2,05	2,17,5	2,30	2,42,5	2,55	2,67,5	2,80	2,92,5	3,17,5	3,42,5	3,67,5	3,92,5	4,17,5	4,42,5	4,67,5	4,92,5	5,17,5	5,42,5	5,67,5	5,92,5

TRANSPORT:  $90\mu \leq dp \leq 150\mu$

TABLEAU N° 8

	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>	
$G_D = 13,11 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 129,28 \text{ cm}$ $P_S(F) = 46,24 \text{ cm}$ $Q(F) = 3,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(T) = 6,47 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 8,91$ $U_{g0} = 134,3 \text{ m/s}$	P (cm eau)	12,20	11,80	10,90	10,80	10,50	10,40	9,90	9,70	9,40	9,30	8,80	8,50	8,30	8,10	7,80	7,60	7,47	7,40	7,10	6,80	6,30	6,20	6,30	4,20	5,20	5,00	4,80	2,20	3,70	2,20	3,20	2,10	1,60	0,20	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 17,27 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 118,38 \text{ cm}$ $P_S(F) = 46,24 \text{ cm}$ $Q(F) = 3,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(T) = 5,85 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 8,82$ $U_{g0} = 129,4 \text{ m/s}$	P (cm eau)	11,40	11,30	10,90	10,60	10,40	10,00	9,80	9,70	9,20	8,80	8,50	8,20	7,95	7,65	7,45	7,25	7,05	6,85	6,50	6,35	6,10	6,05	5,80	3,90	4,90	4,50	4,10	0,90	2,90	1,54	2,20	1,70	0,42	0,65	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 9,44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 65,28 \text{ cm}$ $P_S(F) = 46,24 \text{ cm}$ $Q(F) = 3,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(T) = 5,39 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 5,23$ $U_{g0} = 119,3 \text{ m/s}$	P (cm eau)	11,30	11,08	10,48	10,38	10,06	9,88	9,58	9,20	9,15	8,80	8,45	8,10	7,75	7,45	7,20	7,00	6,85	6,60	6,30	6,10	5,90	5,70	5,50	3,45	4,50	4,05	3,60	0,70	2,65	1,15	1,80	1,30	0,04	0,30	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 4,59 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 49,36 \text{ cm}$ $P_S(F) = 53,04 \text{ cm}$ $Q(F) = 2,70 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(T) = 3,82 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 3,90$ $U_{g0} = 84,5 \text{ m/s}$	P (cm eau)	8,10	7,80	7,50	7,40	7,20	7,05	6,80	6,60	6,55	6,30	6,10	5,80	5,55	5,45	5,25	5,05	4,95	4,80	4,80	4,60	4,50	4,20	4,10	2,40	3,40	3,00	2,75	0,45	2,00	0,80	1,35	1,05	/	/	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5

TRANSPORT :

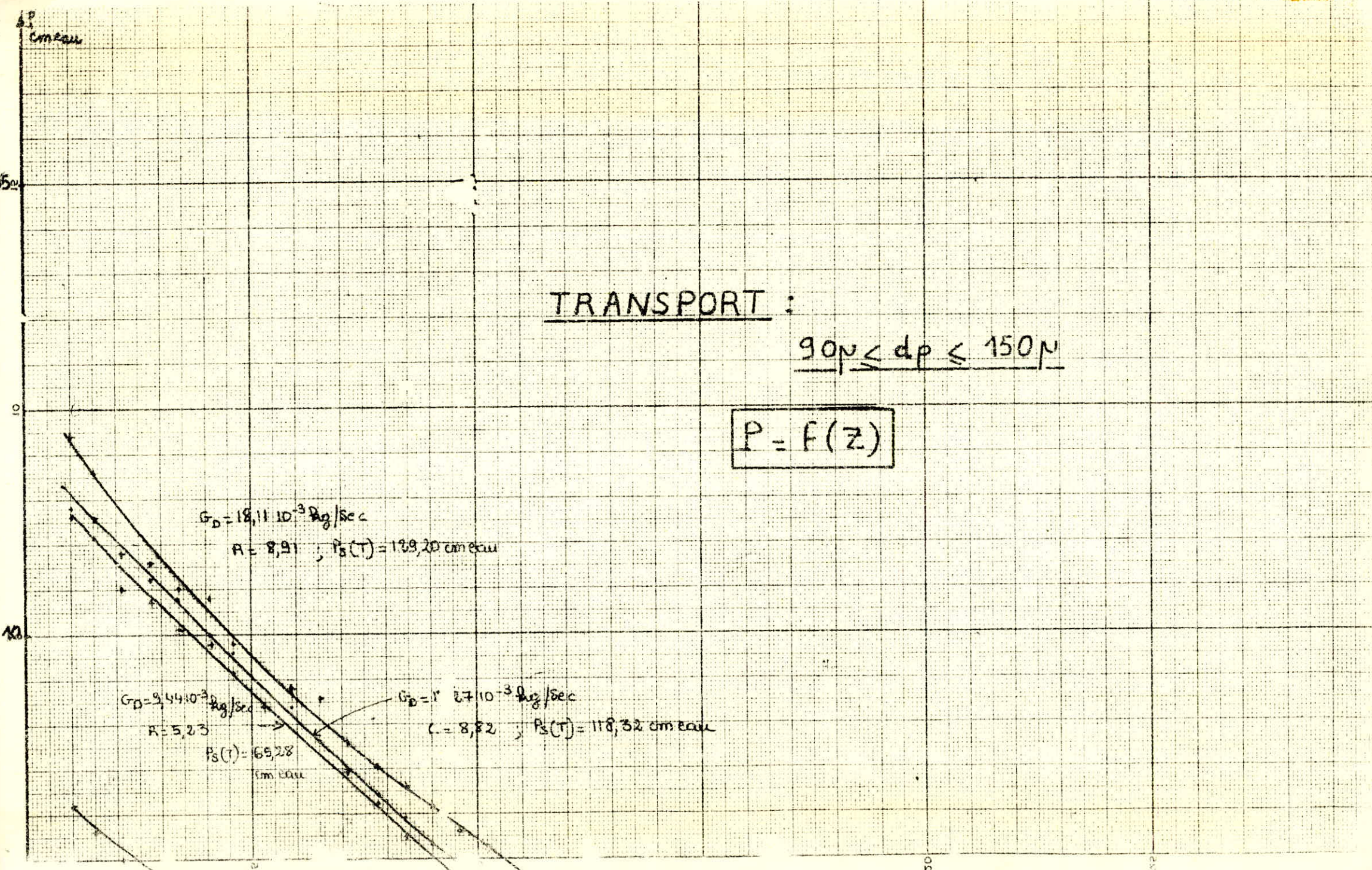
$90\mu \leq d_p \leq 150\mu$

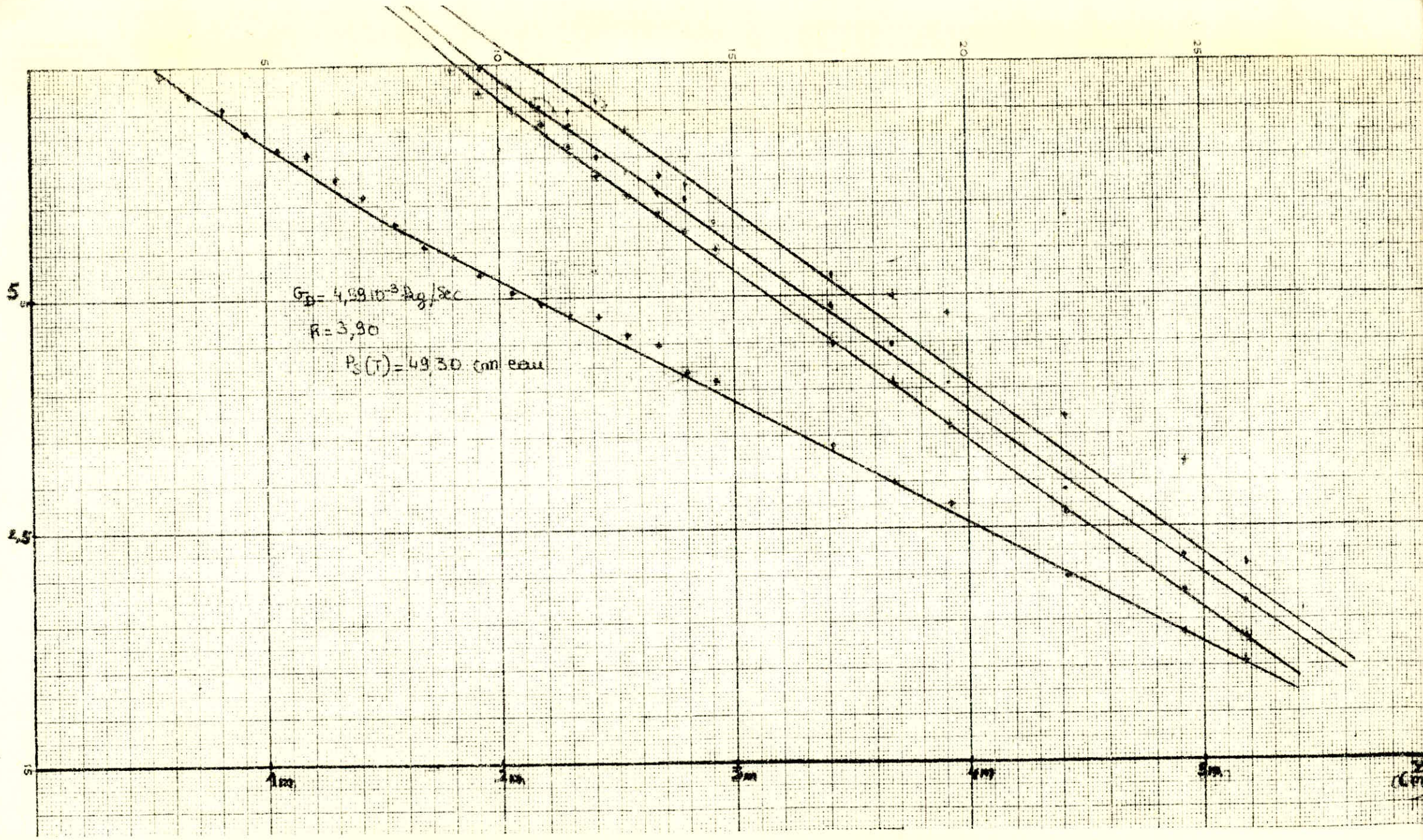
$P = F(z)$

$G_D = 18,11 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$   
 $R = 8,91 ; P_S(T) = 139,20 \text{ cm}^2/\text{sec}$

$G_D = 9,44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$   
 $R = 5,23$   
 $P_S(T) = 169,28 \text{ cm}^2/\text{sec}$

$G_D = 12,7 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$   
 $R = 8,82 ; P_S(T) = 118,32 \text{ cm}^2/\text{sec}$





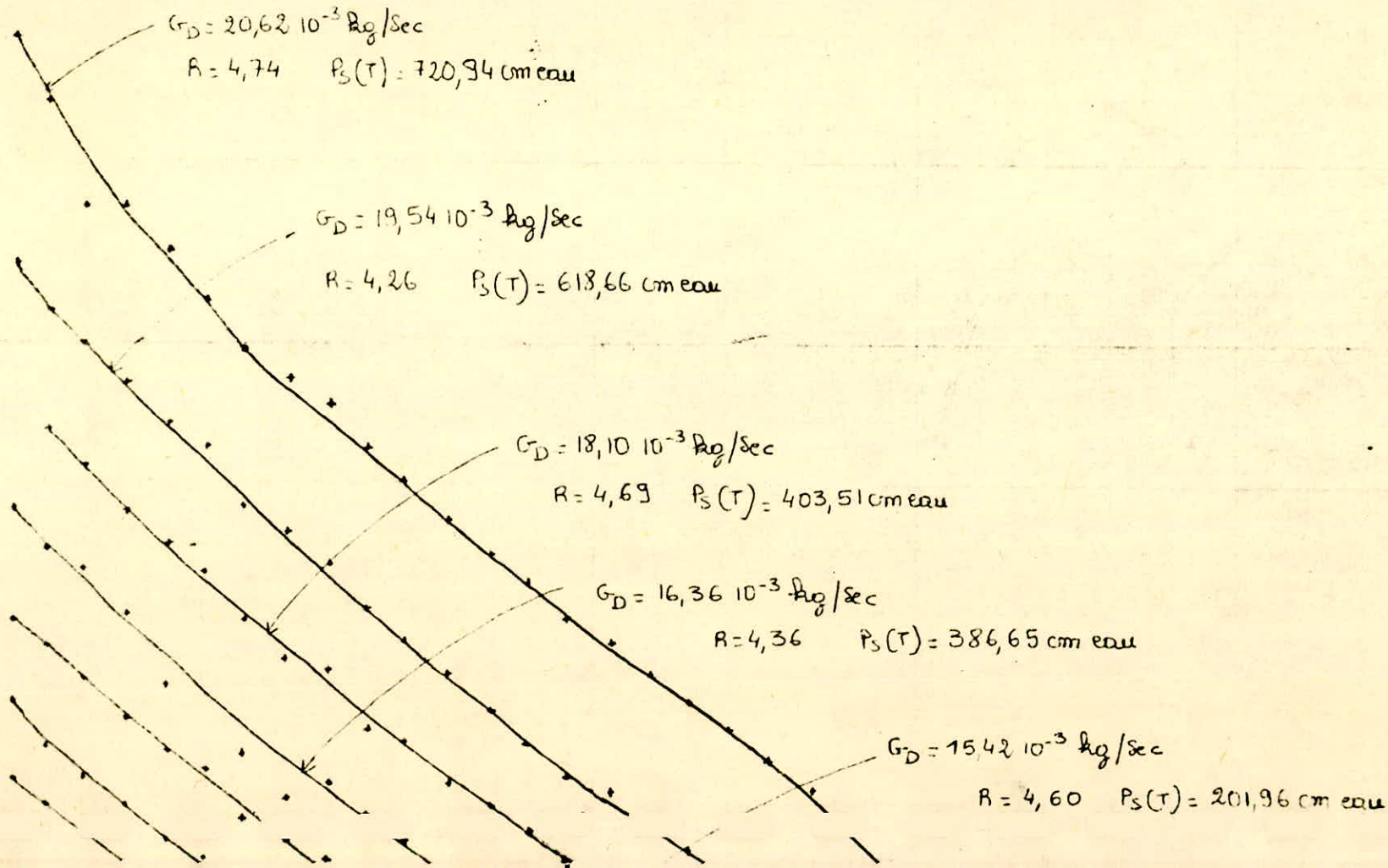
TRANSPORT :  $150 \mu \leq d_p \leq 250 \mu$

TABLEAU N° 9

		P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>
$G_D = 20,62 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 720,94 \text{ mm}$ $P_S(F) = 117,00 \text{ mm}$ $Q(T) = 13,0 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 7,7 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,74$ $U_{g_0} = 297,5 \text{ m/s}$	P (mm eau)	13,45	13,95	12,15	12,15	11,80	11,40	11,05	10,80	10,60	10,25	10,00	9,70	9,45	9,20	8,95	8,75	8,50	8,30	8,10	7,85	7,60	7,35	7,05	6,55	5,65	5,05	4,55	3,55	1,50	2,05	1,35	—	0,25	0	
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 19,54 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 615,65 \text{ mm}$ $P_S(F) = 117,00 \text{ mm}$ $Q(T) = 13,7 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 5,0 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,26$ $U_{g_0} = 302,9 \text{ m/s}$	P (mm eau)	11,70	11,30	11,05	10,75	10,45	10,25	9,80	9,60	9,35	9,00	8,75	8,50	8,20	7,95	7,70	7,60	7,35	7,15	6,95	6,75	6,55	6,30	6,05	3,65	4,80	4,25	3,80	0,60	2,90	1,15	1,75	4,15	—	0,15	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 18,10 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ $P_S(T) = 493,51 \text{ mm}$ $P_S(F) = 117,00 \text{ mm}$ $Q(T) = 13,53 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 8,0 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,63$ $U_{g_0} = 255,1 \text{ m/s}$	P (mm eau)	12,55	10,40	10,10	9,75	9,50	9,30	8,90	8,60	8,50	8,05	7,95	7,65	7,45	7,25	7,05	6,95	6,75	6,55	6,35	6,10	5,90	5,75	5,55	3,45	4,40	3,95	3,50	0,65	2,35	1,45	1,60	1,10	—	0,15	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 16,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 384,65 \text{ mm}$ $P_S(F) = 117,00 \text{ mm}$ $Q(T) = 11,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,50 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,36$ $U_{g_0} = 247,6 \text{ m/s}$	P (mm eau)	9,75	9,45	9,30	8,95	8,40	7,75	7,85	7,50	7,65	7,40	7,20	6,95	6,75	6,55	6,35	6,15	6,00	5,85	5,75	5,55	5,40	5,20	5,05	3,50	4,05	3,65	3,25	0,60	2,50	1,15	1,55	1,05	—	0,15	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 15,42 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sec}$ $P_S(T) = 201,96 \text{ mm}$ $P_S(F) = 116,23 \text{ mm}$ $Q(T) = 10,00 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 8,00 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,60$ $U_{g_0} = 229,1 \text{ m/s}$	P (mm eau)	8,90	8,70	8,45	8,15	7,90	7,75	7,35	7,20	7,05	6,75	6,55	6,35	6,15	5,95	5,75	5,75	5,50	5,30	5,35	5,10	5,00	4,80	4,65	3,00	3,80	3,25	3,05	0,70	2,35	1,05	1,45	1,00	—	0	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5

TRANSPORT:  $150\mu \leq d_p \leq 250\mu$

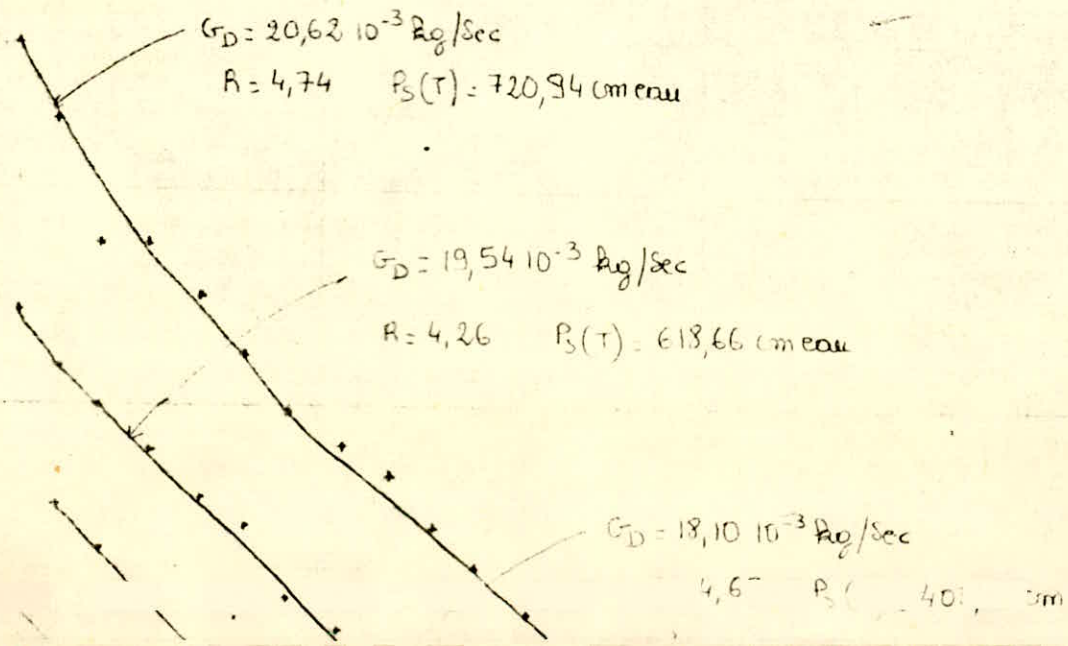
$P = F(Z)$



TRANSPORT:  $150\mu \leq d_p \leq 250\mu$

P  
( $\mu$ m)

$$P = F(Z)$$





TRANSPORT :  $150\mu \leq d_p \leq 250\mu$

		P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>
$G_D = 13,95 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_S(T) = 241,97 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(F) = 118,22 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 9,21 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 8,00 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 4,53$ $U_{g_0} = 203,7 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	8,25	7,90	7,65	7,45	7,20	7,05	6,75	6,55	6,45	6,15	5,95	5,75	5,65	5,50
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0
$G_D = 10,60 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_S(T) = 229,57 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $P_S(F) = 97,05 \text{ cm}^3/\text{cau}$ $Q(T) = 9,21 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 7,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_C} = 3,45$ $U_{g_0} = 203,7 \text{ m/s}$	P (cm <sup>3</sup> /cau)	7,65	7,45	7,25	7,00	6,75	6,60	6,35	6,15	6,05	5,75	5,60	5,45	5,25	5,10
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0

# TABLEAU N° 9

## SUITE

	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>
5	5,15	5,05	4,85	4,35	4,60	4,50	4,35	3,75	✓	3,45	3,05	2,75	✓	2,20	✓	1,35	0,90	✓	0,04	0,00
5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	307,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
5	4,35	4,80	4,70	4,60	4,45	4,30	4,10	3,55	✓	3,20	2,90	1,90	✓	1,60	✓	1,20	0,85	✓	0,10	0,00
5	150	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	307,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5

TRANSPORT:  $300\mu \leq d_p \leq 400\mu$

Après Tableau 9

TABLEAU N° 10

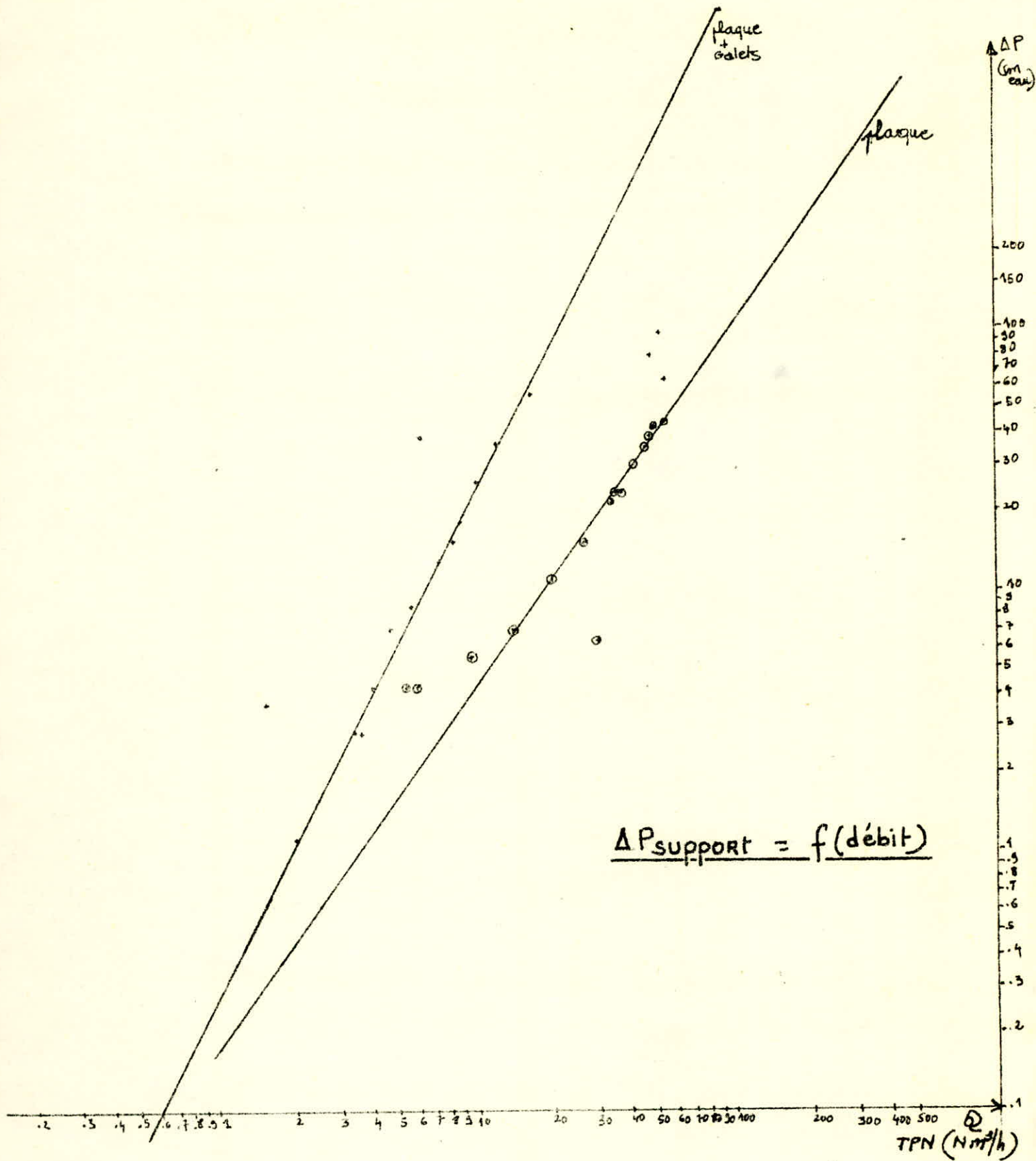
		P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>
$G_D = 45,96 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_s(T) = 519,70 \text{ cm eau}$ $P_s(F) = 85,68 \text{ cm eau}$ $Q(T) = 16,25 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_c} = 2,93$ $U_{g0} = 359,2 \text{ m/s}$	P (cm eau)	12,63	13,20	11,90	11,53	11,03	10,63	10,13	9,85	9,50	9,15	8,80	8,50	8,15	7,90	7,55	7,35	7,15	6,95	6,50	6,20	6,25	5,95	5,75	3,35	4,50	4,00	3,55	0,38	3,65	0,28	4,65	4,10	0,25	0,33	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 10,80 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_s(T) = 87,00 \text{ cm eau}$ $P_s(F) = 3,65 \cdot 0,6 \text{ cm eau}$ $Q(T) = 4,61 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,20 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_c} = 7,00$ $U_{g0} = 102,0 \text{ m/s}$	P (cm eau)	8,85	8,60	8,30	7,95	7,60	7,35	6,95	6,70	6,55	6,30	6,05	5,80	5,60	5,40	5,30	5,05	4,85	4,65	4,65	4,40	4,25	4,05	3,85	2,20	3,00	2,65	2,35	3,10	1,75	0,55	1,05	0,75	0,16	0	
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 8,29 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_s(T) = 270,64 \text{ cm eau}$ $P_s(F) = 88,40 \text{ cm eau}$ $Q(T) = 4,14 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,50 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_c} = 5,98$ $U_{g0} = 91,6 \text{ m/s}$	P (cm eau)	7,20	7,00	6,80	6,45	6,20	6,00	5,70	5,50	5,40	5,20	5,00	4,90	4,80	4,60	4,45	4,35	4,25	4,05	4,05	3,95	3,75	3,55	3,45	2,00	2,85	2,50	2,25	0,35	1,65	0,60	0,10	0,70	0,15	0	
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 6,27 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_s(T) = 15,64 \text{ cm eau}$ $P_s(F) = 87,72 \text{ cm eau}$ $Q(T) = 6,43 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,70 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_c} = 4,23$ $U_{g0} = 142,2 \text{ m/s}$	P (cm eau)	6,00	5,75	5,60	5,30	5,05	4,90	4,70	4,60	4,50	4,30	4,15	4,05	3,90	3,65	3,55	3,45	3,35	3,10	3,15	3,05	2,95	2,85	2,65	1,50	2,15	1,90	1,75	0,70	1,40	0,60	0,55	0,75	0,10	0,35	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5
$G_D = 4,07 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ $P_s(T) = 212,02 \text{ cm eau}$ $P_s(F) = 87,72 \text{ cm eau}$ $Q(T) = 5,68 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q(F) = 6,50 \text{ m}^3/\text{h}$ $R = \frac{G_D}{G_c} = 2,14$ $U_{g0} = 125,6 \text{ m/s}$	P (cm eau)	1,85	1,70	1,65	1,55	1,45	1,40	1,30	1,25	1,20	1,10	1,02	1,00	1,00	0,97	0,90	0,85	0,85	0,80	0,85	0,85	0,80	0,80	0,65	0,30	0,50	0,40	/	/	/	/	/	/	/	/	0
	Z (cm)	20,0	30,0	42,5	55,0	67,5	80,0	92,5	105,0	117,5	130,0	142,5	155,0	167,5	180,0	192,5	205,0	217,5	230,0	242,5	255,0	267,5	280,0	292,5	317,5	342,5	367,5	392,5	417,5	442,5	467,5	492,5	517,5	542,5	567,5	592,5

## CARACTERISTIQUES DES PARTICULES

diamètre $d_p$	densité ( $g/cm^3$ )	$U_{min}$ de Fluidisation ( $m/s$ )	Vitesse terminale de chute libre ( $m/s$ )	$\Phi_{min}$ de fluidisation ( $m^3/g$ )	$\Phi_{min}$ de transport ( $m^3/g$ )	Re particules	$U_{min}$ de fluidisation exp ( $m/s$ )
40-70 $\mu$	2,325	0,30	27,6	$2,117 \cdot 10^{-3}$	$1,250 \cdot 10^{-2}$	1,02	0,65
70-110 $\mu$	2,384	1,00	43,6	$7,056 \cdot 10^{-3}$	$2,250 \cdot 10^{-2}$	3,00	1,00
90-150 $\mu$	2,473	1,80	70,1	$12,700 \cdot 10^{-3}$	$3,170 \cdot 10^{-2}$	17,40	1,99
150-250 $\mu$	2,613	5,20	130,3	$36,690 \cdot 10^{-3}$	$5,890 \cdot 10^{-2}$	5,60	2,27
300-400 $\mu$	2,745	16,80	256,3	$118,540 \cdot 10^{-3}$	$11,595 \cdot 10^{-2}$	60,10	15,78

$$\Delta P_{\text{support}} = f(\text{debit})$$

$\Delta P_F$ (cm eau)	$Q_{TPN}$ $m^3/h$	$\Delta P_{\text{support}}$ (Plaque) cm eau	$\Delta P_F$ (cm eau)	$Q_{TPN}$ $m^3/h$	$\Delta P_{\text{support}}$ (Plaque + galeto) cm eau
28,79	43,50	35,36	44,22	50,5	32,48
37,86	53,00	43,52	44,84	52,0	62,56
32,28	47,00	40,80	37,25	47,0	77,52
29,31	43,00	38,08	6,54	16,0	54,50
24,42	39,50	29,92	4,01	11,8	35,36
19,36	35,00	23,12	2,97	10,0	25,84
18,43	33,50	23,12	2,27	8,5	17,68
17,18	32,10	21,76	2,14	8,0	14,96
11,60	25,50	14,96	1,66	7,0	12,24
7,41	19,20	10,88	1,13	5,5	8,16
4,10	13,50	6,80	1,44	5,4	3,4
2,18	9,20	5,44	0,83	4,6	6,8
9,54	29,50	6,12	0,61	3,9	4,08
4,80	5,70	4,08	0,52	3,50	2,72
0,87	5,25	4,08	1,26	6,00	36,72
0,26	2,55	2,72	0,48	3,40	2,72
-	-	-	0,13	1,52	3,4
-	-	-	-	-	-



A. 2. : CALCUL DE LA VITESSE MINIMALE DE FLUIDISATION

$$U_{\text{minf}} = \frac{\varepsilon \cdot \rho_s \cdot dp^2 \cdot (f_D - f_C)}{180 \eta \cdot (1 - \varepsilon)}$$

Exemple le calcul pour les billes de verre de diamètre  $dp = 200 \mu$

$$\rho_s = 2,613 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_c = 1,205 \text{ kg / m}^3$$

$$\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Decapoise}$$

$$\varepsilon_{\text{pf}} = 0,45$$

$$U_{\text{minf}} = \frac{9,8 \cdot (0,45)^3 \cdot (200 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2,613 \cdot 10^3 - 1,205)}{180 \cdot (1 - 0,45) \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}}$$

$$U_{\text{minf}} = 0,052 \text{ m/S}$$

A. 3. CALCUL DE VITESSE TERMINALE DE CHUTE LIBRE

$$U_t^{2-n} = \frac{4}{3} \frac{(f_D - f_C) \cdot g \cdot dp^{1+n}}{a \cdot \rho_c^{1-n} \cdot \eta^n}$$

a et n sont fonction du reynolds  $X$   
 - Détermination de a et n à partir du nombre adimensionnel  $X$  :

$$X = \frac{4}{3} \rho_c \cdot (f_D - f_C) \frac{dp^3}{\eta^2}$$

Exemple de calcul de la vitesse terminale de chute libre pour les billes de verre de diamètre  $dp = 200 \mu$

$$X = \frac{4}{3} \cdot 1,205 \cdot (2,613 \cdot 10^3 - 1,205) \cdot (200 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 9,8$$

$$(1,8 \cdot 10^{-5})^2$$

$$X = 1015,4 \text{ donc } 10 < \text{Reg} < 100$$

(Regime d'allen)

donc  $a = + 18,5$

$n = 0,6$

$$U_t^{1,4} = \frac{4}{3} \cdot \frac{9,8}{18,5} \cdot \frac{(2,613 \cdot 10^3 - 1,205) (200 \cdot 10^{-6})^{3,4}}{(1,8 \cdot 10^{-5})^{0,6} (1,205)^{0,4}}$$

$$U_t^{1,4} = 0,5$$

$$U_t = 0,701 \text{ m/S}$$

#### A. 4. ETALONNAGE DES DIAPHRAGMES

$$\text{Le débit équivalent en air T.P.N.} = \text{débit mesuré} \times \frac{D}{1,0} \cdot \frac{T_0}{273} \cdot \frac{1}{P_0} \cdot 8,04$$

où D : Densité du gaz mesuré ( air = 1 )

T<sub>0</sub> : Température absolue aux conditions de service

P<sub>0</sub> : Pression absolue aux conditions de service (en atm)

Cette formule permet de convertir le débit de fluide mesuré en tenant compte de la température et de la pression de service en un débit équivalent d'air aux conditions normales dans notre cas:

$$D \text{ flotteur} = 8,04$$

$$T_0 = 301^{\circ}\text{k}$$

Le débit équivalent en air T P N	= débit mesuré	$\frac{T_0}{273} \cdot \frac{1}{P_0}$
-------------------------------------	-------------------	---------------------------------------

#### A. 5 CALCUL DE LA SECTION DE LA COLONNE DE L'UNITE FLUIDISATION EIVS

$$S = \frac{\pi (D - 2e)^2}{4}$$

e = épaisseur = 0,3cm

D = Diamètre extérieur = 5,85cm

$$S = \frac{\pi (5,85 - 0,6)^2}{4} = 21,65 \text{ cm}^2$$

$$S = 21,65 \text{ cm}^2$$

Calcul de la section réduite du bac d'alimentation de l'appareillage de transport.

$$S = \frac{\pi \cdot (18,8)^2}{4} = 277,59 \text{ cm}^2$$

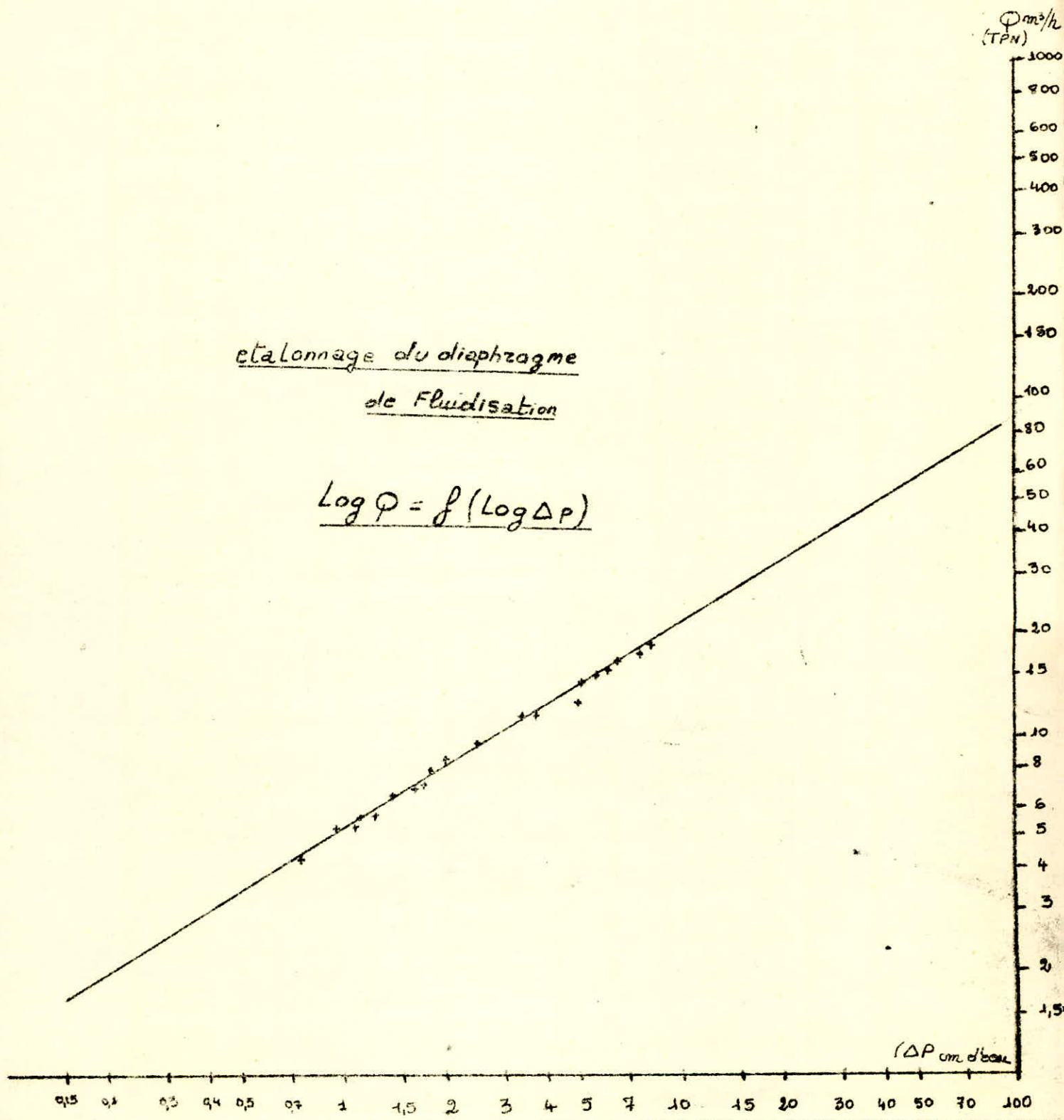


T=18°C ETALONNAGE DU DIAPHRAGME DE FLUIDISATION

P <sub>service</sub> (cm d'Hg)	P <sub>service</sub> (cm d'eau)	$\Delta P_{diaph}$ (cm d'huile)	$\Delta P_{diaph}$ (cm d'eau)	( divisions)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)	$\Phi$ à TPN	P <sub>entrée</sub> cm d'eau
3,40	46,24	3,40	8,19	88	18,70	18,90	88,40
3,00	40,77	2,70	7,58	82	17,42	17,64	77,52
2,70	36,70	2,50	6,54	76	16,15	16,38	72,08
2,60	35,34	2,00	6,10	73	15,50	15,73	66,64
2,30	31,26	5,90	5,14	68	14,45	14,69	55,76
2,30	31,26	6,50	5,66	70	14,87	15,13	55,48
2,20	29,90	5,90	5,14	66	14,03	14,27	55,76
2,10	28,54	5,70	4,97	63	13,39	13,63	53,04
1,90	25,83	4,30	3,75	53	11,26	11,48	42,16
1,80	24,46	3,90	3,40	52	11,05	11,27	40,80
1,45	19,71	2,90	2,53	43	9,14	9,34	32,64
1,35	18,35	2,10	1,83	36	7,65	7,83	25,84
1,30	17,67	2,30	2,00	39	8,28	8,48	28,56
1,25	16,99	2,00	1,74	34	7,22	7,39	25,84
1,25	16,99	1,95	1,70	34	7,22	7,18	25,84
1,20	16,31	1,80	1,57	32	6,80	6,96	23,12
1,15	15,63	1,60	1,39	30	6,37	6,53	23,12
1,10	14,95	1,30	1,13	26	5,52	5,66	21,08
1,10	14,95	1,40	1,22	27	5,74	5,88	22,44
1,10	14,95	1,25	1,09	25	5,31	5,44	21,76
1,05	14,27	1,10	0,96	24	5,10	5,23	20,40
0,95	12,91	0,85	0,74	19,50	4,14	4,25	17,68

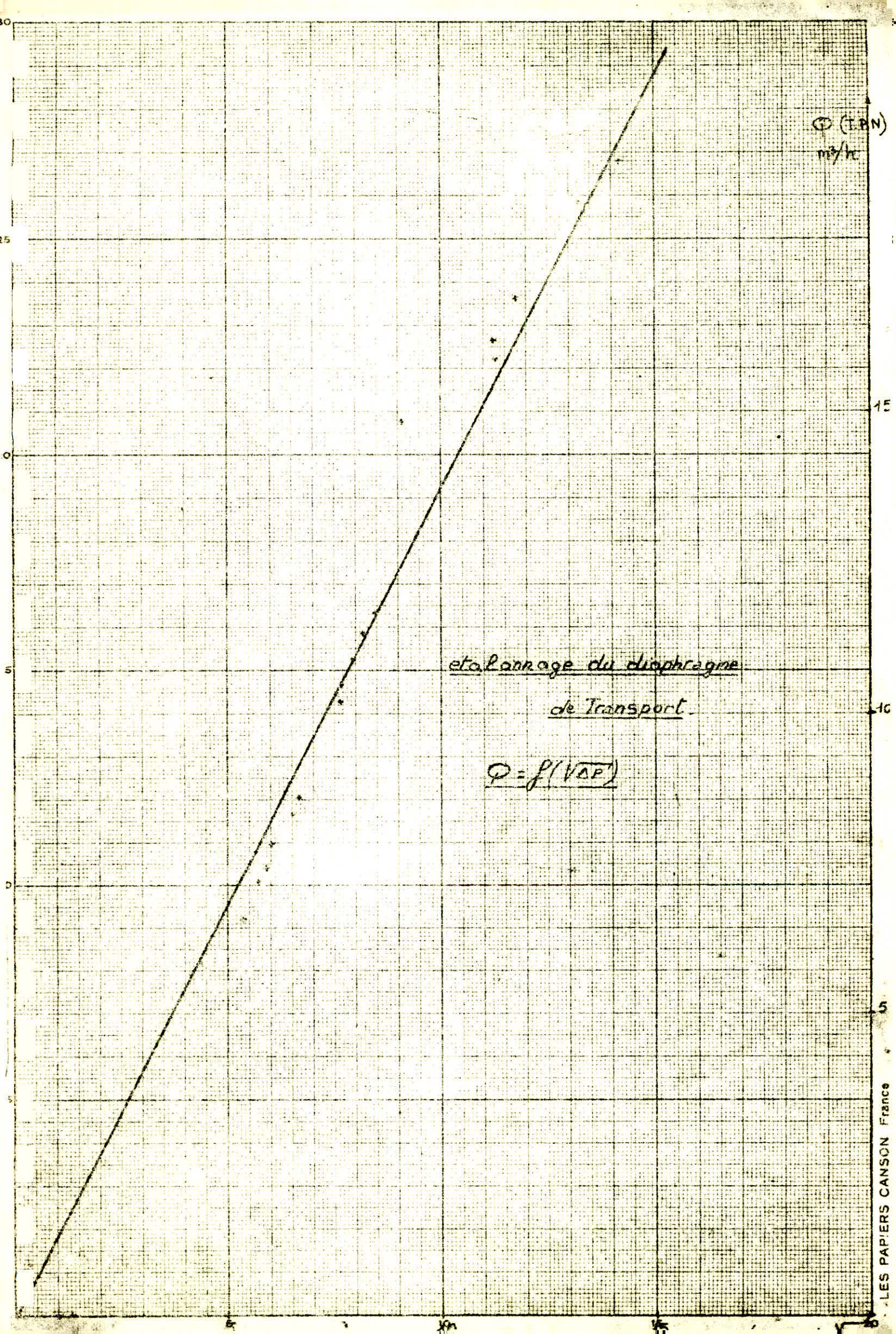
etalonnage du diaphragme  
de Fluidisation

$\text{Log } \varphi = f(\text{Log } \Delta P)$



$T=18^{\circ}\text{C}$ ETALONNAGE DU DIAPHRAGME DE TRANSPORT

$\Delta P$ (transport) (cm d'eau)	$P_{\text{service}}$ (cm d'eau)	$P_{\text{ontée}}$ (cm d'eau)	$\Phi$ (divisions)	$\Phi$ à $P_5$ (m <sup>3</sup> /h)	$\Phi$ à TPN	$\sqrt{\Delta P}$ (cm d'eau)
201,28	53,72	262,48	89,50	19,02	19,14	14,19
174,08	46,24	243,44	86,00	18,28	18,46	13,19
138,72	39,44	186,32	78,50	16,68	16,90	11,70
126,48	35,36	176,80	75,00	15,94	16,18	11,25
126,48	34,68	176,80	73,50	15,62	15,86	11,25
72,08	31,28	107,44	54,00	11,50	11,67	8,50
66,64	28,56	103,36	52,25	11,10	11,31	8,16
63,92	22,44	96,56	50,25	10,68	10,91	7,99
58,48	21,76	88,40	48,00	10,20	10,42	7,65
58,48	20,40	87,04	47,00	9,98	10,21	7,65
44,20	17,95	67,32	39,50	8,39	8,59	6,65
42,16	17,68	65,28	32,25	8,13	8,32	6,49
36,72	17,00	61,20	36,00	7,65	7,85	6,06
34,00	16,32	58,48	34,00	7,23	7,40	5,83
32,64	14,96	54,40	33,00	7,01	7,19	5,71
28,56	14,96	50,32	30,00	6,37	6,53	5,34



$Q$  (E.P.N)  
m<sup>3</sup>/h

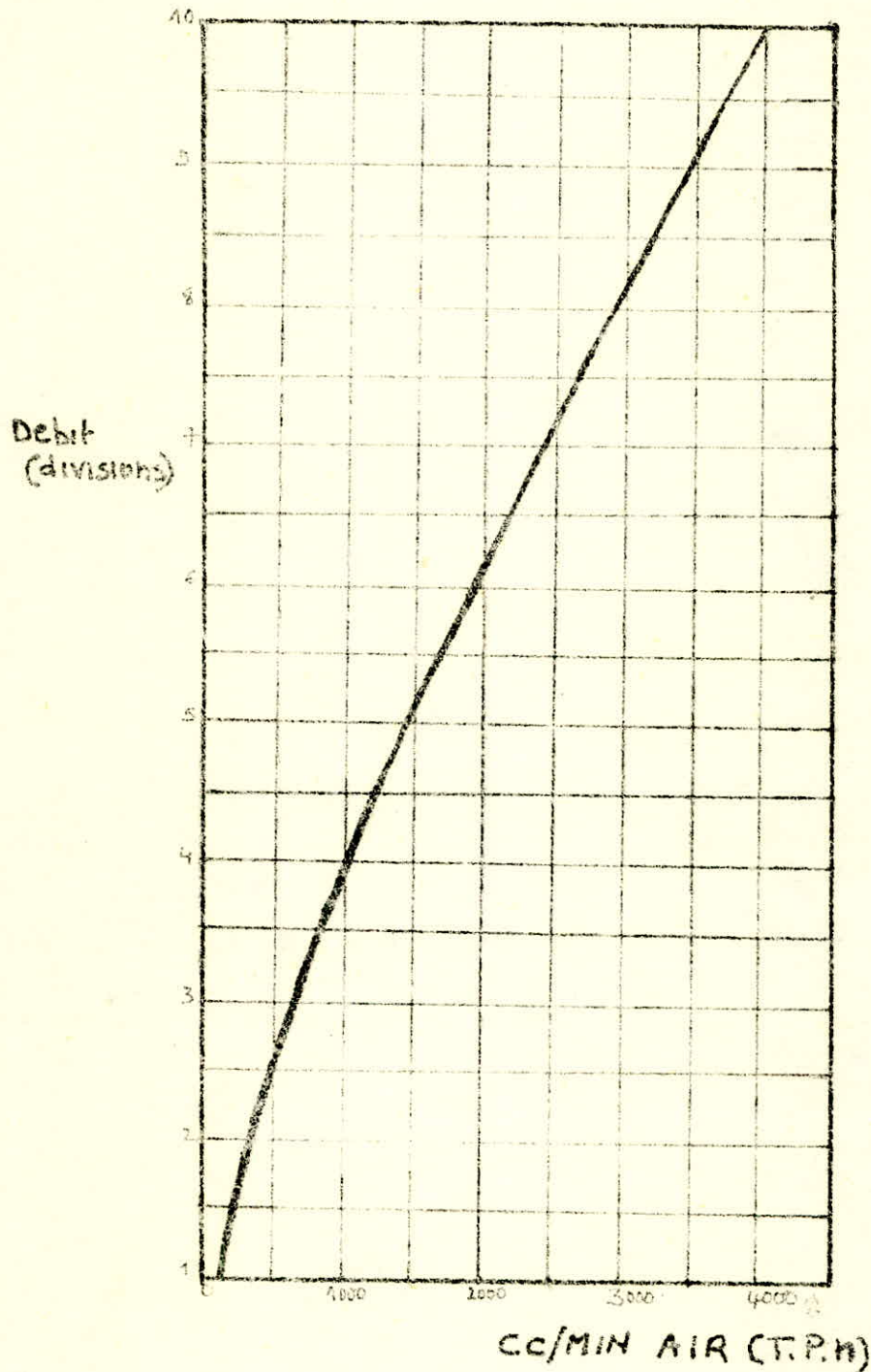
et al. Rannage du diaphragme  
de Transport

$Q = f(VAP)$

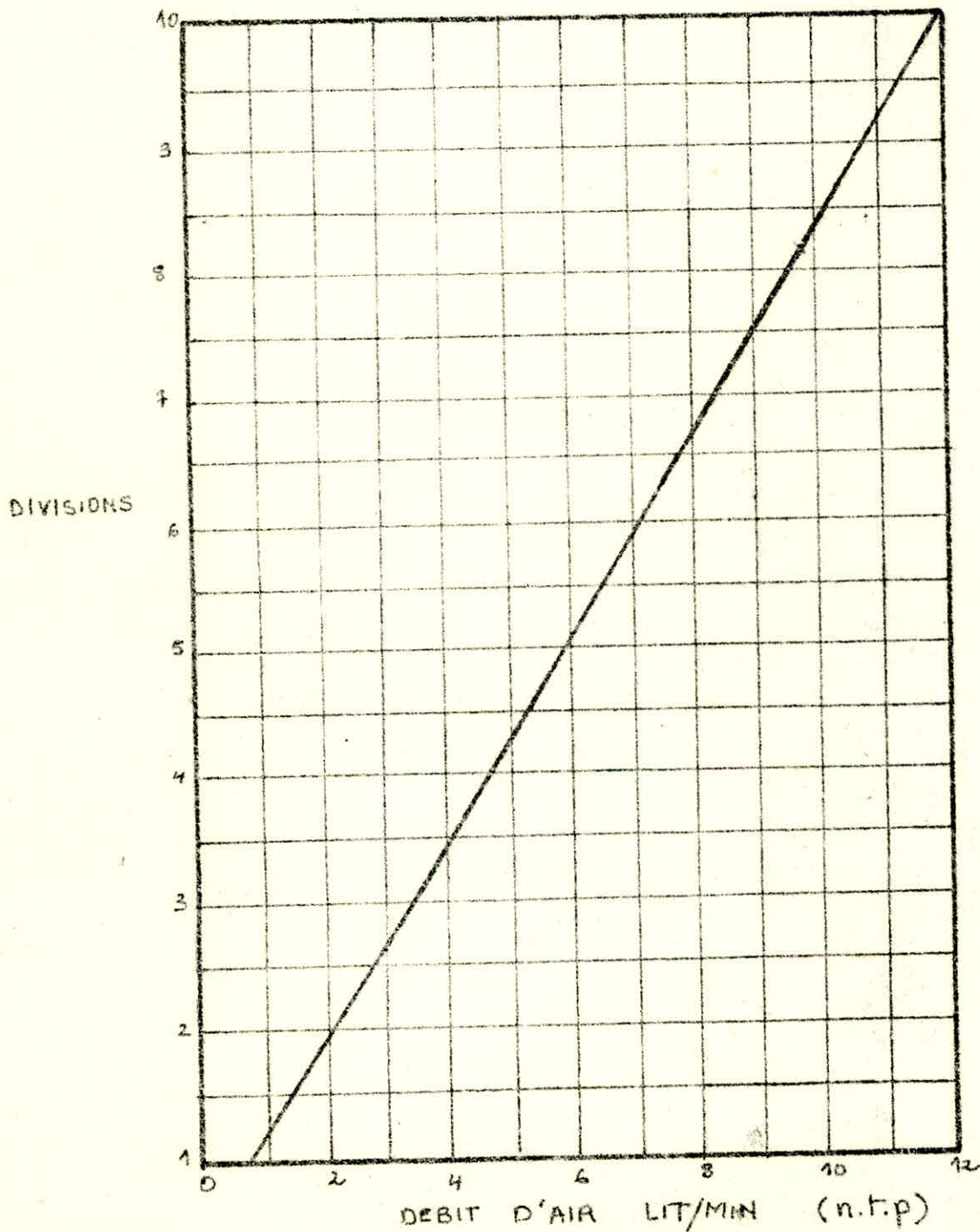
COURBE D'ETALONNAGE DU  
DEBITMETRE C6 FLOAT

N° 9-65/HS

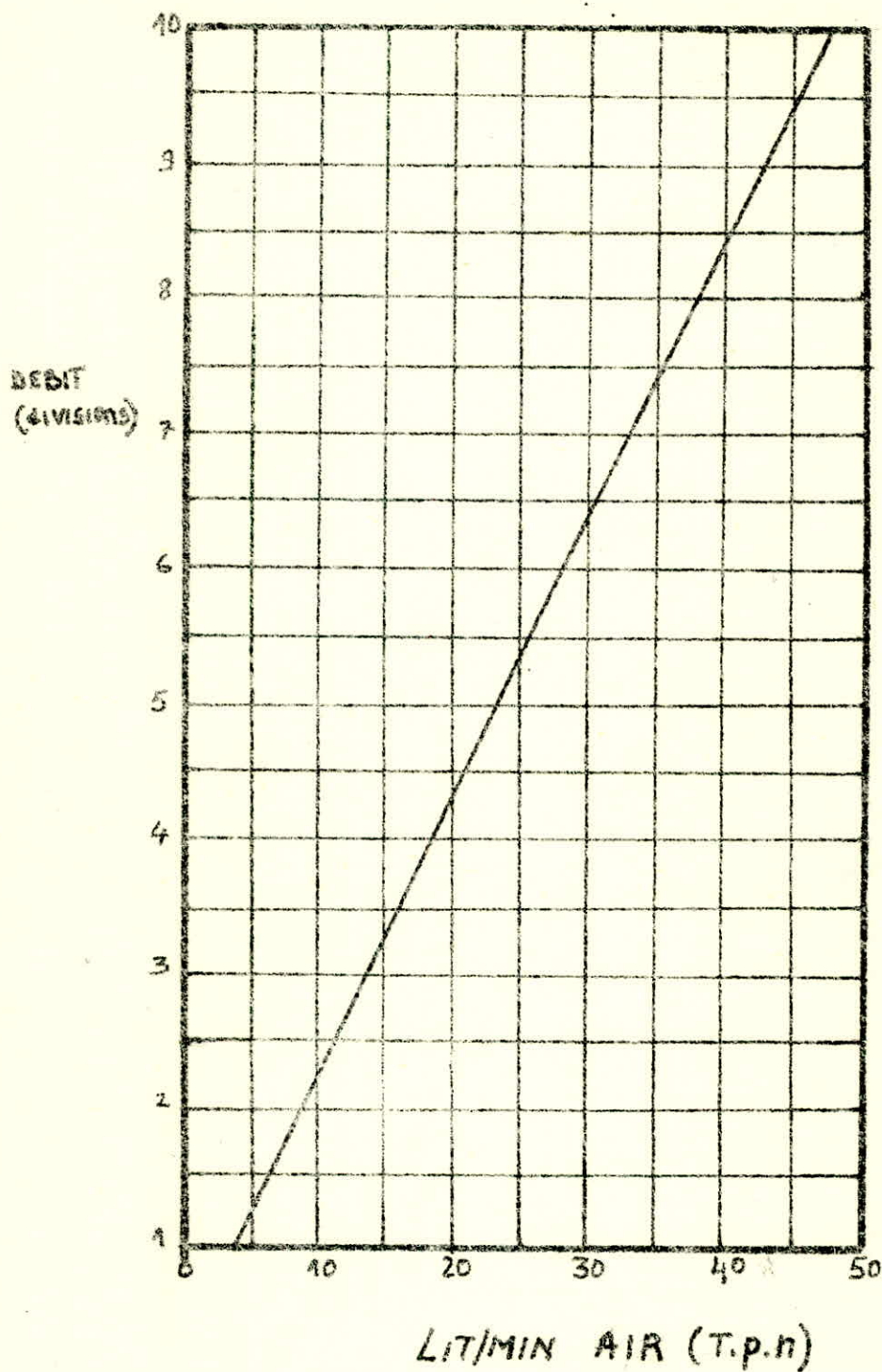
AIR (n-t-p) 200-4000 CC/MIN



COURBE D'ETALONNAGE DU  
DEBITMETRE A6 FLOAT No 9-60/D  
AIR (n.t.p) 1-12 LIT/MIN



COURBE D'ETALONNAGE DU  
DEBITMETRE A10 FLOAT N° 14-42/D  
AIR (n-t-p) 5-50 LIT/MIN



COURBE D'ETALONNAGE DU  
DEBITMETRE A6 FLOAT

N° 9-65/HS.

AIR (n-t-p) 2.5-25 LIT/MIN.

