

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

المسجلة الوطنية
المكتبة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

SUJET

L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Proposé par :
Mr. A. TYCZKOWSKI

Etudié par :
Mr. M. TALEB AHMED

Dirigé par :
Mr. A. TYCZKOWSKI

-oOo- /)/) _embres de / ury -oCo-

Président : Mme T. D J E L I A S , Maître Assistante à l'E.N.P.

Examineurs : M. D. L Y A K O V , Maître de Conférences à l'ENP

M. A. TYCZKOWSKI , Maître de Conférences à l'ENP

Mlle G. Y A I C I , Maître assistante à l'E.N.P.

M. A. BENDJAMA , Maître assistant à l'E.N.P.

-oOo- D _ E _ D _ I _ C _ A _ C _ E S -oOo-

∟o DEDIE CE MODESTE TRAVAIL ,

- //(-)_ mes parents qui se sont sacrifiés pour moi
- //(-)_ la mémoire de mon frère Ali
- //(-)_ mon frère Mahfoud et a son épouse
- //(-)_ mes sœurs F. ZOFRA, MADJIA, GHANIA
- //(-)_ mon camarade Mohamed
- //(-)_ tous ceux que me sont chers.

*** M _ O _ U _ R _ A _ D ***

-oOo- R E M E R C I M E N T S -oOo-

//_ u terme de ce modeste travail, qu'il me soit permis de remercier très sincèrement M. A. T E Œ Z K O W S K I , M. S A A D A , Melle W. Y A I C I , pour m'avoir guidé tout au long de ce projet, ainsi que pour collaboration et leur gentillesse.

/)/_ es remerciements s'adressent également à :

Mme T. D J E L L A S , Maître assistante à l'E.N.P pour avoir accepté de presider ce jury ; M. D. L Y A K O V à l'E.N.P. M. A. B E N D J A M A , Maître assistant à l'E.N.P pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

/c tions a remercier également :

MM. D A M A R D J I , R. A N R I , A. R E Z I G , pour leur aide et leur soutien moral.

Que mon estime et ma gratitude.

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

Département : GENIE CHIMIQUE.....

Promoteur : TYCOWSKI.....

Elève Ingénieur : TALEB-AHMED Mourad

إدارة الدراسات والبحوث
مركز البحوث والدراسات
الطاقة والكهرباء
الطاقة والكهرباء
الطاقة والكهرباء

موضوع : " الغربة على الطريقة الجافة "

ملخص : إن عملنا هذا يهتم بدراسة تعنيف الجسيمات تبعاً لكبرها والهدف منه هو إظهار مدى تأثير مختلف الشروط منها الزمن، تغطية مساحة الغربال وسرعة حركته على هذه الطريقة للحمول على المقادير المتتالية التي تسمح بتحقيق التعنيف المثالي. من بين طرق التعنيف المختلفة اخترنا لتحقيق هذه الدراسة الطريقة الجافة للغربلة باستخدام الرمل الشاطئ.

Sujet : L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE.....

Résumé: Notre travail porte sur la separation en des particules du solide.

Notre but est de mettre en evidence l'influence des divers paramètres opératoire (entre autres le temps de tamissage, le taux de recouvrement des surfaces criblantes, la vitesse de vibration) sur ce procédé afin de dégager les valeurs optimales permettant de réaliser les conditions ideales de separation.

Parmi les nombreuses methodes de separation, nous avons choisir pour cette étude la methode seche (tamissage) en utilisant les sables.

Subject : Preliminary introduction.....

Abstract: Our work concerne with separation of particules. Our purpose is to put en evidence the influence of various operating parameters (the time of sieving, rate of the recovery, the speed of vibration) on this process, in order to emerge the optimal values whitck permit to realize the ideal conditions of separation.

Among the many methods of separation, we have selected for this study, the straight method (sieving) using sable.

INTRODUCTION :

GENERALITE :

PARTIE THEORIQUE :

	Page
Chapitre 1 : Propriétés des solides	4
1.1 Masse volumique. Densité	4
1.2 Granulométrie	5
1.2.1 Methodes de mesures des dimensions des particules	5
1.2.2 Surface spécifique	7
1.2.3 Facteur de forme	16
1.2.4 Masse poreuse. Dispersion	11
Chapitre 2 : Tamisage	14
2.1 But	14
2.2 Terminologie	14
2.3 Fonction de distribution Représentation graphique	15
2.4 Caracteristiques des surfaces de criblage	18
2.5 Choix des surfaces de criblage	20
2.6 Dynamique des cribles; Mesure d'efficacité.	22

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Appareillage	27
Chapitre II: Resultats experimentaux :	29

II.1	Preparation de melange frais	29
II.2	Determination du temps ideal de separation	39
II.3	Etude de la distribution granulometrique	32
II.4	Preparation de melange artificiels	40 39
II.5	Influence du taux de recouvrement sur les efficacités.	40 39
II.6	Influence du temps sur les efficacités.	50

CONCLUSION	GENERALE :	60
------------	------------	----

INTRODUCTION

Les corps finement divisés ont pris une place considérable quant à leurs utilisations dans l'industrie du fait de leurs participations aux différentes opérations unitaires en améliorant économiquement la production.

Dès le début du siècle, plusieurs chercheurs se sont penchés sur ce problème. Citons WO. OSTWALD (1915) qui a nommé ce monde "le monde des dimensions négligées" dont ses travaux ont été, principalement, la sédimentation et le tamisage.

Ces thèmes ainsi que la lévigation ont été également étudié par ANDREASEN.

Récemment, les recherches sont orientées vers l'étude de l'influence de la granulométrie sur le procédé d'absorption ainsi que dans la fluidisation.

GENERALITES :

La granulométrie consiste en un classement d'un produit pulvérulent en pourcentage des grains de différentes grosseurs qui le composent.

Dans l'industrie, c'est en premier lieu, la granulimétrie de corps solides qui décide :

- dans la technique de la fabrication du papier;
- des additions aux matériaux de construction (béton, béton vibré, béton poreux, ciment);
- en briquetage, de l'obtention des comprimés et surtout dans le frittage qui leur fait suite (métallurgie des poudres);
- de la dispersion des engrais artificiels;
- du tassement des produits qui intervient dans les procédés en lits fluidisés.

Le développement spécifique des surfaces détermine en outre le comportement lors de la dissolution, de l'adsorption, des vitesses de réaction et des vitesses de combustion (pour la poussière de charbon, la gazeification de poussières, les métaux pyrophoriques de poussière).

Pour cela, le classement des matières obtenues sous forme de solides fragmentés, par broyage ou cristallisation suivie d'un séchage, a pour but de séparer les substances soit par ordre de grosseur, ou densité, ou bien selon certaines différences de propriétés :

électriques, magnétiques, superficielles.

Les différentes méthodes sont :

- la séparation magnétique employée pour séparer les substances magnétique et non magnétiques;
- la séparation électrostatique basée sur le comportement des particules ayant des charges différentes dans un champs électrique;
- le criblage, tamisage ou blutage qui permettent de séparer les matières par ordre de grosseur;
- la sédimentation basée sur les différences de vitesse de chute dans un fluide, les produits seront classés selon leurs dimensions ou leurs densités.

CHAPITRE 1

Propriétés des solides

1-1 Masse volumique - Densité :

- Définition :

La masse volumique ρ d'un corps homogène est la masse de l'unité de volume du corps c'est à dire le rapport de la masse par le volume V :

$$\rho = \frac{m}{V} = f(T,P) \quad (1,1)$$

La densité relative d'un corps homogène est le rapport de la masse volumique de ce corps à la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps.

- Masse volumique apparente. Densité apparente.

Pour un lot de particules solides, contenues par exemples dans un récipient, on ne peut définir, pour l'ensemble, la masse volumique car il n'y a plus d'homogénéité : les particules sont jointives, mais entre elles, les vides sont occupés par un fluide, de l'air par exemple. Pour cela on définit une masse volumique apparente ρ_a qui est le rapport de la masse totale du lot de particules par le volume qu'il occupe.

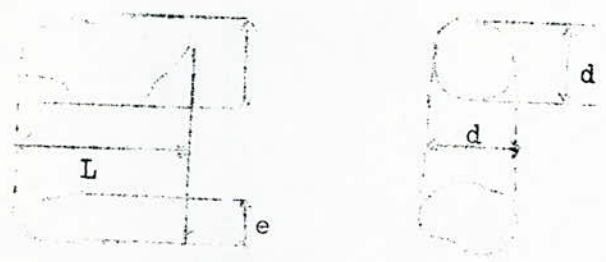
Ce volume comprend d'une part celui du solide et d'autre part celui relatif au fluide entre les grains (gaz ou liquide).

Cette masse volumique apparente (sera calculée au paragraphe 1-2-4b) en fonction des masses volumiques du solide du fluide lorsque les "vides" entre les grains seront caractérisés.

A cette notion de masse volumique apparente est associée celle de densité apparente qui sera encore une grandeur adimensionnelle.

1-2 Granulométrie :

Les différentes méthodes d'analyse granulometrie s'attachent non pas aux propriétés tridimensionnelles de la particule, mais aussi à celles de la projection de cette dernière sur un plan.



pour simplifier, nous sommes donc amenés à considérer conventionnellement dans tout ce qui va suivre "De" la dimension d'une particule de forme irrégulière comme celle d'une sphère ayant soit la même surface apparente, soit la même résistance à l'avancement dans un fluide que la particule considérée.

1-2-1 Les méthodes de mesures des dimensions des particules

Elles sont en nombres de trois :

a) Méthodes directs :

Lorsque la taille le permettra, le mètre ou le pied à coulisse serviront à définir les trois dimensions et donnent une indication sommaire de la forme des grains.

Pour les particules très fines (dimensions comprises entre 100 µm et 1 µm jusqu'à 10⁻² µm), l'emploi du microscope électronique permet de déterminer leurs dimensions.

b) Analyse par tamisage :

Cette méthode, est la plus utilisée pour dimensions comprises entre 0,04 mm et 5 mm : si une particule passe à travers une ouverture ϕ_i et ne passe pas à travers une autre ouverture ϕ_{i-1} , on dira qu'elle a une dimension telle que

$$D_i < D_{(\phi_{i-1})} < D_{i-1}$$

L'essai fournit les différentes fractions de masse et de dimension :

La méthode sera d'autant plus précise que d_1 et d_2 seront proches

En ce qui concerne tout le lot, la dimension moyenne la plus simple D_a est définie par la moyenne arithmétique :

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i D(i, i-1)}{n} \quad (1,3)$$

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n m_i D(i, i-1)}{m} \quad (1,4)$$

d'où $D_a = \sum x_i d D(i, i-1) \quad (1,5)$

Considérons maintenant la notion de surface. Une particule de dimensions $D(i, i-i)$ a une surface : $\psi_s D^2(i, i-i)$ où (ψ_s) est un coefficient de forme égal à π pour une sphère, à 6 pour un cube; on supposera qu'il est le même pour toutes les particules du lot. Son volume est égal à $\psi_v D(i, i, i)$ ($\psi_v = \frac{\pi}{6}$ pour une sphère, sera supposé le même pour toutes les particules).

Si ρ est la masse volumique de la substance, la fraction m_i aura une surface totale :

$$\frac{m_i}{\rho \psi_v D(i, i-i)^3} \psi_s D^2(i, i-i) = \frac{m_i}{\rho} \frac{\psi_s}{\psi_v} \frac{1}{D(i, i-i)} \quad (1,6)$$

La dimension moyenne D_v sera définie par la relation :

$$\frac{1}{D_v} \sum_{i=1}^n \frac{m_i \psi_s}{\rho \psi_v} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho} \frac{\psi_s}{\psi_v} \frac{1}{D(i, i-i)} \quad (1,7)$$

$$\frac{1}{D_v} \sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{D(i, i-i)} \quad (1,8)$$

d'où $\frac{1}{D_v} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D(i, i-i)} \quad (1,9)$

c) Méthodes indirectes ou par équivalence :

La dimension de la particule sera celle de la sphère réalisée à l'aide de la même matière et qui aura même propriété qu'elle.

Il y a plusieurs sortes d'équivalences :

- Vitesse de déplacement dans un fluide : d_s 7

- La dimension sera le diamètre de la sphère de même volume V que la particule.

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} \quad (1,10)$$

Les mesures par densité permettent d'obtenir d_v

- Surface totale :

La dimension sera celle de la sphère de même surface

$$d_A = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (1,11)$$

"S" sera déterminée par adsorption par exemple.

- Surface de projection :

Ce sera le diamètre du cercle ayant même surface de projection sur un plan horizontal que celle de la particule quand elle occupe sa position la plus stable : d_p sera obtenu par des méthodes optiques.

Il est intéressant de remarquer les différences qui peuvent apparaître entre toutes ces définitions de dimension.

* Pour des grains de plomb on a :

$$d_s = d_v = d_A = d_p$$

* Pour des grains de sable on a :

$$\frac{d_A}{d_s} = 1,01 ; \frac{d_v}{d_s} = 1,1 ; \frac{d_e}{d_s} = 1,39$$

* Pour des particules de mica :

$$\frac{d_A}{d_s} = 2,8 ; \frac{d_v}{d_s} = 1,45 ; \frac{d_e}{d_s} = 3,8$$

1-2-2 Surface spécifique :

La surface spécifique d'une poudre est le nombre de centimètre carrés de surface extérieure totale d'un gramme de cette poudre.

La connaissance de la surface spécifique est d'une grande importance en génie-chimique. La catalyse, la solubilisation et l'adsorption sont des phénomènes qui dépendent tous de la surface des particules. Le tableau -1 indique le développement que prend la surface spécifique avec l'augmentation du degré de division pour de petits cubes.

Longueur de l'arrêté	Nombre de cubes	surface totale
1 cm	1	6 cm ²
1 mm	10 ³	60 cm ²
0,1 mm	10 ⁶	600 cm ²
0,01 mm	10 ⁹	6000 cm ²
1 μ	10 ¹²	6 m ²
1 mμ	10 ²¹	6000 m ²

Tableau 1

L'estimation de cette surface exprimée en cm²/g peut-être trouvée soit par calcul à partir d'une analyse granulométrique soit par des méthodes expérimentales.

a) Calcul de la surface spécifique à partir d'une analyse granulométrique.

Dans le cas des particules sphériques, cette surface est donnée par le rapport de la surface de N particules de diamètre d qui est $N \pi d^2$ et la masse de ces particules exprimée par :

$$N \cdot \frac{\pi d^3}{6}$$

d'où

$$Sp = \frac{N \pi d^2}{N \cdot \frac{\pi d^3}{6}} = \frac{6}{d} \quad (1, 12)$$

Dans le cas de particules irrégulières, le calcul sera plus complexe. En effet, en ce qui concerne la valeur que prendre d sera la moyenne arithmétique des diamètres d1 et d2 minimal et maximal de la classe lorsque les valeurs de d1 et d2 sont

Pour une analyse granulométrique, la surface spécifique tenant compte de toutes les classes peut être calculée de la façon suivante :

Soient w_1, w_2, \dots, w_n les classes granulométriques et leurs masses relatives (pourcentages en masse) w_1, w_2, \dots, w_n telles que $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ (1, 13)

Désignons par n_1, n_2, \dots, n_n le nombre de particules dans chacune des classes.

Nous savons que la surface des particules d'une classe est égale (dans le cas des sphères) à :

$$n_1 \pi d_1^2, n_2 \pi d_2^2, \dots, n_n \pi d_n^2$$

D'autre part, connaissant le pourcentage en masse des fractions on peut écrire que

$$w_1 = n_1 d_1^2 \pi / 6M \quad (1, 14)$$

d'où
$$n_1 = 6M w_1 / \pi d_1^2 \quad (1, 15)$$

La surface de la classe X1 est donc égale à :

$$n_1 \pi d_1^2 = 6M w_1 \pi d_1^2 / \pi d_1^2 = (6M/g) (w_1/d_1) \quad (1, 16)$$

La surface totale des classes sera :

$$St = \frac{6M}{g} \left(\frac{w_1}{d_1} + \frac{w_2}{d_2} + \dots + \frac{w_n}{d_n} \right) \quad (1, 17)$$

et la surface spécifique totale sera :

$$Sp = \frac{6}{g} \left(\frac{w_1}{d_1} + \frac{w_2}{d_2} + \dots + \frac{w_n}{d_n} \right) \quad (1, 18)$$

Méthodes graphiques

Cette méthode repose sur la relation suivantes :

$$Sp = \frac{6}{g} \int_0^{100} \frac{1}{d} \cdot d \cdot (cd) \quad (1, 19)$$

où cd représente le pourcentage de produits plus fins (pourcentage cumulé passé) que la dimension d . Cette équation peut être intégrée de deux façon :

- En traçant Cd en fonction de (1/d) pour calculer l'aire au dessous de la courbe.

- En faisant une interpolation de la courbe de distribution pour en déduire une forme polynomiale afin de faciliter l'intégration.

b) Méthodes expérimentales :

La surface spécifique peut être aussi estimé par la mesure d'une propriété de la poudre dépendant de la surface telle que :

- perméabilité d'un lit de la poudre d'un fluide; (méthode de BLAINE)
- transmission de la lumière à travers une suspension de la poudre;
- vitesse de solubilisation;
- adsorption, cette mesure peut s'effectuer soit à l'aide des liquides comme les acides gras en solution aqueuse ou alcoolique.

Toutes ces méthodes conduisent à des résultats différents.

Dans les méthodes par adsorption, on mesure la surface totale y compris la surface des pores. Les autres méthodes conduisent à l'estimation de la surface externe des grains (la surface dans ce cas, est considérée comme un contour parfaitement lisse et sans discontinuité). On les utilise dans les études de pouvoir couvrant, de viscosité, d'énergie nécessaire au broyage.

1-2-3 Facteur de forme :

Nous avons vu que la grosseur des grains avait une très grande importance dans la pratique en sous entendant la forme de ces particules. Effectivement, c'est cette caractéristique physique qu'il faut éclaircir.

Une première méthode donne la forme de la particule en faisant appel à deux coefficients.:

- le coefficient d'applatissage

$$a_1 = \frac{\text{épaisseur}}{\text{largeur}} = \frac{e}{l} \quad (1,20)$$

- le coefficient d'allongement

$$a_2 = \frac{\text{largeur}}{\text{longueur}} = \frac{l}{L} \quad (1,21)$$

Cette méthode parait satisfaisante, mais elle introduit deux coefficients et est avantageusement remplacée par d'autres ou il y'aura seulement un coefficient : ψ , qui caractérisera l'état de déformation par rapport à la forme sphérique.

La méthode consiste à définir le facteur de forme comme le rapport d'une propriété dimensionnelle de la particule à celle de la sphère ayant un diamètre égal à la dimension mesurée sur la particule.

Les facteurs de formes ainsi définis sont plus grands que 1, pratiquement ont utilise la sphéricité ψ d'une particule de volume V_p , définie comme étant égale au rapport de la surface de la sphère de volume V_p à la surface A_p de la particule, soit :

$$\psi = \frac{\pi \left(\frac{6V_p}{\pi} \right)^{2/3}}{A_p} \quad (1,22)$$

ou encore $\psi = 4,836 \frac{V_p^{2/3}}{A_p} \quad (1,23)$

1.2.4 Masse poreuse - Dispersion :

L'écoulement d'un gaz ou d'un liquide à travers un lit de particules solides fait intervenir une certaine texture de la masse poreuse. Lorsque l'entassement est fixe on dira que c'est un lit poreux; par exemple : dans les opérations de filtration, dans les colonnes d'absorption garnies d'anneaux Raschig,

dans les colonnes d'échanges d'ions sur lit fixe de résine ou encore de séchage de grains humides par un courant gazeux chaud. Quand les particules solides seront en mouvement et ne seront plus en contact les unes avec les autres, l'empilage sera dit "dispersé": c'est le cas par exemple de la sédimentation, de la décantation ou de la fluidisation.

a) texture :

Le système réel peut être représenté par deux possibilités :

On s'intéresse au fluide, dans ce cas le milieu poreux est représenté par un faisceau de pores cylindriques indépendants ou définit ainsi le diamètre d_p des pores; ou bien on caractérise le milieu solide et il est représenté par un empilement de grains caractérisés par leur diamètre et de plus par un facteur de sphéricité pour indiquer leur forme réelle.

Les autres grandeurs importantes sont la porosité et la surface spécifique.

La surface spécifique s_p a été définie au 122.

Dans le cas de masses poreuses, un grain de surface s_g et de volume V_g a une surface spécifique

$$s_p = \frac{s_g}{V_g} \quad (1,24)$$

C'est à partir de cette grandeur qu'est défini le diamètre du grain : d_g qui est le diamètre de la sphère de même surface spécifique, donc :

$$d_g = \frac{6}{s_p} = \frac{6 V_g}{s_g} \quad (1,25)$$

De même, pour le diamètre des pores : d_p est égal au diamètre du cylindre circulaire qui a même surface spécifique que le pore.

b) Porosité :

La porosité ϵ est la fraction de volume occupée par la fluide entre les grains. Dans le volume V de masse poreuse, il y a $\epsilon \cdot V (m^3)$ de "Vide" et $(1-\epsilon) \cdot V (m^3)$ de solide. Si ρ_s est la masse volumique du solide et ρ_f celle du liquide, écrivons que la masse totale est égale à la somme de la masse du solide :

$\rho_s (1-\epsilon) V$ et du fluide : $\rho_f \epsilon V$, soit :

$$M = \rho_s (1-\epsilon) V + \rho_f \epsilon V \quad (1,26)$$

De la définition de la masse volumique apparente

ρ_a :

$$M = \rho_a \cdot V \quad (1,27)$$

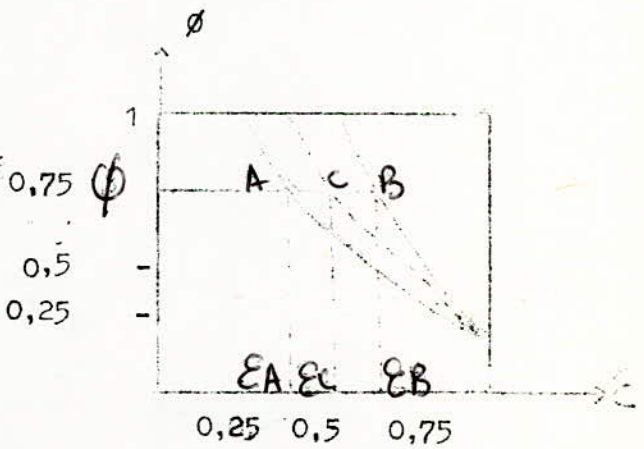
on déduit $\rho_a = \rho_s (1-\epsilon) + \rho_f \epsilon \quad (1,28)$

c) Relation entre la forme des particules et la porosité.

Un diagramme (ϕ, ϵ) peut être dressé (figure 1) ci-dessous) si l'on veut caractériser une masse poreuse.

Avec des grains de sphéricité ϕ , différentes masses poreuses peuvent être réalisées, leurs porosité sera comprise entre les 2 valeurs extrêmes ϵ_A et ϵ_B correspond à l'entassement dense.

La porosité dite porosité normale. $\epsilon_c = \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2}$ est 0,75 ϕ

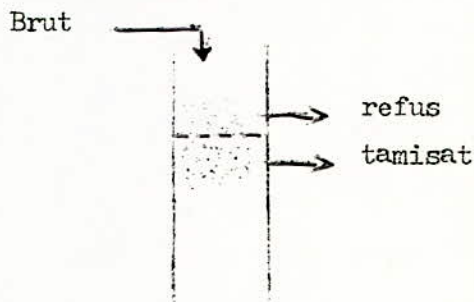


Relation entre la porosité et la sphéricité

Figure -1

CHAPITRE 2

Le tamissage est une opération de classement dimensionnel de grains de formes et dimensions variées, par présentation de ces grains sur des surfaces perforées qui laissent passer les grains de dimension inférieures aux dimensions de la perforation : tamisat, tandis que les grains de dimensions supérieures sont retenus : refus.



2-1 But :

Le but d'une telle opération est de :

- a) séparer les plus gros fragments (on refus) soit en vue de les éliminer, soit en vue de leur faire subir une réduction par concassage ou broyage;
- b) Séparer les plus petits fragments, soit pour les agglomérer dans les ateliers de granulation, soit pour les éliminer comme déchets;
- c) Classer les produits fragmentés en dimensions commerciales;
- d) Classer les produits en vue d'opérations de traitement mécanique ou physico-chimique devant porter sur des dimensions homogènes.

2-2 Terminologie :

On utilise généralement les termes ci-après :

- Etatage ou scalpage : une opération qui consiste à séparer les plus gros éléments de dimensions plus ou moins

anormales, contenus dans un échantillon.

- Pré - criblage : désigne la séparation, avant passage dans un concasseur ou un broyeur.

- Calibrage : s'applique aux opérations de classements portants sur de gros éléments, tels que moellons, gros galets, etc... (en principe pour les calibres supérieurs à 100mm).

- Criblage : est réservé aux opérations portant sur des dimensions de séparations comprises entre 0,15mm et 100mm; ces opérations sont effectuées au moyen de cribles rotatifs (tommeles), de cribles plan à secousses, ou de cribles vibrants.

- Tamissage, se rapporte à des opérations faisant intervenir des particules de plus petites dimensions (0,04 à 0,15 mm) et en particulier les séparations se font sur les tamis de laboratoires.

- Re - criblage : correspond à un traitement poussé d'une catégorie préalablement classée, dont on veut améliorer la présentation pour élimination des éléments fins résultant soit d'un premier criblage imparfait, soit de pollution ou de débris en cours de manutention.

- Blutage ou dépoussiérage : s'applique à toute opération de criblage ou de recriblage dont la partie du produit la plus fine constitue un déchet.

2-3 - Fonction de distribution. Représentations graphiques

a°) Fonctions de distribution :

Toutes ces opérations qui ont été citées précédemment (en terminologie) nous donnent une certaine distribution massique du produit en fonction de la dimension. Pour cela, beaucoup

de formules ont été proposées pour exprimer le pourcentage "Cd" cumulé passé en fonction de la dimension d :

- Equation de GAUDIN

$$Cd = \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (2,1)$$

Cette loi n'est valable que pour des produits broyés et pour $x_p < 80\%$

- Equation de ROSIN - RAMMLER - BENNETT

$$Cd = 1 - \exp \left[- \frac{d^n}{d_0^n} \right] \quad (2,2)$$

- Equation de J.SVENSSON

$$Cd = E_p(x) \circ \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (2,3)$$

dans laquelle

$$F_p(x) = \frac{\int_0^x \exp(-x)^{1/p} dx}{\int_0^\infty \exp(-x)^{1/p} dx} \quad (2,4)$$

et

$$x = \left(\frac{d^n}{d_0^n} \right) \quad (2,5)$$

Dans ces formules d_0 , n , et p sont des paramètres. On remarque qu'en remplaçant $p = \infty$, l'equation (2,3) se remène à l'equation (2,1) et pour $p=1$ on retrouve l'equation (2,2).

b) Répresentation graphique

- Diagramme de répartition : Histogramme

En portant en abscisse la dimension moyenne de chacune des classes et en ordonnée le pourcentage correspondant, la courbe

obtenue permet de se rendre compte rapidement de la répartition des dimensions des différentes particules.

- Représentation de la relation de GAUDIN

En portant $\log Cd$ en fonction de $\log d$, on devrait obtenir une droite.

- Représentation de la relation R.R.B :

Si l'on prend deux fois le logarithme des deux termes de l'équation (2), on obtient la formule :

$$\log \left[-\log (1 - Cd) \right] = n (\log d - \log d_0) + \log (\log e) \quad (2,6)$$

La linéarité de cette équation nous permet de déterminer la pente n et la valeur de d_0 obtenue en faisant $d = d_0$ dans l'équation (2). Nous avons alors :

$$cd_0 = 1 - e^{-1} = 1 - \left(\frac{1}{e} \right) = 0,632$$

d'où

$$1 - Cd_0 = 0,368 \quad (2,7)$$

d_0 représente l'indice de grosseur de grain et plus d_0 est faible, plus la courbe, dans l'ensemble reculé vers la gauche d'où finesse de la matière analysée.

La pente n de la droite mesure la dureté et l'homogénéité de la matière.

Les avantages des deux représentations sont :

- donner une certaine caractéristique ou une explication par introduction de paramètres n et d_0 ;

- la courbe se réduisant à une droite, il suffit d'un minimum de points pour la tracer;

- comme le paramètre n reste pratiquement constant alors on a un contrôle journalier de la qualité d'un produit qui peut se faire avec une seule détermination.

On peut également utiliser la notion des fractiles.

On appelle "fractiles" les dimensions de particules correspondant à des pourcentages cumulatifs déterminés.

- La médiane M_e correspond au pourcentage cumulatif 50%.

- les quartiles Q_1 25 et Q_3 75 correspondent respectivement à 25% et 75%

- les déciles Q_1 10 et Q_9 90 correspondent respectivement à 10% et 90%

- les centiles Q_1 1 et Q_{99} 99 correspondent respectivement à 1% et 99%

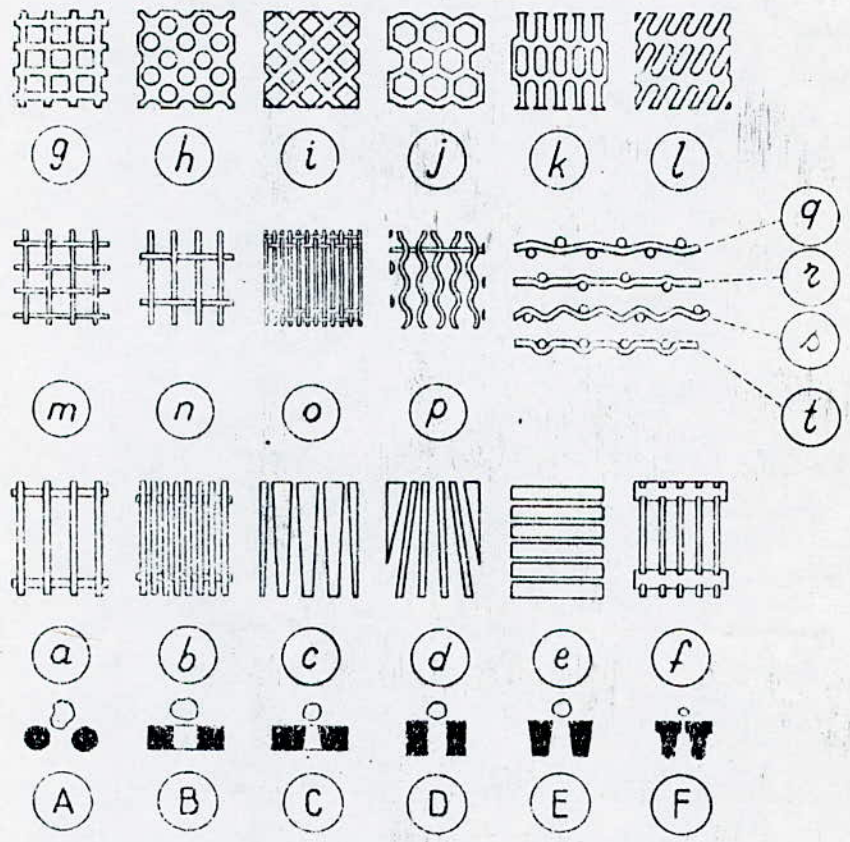
Les fractiles ont l'avantage d'être parfaitement définis et indépendants des échelles utilisées (logarithmique ou autre), en ce sens qu'ils correspondent toujours quelles que soient celles-ci une dimension géométrique définie des particules.

Ils permettent une représentation simple des variations granulométriques des échantillons.

2 - 4 Caractéristiques des surfaces de criblage :

Les surfaces de criblage se classent, du point de vue de leur constitution (figure 2), en grilles, tôles, perforées, grillages ou tissus. On voit tout de suite que du point de vue de la nature des ouvertures, il y a celles qui, avec les formes rondes, carrées, hexagonales ou rectangulaires courtes, permettent un calibrage bi-dimensionnel. Celui-ci prend pour référence moyenne la dimension intermédiaire (largeur) des grains. Les

Surface de criblage



- Toiles perforées**
- g trous carrés
 - h trous ronds
 - i trous carrés en diagonale
 - j trous hexagonaux
 - k trous oblongs
 - l trous oblongs en oblique
 - m tissus métalliques
 - n grille métallique orifices carrés
 - o grille métallique orifices rectangulaires
 - p toile Harpe
 - q a fentes transversales (grilles courbes)
 - r a barreaux vibrants sur monture élastique
 - s
 - t
- Grilles**
- a a barreaux parallèles
 - b a lentes pour égouttage
 - c a barreaux trapézoïdaux
 - d a barreaux divergents
 - e
 - f
- qrst divers modes de tissage**
- A à F coupe des diverses sections de passage (tissus, toiles et grilles)**

Fig.

autres, se présentant sous formes de fentes plus ou moins allongées, ne permettent qu'un classement uni- dimensionnel, c'est à dire prenant pour référence de calibrage la plus petite des dimensions.

Le coefficient d'équivalence entre criblage uni- dimensionnel et criblage bi- dimensionnel est très variable, selon la forme moyenne des grains à classer et selon la nature du mouve- ment du crible : avec des grains uniformément sphériques ou cubi- ques, il serait de 1, mais il diminue à mesure que le facteur de forme des grains augmentent.

En général, ces surfaces appartiennent à deux grandes classes :

a°) Les toiles : sont formées de deux sortes de fils perpendiculaires formant respectivement la trame et la chaîne. Les matériaux constituant ces fils sont nombreux : soies, crins, nylons, métaux, etc...

Les ouvertures laissées entre les fils (appe- lées aussi mailles) sont normalisées et pour lesquelles on adopte une certaine ouverture de maille comme base (voir annexe).

On note également que non seulement la norma- lisation des tamis fixe les dimensions des ouvertures mais éga- lement les dimensions des fils.

En France, les dimensions de la maille ont été normalisées par l'AFNOR.

La maille doit être carrée; le côté intérieur peut prendre les valeurs suivantes :

$$a \text{ (en mm)} = 0,04 \sqrt{(10)^n} \quad (2,8, \text{ avec } n = 0, 1, 2, \dots \text{ etc})$$

Un tamis est désigné par un chiffre appelé modu- le, défini par :

$$= 10 \log (a \text{ en microns}) + 1 \quad (2,9)$$

Le tamis le plus petit, d'ouverture 0,04 mm (soit 40 u) à donc pour module :

$$M = 10 \log 40 + 1 = 17$$

L'annexe (1) nous donne toutes les ouvertures ainsi que leurs correspondances dans les autres pays anglo-saxons.

b) Les passoires : (séries AFNOR et DIN)

Ce sont des plaques de tôles percées de trous circulaires et égaux. Toutefois, passoires et tamis ne peuvent pas donner les mêmes résultats. L'AFNOR a envisagé un facteur de correspondance : un tamis d'un terme de la série sera équivalent à une passoire dont les trous ont pour diamètre le terme immédiatement supérieur de cette même série. Ainsi, le tamis 30 de 0,8 mm sera équivalent à la passoire de 1 mm.

Pour terminer ces surfaces cublantes, on note que l'inclinaison de la surface criblante par rapport à l'horizontale est d'une importance notable dans la façon de classer les grains. En effet, la figure -3 montre comment on peut au moyen d'une grille à fente d'ouverture nominale "X" inclinée à 60° sur l'horizontale, obtenir quasi-mathématiquement une coupure à $\frac{X}{2}$

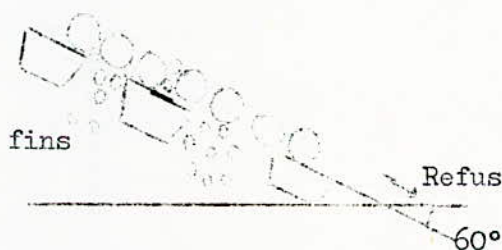
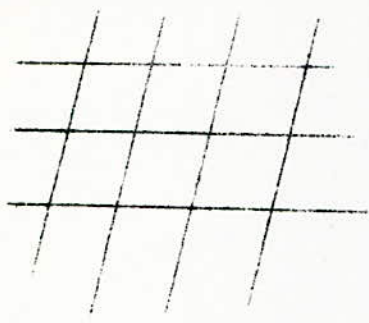


Figure - 3

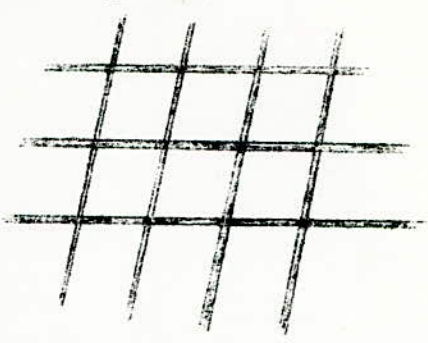
2-5 Choix des surfaces de criblages :

Les critères du choix d'une surface criblante peuvent être présentés de la façon suivante.

a) Solidité (indérformabilité, résistance à l'usine) pour ce cas on utilise des jauges fortes mais elles donnent des résultats moins précis (figure 4)



Jauge faible



Jauge forte

Figure - 4

b) pourcentage élevée de surface de passage par rapport à la surface totale;

c) faible aptitude au colmatage (déstruction dues à l'humidité) on utilise les jauges légères (figure 4) mais elles sont fragiles

Du point de vue solidité, lorsque le produit à cribler comporte des éléments volumineux et lourds, la préférence sera donnée par ordre décroissant, aux tôles perforées, aux grillages à gros fil.

Pour la régularité des formes d'ouvertures, le classement par valeurs décroissantes donne : tôle perforées, toiles tissées, grilles.

La résistance au colmatage est obtenue à partir de grillages à fentes (toiles Harpe ou genre serpa) ou grilles à barreaux flottants.

Enfin, la résistance au goujonnage ou piquage de morceaux difficiles est maximale avec des grilles à barreaux en dépouille ou divergents puis avec des tôles perforées à trous coniques.

2 - 6 Dynamiques des cribles. Mesure

d'efficacité :

Le criblage mécanique repose sur les chances de passage du grain à travers la surface criblante. Ces chances sont fonction de la trajectoire des grains (vitesse, direction), de l'ouverture des orifices, du nombre successif d'origine que peut rencontrer un grain donné.

Les grains nettement plus petits que l'orifice passent sans difficulté. Par contre, les grains dont la dimension tend de plus en plus vers celle de l'orifice ont de moins en moins de chances de passer.

On appelle grains difficiles ceux dont la dimension est comprise entre 0,75 et 1,5 de celle de l'ouverture.

Cette notion de grains difficiles est extrêmement utile pour l'appréciation de la capacité de criblage.

Les facteurs qui affectent la capacité sont indépendants des dimensions du crible.

a) Le pourcentage du criblage; moins il y en a, plus la difficulté de l'extraire de la masse des refus sera grande.

b) Le pourcentage de grains difficiles; plus il y en a, moins la séparation est efficace, le crible agit dans ce cas comme simple convoyeur pour les gros refus.

c) l'humidité aura tendance pour les fines particules humides à colmater autour des fils.

Efficacité de séparation

Dans les opérations industrielles, le temps de séjour du produit granulé sur la surface de tamisage est limité et insuffisant dans la plupart des cas, si bien que les conditions d'idéalité ne sont pas réalisées.

L'efficacité de criblage caractérisera alors l'écart entre les opérations réelles et théoriques. Il y a lieu de remarquer que l'efficacité de criblage n'est parfaitement définie que lorsque l'on a précisé le but de criblage ; ainsi différents critères peuvent être considérés.

- Récupérer dans le passé le maximum de fine existant dans l'alimentation.

- Récupérer dans le refus le maximum de gros ; de fines.

- Obtenir un passer ne contenant pas plus d'un pourcentage fixé de gros.

Si tout état parfait, les quatres analyses devraient se présenter de la façon suivante (tableau 2)

Ouverture du tamis	Brut	refus	tamisé
-	a	a'	0
-	b	b'	0
-	c	c'	0
-	d	d'	0
-	e	e'	0
X	f	f'	0
-	g	0	g''
-	h	0	h''
-	i	0	i''
-	j	0	j''

Tableau 2

Si on utilise un tamis de module X, il n' y a pas dans le tamisat de particules de dimension supérieure au module X et dans le refus de particules de dimension inférieure au module X. En pratique il n'en est pas ainsi :

Partons d'une masse B de produit brut. On obtient une masse R de refus et une masse T de tamisat.

- Soient : le pourcentage de matériaux désiré dans le produits brut.
- le pourcentage de matériaux désiré dans le refus.
- le pourcentage de matériaux désiré dans le tamisat.

on a

$$B = R + T \quad (2,10) \quad (\text{conservation de la masse totale})$$

$$BX_B = RX_R + TX_T \quad (2,11) \quad (\text{conservation de la masse de produit désiré})$$

Ou en tire

$$\frac{R}{B} = \frac{x_T - x_B}{x_T - x_R} \quad (2,12)$$

$$\text{de même } \frac{T}{B} = \frac{x_B - x_R}{x_T - x_R} \quad (2,13)$$

Le rapport $\frac{R}{B} = \frac{x_T - x_B}{x_T - x_R} \quad (2,14)$ s'appelle

la fraction de recouvrement. C'est le rapport de la masse du produit intéressant trouvée dans le refus à la masse du produit intéressant qui était contenue dans le brut.

On définit aussi

$$R = \frac{T(1 - x_T)}{B(1 - x_B)} = 1 - \frac{R(1 - XR)}{B(1 - XB)} \quad (2, 15)$$

ou encore

$$R = 1 - \frac{(XB - XT)}{(XR - XT)} \frac{(1 - XR)}{(1 - XB)} \quad (2, 16)$$

s'appelle la fraction de rebus contenus dans le tamisat. C'est le rapport de la masse de produit non intéressant trouvée dans le tamisat à la masse de ce même produit contenue dans le brut.

L'efficacité est définie par $E = F \cdot R$ (2, 17)

$$E = \frac{XR \cdot (XB - XT)}{XB \cdot (XR - XT)} \left[1 - \frac{(XB - XT) \cdot (1 - XR)}{(XR - XT) \cdot (1 - XB)} \right] \quad (2, 18)$$

PARTIE

EXPERIMENTALE

Chapitre. I: Appareillage:

Le système de tamisage utilisé pour nos expériences se compose de:

1-Un jeu de tamis régit par les normes anglaises: (mesh) comprisent entre 1250 μ m et 112 μ m.

2-D'une analysette vibrante (figure) dont la plaque vibrante est soumise à des oscillations verticales par électro-aimant. Elle comporte:

-Une minuterie qui régle sur marche ou sur durée jusqu'à 60 minutes.

La suite des oscillations (fréquence) et intensité (amplitude) sont réglées par le bouton 8 (organe de fonction).

Cet interrupteur permet de sélectionner trois positions de marche:

-perm: l'appareil oscille à 3000 oscillations à la minute. Intensité réglable en continu à l'aide de 6 mais sans réglage des intervalles.

-inter: correspond à "perm" mais l'oscillation est interrompue pendant environ 0,5 seconde après un temps pré-réglé de 3 à 10 secondes (7).

-micro: l'appareil oscille à 6000 oscillations à la minute à une petite amplitude invariable (ce réglage est choisi pour le tamisage humide avec des micro-tamis de précision).

Tamiseuse électromagnétique de laboratoire

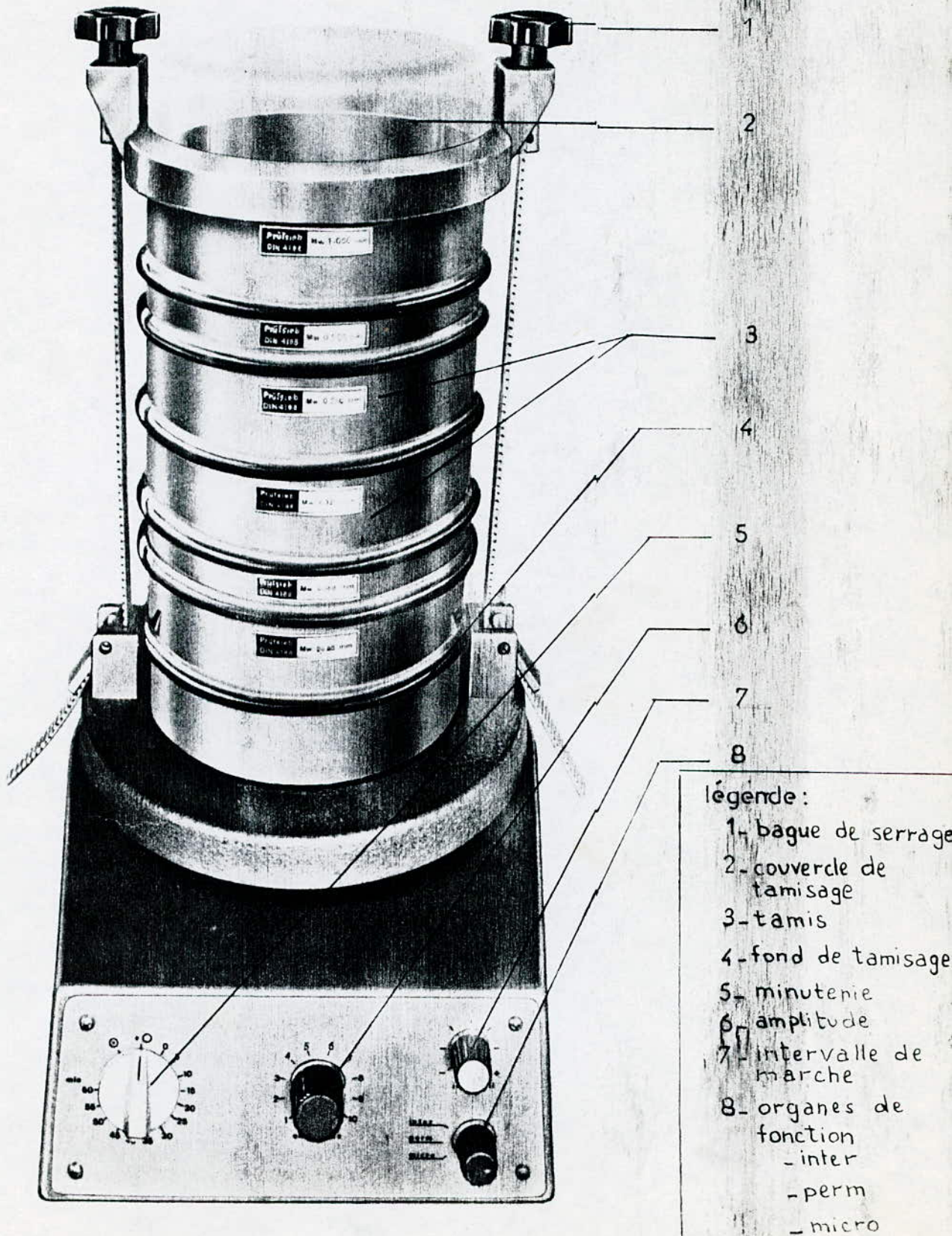


Fig. 5

Chapitre-II : Résultats expérimentaux:

II-1: Préparation de mélange frais:

A partir d'un échantillon de sable de plage préalablement lavé, nous avons considéré l'échantillon dont la dimension des grains est comprise entre 1250 μ m et 112 μ m.

Ce mélange a été obtenu pour un temps de tamisage considéré comme infini.

II-2: Détermination du temps idéal de séparation:

II-2-1: Mode opératoire:

Nous avons pris une masse de 500 grammes du mélange frais que nous avons tamisé sur un jeu de tamis dont les ouvertures sont:

1250 μ m		280 μ m
800 μ m		250 "
630 3		224 "
500 "		125 "
450 "		112 "
355 "		

Ce tamisage a été effectué pour des temps différents allant de 10 à 600 secondes et une intensité de vibration constante égale à "5" —

X II-2-2: Résultats et interprétations:

En annexe (2) on retrouve les masses retenues dans chaque tamis en fonction du temps.

Le tableau (**3**) donne la partie cumulée passée du matériel (sable) à tamiser ayant traversé le tamis correspondant pour des durées d'agitation croissantes.

On peut tirer, de l'allure des courbes (figure **6**) quelques conclusions tout à fait capitales pour la connaissance de la marche du tamisage.

Toutes ces courbes croient fortement dans les 100 premières secondes, puis finissent peu à peu plus plates et deviennent par la suite des droites montantes mais peu

Pourcentages cumulés passés en fonction du temps
pour chaque classe granulométrique

Temps classe (s)	10	20	30	50	60	180	240	300	600
1250 800	73,6	98,7	99,2	99,4	99,4	99,7	99,6	99,7	99,7
800 630	39,3	59,1	73,5	83,0	84,4	88,9	88,7	89,6	90,0
630 500	14,1	21,3	29,1	39,5	42,3	55,2	58,7	59,9	60,3
500 450	9,1	13,8	18,9	25,2	26,7	34,9	36,8	38,2	39,1
450 355	4,6	7,6	9,4	13,9	14,0	17,5	19,5	22,6	23,1
355 280	1,3	2,1	2,8	4,6	5,3	6,2	6,5	6,9	7,2
280 250	0,6	1,1	1,6	2,5	2,6	3,4	3,4	3,7	3,9
250 224	0,2	0,5	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
224 125	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3
125 112	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 3

3)

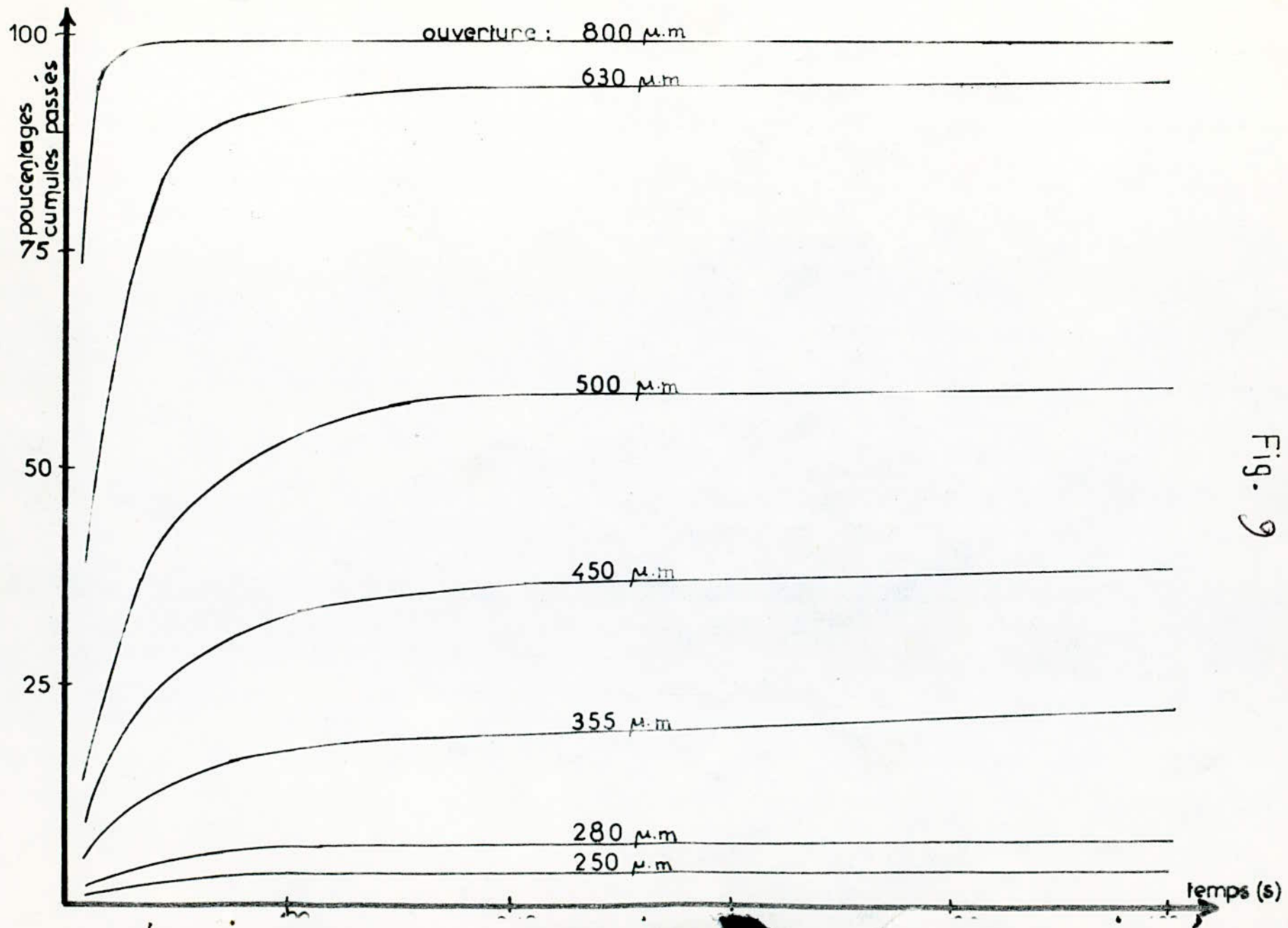


Fig. 9

inclinées. Au moment où les courbes passent à des branches, réctilignes, elles restent approximativement parallèles les unes aux autres ce qui correspond à un temps environ de 200 secondes ; c'est un état à partir duquel, il tombe environ de chaque tamis la même quantité dans le tamis inférieur. La cause de ce phénomène peut être rapporté à deux circonstances. Tout d'abord, il est très difficile de prévoir la projection des grains sur la surface du tamis et de ce fait ils peuvent passer il ne le peuvent pas, d'où ils portent l'appellation de grains difficiles.

Ensuite, l'effet de mouture (dégradation) des grains apparaît lorsqu'on augmente le temps de tamisage ou l'intensité de vibration. Mais comme la dureté de ce sable néglige cet effet, on peut dire alors que les courbes tendent asymptotiquement (voir figure 6) vers une série de droites horizontales.

En conclusion, pour une intensité de vibration égale à 5 et une capacité égale à 500 grammes, un temps de tamisage de 10 mn nous semble adéquat pour mener une telle analyse granulométrique.

II-3: Etude de la distribution granulométrique:

II-3-1: Mode opératoire:

Pour cette étude, nous avons repris les paramètres à savoir

- intensité de vibration.....5
- temps de tamisage.....10 mn
- capacité de mélange frais.....500 grammes

et un jeu de tamis cité en(II-2-1)

Les résultats sont présentés sur différents diagrammes pour lesquels nous avons pris la moyenne des masses retenues sur chaque tamis pour 10 essais (tableau 4)

II-3-3: Histogramme: (figure 7)

On a porté en abscisse le logarithme des ouvertures des tamis et en ordonnée les pourcentages massiques correspondant.

Résultats d'analyses granulométriques

classes granulo- métriques ($\mu\text{-m}$)	Masse des (g) fractions	Masse en pourcentages		
		de chaque fraction	des passés cumulés (Cd)	des refus cumulés (100-Cd)
1250-800	1,6	0,3	99,7	0,3
800-630	53,0	10,9	88,7	11,3
630-500	147,1	29,5	59,3	40,7
500-450	105,1	21,0	38,2	61,8
450-355	77,8	15,6	22,7	72,3
355-280	80,9	16,2	6,5	93,5
280-250	14,9	2,8	3,6	96,4
250-224	11,1	2,2	1,4	98,6
224-125	6,9	1,4	0,1	99,9
125-112	1,3	0,01	0,0	100,0

Tableau 4

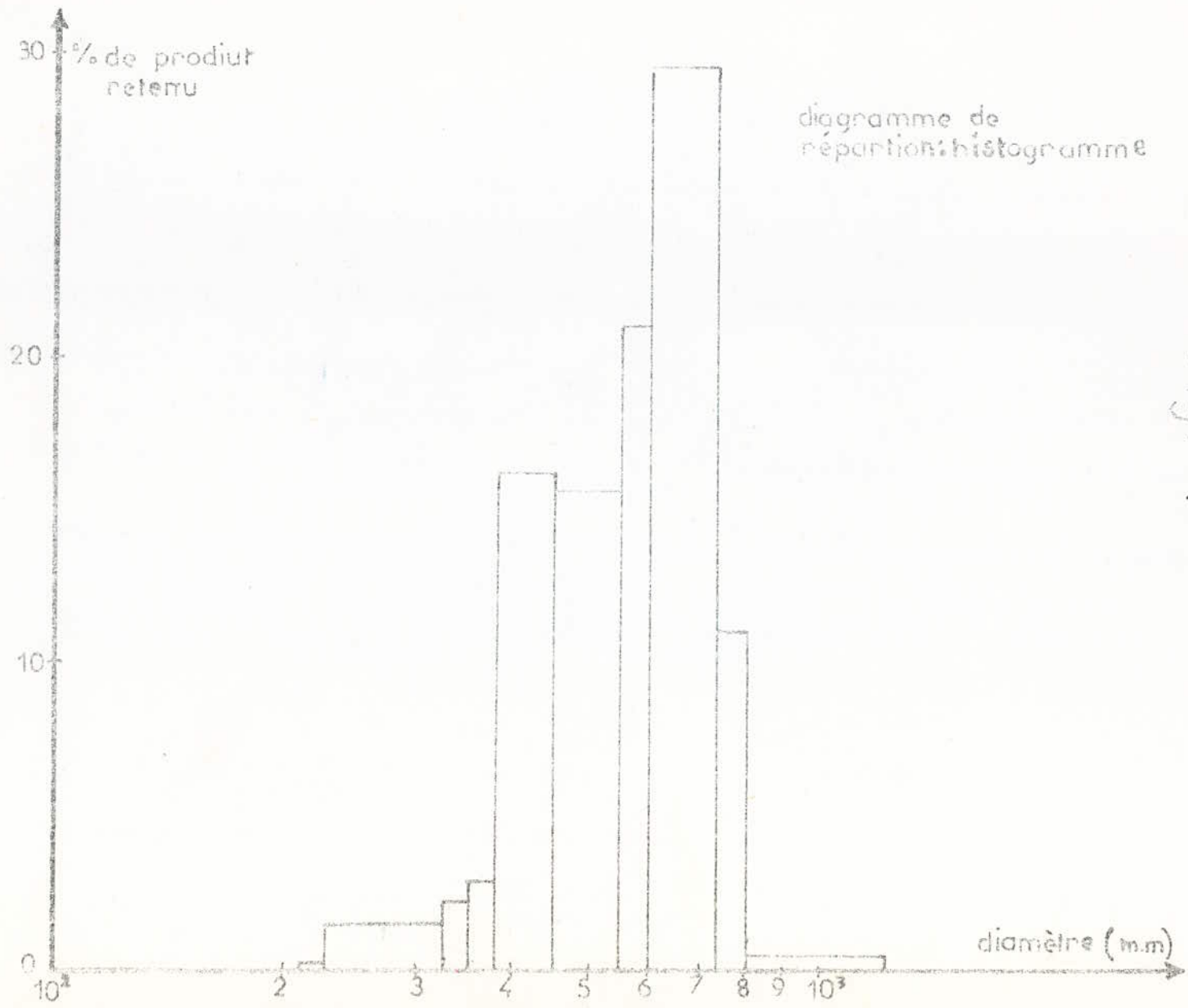


Fig: 7

Cette représentation nous schématise quantitativement la distribution des masses pour les différentes classes, mais celle-ci ne nous donne pas une meilleure analyse.

Pour une telle représentation, on peut calculer un diamètre moyende tout le lot en considérant toutes les classes.

En prenant la moyenne arithmétique des ouvertures des tamis comme diamètre des grains et connaissant les fractions massiques on peut alors dresser le tableau ci dessous.

D_A (μm)	1025	715	565	475	402,5	317,5	265	237	174,5	118,5
x_i	0,0030	0,0090	0,0295	0,0210	0,156	0,162	0,028	0,022	0,014	0,001

Par la relation (1,5) on tire la valeur du diamètre moyen qui sera égal à:

$$D_a = \sum x_i \cdot D_i$$

ou encore en replaçant x_i et D_i on obtient

$$D_a = 476,8 \mu m$$

II-3-3: Diagramme des pourcentages cumulés:

La figure 8 est obtenue en portant en abscisse les ouvertures des tamis et en ordonnée le pourcentage total de tamisat ou de refus.

Cette représentation permet de définir la "maille de partage" ou dimension des grains correspondant à l'ordonnée 50%. Graphiquement, cette ouverture est égale à :

$$d_{50\%} = 465 \mu m$$

II-3-4: Etude d'analyse par la méthode de RRB:

Cette méthode décrite dans la partie théorique nous permet de caractériser notre lot par les deux paramètres n et d_g (figure 9). Comme on a fait une interpolation de ces droites au sens des moindres carrés (voir annexe) alors pour le sable on a:

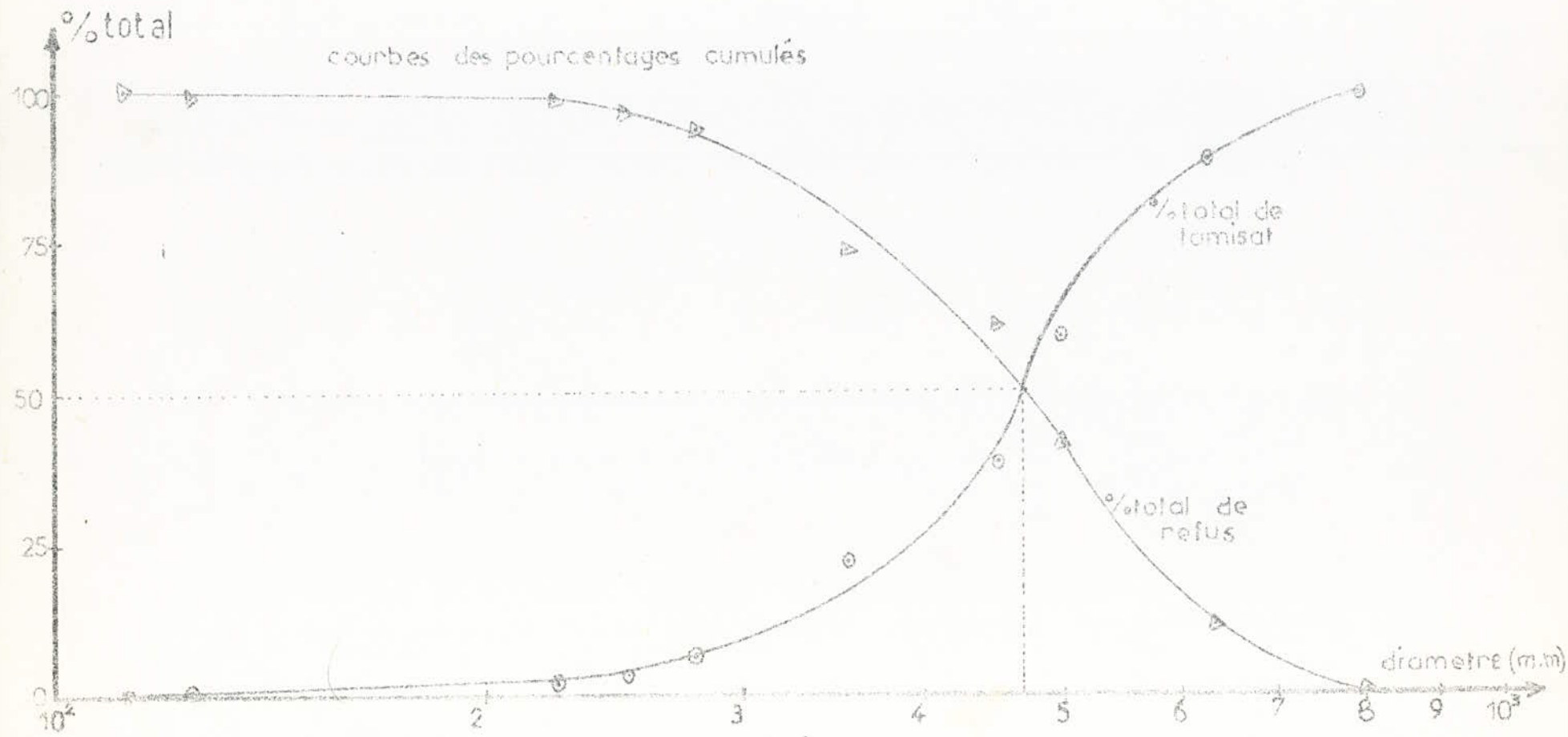


Fig-8

Résultats d'analyses granulométriques
par la méthode de RRB

classe granulométrique (mm)	masse de chaque fraction (g)	C_d	A	B
1250-800	1,6	0,997	2,903	0,402
800-630	54,9	0,887	2,799	-0,024
630-500	147,1	0,593	2,699	-0,408
500-450	105,2	0,382	2,653	-0,680
450-355	77,9	0,227	2,550	-0,854
355-280	80,9	0,065	2,447	-1,535
280-250	14,2	0,036	2,398	-1,798
250-224	11,2	0,014	2,350	-2,243
224-125	6,9	0,001	2,097	-3,362
125-112	0,01	0,000	2,049	

1250-800

800-630

Tableau 5

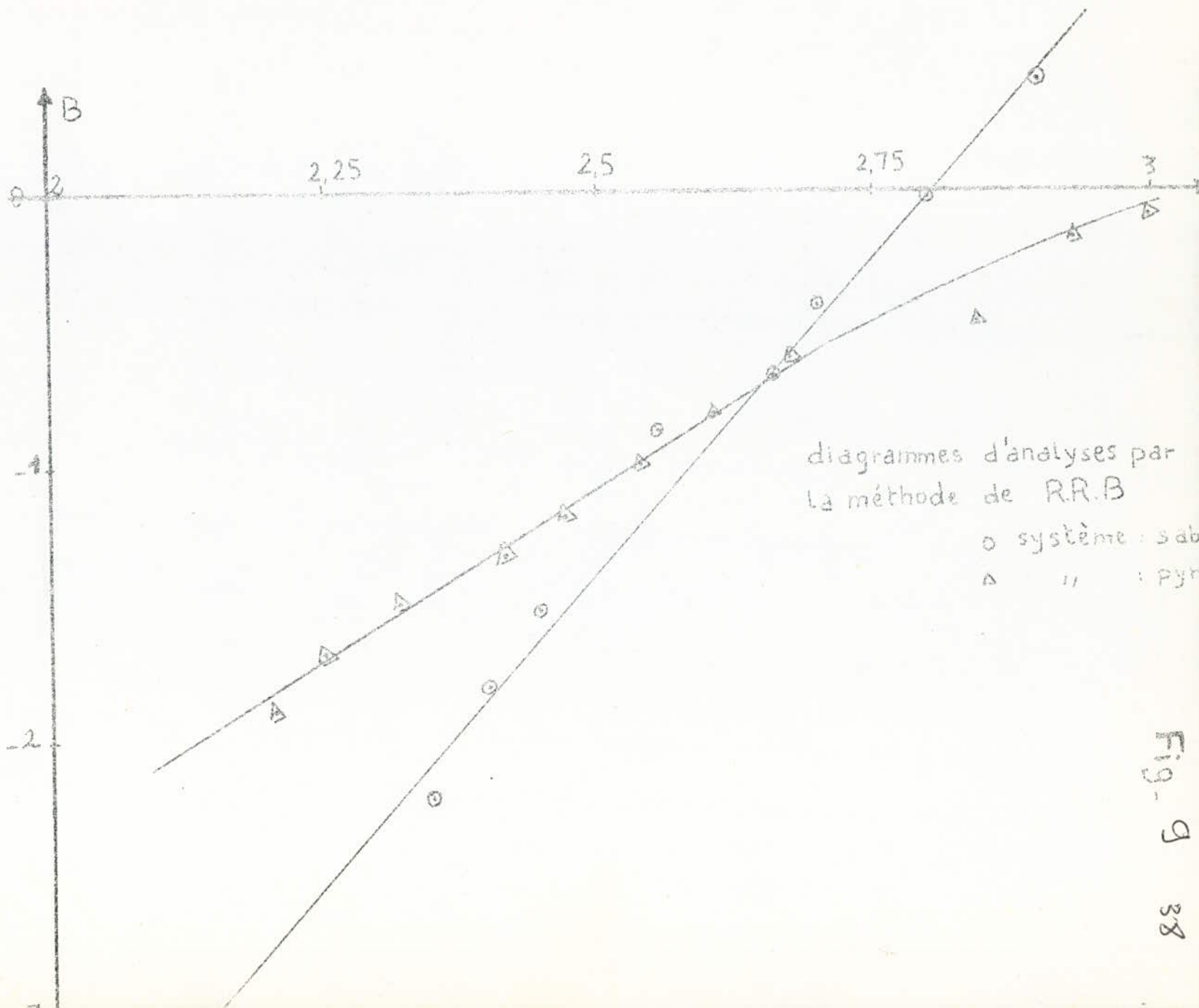


Fig. 9 38

n= 4,7

d₀=2,8

pour la pyrite:

n= 12,8

d₀= 3

En comparant ces deux résultats on remarque que la finesse des deux échantillons est identique par contre en comparant l'omogénéité des dimensions on constate que celle-ci pour le sable est meilleur que pour la pyrite.

II-4: Préparation des mélanges artificiels:

On entend par mélange artificiel, un mélange de composition massique connue, préparé à partir du mélange frais.

Pour cela on tamise tous le mélange frais et on récupère séparément les différentes fractions.

La composition du mélange artificiel utilisée dans la suite de notre travail est donné par le tableau ci-dessous:

fraction massique	0,1	0,3	0,24	0,18	0,12	0,06
classes (um)	800 630	630 500	500 450	450 355	355 280	280 250

Le choix de ces compositions a été fait dans le but d'avoir une courbe lisse de distribution.

II-5: Influence du taux de recouvrement sur les efficacités:

Le taux de recouvrement (β) est défini comme étant la surface masqué (qui représente en réalité l'usure de tamis) rapporté à la surface totale du tamis.

Il a été représenté en pourcentage de surface recouverte dont sa réalisation était fait à l'aide de ruban adhésif.

II-5-1: Influence du taux de recouvrement sur la fraction de rebus:

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité
Vib-4

Tamis d'ouver- ture 500(μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,983	0,986	0,986	0,986	0,989	0,986
	R	0,867	0,815	0,756	0,709	0,682	0,595
	E	0,852	0,803	0,745	0,699	0,675	0,587
R = 0,866 - 0,005 β		E = 0,852 - 0,005 β					

Tableau : G-1

Tamis d'ouver- ture 450(μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,983	0,984	0,988	0,989	0,990	0,991
	R	0,764	0,768	0,709	0,622	0,590	0,603
	E	0,751	0,755	0,701	0,615	0,584	0,597
R = 0,778 - 0,004 β		E = 0,765 - 0,004 β					

Tableau : G-2

Tamis d'ouver- ture 355(μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,993	0,988	0,993	0,995	0,995	0,996
	R	0,821	0,753	0,644	0,563	0,428	0,375
	E	0,815	0,744	0,639	0,560	0,426	0,374
R = 0,832 - 0,009 β		E = 0,824 - 0,009 β					

Tableau : G-3

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité

Vib. 5

Tamis d'ouverture 500 μ m)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,971	0,968	0,963	0,964	0,968	0,954
	R	0,912	0,910	0,892	0,874	0,834	0,822
	E	0,885	0,881	0,859	0,843	0,807	0,784
R = 0,924 - 0,002 β				E = 0,896 - 0,002 β			

Tableau : 6 - 4

Tamis d'ouverture 450 μ m)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,989	0,991	0,992	0,989	0,987	0,989
	R	0,913	0,886	0,859	0,824	0,811	0,781
	E	0,903	0,878	0,852	0,815	0,801	0,772
R = 0,911 - 0,003 β				E = 0,903 - 0,003 β			

Tableau : 6 - 5

Tamis d'ouverture 355 μ m)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,996	0,994	0,995	0,996	0,995	0,995
	R	0,917	0,912	0,869	0,865	0,840	0,796
	E	0,913	0,907	0,865	0,861	0,836	0,792
R = 0,925 - 0,002 β				E = 0,921 - 0,002 β			

Tableau 6 - 6

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité

Vib-6

Tamis d'ouver- ture 500 (μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,887	0,890	0,889	0,895	0,896	0,913
	R	0,973	0,973	0,970	0,972	0,968	0,960
	E	0,863	0,866	0,862	0,869	0,867	0,877
$R = 0,975$				$E = 0,863$			

Tableau : 6-7

Tamis d'ouver- ture 450 (μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,983	0,986	0,986	0,989	0,992	0,991
	R	0,950	0,936	0,936	0,932	0,919	0,895
	E	0,933	0,923	0,926	0,922	0,911	0,887
$R = 0,952 - 0,001 \beta$				$E = 0,936$			

Tableau : 6-8

Tamis d'ouver- ture 355 (μm)	β	0	10	20	30	40	50
	F	0,997	0,996	0,997	0,998	0,998	0,997
	R	0,959	0,945	0,931	0,926	0,893	0,879
	E	0,956	0,941	0,928	0,924	0,891	0,877
$R = 0,962 - 0,002 \beta$				$E = 0,959 - 0,002 \beta$			

Tableau : 6-9

Influence du taux de recouvrement sur la fraction de rebus

Vib-4

- ouverture 500 μm
- " 450 μm
- △ " 355 μm

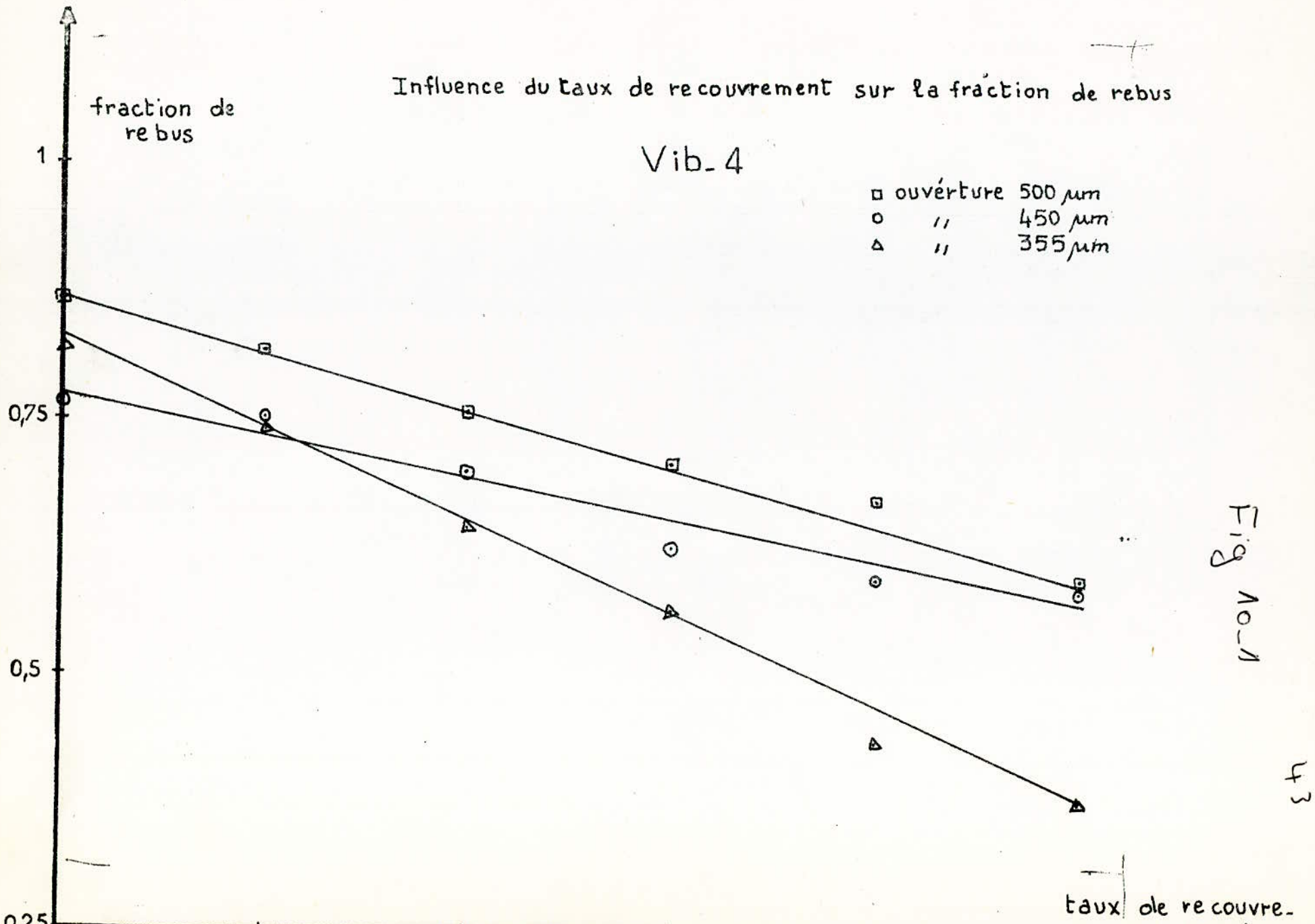


Fig No-1

Influence du taux de recouvrement sur la fraction de rebus

Vib-5

- ouverture 500 μm
- " 450 μm
- △ " 355 μm

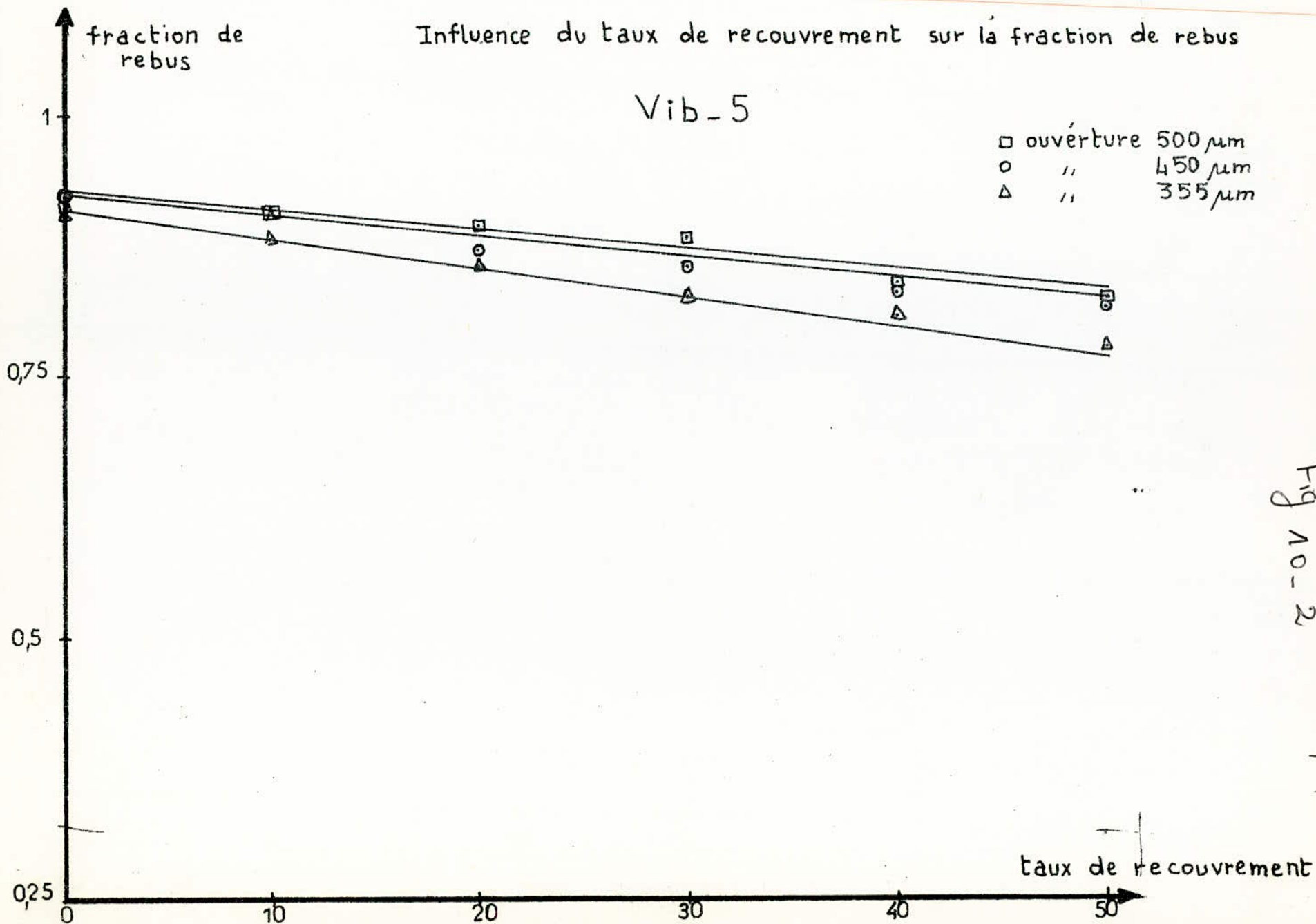


Fig 10-2

44

Influence du taux de recouvrement sur la fraction de rebus

Vib-6

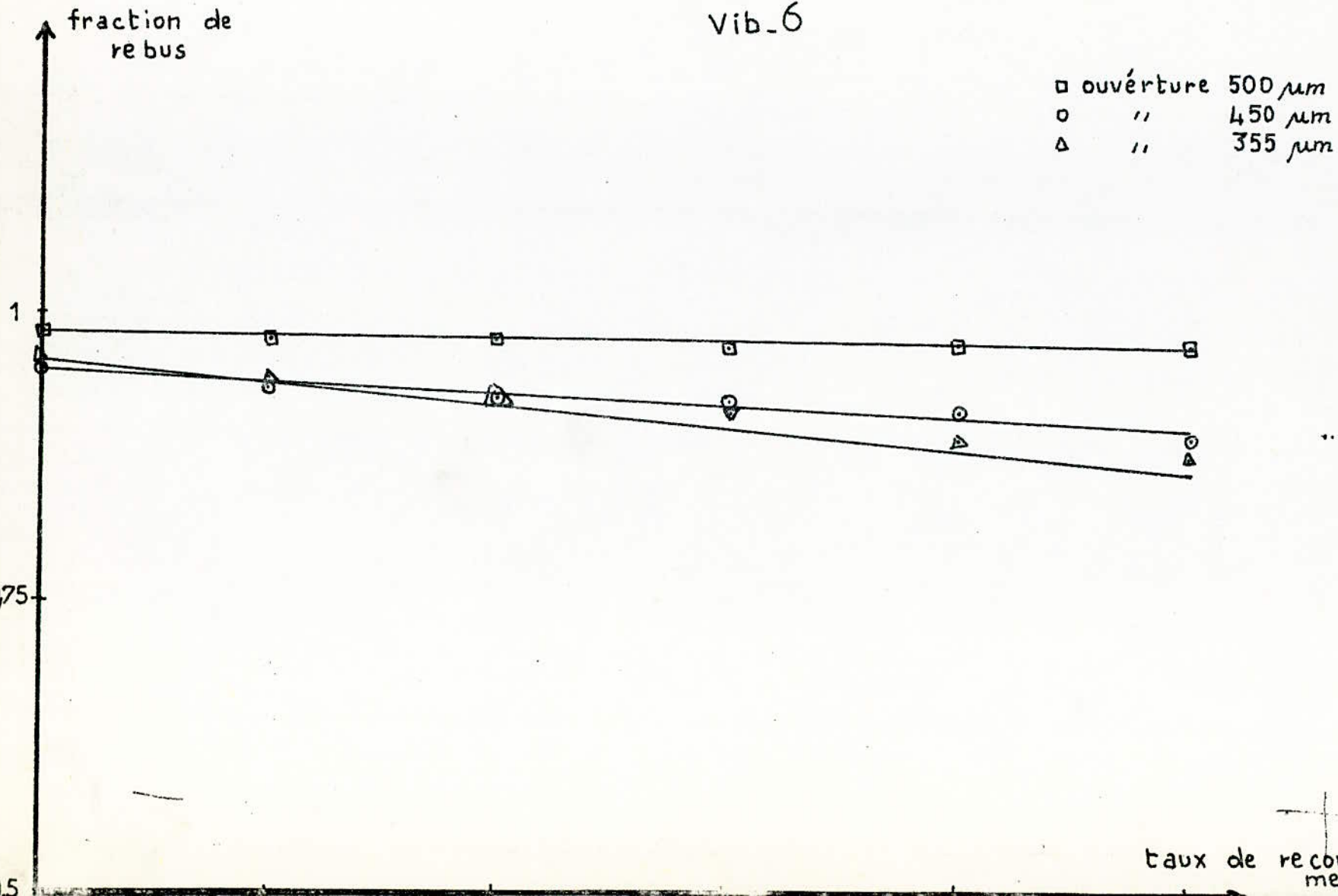


Fig No-3

41

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité totale
totale
Vib. 4

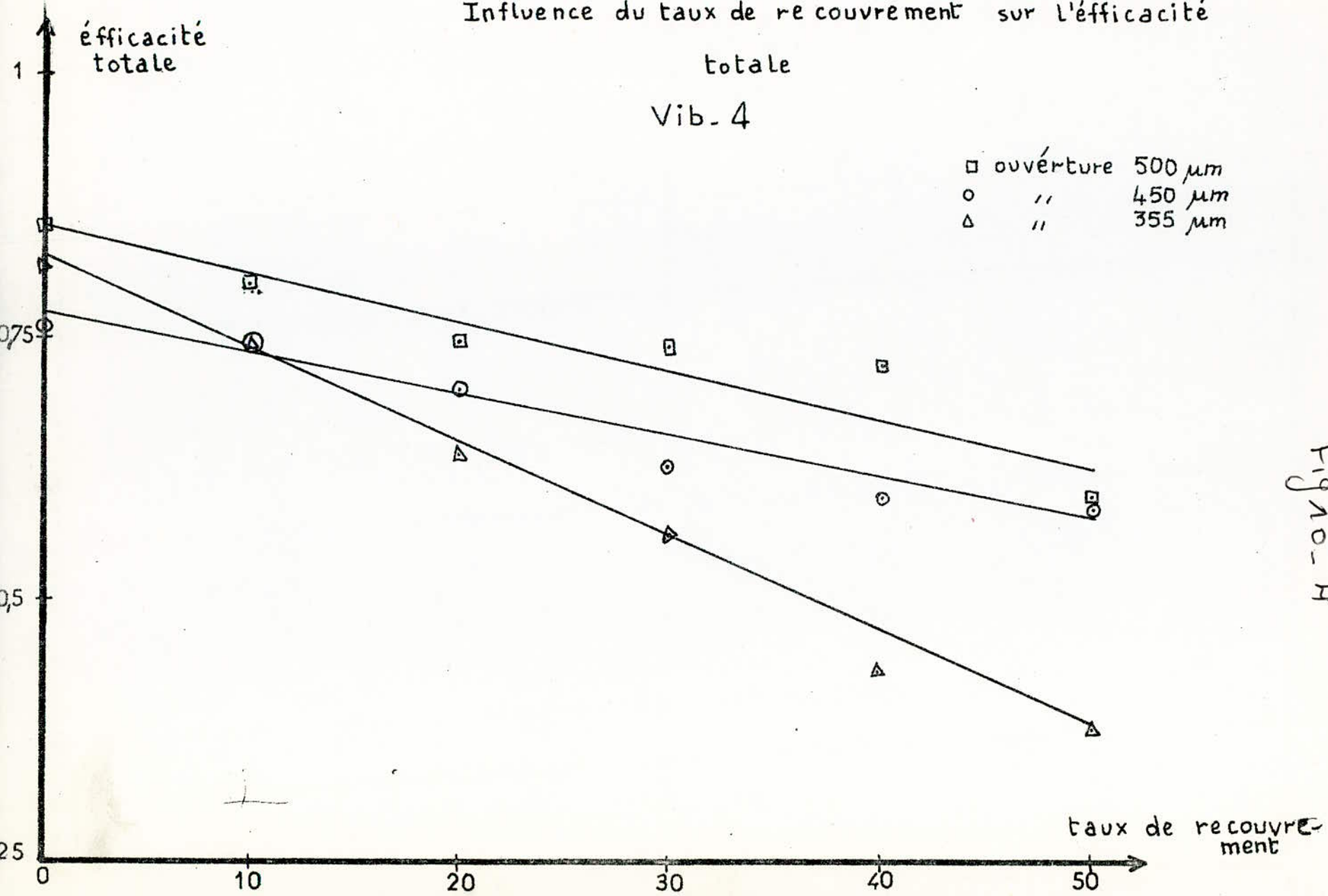


Fig. 10-4

46

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité totale

Vib. 5

□ ouverture 500 μm
○ " 450 μm
△ " 355 μm

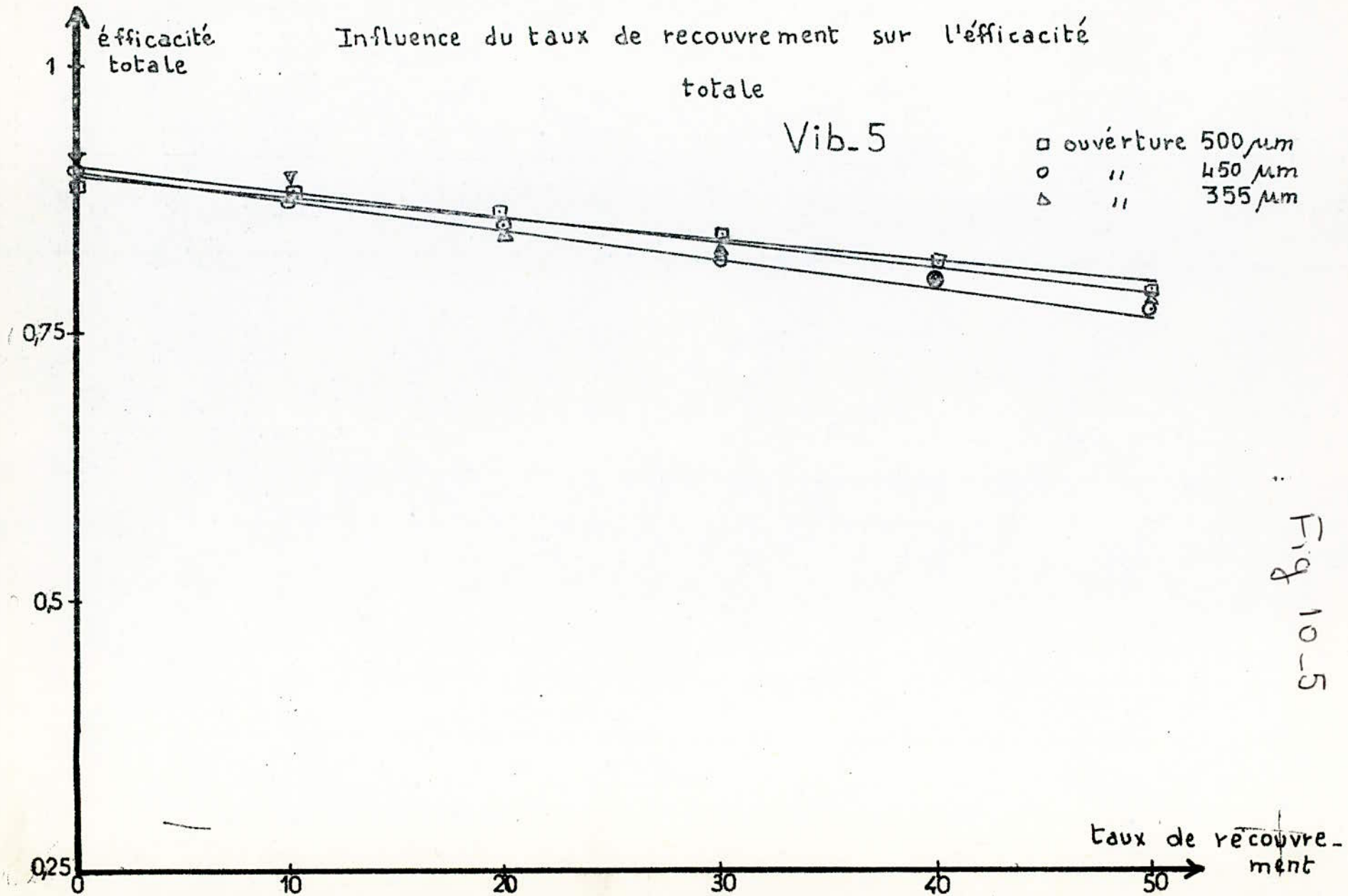


Fig 10-5

Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité totale

Vib. 6

□ ouverture 500 μm
○ " 450 μm
△ " 355 μm

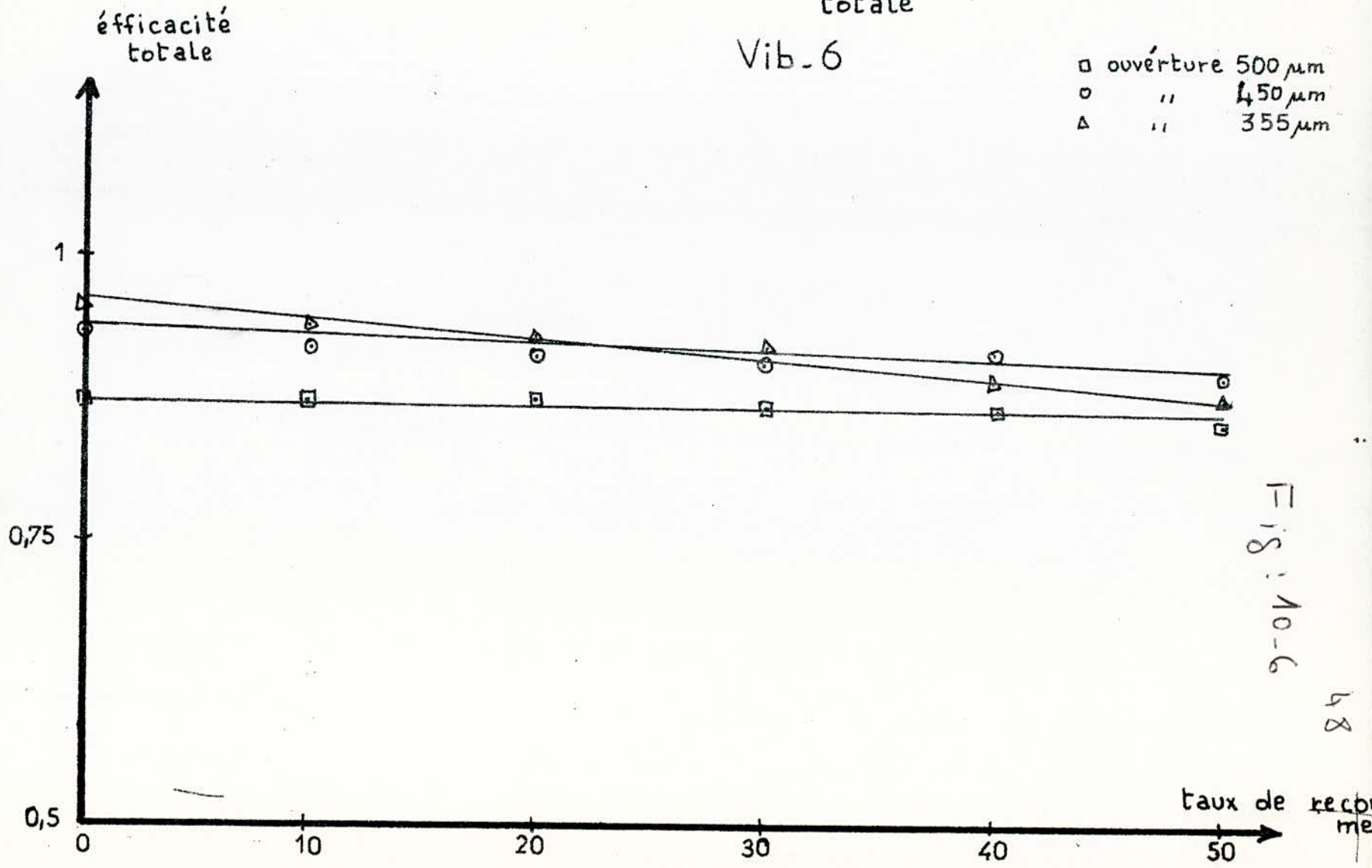


Fig: 10-6

48

Pour un temps de tamisage 10 mn et des intensités de vibrations (4,5,6), nous avons pris séparément trois tamis (355 μ m, 450 μ m, 500 μ m) pour lesquels nous avons réalisé un tamisage pour différents taux de recouvrement allant de 0 à 50%. Les résultats des masses et des fractions en fonction du taux de recouvrement sont donnés en annexe .

Les résultats des efficacités en fonction du taux de recouvrement sont donnés par les tableaux

Les courbes fraction de rebus en fonction du taux de recouvrement (figure 10) sont linéaires et varient de façon décroissants.

On remarque que ces courbes démarrent pratiquement d'un même point (point commun) correspondant à un taux de recouvrement égal à zéro (tamis idéaux) pour les trois intensités de vibration.

L'interpolation des droites au sens des moindres carrés nous donne les ordonnées à l'origine des différentes droites.

Pour déterminer cette fraction de rebus commune, on prend pour chaque intensité de vibration, la moyenne des ordonnées à l'origine des trois tamis (tableau ci-dessous).

intensité de vibration	fraction de rebus commune (R_c)
4	0,825
5	0,920
6	0,963

La figure 11 nous donne une forme croissante de la fraction de rebus commune si on augmente l'intensité de vibration.

Influence de l'intensité de vibration
sur les efficacités

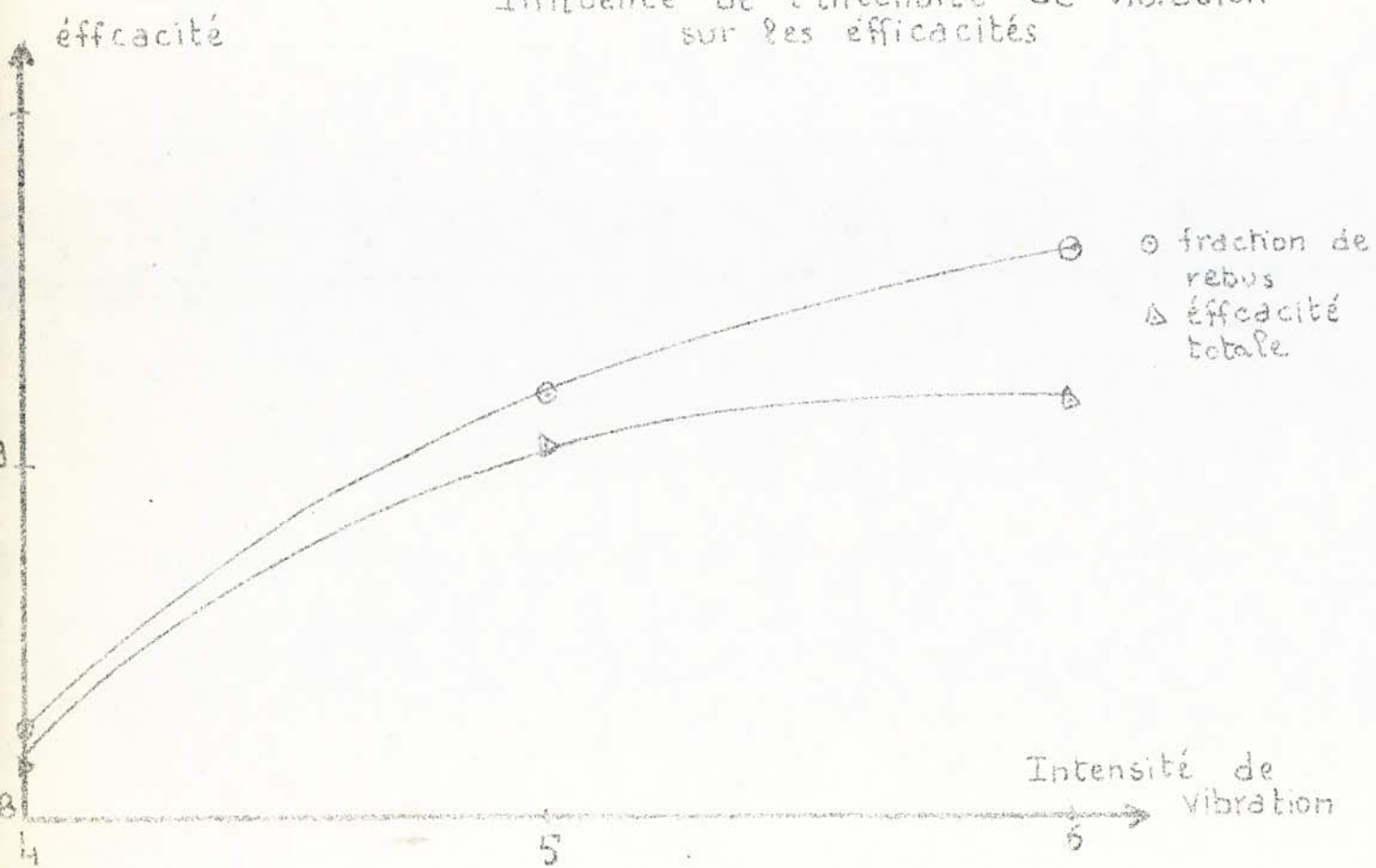


FIG 11

II-5-2: Influence du taux de recouvrement sur la fraction de recouvrement:

Pratiquement, il n'y a pas une influence sur cette fraction du fait que le recouvrement n'influe que sur le passage des grains fins.

II-5-3: Influence du taux de recouvrement sur l'efficacité totale:

De même, on voit que l'efficacité totale varie linéairement en fonction du taux de recouvrement mais la présence des particules difficiles dans le refus donne des diminutions légères sur ~~la~~ l'efficacité commune correspondant à β nulle.

La figure 11 montre que plus on augmente la vitesse de vibration et plus les grains difficiles ont des chances à passer à travers les tamis d'où la diminution des efficacités totales.

II-6: Influence du temps sur les efficacités:

Pour un taux de recouvrement constant égal à 30% nous avons effectué plusieurs tamisages pour des temps différents s'étalant jusqu'à 30mn.

II-6-1: Influence du temps sur la fraction de rebus:

Les figures donnent une forme qualitative qui montrent qu'au début de tamisage les courbes montent rapidement puis tendent asymptotiquement vers des valeurs de fraction de rebus constantes.

II-6-2: Influence du temps sur la fraction de recouvrement

Ce qu'on peut dire sur cette représentation, c'est que plus on augmente le temps de tamisage, plus de particules difficiles passent à travers le tamis.

II-6-3 : Influence du temps sur l'efficacité totale:

Les courbes donnent presque les mêmes allures que celles de la fraction de rebus mais la naissance des fluctuations de la fraction de recouvrement modifie légèrement l'allure de

Influence du temps sur l'efficacité

Vib.4

Tamis d'ouverture 500(μm)	temps(mn)	4	10	20	30
	F	0,977	0,980	0,982	0,984
	R	0,673	0,667	0,706	0,760
	E	0,658	0,653	0,693	0,748

Tableau : 7-1

Tamis d'ouverture 450(μm)	temps(mn)	4	8	20	30
	F	0,993	0,992	0,993	0,993
	R	0,511	0,464	0,533	0,559
	E	0,507	0,461	0,530	0,555

Tableau : 7-2

Tamis d'ouverture 355(μm)	temps(mn)	3	10	20	30
	F	0,998	0,997	0,997	0,997
	R	0,248	0,351	0,450	0,501
	E	0,247	0,350	0,449	0,499

Tableau : 7-3

Influence du temps sur l'efficacité
Vib-5

Tamis d'ouverture 500 (μm)	temps _(mn)	2	10	20	30
	F	0,991	0,994	0,992	0,991
	R	0,517	0,619	0,775	0,892
	E	0,513	0,615	0,769	0,884

Tableau : 7-4

Tamis d'ouverture 450 (μm)	temps _(mn)	2	10	20	30
	F	0,998	0,995	0,995	0,995
	R	0,392	0,596	0,666	0,724
	E	0,391	0,593	0,662	0,720

Tableau : 7-5

Tamis d'ouverture 355 (μm)	temps _(mn)	4	10	20	30
	F	0,996	0,995	0,992	0,992
	R	0,428	0,685	0,817	0,931
	E	0,426	0,682	0,810	0,924

Tableau : 7-6

Influence du temps sur l'efficacité

Vib-6

Tamis d'ouverture 500 (μm)	temps _(m.n)	4	10	15	20
	F	0,968	0,935	0,935	0,921
	R	0,899	0,958	0,965	0,974
	E	0,870	0,896	0,902	0,897

Tableau : 7-7

Tamis d'ouverture 450(μm)	temps _(m.n)	4	8	15	20
	F	0,995	0,991	0,982	0,981
	R	0,711	0,908	0,952	0,973
	E	0,704	0,893	0,934	0,955

Tableau : 7-8

Tamis d'ouverture 355 (μm)	temps _(m.n)	4	10	15	20
	F	0,996	0,995	0,989	0,988
	R	0,721	0,806	0,945	0,973
	E	0,710	0,802	0,935	0,961

Tableau : 7-9

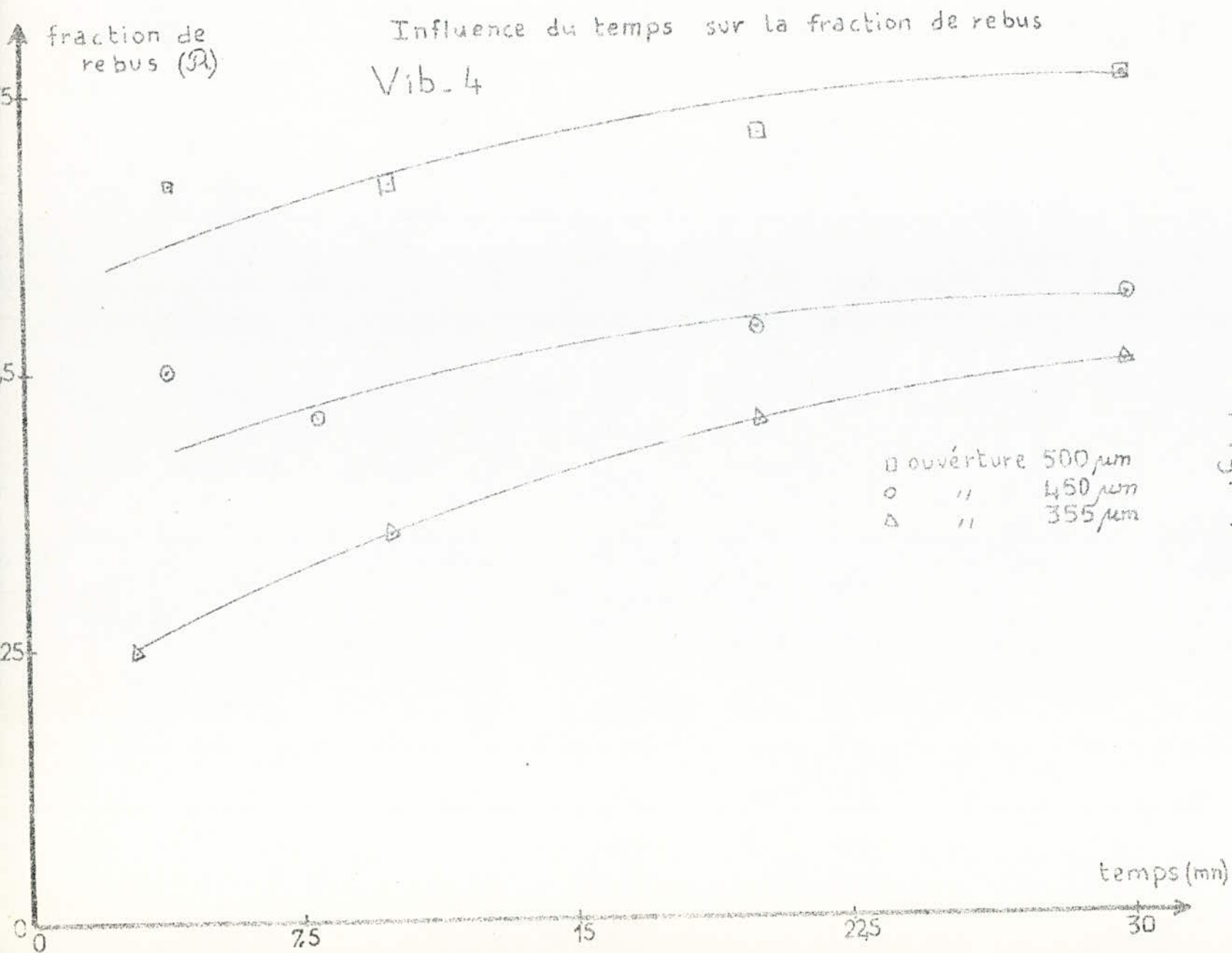
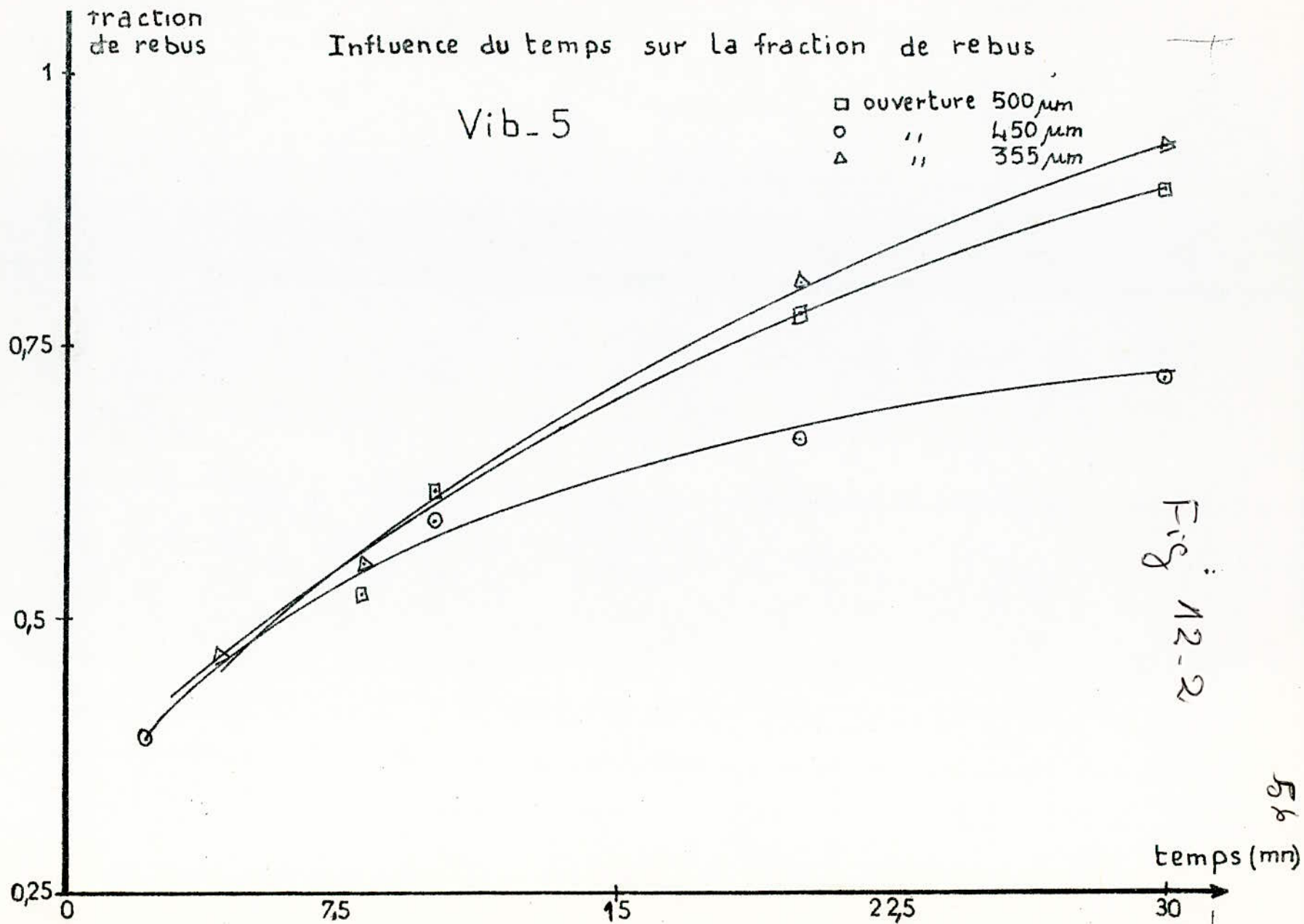


Fig. 12-1



Influence du temps sur la fraction de rebus

Vib. 6

□ ouverture 500 μm
○ " 450 μm
△ " 355 μm

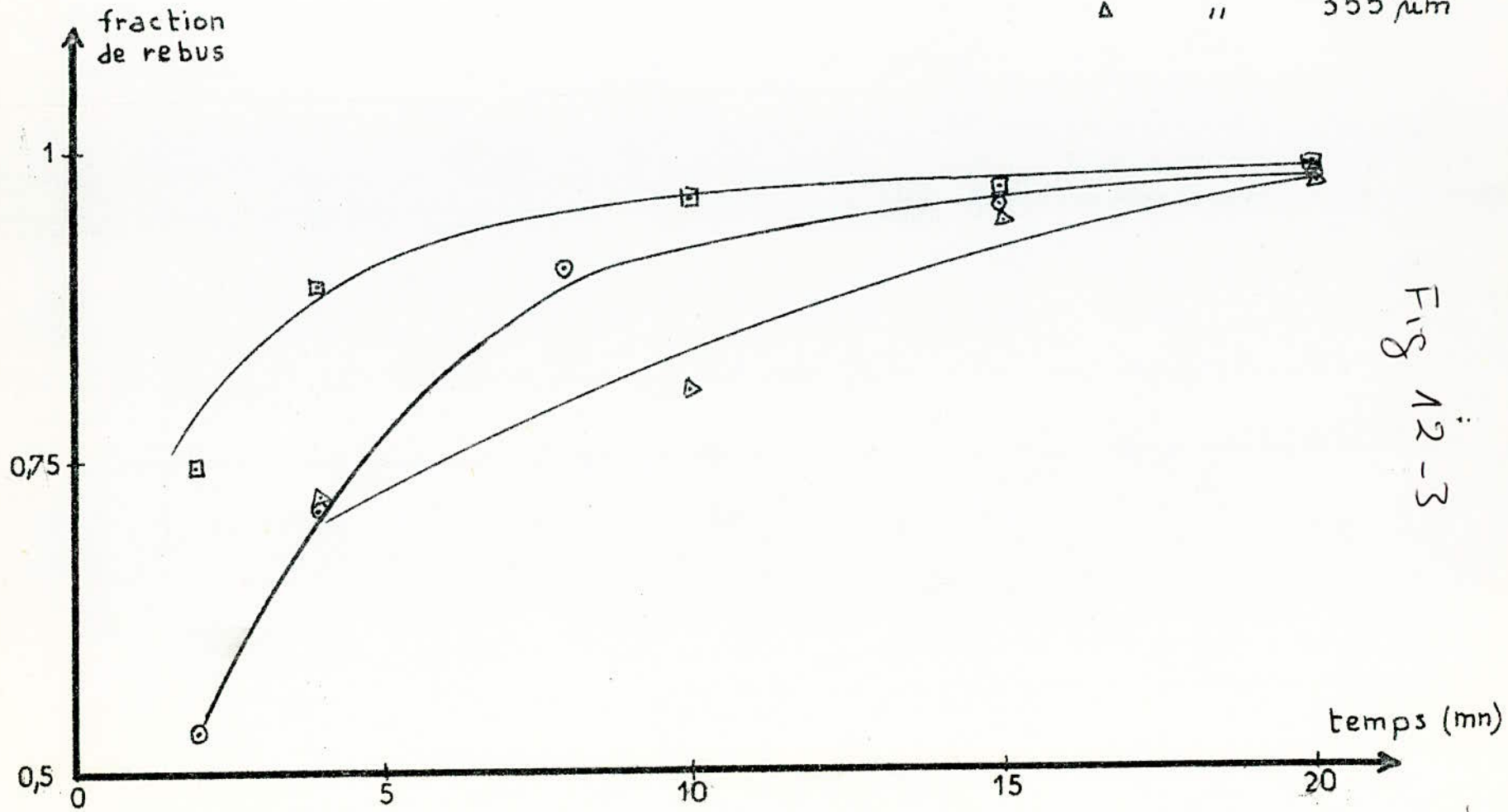


Fig 12-3

Influence du temps sur l'efficacité totale

Vib. 4

□ ouverture 500 μm
○ " 450 μm
△ " 355 μm

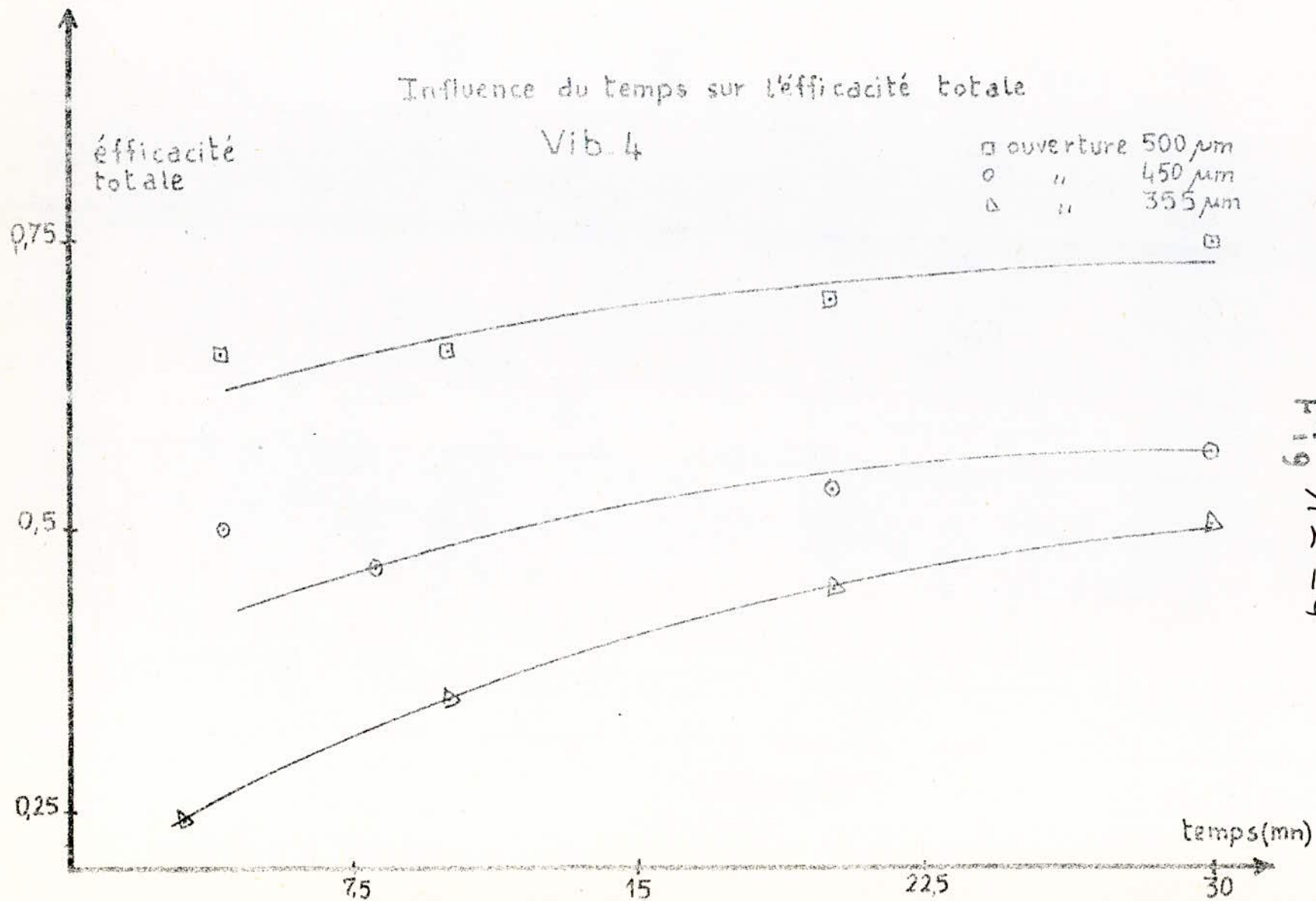


Fig. 12-4

Influence du temps sur l'efficacité totale
Vib.5

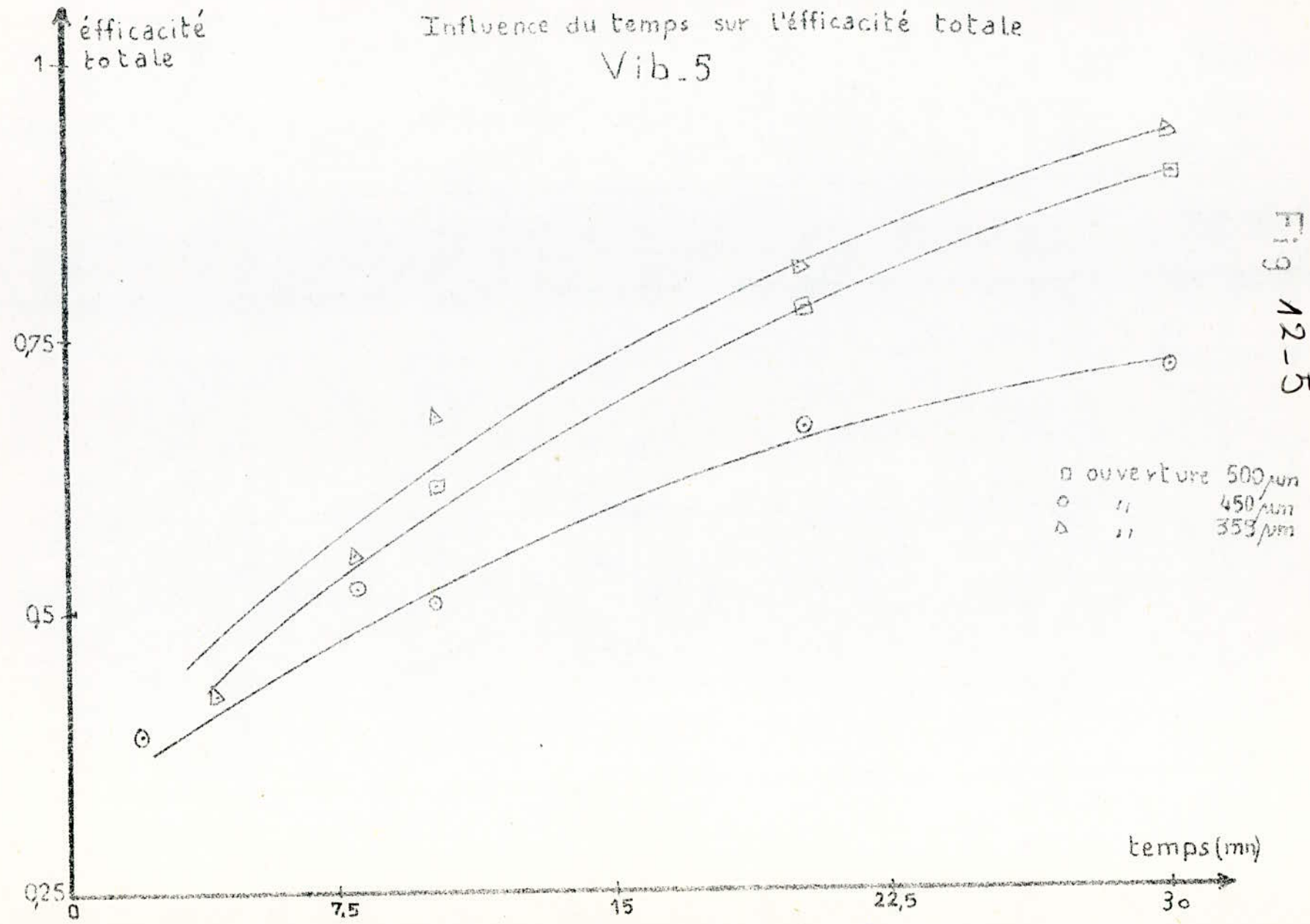


Fig 12-5

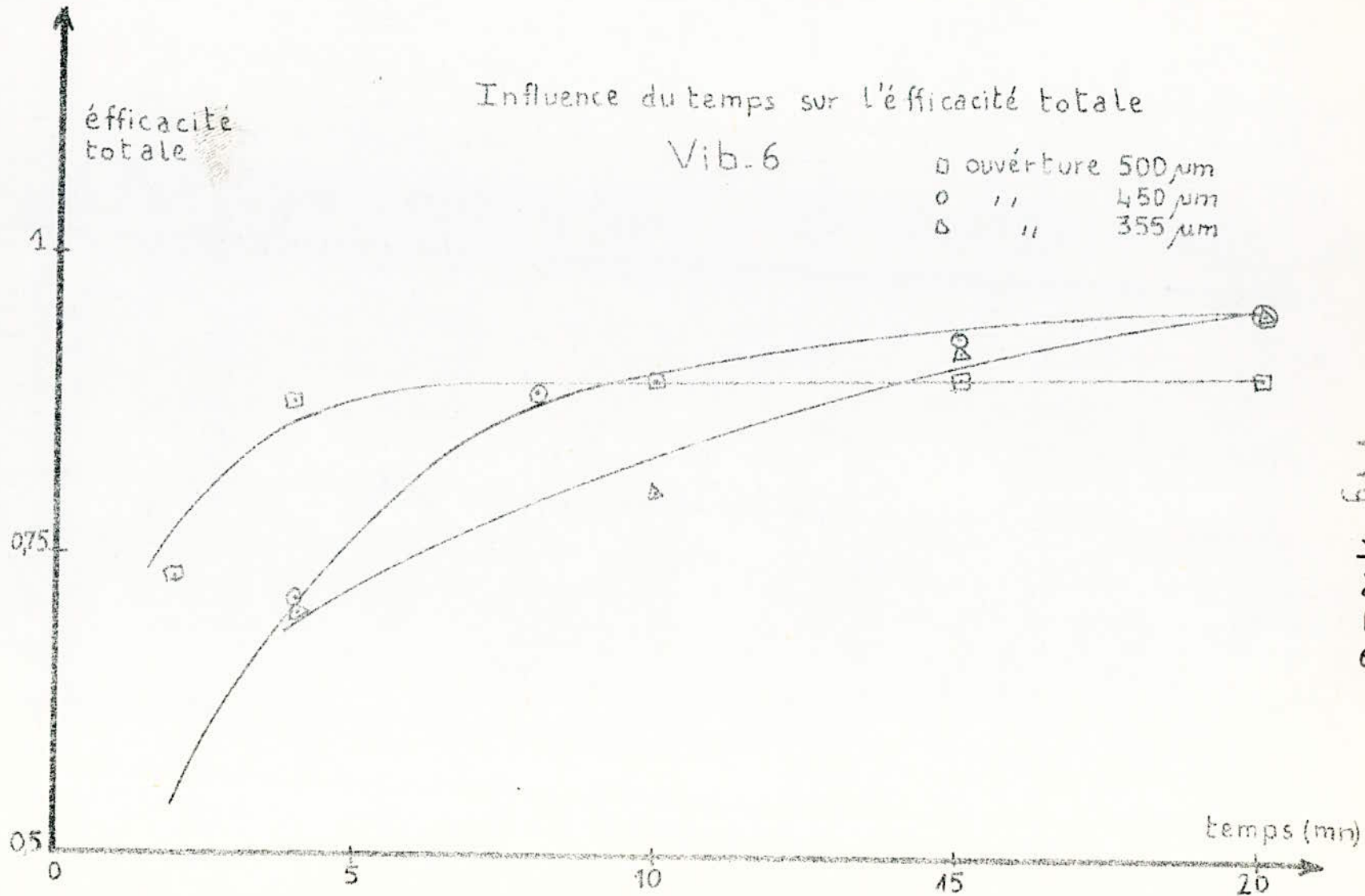


Fig 12-6

ces courbes.

En conclusion pour cette dernière étude, on peut dire qu'elle était uniquement une étude qualitative et ainsi pour des temps suffisamment longs, l'effet de l'usure des tamis décroît jusqu'à un effet négligeable sur le déroulement de tamisage.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis de prévoir l'influence de divers paramètres sur l'opération de tamisage à savoir le temps de tamisage, l'intensité de vibration et le facteur de recouvrement.

Nous avons constaté aussi que ce domaine d'étude est assez large pour le traiter convenablement.

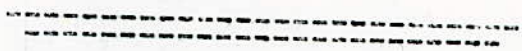
Pour notre travail, et suivant les conditions opératoires, c'est à dire pour ce type de sable on pourrait en un premier temps déterminer ses propriétés physiques et sont égales à:

densité= 2,8

diamètre ^{Moy} = 476,5um

puis évaluer ensuite l'efficacité des tamis suivant les paramètres choisis

Dans l'industrie, le choix du temps de tamisage doit être minimal pour des raisons économiques, or l'usure du tamis nécessite un temps assez long, d'où il faut concilier entre ces deux paramètres et par une étude d'optimisation.



-oOo- //(-) / / / / E X -oOo-

Apogeu sur la methode d'inter pollation au sens des moindres carrés:

L'approximation a été faite pour une droite d'équation generale $Y = A + BX$

L'ecart entre la droite d'interpollation et les points experimentaux est donnée

par :

$$\sigma(A, B) = \sum (y_i - A - BX_i)^2$$

L'erreur minimale est donnée par les dérivées partielles, par rapport à à A et B, nulles .

$$\frac{\partial(\sigma^2)}{\partial A} = -2 \sum (y_i - A - BX_i) = 0$$

$$\frac{\partial(\sigma^2)}{\partial B} = -2 \sum X_i (y_i - A - BX_i) = 0$$

Nous aboutissons à un système d'équations en (A et B)

$$\begin{cases} \sum y_i = nA + B \sum X_i = 0 \\ \sum X_i y_i = A \sum X_i + B \sum (X_i^2) = 0 \end{cases}$$

Annexe - 1

Les séries normalisées de tamis

TYLER		A.S.T.M.		B.E.S.A.		AFNOR		D.I.N.	
$\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$		$\sqrt[10]{10}$		$\sqrt[10]{10} \sqrt[20]{10}$	
N°	ouverture mm	N°	ouverture mm	N°	ouverture mm	N°	ouverture mm	ouverture mm	
2	7,925								8,0
3	6,680								
3 1/2	5,613	3 1/2	5,00				35	5,00	5,0
4	4,750	4	4,75						
5	3,992	5	4,00				37	4,00	4,0
6	3,327	6	3,36				36	3,15	3,15
7	2,794	7	2,83				35	2,50	2,5
8	2,302	8	2,38						
9	1,981	10	2,00	8	2,057	34	2,00		2,0
10	1,651	12	1,68	10	1,670	33	1,60		1,60
12	1,397	14	1,41	12	1,405	32	1,25		1,25
14	1,168	16	1,19	14	1,204				
16	0,991	18	1,00	16	1,003	31	1,00		1,0
20	0,833	20	0,84	18	0,853	30	0,80		0,80
24	0,701	25	0,71	22	0,699	29	0,63		0,63
28	0,589	30	0,59	25	0,599				
32	0,495	35	0,50	30	0,500	28	0,50		0,5
35	0,417	40	0,42	36	0,422	27	0,40		0,4
40	0,331	45	0,35	44	0,353	26	0,315		0,315
45	0,295	50	0,297	54	0,295				
60	0,240	60	0,250	60	0,251	25	0,250		0,25
65	0,208	70	0,210	72	0,211	24	0,200		0,2
80	0,175	80	0,177	85	0,178	23	0,160		0,16
100	0,147	100	0,149	100	0,152				
110	0,124	120	0,125	120	0,124	22	0,125		0,125
125	0,104	140	0,105	150	0,104	21	0,100		0,1
170	0,088	170	0,088	170	0,089	20	0,080		0,09
200	0,074	200	0,074	200	0,076				0,08
250	0,063	250	0,062	240	0,065	19	0,063		0,071
270	0,053	270	0,053	300	0,053				0,063
325	0,044	325	0,044			18	0,050		0,056
400	0,037	400	0,037			17	0,040		0,045
									0,04

Dans les 4 séries de tamis $\sqrt{2}$ le N° indique le nombre de mailles par pouce linéaire.
La norme D.I.N. ne prévoit pas de numérotage des tamis.

Distribution des masses* en fonction du temps
pour chaque classe granulométrique

masse :

Temps classe (s) (μm)	10	20	30	50	60	180	240	300	600
1250 800	131,9	6,5	3,8	3,2	2,8	1,7	1,8	1,7	1,3
800 650	171,5	198,5	128,8	81,9	75,4	53,9	54,6	50,2	48,5
650 500	126,3	188,6	221,9	217,4	210,2	168,4	150,0	148,5	148,6
500 450	25,1	37,9	50,8	71,5	78,1	101,4	109,6	108,5	106,2
450 355	22,3	30,8	47,6	56,6	63,3	87,1	86,4	77,9	79,7
355 280	16,7	27,4	33,0	46,5	43,6	56,7	65,5	78,7	79,9
280 250	3,3	5,4	6,1	10,6	13,8	14,1	15,3	16,1	16,2
250 224	2,2	2,7	4,2	7,5	7,0	10,3	10,1	10,9	11,6
224 125	0,7	1,3	2,5	2,9	3,7	5,1	5,9	6,2	6,4
125 112	-	0,4	0,6	1,1	1,0	1,1	0,9	1,1	1,3

Tableau

* masses : en gramme

Vib - 4

classes (μ m)	800 630	630 500	500 450	450 355	<355	>355	355 280	280 250		
β	masse initiale (g)	20	60	48	36	-	-	24	12	$x_B = 0,88$
0	masse obtenue (g)	20,1	58,5	49,0	31,8	6,3	1,2	22,6	10,5	-
	fraction de refus	0,121	0,353	0,296	0,192	0,038	-	-	-	$x_R = 0,962$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,035	0,659	0,306	$x_T = 0,035$
10	masse obtenue (g)	20,5	59,9	48,3	32,4	8,9	2,1	18,9	9,1	-
	fraction de refus	0,121	0,352	0,284	0,191	0,052	-	-	-	$x_R = 0,948$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,070	0,628	0,302	$x_T = 0,07$
20	masse obtenue (g)	20,9	58,9	48,2	32,8	12,7	1,3	16,4	8,4	-
	fraction de refus	0,120	0,339	0,278	0,189	0,073	-	-	-	$x_R = 0,927$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,049	0,628	0,322	$x_T = 0,049$
30	masse obtenue (g)	21,2	58,2	47,6	34,9	15,6	0,9	13,3	8,4	-
	fraction de refus	0,119	0,328	0,268	0,197	0,088	-	-	-	$x_R = 0,912$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,039	0,588	0,372	$x_T = 0,04$
40	masse obtenue (g)	19,7	59,1	47,9	36,3	20,5	0,8	10,2	5,6	-
	fraction de refus	0,107	0,322	0,261	0,198	0,112	-	-	-	$x_R = 0,888$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,048	0,614	0,337	$x_T = 0,048$
50	masse obtenue (g)	19,9	56,2	47,8	35,6	21,9	0,8	10,9	6,9	-
	fraction de refus	0,110	0,310	0,264	0,196	0,121	-	-	-	$x_R = 0,879$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,043	0,586	0,371	$x_T = 0,043$

Tamis (355 μ m)

Annexe

Vib.5

classes (Min)		800 630	630 500	500 450	450 355	<355	>355	355 280	280 250	
0	masse initiale (g)	20	60	48	36	-	-	24	12	$x_B = 0,82$
	masse obtenue (g)	19,8	60,0	45,9	35,4	2,9	0,7	23,7	11,7	-
	fraction de refus	0,121	0,366	0,280	0,216	0,018	-	-	-	$x_R = 0,982$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,019	0,657	0,324	$x_T = 0,028$
10	masse obtenue (g)	19,2	59,2	47,9	34,6	3,1	1,0	23,2	11,8	-
	fraction de refus	0,117	0,361	0,292	0,211	0,019	-	-	-	$x_R = 0,981$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,028	0,644	0,328	$x_T = 0,028$
20	masse obtenue (g)	20,2	59,3	46,0	35,2	4,7	0,9	22,9	10,9	-
	fraction de refus	0,122	0,359	0,278	0,213	0,028	-	-	-	$x_R = 0,972$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,026	0,659	0,314	$x_T = 0,026$
30	masse obtenue (g)	19,5	57,4	47,6	35,9	4,8	0,8	23,0	11,1	-
	fraction de refus	0,118	0,347	0,288	0,217	0,029	-	-	-	$x_R = 0,971$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,023	0,659	0,318	$x_T = 0,023$
40	masse obtenue (g)	20,7	59,2	47,9	35,5	5,7	0,8	20,2	10,1	-
	fraction de refus	0,122	0,350	0,283	0,210	0,033	-	-	-	$x_R = 0,966$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,026	0,650	0,325	$x_T = 0,026$
50	masse obtenue (g)	20,9	58,7	46,2	35,2	7,3	0,9	19,6	11,1	-
	fraction de refus	0,124	0,349	0,274	0,209	0,043	-	-	-	$x_R = 0,957$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,028	0,620	0,351	$x_T = 0,028$

Taux 3 (355, mm)

Annexe

Vib. 6

classes (mm)		800 630	630 500	500 450	450 355	< 355	> 355	355 280	280 250	
0	masse initiale (g)	20	60	48	36	—	—	24	12	$x_B = 0,82$
	masse obtenue (g)	23,9	61,4	46,4	29,9	1,5	0,6	24,7	11,4	—
	fraction de refus	0,147	0,376	0,284	0,183	0,009	—	—	—	$x_R = 0,994$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,016	0,673	0,311	$x_T = 0,016$
10	masse obtenue (g)	23,4	59,9	48,3	30,5	2,0	0,6	24,1	11,3	—
	fraction de refus	0,143	0,365	0,294	0,186	0,012	—	—	—	$x_R = 0,988$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,017	0,669	0,314	$x_T = 0,017$
20	masse obtenue (g)	21,9	61,9	48,8	29,2	2,5	0,5	23,4	10,9	—
	fraction de refus	0,133	0,377	0,297	0,178	0,015	—	—	—	$x_R = 0,985$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,014	0,672	0,313	$x_T = 0,014$
30	masse obtenue (g)	22,9	62,8	47,9	28,2	2,6	0,4	23,8	10,7	—
	fraction de refus	0,139	0,382	0,291	0,172	0,016	—	—	—	$x_R = 0,984$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,011	0,682	0,307	$x_T = 0,011$
40	masse obtenue (g)	23,9	63,2	47,9	28,6	3,9	0,4	21,6	10,7	—
	fraction de refus	0,143	0,377	0,286	0,171	0,023	—	—	—	$x_R = 0,977$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,012	0,661	0,327	$x_T = 0,012$
50	masse obtenue (g)	24,5	62,3	48,6	29,1	4,3	0,4	20,4	10,5	—
	fraction de refus	0,145	0,369	0,288	0,172	0,025	—	—	—	$x_R = 0,974$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	—	0,013	0,652	0,335	$x_T = 0,013$

Tamis (450 μ m)

Annexe

Vib. 5

classes (μ m)		800 630	630 500	500 450	<450	>450	450 355	355 280	280 250	
B	masse initiale (g)	20	60	48	-	-	36	24	12	$X_B = 0,64$
0	masse obtenue (g)	19,1	57,2	46,2	6,1	1,5	31,9	26,1	11,5	-
	fraction de refus	0,149	0,445	0,359	0,047	-	-	-	-	$X_R = 0,953$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,021	0,449	0,368	0,162	$X_T = 0,021$
10	masse obtenue (g)	18,9	55,5	47,3	7,9	1,3	31,9	25,8	11,5	-
	fraction de refus	0,146	0,428	0,365	0,061	-	-	-	-	$X_R = 0,939$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,018	0,452	0,366	0,163	$X_T = 0,018$
20	masse obtenue (g)	18,8	54,9	48,1	9,8	1,1	30,4	26,6	10,3	-
	fraction de refus	0,143	0,417	0,366	0,074	-	-	-	-	$X_R = 0,926$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,016	0,445	0,389	0,151	$X_T = 0,016$
30	masse obtenue (g)	20,3	54,8	47,9	12,3	1,4	26,3	25,9	11,2	-
	fraction de refus	0,150	0,405	0,354	0,091	-	-	-	-	$X_R = 0,909$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,022	0,406	0,400	0,173	$X_T = 0,022$
40	masse obtenue (g)	17,2	58,3	52,3	13,8	1,6	24,3	21,7	10,8	-
	fraction de refus	0,121	0,411	0,369	0,097	-	-	-	-	$X_R = 0,903$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,027	0,416	0,372	0,185	$X_T = 0,027$
50	masse obtenue (g)	19,3	62,9	52,8	16,9	1,2	16,9	21,1	8,8	-
	fraction de refus	0,127	0,414	0,348	0,011	-	-	-	-	$X_R = 0,889$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,025	0,352	0,440	0,184	$X_T = 0,025$

Annexe

Tamis (450 μ m)

Vib-6

classes (μ m)	800 630	630 500	500 450	<450	>450	450 355	355 280	280 250		
β	masse initiale (g)	20	60	48	-	-	36	24	12	$x_B=0,61$
0	masse obtenue (g)	19,1	60,7	43,9	3,6	2,2	35,3	24,2	11,1	-
	fraction de refus	0,150	0,477	0,345	0,028	-	-	-	-	$x_R=0,972$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,030	0,485	0,332	0,152	$x_T=0,030$
10	masse obtenue (g)	19,3	58,1	45,3	4,4	1,9	35,3	24,6	11,2	-
	fraction de refus	0,152	0,457	0,356	0,034	-	-	-	-	$x_R=0,965$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,026	0,484	0,337	0,153	$x_T=0,026$
20	masse obtenue (g)	18,7	59,7	46,0	4,4	1,5	34,6	24,3	10,8	-
	fraction de refus	0,145	0,464	0,357	0,034	-	-	-	-	$x_R=0,965$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,021	0,486	0,341	0,152	$x_T=0,021$
30	masse obtenue (g)	20,5	61,3	44,1	4,8	1,4	33,9	23,6	10,8	-
	fraction de refus	0,157	0,469	0,337	0,037	-	-	-	-	$x_R=0,963$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,020	0,486	0,339	0,155	$x_T=0,020$
40	masse obtenue (g)	19,7	61,8	45,9	5,8	1,0	32,1	23,2	10,5	-
	fraction de refus	0,148	0,464	0,345	0,044	-	-	-	-	$x_R=0,956$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,015	0,481	0,347	0,157	$x_T=0,015$
50	masse obtenue (g)	18,7	58,8	46,8	7,4	1,2	34,6	22,6	9,9	-
	fraction de refus	0,105	0,329	0,262	0,044	-	-	-	-	$x_R=0,914$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	0,018	0,507	0,334	0,144	$x_T=0,018$

Annexe.

Tamis (500 μ m)

Vib-4

classes (μ m)	800 630	630 500	< 500	> 500	500 450	450 355	355 280	280 250		
β ↓	masse initiales (g)	20	60	-	-	48	36	24	12	$X_R=0,14$
0	masse obtenues (g)	22,7	60,2	16,9	1,3	27,8	33,2	26,3	11,6	-
	fraction de refus	0,227	0,603	0,169	-	-	-	-	-	$X_R=0,831$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,013	0,277	0,331	0,262	0,116	$X_T=0,013$
10	masse obtenues (g)	24,9	51,0	21,4	1,1	29,7	32,9	27,2	11,8	-
	fraction de refus	0,256	0,524	0,220	-	-	-	-	-	$X_R=0,78$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,011	0,289	0,320	0,265	0,115	$X_T=0,011$
20	masse obtenues (g)	21,1	55,9	28,6	1,1	25,4	31,1	26,5	10,3	-
	fraction de refus	0,200	0,529	0,271	-	-	-	-	-	$X_R=0,729$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,012	0,269	0,329	0,281	0,109	$X_T=0,012$
30	masse obtenues (g)	26,6	54,1	35,8	1,1	26,9	23,5	22,2	9,9	-
	fraction de refus	0,228	0,464	0,307	-	-	-	-	-	$X_R=0,693$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,013	0,322	0,281	0,266	0,118	$X_T=0,013$
40	masse obtenues (g)	24,2	62,7	41,8	0,7	15,6	24,8	20,3	9,9	-
	fraction de refus	0,188	0,487	0,324	-	-	-	-	-	$X_R=0,675$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,01	0,219	0,348	0,285	0,139	$X_T=0,01$
50	masse obtenues (g)	25,5	56,2	50,3	1,0	13,9	25,7	19,4	8,0	-
	fraction de refus	0,193	0,426	0,381	-	-	-	-	-	$X_R=0,619$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,015	0,204	0,378	0,285	0,118	$X_T=0,015$

Annexe -

Tamis (500 μm)

Vib - 5

classes (mm)	800 630	630 500	<500	>500	500 450	450 355	355 280	280 250		
β	masse initiale (g)	20	60	-	-	48	36	24	12	$x_0 = 0,14$
0	masse obtenue (g)	19,2	53,1	9,9	2,5	45,6	33,8	25,3	10,6	-
	fraction de refus	0,234	0,646	0,120	-	-	-	-	-	$x_R = 0,68$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,021	0,387	0,287	0,215	0,09	$x_T = 0,021$
10	masse obtenue (g)	19,9	53,3	10,2	2,7	42,9	34,9	24,3	11,8	-
	fraction de refus	0,239	0,639	0,122	-	-	-	-	-	$x_R = 0,670$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,023	0,368	0,299	0,208	0,104	$x_T = 0,023$
20	masse obtenue (g)	18,0	58,4	12,9	3,0	43,4	31,2	22,5	10,6	-
	fraction de refus	0,202	0,654	0,144	-	-	-	-	-	$x_R = 0,856$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,027	0,392	0,282	0,203	0,096	$x_T = 0,027$
30	masse obtenue (g)	19,0	59,5	15,4	2,9	37,1	30,5	24,2	11,3	-
	fraction de refus	0,202	0,634	0,164	-	-	-	-	-	$x_R = 0,836$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,027	0,350	0,288	0,228	0,107	$x_T = 0,027$
40	masse obtenue (g)	18,6	52,9	18,4	2,7	39,9	32,8	23,8	10,8	-
	fraction de refus	0,207	0,588	0,205	-	-	-	-	-	$x_R = 0,795$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,025	0,363	0,298	0,216	0,098	$x_T = 0,025$
50	masse obtenue (g)	19,5	58,4	21,8	3,7	32,6	30,9	23,2	10,0	-
	fraction de refus	0,196	0,586	0,219	-	-	-	-	-	$x_R = 0,781$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,037	0,325	0,308	0,231	0,099	$x_T = 0,036$

Annexe -

Tamis (500 μ m)

Vib. 6

classes (μ m)	800 630	630 500	<500	>500	500 450	450 355	355 280	280 250		
β ↓ masse initiale (g)	20	60	-	-	48	36	24	12	$x_B = 0,4$	
0	masse obtenue (g)	19,0	52,9	3,2	9,0	47,3	34,3	23,5	10,9	-
	fraction de refus	0,253	0,704	0,043	-	-	-	-	-	$x_R = 0,957$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,072	0,378	0,274	0,188	0,087	$x_T = 0,072$
10	masse obtenue (g)	18,2	53,3	3,3	8,8	52,6	30,6	23,1	10,2	-
	fraction de refus	0,243	0,713	0,044	-	-	-	-	-	$x_R = 0,956$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,070	0,420	0,244	0,184	0,081	$x_T = 0,070$
20	masse obtenue (g)	19,1	53,5	3,7	8,8	48,7	32,9	22,9	10,5	-
	fraction de refus	0,250	0,701	0,048	-	-	-	-	-	$x_R = 0,952$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,071	0,393	0,266	0,185	0,085	$x_T = 0,071$
30	masse obtenue (g)	18,8	53,3	3,4	8,3	47,5	33,2	23,9	11,7	-
	fraction de refus	0,249	0,706	0,045	-	-	-	-	-	$x_R = 0,955$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,067	0,381	0,266	0,192	0,094	$x_T = 0,067$
40	masse obtenue (g)	19,2	54,8	4,0	8,2	51,9	28,3	23,0	10,7	-
	fraction de refus	0,246	0,703	0,052	-	-	-	-	-	$x_R = 0,949$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,067	0,425	0,232	0,188	0,088	$x_T = 0,067$
50	masse obtenue (g)	18,6	56,5	4,9	6,8	49,3	31,0	22,8	10,1	-
	fraction de refus	0,233	0,706	0,061	-	-	-	-	-	$x_R = 0,939$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,057	0,411	0,267	0,190	0,084	$x_T = 0,057$

Tamis (355 μ m)

Annexe

Vib. 4

classes (ALM)		800 630	630 500	500 450	450 355	<355	>355	355 280	280 250	
M	temps (min)	20	60	48	36	-	-	24	12	$X_B = 0,82$
	masse obtenue (g)	263	64,6	46,6	30,4	27,8	0,2	3,3	1,2	-
	fraction de refus	0,135	0,331	0,238	0,154	0,142	-	-	-	$X_R = 0,858$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,043	0,702	0,255	$X_T = 0,043$
10	masse obtenue (g)	239	62,8	47,3	26,1	22,9	0,5	9,5	3,0	-
	fraction de refus	0,131	0,343	0,258	0,143	0,125	-	-	-	$X_R = 0,875$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,038	0,731	0,231	$X_T = 0,038$
20	masse obtenue (g)	22,7	60,9	47,9	32,2	19,8	0,5	10,6	4,3	-
	fraction de refus	0,124	0,332	0,261	0,175	0,108	-	-	-	$X_R = 0,832$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,032	0,688	0,279	$X_T = 0,032$
30	masse obtenue (g)	23,5	59,7	43,7	27,3	17,6	0,5	12,5	5,2	-
	fraction de refus	0,132	0,336	0,279	0,154	0,099	-	-	-	$X_R = 0,904$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,027	0,687	0,286	$X_T = 0,027$

Annexe

Tamis (355 μ m)

Vib. 5

classes (μ m) →		800 630	630 500	500 450	450 355	<355	>355	355 280	280 250	
4	temps (min)	20	60	48	36	-	-	24	12	$x_R = 0,82$
	masse obtenue (g)	19,5	56,9	49,3	34,8	20,2	0,8	9,9	8,3	-
	fraction de refus	0,108	0,315	0,273	0,192	0,112	-	-	-	$x_R = 0,888$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,042	0,521	0,437	$x_T = 0,042$
8	masse obtenue (g)	18,9	57,8	48,7	34,2	15,8	0,8	13,5	9,5	-
	fraction de refus	0,108	0,329	0,278	0,195	0,090	-	-	-	$x_R = 0,310$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,034	0,567	0,399	$x_T = 0,034$
10	masse obtenue (g)	19,4	58,3	45,6	37,1	11,2	0,9	15,9	10,4	-
	fraction de refus	0,113	0,340	0,266	0,216	0,065	-	-	-	$x_R = 0,935$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,033	0,585	0,382	$x_T = 0,033$
20	masse obtenue (g)	18,9	54,1	49,0	37,1	6,4	1,4	20,1	11,7	-
	fraction de refus	0,114	0,327	0,296	0,224	0,039	-	-	-	$x_R = 0,961$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,042	0,605	0,352	$x_T = 0,042$
30	masse obtenue (g)	18,7	55,9	43,1	37,9	4,3	1,4	22,9	11,6	-
	fraction de refus	0,117	0,349	0,270	0,237	0,027	-	-	-	$x_R = 0,986$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,038	0,638	0,324	$x_T = 0,038$

Tamis (355 μ m) Annexe

Vib - 6

Classes (mm)		800	630	500	450	<355	>355	355	280	
comps (mm)		630	500	450	355			280	250	
2	masse initiale (g)	20	60	48	36	-	-	24	12	$X_R = 0,82$
	masse obtenue (g)	20,9	59,7	45,0	31,4	16,4	0,5	13,4	7,2	-
	fraction de refus	0,121	0,344	0,260	0,181	0,095	-	-	-	$X_R = 0,905$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,023	0,615	0,362	$X_T = 0,942$
4	masse obtenue (g)	21,4	58,2	44,7	32,5	9,7	0,7	17,8	10,4	-
	fraction de refus	0,128	0,349	0,268	0,195	0,058	-	-	-	$X_R = 0,942$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,024	0,616	0,360	$X_T = 0,024$
10	masse obtenue (g)	21,3	58,9	44,9	32,2	6,8	0,9	20,3	10,6	-
	fraction de refus	0,133	0,357	0,275	0,194	0,041	-	-	-	$X_R = 0,959$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,028	0,638	0,333	$X_T = 0,028$
15	masse obtenue (g)	21,5	58,9	44,9	30,8	1,9	1,9	24,2	11,5	-
	fraction de refus	0,135	0,373	0,285	0,195	0,042	-	-	-	$X_R = 0,988$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,051	0,644	0,306	$X_T = 0,051$
20	masse obtenue (g)	21,9	59,1	44,3	33,7	0,9	2,1	25,1	11,8	-
	fraction de refus	0,137	0,370	0,277	0,211	0,006	-	-	-	$X_R = 0,994$
	fraction de tamisat	-	-	-	-	-	0,054	0,644	0,303	$X_T = 0,054$

Tamis (450 μ m) Annexe
 Vib. 4

classes (μ m)		800 630	630 500	500 450	<450	>450	450 355	355 280	280 250	
I	temps (min)	20	60	48	—	—	36	24	12	$x_B = 0,64$
	masse obtenue (g)	33,5	75,5	31,8	39,0	0,4	5,2	8,8	3,1	—
	fraction de refus	0,186	0,420	0,177	0,217	—	—	—	—	$x_R = 0,786$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,023	0,297	0,503	0,177	$x_T = 0,023$
II	masse obtenue (g)	35,3	67,6	35,5	42,1	0,5	4,8	8,1	3,3	—
	fraction de refus	0,196	0,374	0,197	0,233	—	—	—	—	$x_R = 0,767$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,024	0,232	0,391	0,159	$x_T = 0,03$
20	masse obtenue (g)	29,9	68,3	35,9	35,5	0,6	7,8	12,9	6,1	—
	fraction de refus	0,176	0,403	0,212	0,209	—	—	—	—	$x_R = 0,791$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,023	0,285	0,471	0,223	$x_T = 0,022$
30	masse obtenue (g)	28,9	70,1	33,7	33,1	0,7	9,5	14,5	6,3	—
	fraction de refus	0,174	0,422	0,203	0,200	—	—	—	—	$x_R = 0,800$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,022	0,306	0,468	0,203	$x_T = 0,023$

Tamis (450 μm)

Annexe

Vib. 5

classes (μm)	800 630	630 500	500 450	<450	>450	450 355	355 280	280 250		
temps min										
2	masse initiale (g)	20	60	48	—	—	36	24	12	$x_g = 0,64$
	masse obtenue (g)	18,7	51,3	50,6	55,0	0,4	5,8	10,0	4,8	—
	fraction de refus	0,138	0,378	0,373	0,406	—	—	—	—	$x_R = 0,687$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,019	0,276	0,476	0,228	$x_T = 0,019$
4	masse obtenue (g)	19,4	56,9	47,6	38,5	0,6	10,9	15,0	7,5	—
	fraction de refus	0,119	0,350	0,293	0,237	—	—	—	—	$x_R = 0,763$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,018	0,321	0,441	0,221	$x_T = 0,018$
10	masse obtenue (g)	19,2	56,4	49,7	28,6	0,7	15,6	19,1	10,0	—
	fraction de refus	0,125	0,366	0,323	0,186	—	—	—	—	$x_R = 0,814$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,015	0,344	0,421	0,220	$x_T = 0,015$
20	masse obtenue (g)	18,9	52,2	48,3	22,6	0,7	19,6	23,1	11,0	—
	fraction de refus	0,133	0,368	0,340	0,159	—	—	—	—	$x_R = 0,841$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,013	0,360	0,425	0,202	$x_T = 0,013$
30	masse obtenue (g)	19,0	51,9	47,6	18,5	0,7	26,3	23,5	11,2	—
	fraction de refus	0,138	0,379	0,347	0,135	—	—	—	—	$x_R = 0,865$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,011	0,426	0,381	0,182	$x_T = 0,011$

Tamis (450 μm)

Annexe

Vib. 6

classes (num)	800 630	630 500	500 450	<450	>450	450 355	355 280	280 250		
temps (min)										
2	masse initiale (g)	20	60	48	—	—	36	24	12	$X_R = 0,64$
	masse obtenue (g)	19,7	55,7	46,9	32,4	0,7	15,7	17,3	7,8	—
	fraction de refus	0,127	0,360	0,303	0,209	—	—	—	—	$X_R = 0,791$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,017	0,378	0,417	0,488	$X_T = 0,017$
4	masse obtenue (g)	19,6	54,7	46,8	19,8	1,2	21,7	21,8	10,8	—
	fraction de refus	0,139	0,388	0,332	0,141	—	—	—	—	$X_R = 0,859$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,022	0,391	0,393	0,495	$X_T = 0,022$
8	masse obtenue (g)	19,8	55,5	45,1	6,3	2,3	30,9	24,6	11,7	—
	fraction de refus	0,156	0,438	0,356	0,049	—	—	—	—	$X_R = 0,950$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,035	0,465	0,370	0,176	$X_T = 0,035$
15	masse obtenue (g)	18,9	58,8	45,0	3,4	2,3	32,9	24,2	11,8	—
	fraction de refus	0,150	0,466	0,357	0,027	—	—	—	—	$X_R = 0,973$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,032	0,462	0,340	0,166	$X_T = 0,032$
20	masse obtenue (g)	18,9	57,7	46,3	1,9	2,4	34,3	24,3	11,8	—
	fraction de refus	0,151	0,462	0,371	0,015	—	—	—	—	$X_R = 0,985$
	fraction de tamisat	—	—	—	—	0,033	0,471	0,334	0,162	$X_T = 0,033$

Tamis (500 μm) Annexe

Vib-4

classes (mm) →	800 630	630 500	<500	>500	500 450	450 355	355 280	280 250		
temps (min) ↓										
	masse initiale (g)	20	60	-	-	48	36	24	12	$x_B = 0,4$
I	masse obtenue (g)	38,5	61,7	50,1	1,1	14,9	13,8	12,2	7,7	-
	fraction de refus	0,255	0,411	0,334	-	-	-	-	-	$x_R = 0,666$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,022	0,300	0,278	0,265	0,155	$x_T = 0,022$
10	masse obtenue (g)	31,7	62,9	48,4	1,1	16,9	14,9	13,9	9,2	-
	fraction de refus	0,222	0,440	0,338	-	-	-	-	-	$x_R = 0,662$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,020	0,302	0,266	0,248	0,164	$x_T = 0,020$
20	masse obtenue (g)	29,2	60,7	40,4	1,2	24,7	17,3	16,2	9,4	-
	fraction de refus	0,224	0,466	0,310	-	-	-	-	-	$x_R = 0,690$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,017	0,359	0,251	0,235	0,137	$x_T = 0,017$
30	masse obtenue (g)	21,6	60,1	29,9	1,2	30,9	26,6	17,8	9,9	-
	fraction de refus	0,194	0,538	0,268	-	-	-	-	-	$x_R = 0,738$
	fraction de tamisat	-	-	-	0,014	0,358	0,308	0,206	0,115	$x_T = 0,014$

Tamis (500 μm)

Annexe

Vib-5

classes (μm)	800 630	630 500	<500	>500	500 450	450 355	355 280	280 250		
	masse initiale (g)	20	60	—	—	48	36	24	12	$x_B = 0,4$
2	masse obtenue (g)	21,3	56,0	65,0	0,8	15,1	17,2	15,9	7,5	—
	fraction de refus	0,149	0,394	0,457	—	—	—	—	—	$x_R = 0,543$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,014	0,267	0,304	0,281	0,133	$x_T = 0,014$
10	masse obtenue (g)	21,9	52,0	53,1	0,5	20,2	19,6	18,5	8,4	—
	fraction de refus	0,172	0,409	0,418	—	—	—	—	—	$x_R = 0,582$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,007	0,300	0,292	0,275	0,125	$x_T = 0,007$
10	masse obtenue (g)	20,9	55,2	43,7	0,5	22,9	23,9	21,7	9,7	—
	fraction de refus	0,174	0,461	0,365	—	—	—	—	—	$x_R = 0,635$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,006	0,291	0,304	0,276	0,123	$x_T = 0,006$
20	masse obtenue (g)	22,1	52,7	25,5	0,7	30,6	30,4	25,3	10,9	—
	fraction de refus	0,220	0,525	0,254	—	—	—	—	—	$x_R = 0,746$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,007	0,313	0,310	0,258	0,111	$x_T = 0,007$
30	masse obtenue (g)	25,5	50,6	12,5	0,8	39,5	32,3	25,1	11,9	—
	fraction de refus	0,288	0,571	0,141	—	—	—	—	—	$x_R = 0,86$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,007	0,360	0,295	0,229	0,108	$x_T = 0,007$

Tamis (500 μm)

Annexe

Vib. 6

classes (μm)	800 630	630 500	<500	>500	500 450	450 385	355 280	280 250		
2	masse initiale (g)	20	60	—	—	48	36	24	12	$x_B = 0,4$
	masse obtenue (g)	18,8	51,3	27,5	1,7	35,6	29,5	23,4	10,2	—
	fraction de refus	0,193	0,526	0,282	—	—	—	—	—	$x_R = 0,718$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,017	0,353	0,294	0,233	0,101	$x_T = 0,017$
4	masse obtenue (g)	18,9	51,1	10,9	2,7	45,4	32,6	25,3	10,9	—
	fraction de refus	0,233	0,632	0,135	—	—	—	—	—	$x_R = 0,865$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,023	0,388	0,279	0,216	0,093	$x_T = 0,023$
10	masse obtenue (g)	18,9	59,6	4,7	5,3	48,3	33,3	25,3	11,1	—
	fraction de refus	0,255	0,682	0,063	—	—	—	—	—	$x_R = 0,934$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,043	0,392	0,270	0,205	0,090	$x_T = 0,043$
15	masse obtenue (g)	18,8	51,3	3,9	5,4	48,7	34,0	25,4	11,3	—
	fraction de refus	0,254	0,693	0,052	—	—	—	—	—	$x_R = 0,940$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,043	0,390	0,272	0,204	0,091	$x_T = 0,043$
20	masse obtenue (g)	13,1	49,9	2,9	6,5	49,1	34,3	24,9	11,5	—
	fraction de refus	0,266	0,694	0,040	—	—	—	—	—	$x_R = 0,96$
	fraction de tamisat	—	—	—	0,051	0,389	0,272	0,197	0,091	$x_T = 0,051$

B _ I _ B _ L _ I _ O _ G _ R _ A _ F _ H _ I _ E

1. Méthodes granulométriques - techniques et interprétations
ANDRÉ RIVIÈRE - Ed. - MASSON

2. L'ANALYSE MÉCANIQUES -
H. GESSNER - Ed. DUNOD - 1936

3. TECHNOLOGIE DES APPAREILS DE FRAGMENTATION ET DE CLASSEMENT
DIFFÉRENTIEL - Tome III.
E.C. BLANC - Ed. EYROLLES - 1971.

4. TECHNIQUE DE L'INGÉNIEUR - GRANULOMÉTRIE -
PAUL - RAFFINOT

5. LES MINÉRAUX EN GRAIN .
PAREFFENOFF - Ed. MASSON

6. TECHNOLOGIE - INTRODUCTION AU GENIE CHIMIQUE
Traitement des solides - BERNARD BARIQU - Ed. DUNOD - 1971

7. GENIE CHIMIQUE :
K. WINNACKER - Ed. EYROLLES - 1963

8. NOTIONS DE GENIE CHIMIQUE - Traitement des solides.
R. DARRIGO Ed. ARMAND COLIN - 1970 .

