

739898



Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports
Laboratoire central

Détermination du coefficient d'écoulement du granulat fin

ÉTUDE SUR L'ÉVALUATION DE L'ANGULARITÉ PAR
L'ÉLIMINATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

Rapport

présenté à

Monsieur Gérard Moreau, c.i.

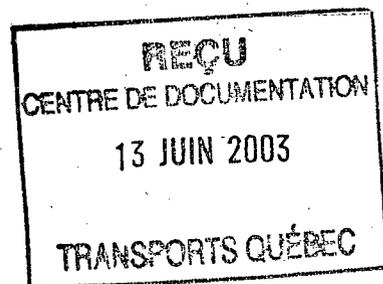
par

Gaétan Lefebvre

Sainte-Foy

le 11 mars 1990

Ministère des Transports
Centre de documentation
130, Chemin Sainte-Foy
de Québec
Québec (Québec)
G1B 4V3



CANQ
TR
GE
SM
187

INTRODUCTION

Le coefficient d'écoulement du granulat fin, établi à partir du temps d'écoulement, sert à l'évaluation de l'angularité. Le temps d'écoulement est influencé par la densité, l'état de surface, la forme, la grosseur, et l'angularité des particules.

Puisqu^{on prétend}_{que} l'angularité joue un rôle important, en outre dans la stabilité mécanique, l'adhérence des pneumatiques et la maniabilité d'un mélange, il est important de développer un essai qui puisse en donner une évaluation précise. Pour cela, il faut d'abord tenter d'isoler les différents paramètres qui influencent le temps d'écoulement.

1. Densité

Jusqu'à maintenant, seule la densité des particules est réellement prise en considération, si bien que le coefficient d'écoulement, tel qu'il est présentement, nous permet peut-être d'apprécier davantage l'état de surface, la forme ou la grosseur que l'angularité même des particules.

2. L'état de surface

Selon un document français portant sur les essais de granulats¹, l'état de surface ne peut se mesurer directement. Les sédimentologues distinguent simplement à la loupe les surfaces mates des surfaces luisantes. On estime cependant que l'état de surface, appelé aussi rugosité, joue le même rôle en général, que l'angularité, mais à une échelle différente. L'état de surface étant en quelque sorte un complément à l'angularité, il devient donc inutile de les dissocier.

3. La forme des particules

Dans l'état actuel, nous ne sommes pas en mesure d'évaluer les conséquences de la forme des particules fines sur le temps d'écoulement. Toutefois selon le document français¹, on prétend que l'influence de la forme des particules sur le temps d'écoulement serait minime.

D'autre part, on estime, en théorie, que ses propriétés quantitatives par rapport à l'influence qu'elle a sur le temps d'écoulement, aurait une certaine corrélation avec l'angularité.

¹ Claude TOURENO et André DENIS. Les essais de granulats, Rapport de recherche LPC No 114, Paris, Laboratoire des Ponts et Chaussées, 1982

Selon un rapport de stage sur l'essai d'écoulement², on prétend qu'une augmentation du diamètre de l'orifice du cône permettrait de mesurer davantage l'angularité que l'allongement des particules. Malheureusement, une étude ultérieure³, a démontré qu'il n'était pas possible d'augmenter l'ouverture du cône sans modifier l'ensemble de l'essai.

Par conséquent, il n'est pas possible, jusqu'ici, de dissocier l'angularité, de l'état de surface, et de la forme des particules. Cependant, on peut admettre, par hypothèse, que ces trois paramètres offrent une certaine corrélation dans leur temps d'écoulement par rapport à leurs propriétés quantitatives.

À ce sujet, voici un extrait d'un document portant sur les essais de granulat, à propos de l'essai d'écoulement des sables¹; "ce type d'essai, moyennant quelques précautions sur la granularité et dans une moindre mesure sur la forme qui joue assez peu, conduit donc à déterminer un coefficient d'écoulement qui englobe deux caractéristiques. Mais comme en fait l'état de surface est aussi bénéfique que l'angularité en ce qui concerne le frottement interne et le contact pneumatique-chaussée, cette méthode est intéressante car très facile à mettre en œuvre."

² Daher BOLBOL, L'essai d'angularité des sables, Rapport de stage, Sainte-Foy, Ministère des Transports, 1988.

³ Gaétan LEFEBVRE, Le coefficient d'écoulement du passant 5 mm, Rapport d'étude Sainte-Foy, Ministère des Transports

On y ajoute aussi: "Il est toujours possible de travailler sur une granularité donnée et d'éliminer les éléments de mauvaise forme, mais l'on ne peut dissocier l'état de surface de l'angularité."

4. La grosseur des particules

4.1 Historique

La grosseur des particules ou si vous préférez la granularité a été, jusqu'à maintenant plus ou moins prise en considération dans l'essai d'écoulement du granulat fin. Jusqu'à récemment, pour isoler ce paramètre, on comparait le temps d'écoulement d'un matériau avec celui des billes de verre de même granulométrie. Mais pour différentes raisons, on a dû retirer cette méthode. Par la suite, on a inséré à la formule de calcul, une valeur représentant le temps d'écoulement moyen des billes de verre. Cette valeur, étant constante, ne permet pas de corriger le coefficient d'écoulement en fonction de la granulométrie.

De plus, jusqu'à maintenant, rien n'a permis de déterminer, si le rapport de la stabilité versus le temps d'écoulement est influencé de la même façon que ce soit avec la granularité ou l'angularité.

Il devient donc nécessaire de déterminer dans quelle mesure la grosseur des particules peut affecter le temps d'écoulement et, s'il y a lieu, de trouver une façon d'isoler ce paramètre.

4.2 Billes de verre

Un rapport de stage sur l'essai d'écoulement (Voir note 2), démontre que la composition granulométrique d'un mélange de billes de verre, affecte considérablement le temps d'écoulement (figures 1a, 1b). Les résultats démontrent que le temps d'écoulement le plus rapide s'effectue lorsque le mélange est constitué de proportions sensiblement égales de billes de verre sur chaque tamis. Le temps d'écoulement augmente considérablement si l'on accroît la proportion de grosses particules mais augmente de façon moins appréciable si c'est la proportion de petites particules qui est augmentée.

4.3 Criblure

Une analyse similaire, effectuée cette fois avec un matériau angulaire (criblure) démontre, elle aussi, que le temps d'écoulement peut-être influencé par la granularité (figure 2a-2b). Pour obtenir le temps d'écoulement le plus court, le mélange doit ici, comporter davantage de particules fines que de grosses particules.

4.4 Fuseau granulométrique

Puisque dans la fabrication d'un mélange bitumineux, la composition granulométrique doit correspondre à des exigences établies (fuseau granulométrique), la prochaine partie de cette étude sera de déterminer si, à l'intérieur de ces exigences, le temps d'écoulement peut-être affecté par une variation granulométrique.

4.4.1 Méthodologie

Pour ce faire, les exigences de deux (2) Skip-Mix, le SM-16 et le SM-25, qui font présentement l'objet d'un projet de norme, ont été employées (Tableau 1).

Les essais ont été exécutés par le même opérateur, dans les mêmes conditions en utilisant le même appareillage.

Trois (3) matériaux différents ont été utilisés; les billes de verre, représentant un matériau peu-angulaire, un sable naturel (AG-746-87), représentant un matériau angulaire et une pierre concassée (criblure) représentant un matériau très angulaire.

4.4.2 SM 16

À l'intérieur des exigences du SM-16, il existe pour le passant 2 mm, des milliers de possibilités de courbes granulométriques. Parmi celles-ci, sept (7) courbes, offrant des caractéristiques différentes, ont été retenues pour analyse. Elles portent des symboles représentant leurs formes; "C", "D", "S", "2", "EM" (escalier-marche), "EC" (escalier-contre-marche), et "M" (médiante) (figure 3a, 3b, 3c, 3d). Leurs granulométries calculées pour le passant 2 mm, retenue 80 μ m, sont indiquées au tableau 2 et leurs courbes sont tracées aux figures 41, 4b, 4c. Les résultats du temps d'écoulement sont indiqués au tableau 4.

4.4.3 SM-25

Puisque dans le cas du SM-25 on ne note aucune exigence pour le tamis $630 \mu\text{m}$, seulement cinq (5) granulométries offrant des caractéristiques différentes ont été retenues "C", "D", "S", "2" et la médiane "M". (Figures 5a, 5b, 5c). Leurs granulométriques calculées pour le $80 \mu\text{m}$, 2 mm, sont indiquées au tableau 3. Les différentes courbes pour le $80 \mu\text{m}$ -2mm sont tracées aux figures 6a et 6b et le temps d'écoulement obtenu est inscrit au tableau 4.

4.4.4 Limites supérieures et inférieures

Les limites supérieures et inférieures étant les exigences maximales et minimales pour chaque tamis, il est faux de prétendre que des courbes granulométriques reliant ces exigences, nous donnent les caractéristiques extrêmes du fuseau qu'elles représentent. D'ailleurs le calcul de ces deux courbes, pour le $80 \mu\text{m}$ -2mm, s'apparente beaucoup à la médiane. L'analyse de ces courbes serait donc superflue.

4.4.5 Interprétation des résultats

L'analyse des résultats des temps d'écoulement obtenus (tableau 4 et figures 7 et 8), nous révèle certaines particularités propres à chacun des matériaux.

Tout d'abord, dans le cas du SM-16, il est intéressant de constater que pour un matériau peu angulaire (billes de verre), le temps d'écoulement le plus long se situe à la granulométrie "S" et le plus court se situe à la granulométrie "2", tandis que pour un matériau angulaire ou très angulaire, les temps d'écoulement le plus long et le plus court se situent respectivement aux granulométries "D" et "C".

Quant au SM-25, le temps d'écoulement le plus court chez un matériau peu angulaire se situe à la courbe "2" tandis que chez un matériau angulaire ou très angulaire, il se situe à la courbe "C". Cependant, le temps d'écoulement le plus long se situe à la courbe "D" pour les trois matériaux.

De plus, dans le cas des deux fuseaux, on remarque que la médiane chez un matériau angulaire et très angulaire, offre un temps d'écoulement relativement rapide si on la situe par rapport aux temps le plus lent et le plus rapide. Par contre chez un matériau peu angulaire, la médiane offre un temps intermédiaire qui se situe à mi-chemin entre le plus rapide et le plus lent.

D'autre part, l'analyse du tableau 4 nous révèle qu'il aurait été pernicieux d'établir un indice d'angularité en comparant le temps d'écoulement d'un matériau à celui de billes de verre de même granulométrie, puisque le rapport des temps d'écoulement d'un matériau

sur celui des billes de verre diffère selon la forme granulométrique.

En dernière analyse, il est important de constater que même à l'intérieur des exigences d'un SM-16 ou d'un SM-25, il y a possibilité d'avoir un écart de plus de quatre (4) secondes dans le temps d'écoulement selon la granulométrie. Cet écart apparaît beaucoup trop élevé pour permettre d'évaluer l'angularité.

CONCLUSION

Afin d'être en mesure d'évaluer l'angularité d'un granulat fin à partir du temps d'écoulement, il faut tenir compte de certains paramètres qui peuvent affecter l'écoulement.

Outre la densité, dont on tient déjà compte dans le calcul du coefficient, l'état de surface et la forme des particules sont difficilement dissociables de l'angularité. Par contre, la grosseur des particules, même si elle est conforme à un fuseau granulométrique donné, affecte considérablement le temps d'écoulement.

Par conséquent, il apparaît nécessaire d'utiliser une granulométrie unique, ou du moins un fuseau très étroit pour l'exécution de tous les essais d'écoulement. Cela permettrait d'évaluer un matériau en fonction de ses qualités angulaires (état de surface, forme, angularité) plutôt qu'en fonction de la granularité de ses particules.

Nous demandons donc au comité de normalisation d'évaluer la possibilité d'employer une granulométrie unique pour l'essai de détermination du coefficient d'écoulement du granulat fin.

Gaétan Lefebvre, tech.
Section - Essais

GL/mg

Sainte-Foy, le 11 avril 1990.

TABLEAUX

TABLEAU # 1

EXIGENCES: SM-16 ET SM-25

SM-16		SM-25	
TAMIS	% PASSANT	TAMIS	% PASSANT
16.0 mm	100	25.0 mm	100
12.5 mm	90-100	20.0 mm	95-100
10.0 mm	70-85	10.0 mm	60-70
5.0 mm	42-48	5.0 mm	50-55
2.5 mm	42-48	2.5 mm	50-55
1.25 mm	42-48	1.25 mm	50-55
630 um	31-39	315 um	22-32
315 um	20-30	160 um	9-19
160 um	10-20	80 um	7-13
80 um	6-11		

TABLEAU #2

MELANGE: SM-16

FORMES DE COURBES ANALYSEES

FORME	TAMIS	% PASSANT	FORME	TAMIS	% PASSANT
"C"	2.00 mm	---	"D"	2.00 mm	100
	1.25 mm	100		1.25 mm	88
	630 um	93		630 um	56
	315 um	67		315 um	25
	160 um	40		160 um	0
	80 um	0		80 um	0
"S"	1.25 mm	100	"2"	1.25 mm	100
	630 um	91		630 um	60
	315 um	45		315 um	47
	160 um	0		160 um	34
	80 um	0		80 um	0
"EM"	1.25 mm	100	"EC"	1.25 mm	100
	630 um	56		630 um	92
	315 um	53		315 um	40
	160 um	0		160 um	40
	80 um	0		80 um	0
"M"	1.25 mm	100	LEGENDE:		
	630 um	73	"EM": ESCALIER-MARCHE		
	315 um	46	"EC": ESCALIER-CONTRE-MARCHE		
	160 um	17	"M": MEDIANE		
	80 um	0			

TABLEAU #3

MELANGE: SM-25

FORMES DE COURBES ANALYSEES

FORME	TAMIS	% PASSANT	FORME	TAMIS	% PASSANT
"C"	2.00 mm	----	"D"	2.00 mm	100
	1.25 mm	100		1.25 mm	90
	630 um	----		630 um	----
	315 um	58		315 um	22
	160 um	28		160 um	0
	80 um	0	80 um	0	

"S"	1.25 mm	100	"2"	1.25 mm	100
	630 um	----		630 um	----
	315 um	56		315 um	31
	160 um	0		160 um	25
	80 um	0	80 um	0	

"M" (mediane)	1.25 mm	100			
	630 um	----			
	315 um	40			
	160 um	10			
	80 um	0			

TABLEAU # 4

TEMPS D'ECOULEMENT
(secondes)

MELANGES: SM-16 ET SM-25

SM-16

TYPE DE COURBE	BILLES DE VERRE	ECHANTILLON # AG-746-87	CRIBLURE
"C"	21.29	25.98	31.15
"D"	22.06	30.38	35.43
"S"	22.39	27.49	32.87
"2"	20.34	27.02	32.09
"EM"	22.06	28.33	33.39
"EC"	20.45	26.16	31.72
"M"	21.12	27.01	32.03

SM-25

TYPE DE COURBE	BILLES DE VERRES	ECHANTILLON # AG-746-87	CRIBLURE
"C"	21.00	26.31	31.82
"D"	22.36	30.83	35.62
"S"	22.22	27.46	32.83
"2"	20.44	27.73	32.24
"M"	21.51	27.97	33.09

FIGURES

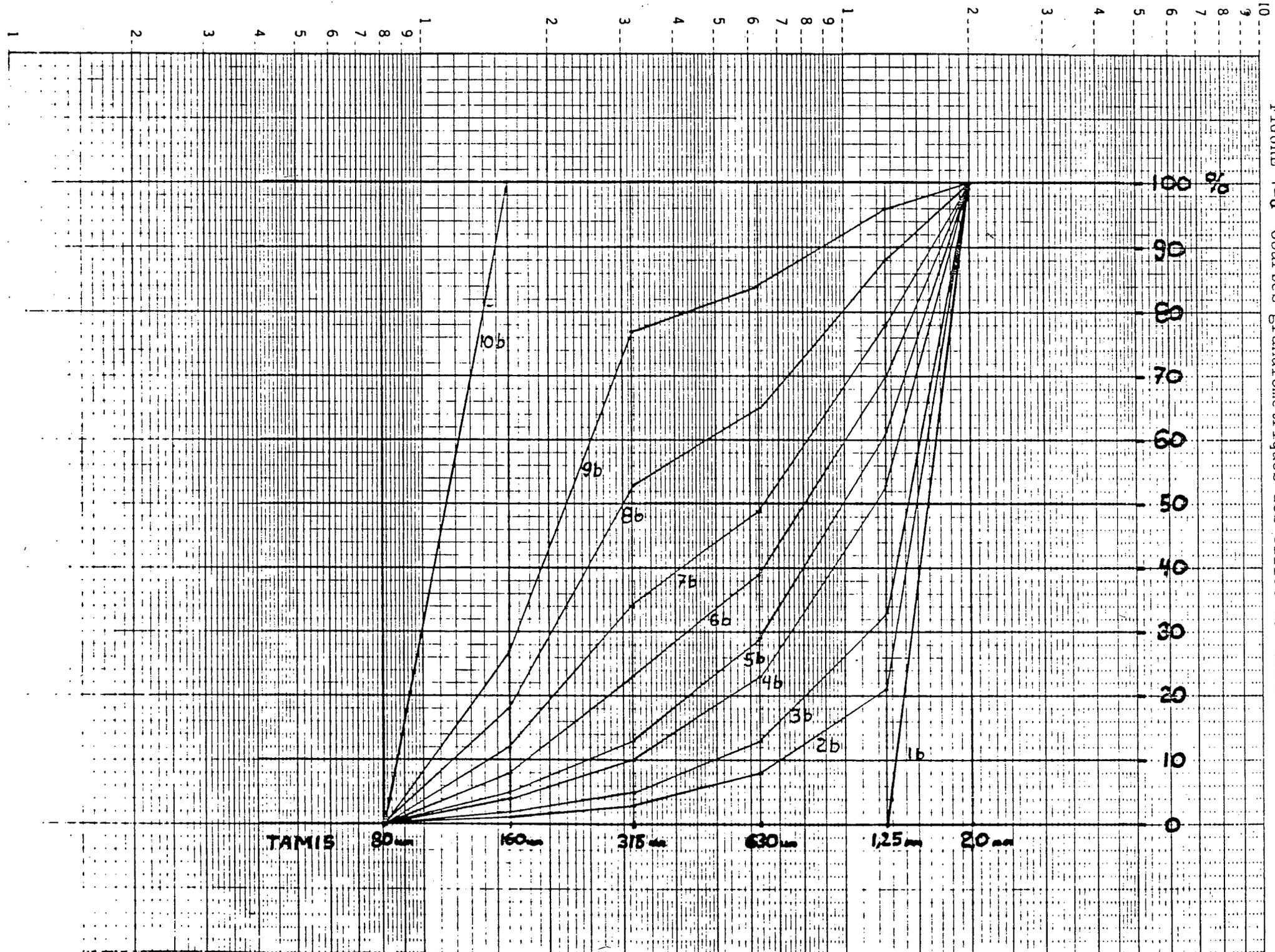


FIGURE 1-a Courbes granulométriques des billes de verre

FIGURE 1-a

TEMPS D'ÉCOULEMENT / GRANULOMETRIE

BILLES DE VERRE

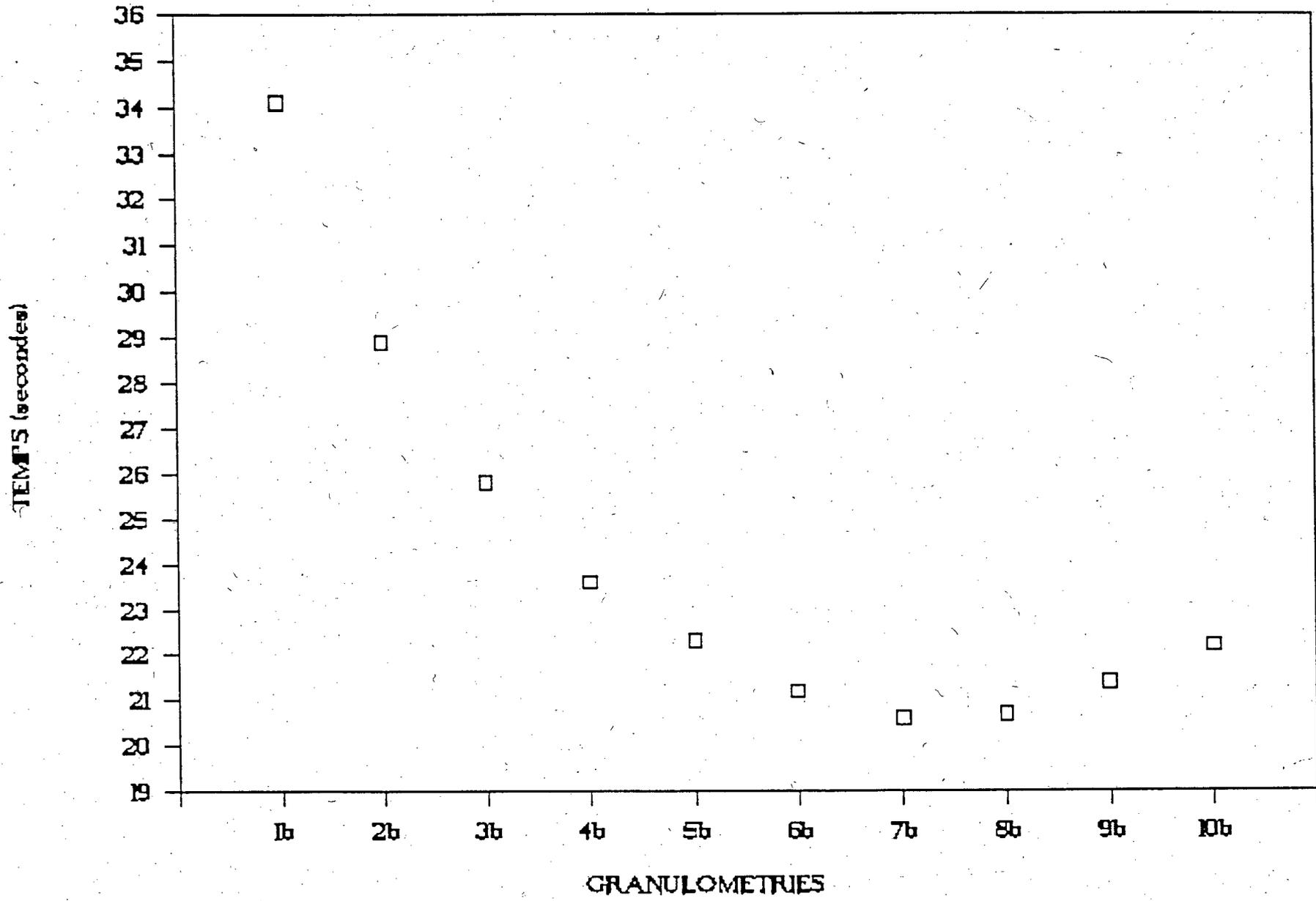


FIGURE 1-B

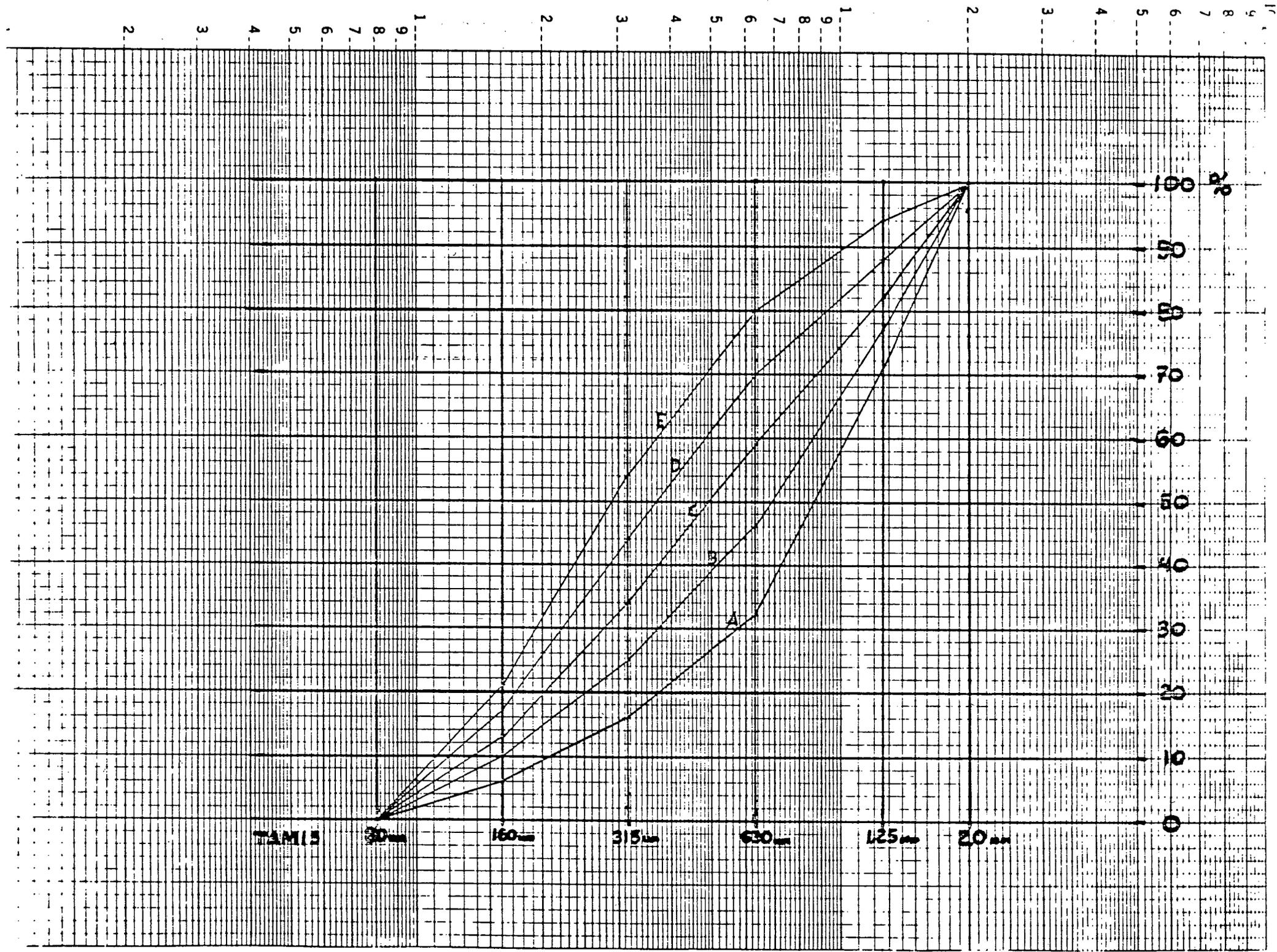
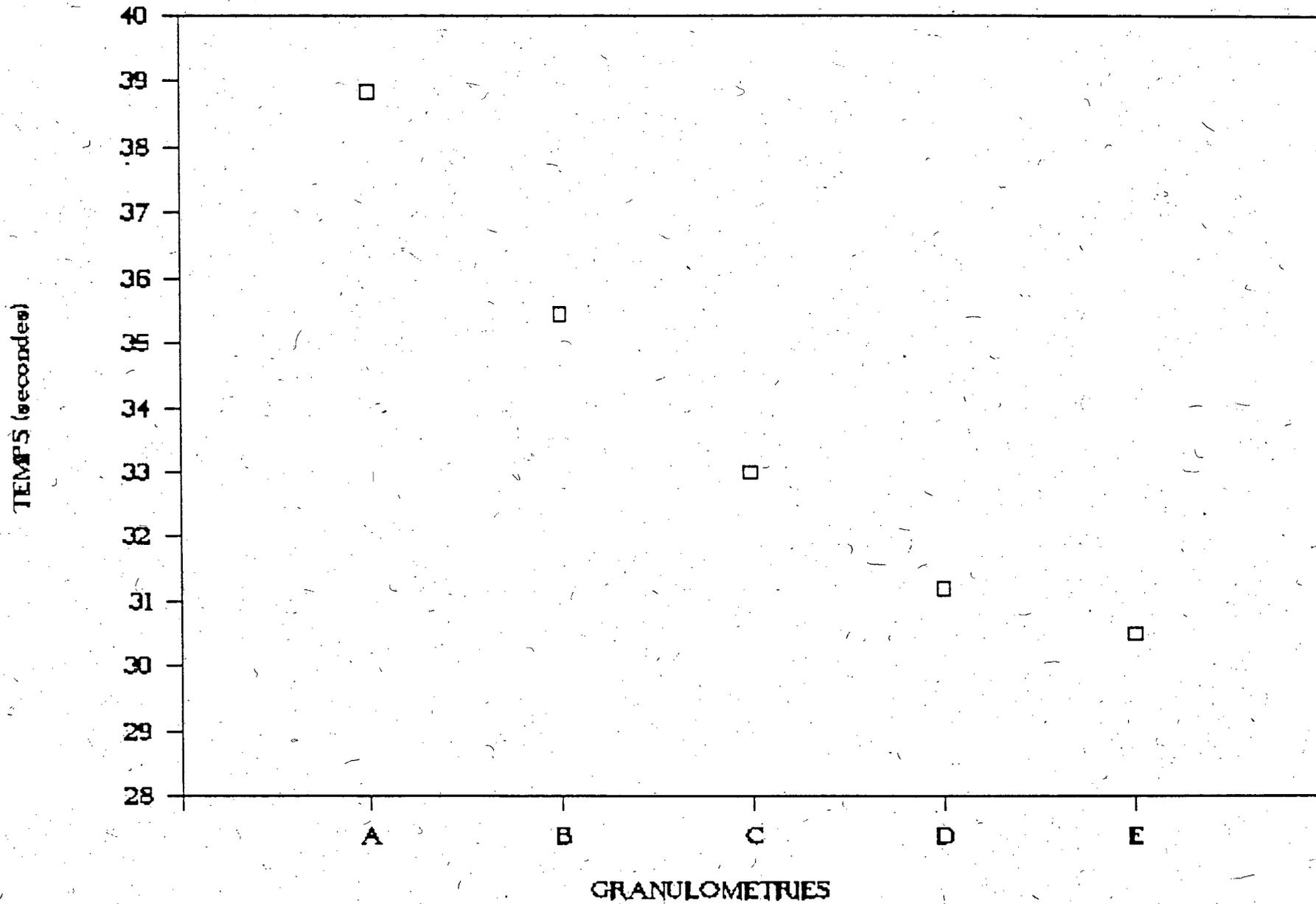
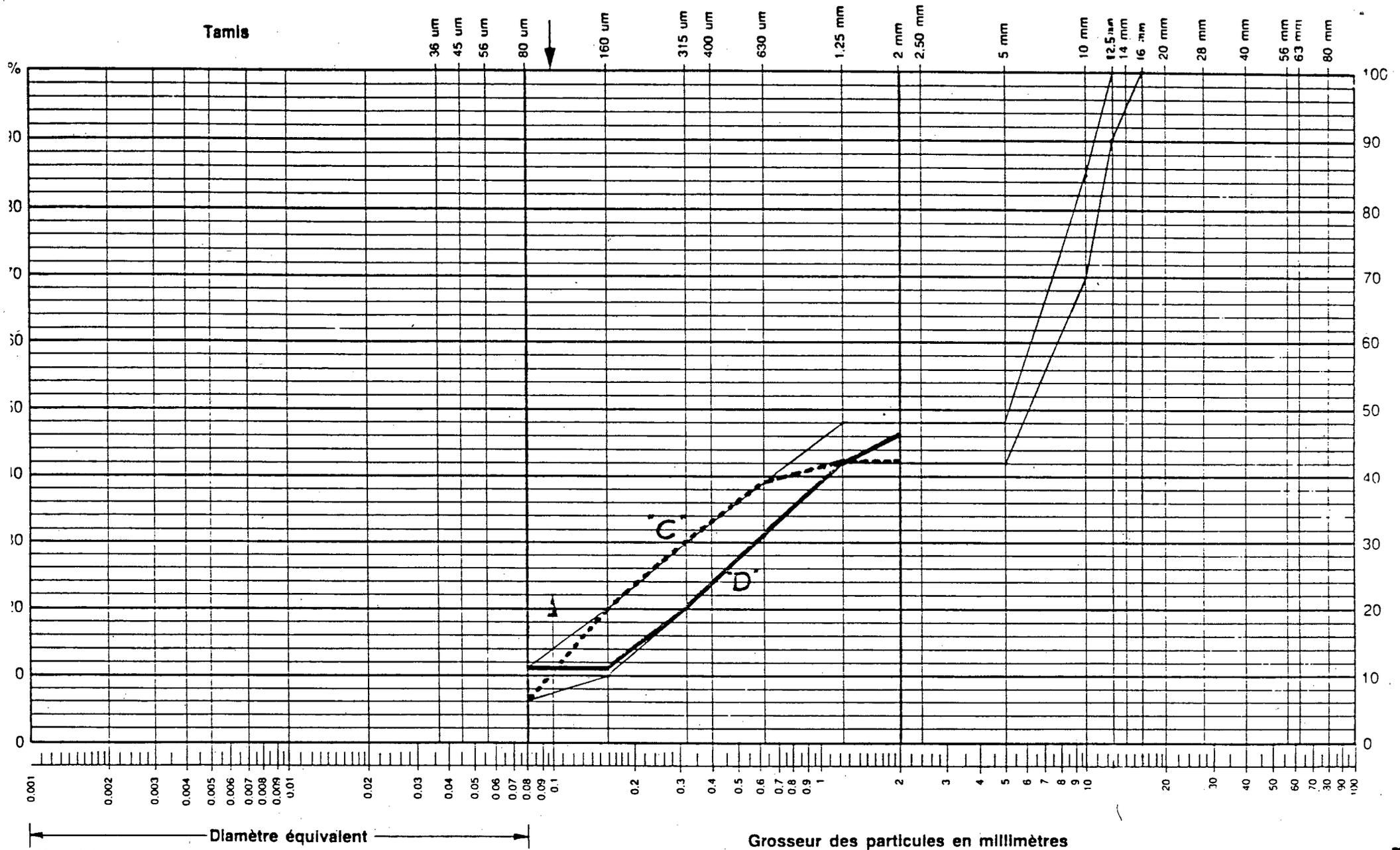


FIGURE 2.0

TEMPS D'ÉCOULEMENT / GRANULOMETRIE

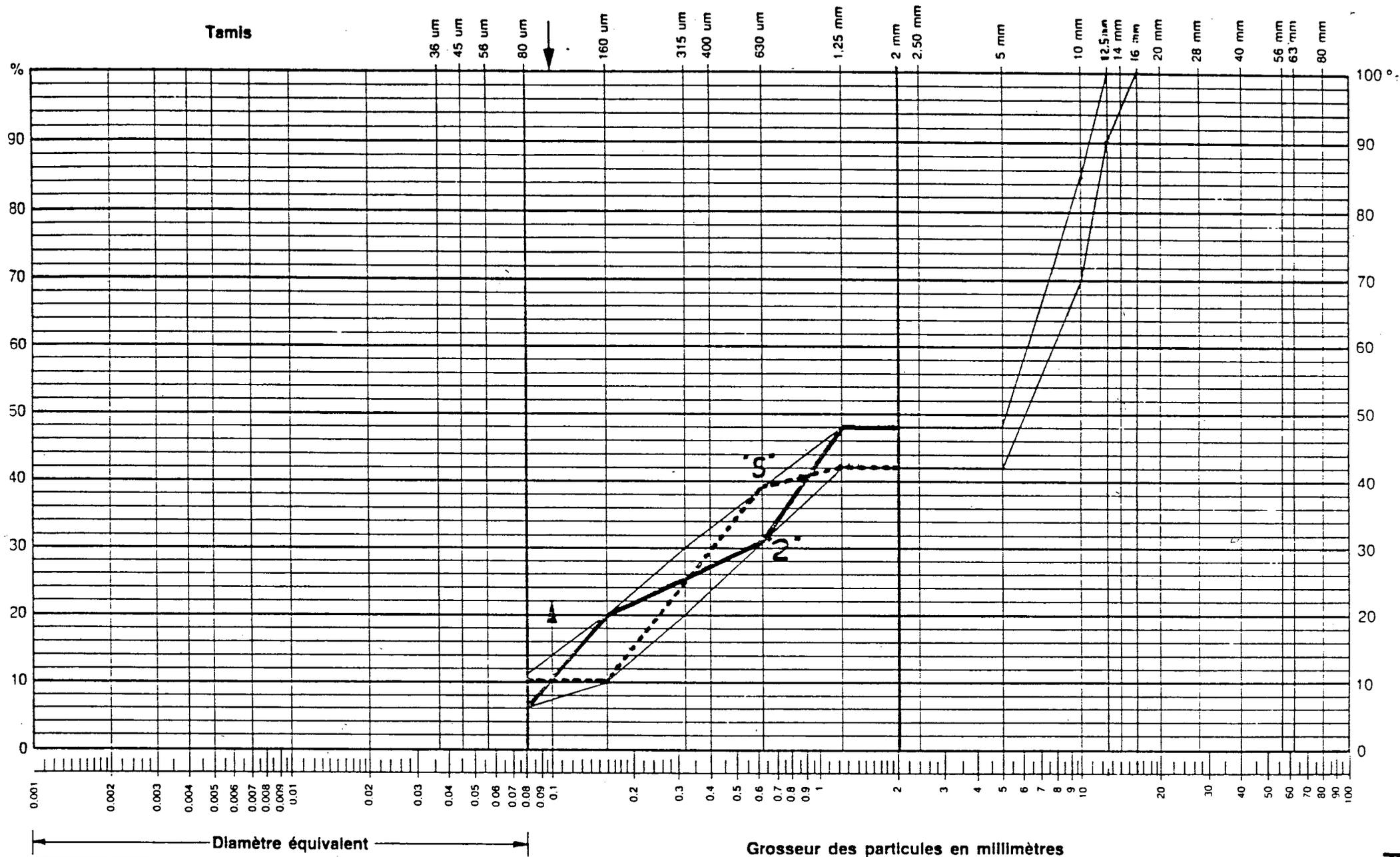
CRIBLURE





$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$	Technicien	Date
---------------------------------------	---	-----------------------------	------------	------

FIGURE 3-C



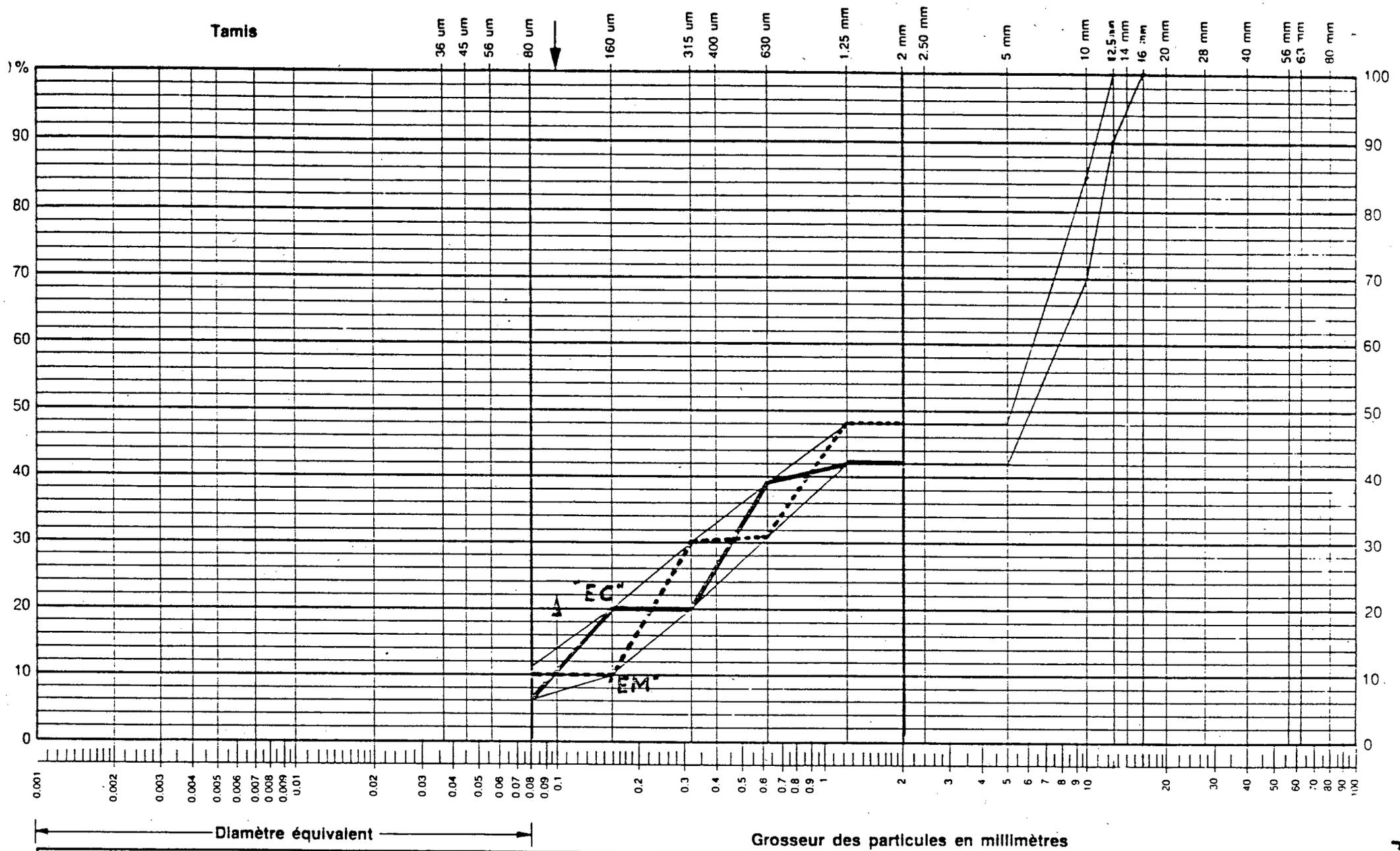
← Diamètre équivalent →

Grosseur des particules en millimètres

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$Cc = \frac{D_{(30)^2}}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$	Technicien _____ Date _____
--------------------------------------	--	-----------------------------	--------------------------------

FIGURE 3-b

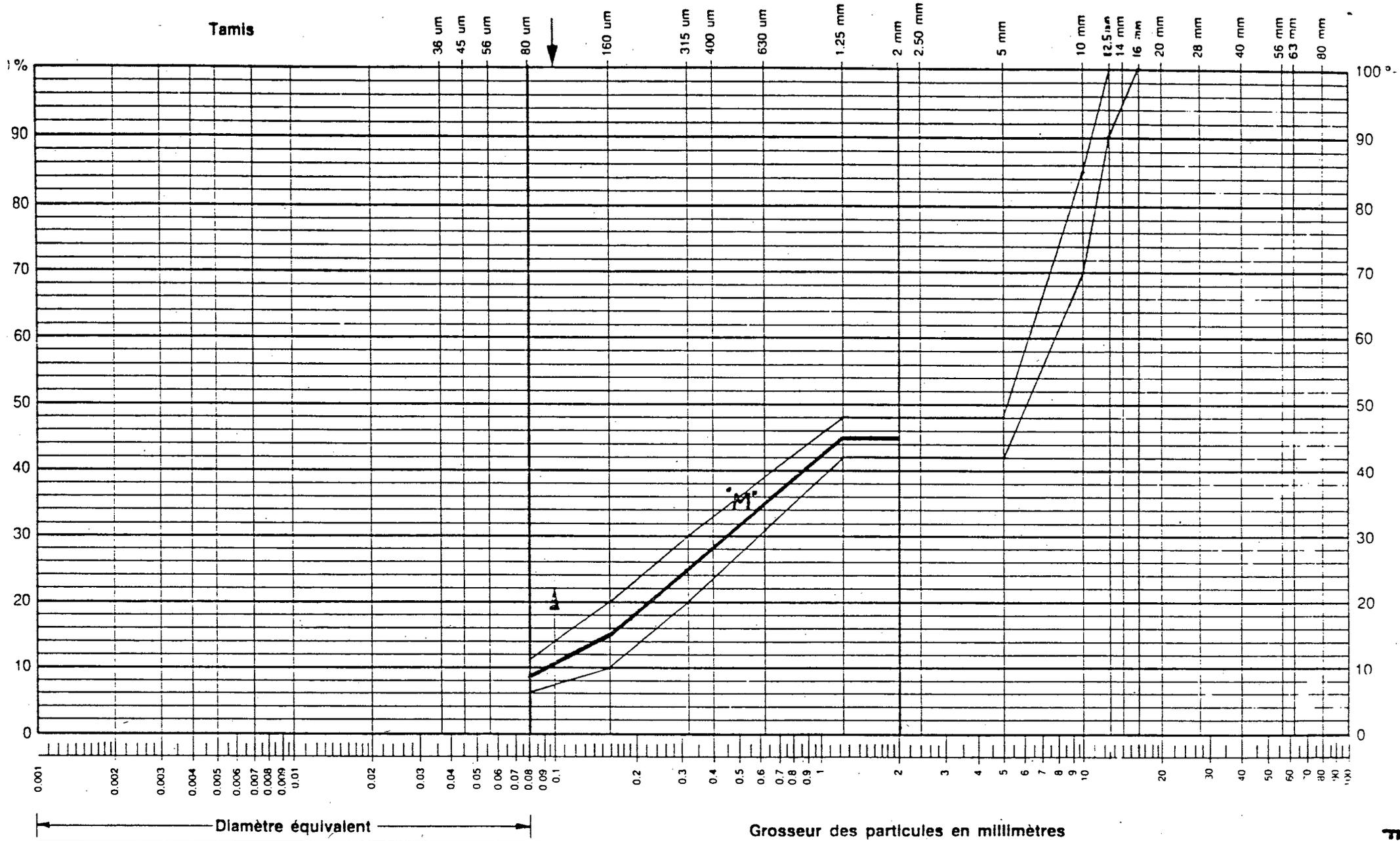
Tamis



Diamètre équivalent Grosseur des particules en millimètres

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$Cc = \frac{D_{(30)^2}}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$	Technicien	Date
--------------------------------------	--	-----------------------------	------------	------

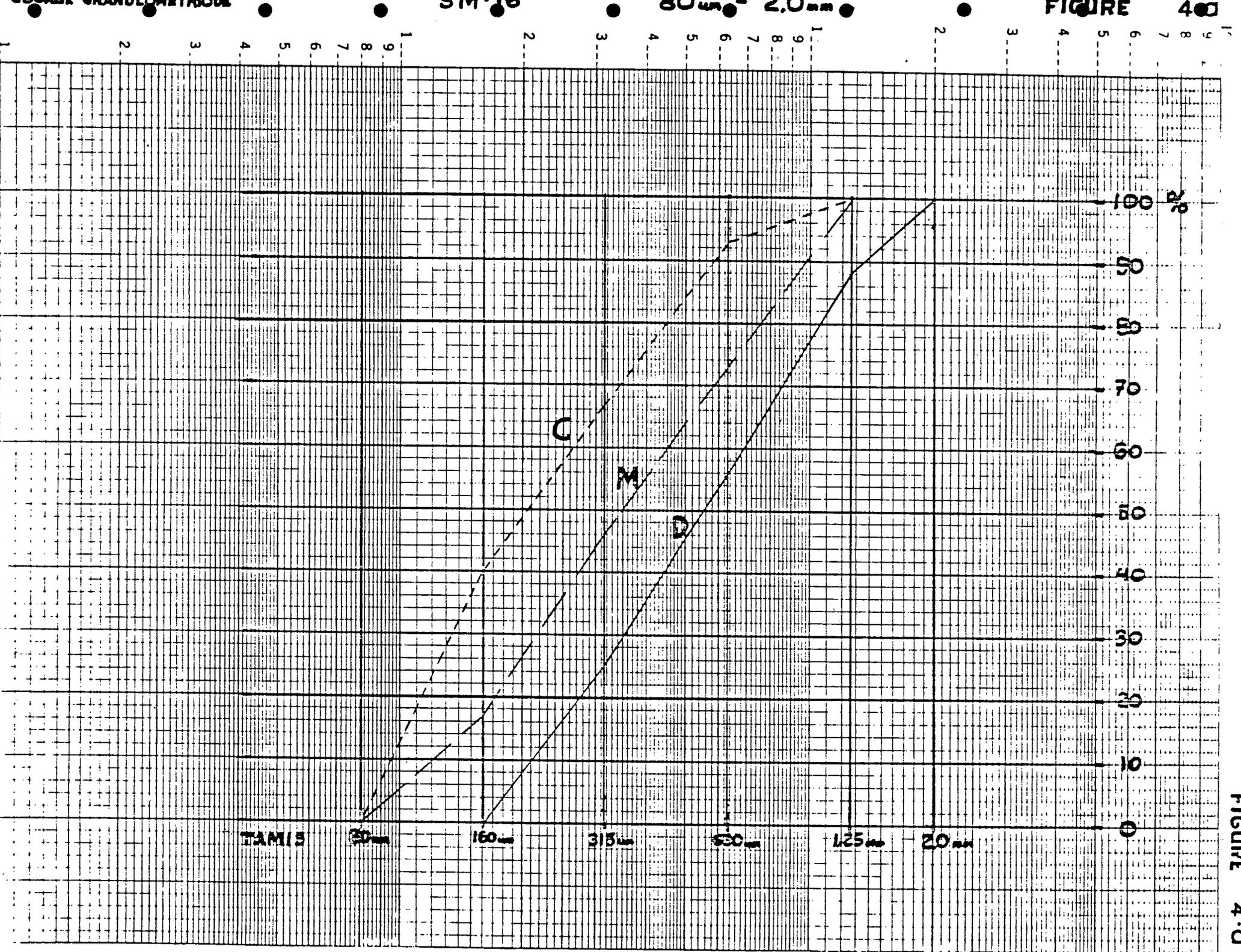
FIGURE 3-C



$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$C_c = \frac{D_{(30)}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$
Technicien		Date

FIGURE 3-D

FIGURE 4.0



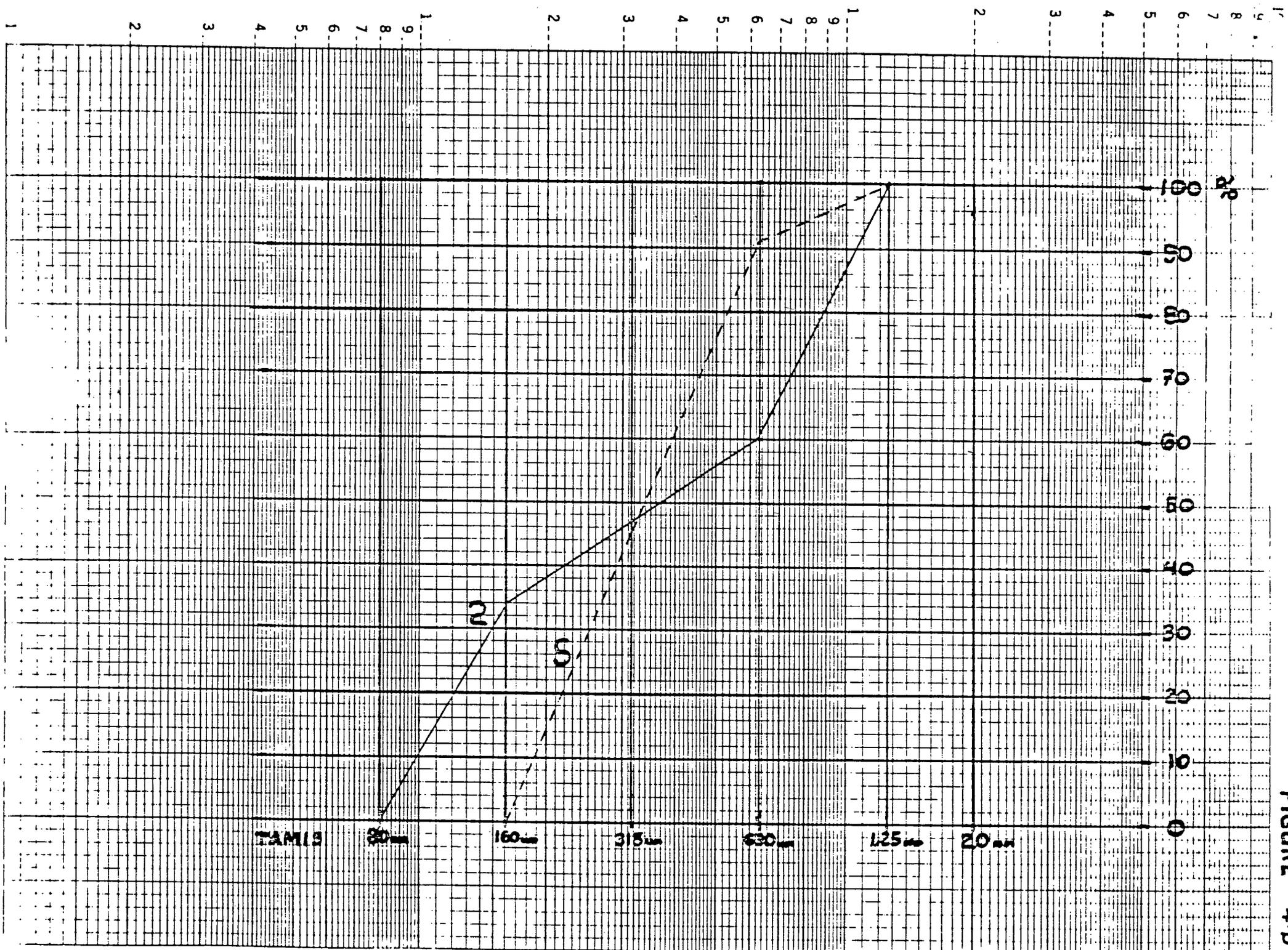


FIGURE 4-b

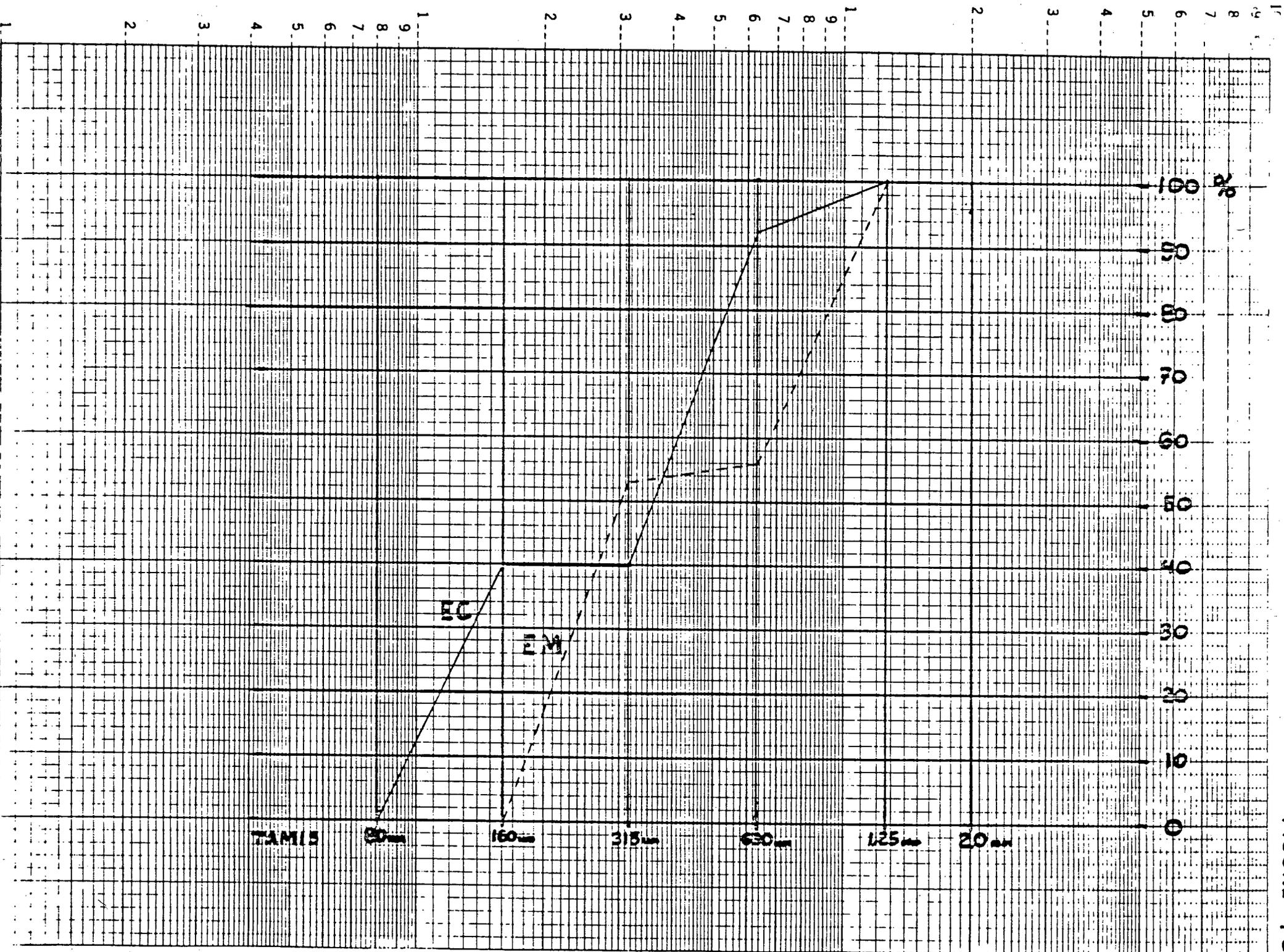
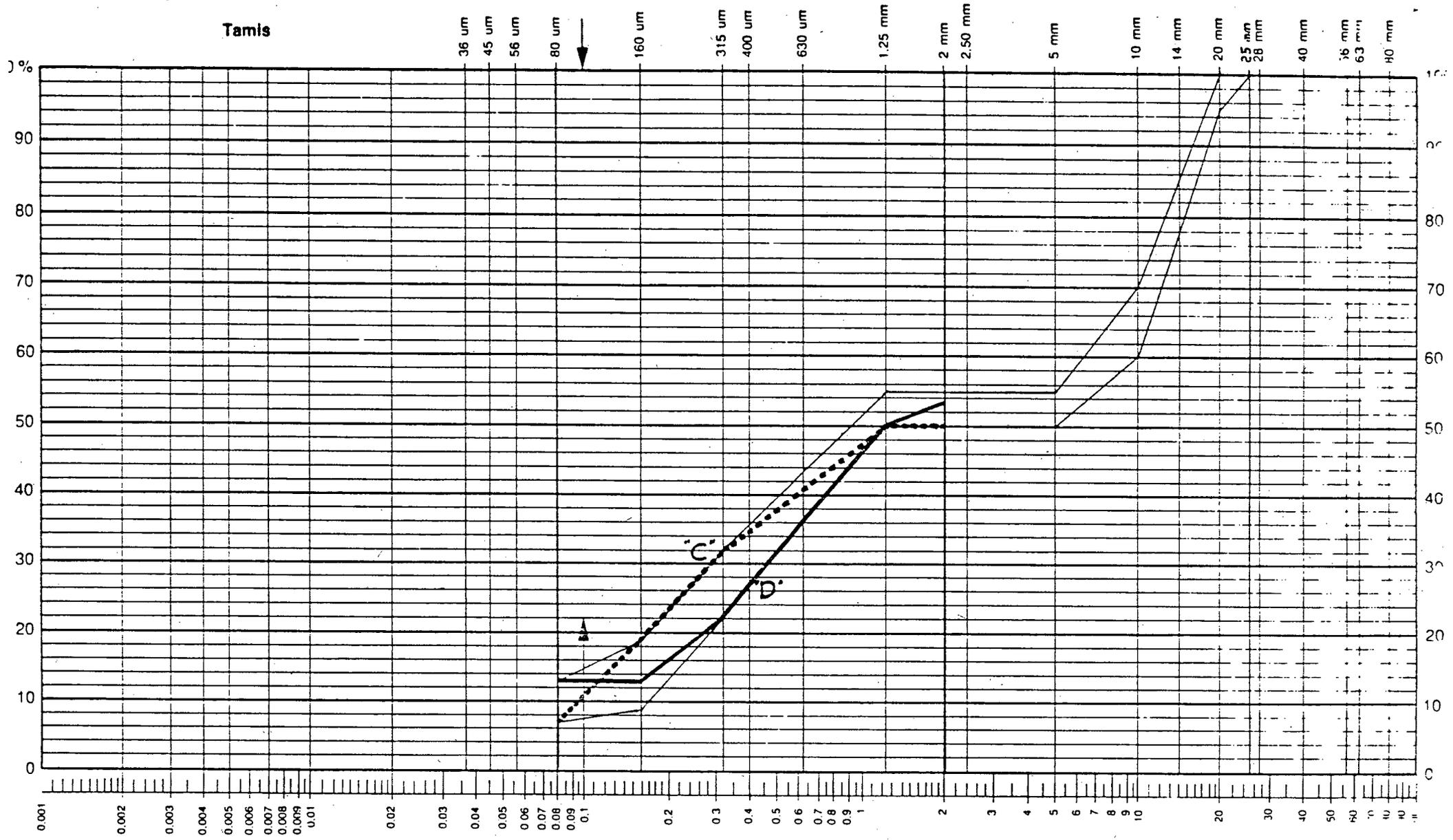


FIGURE 4-C

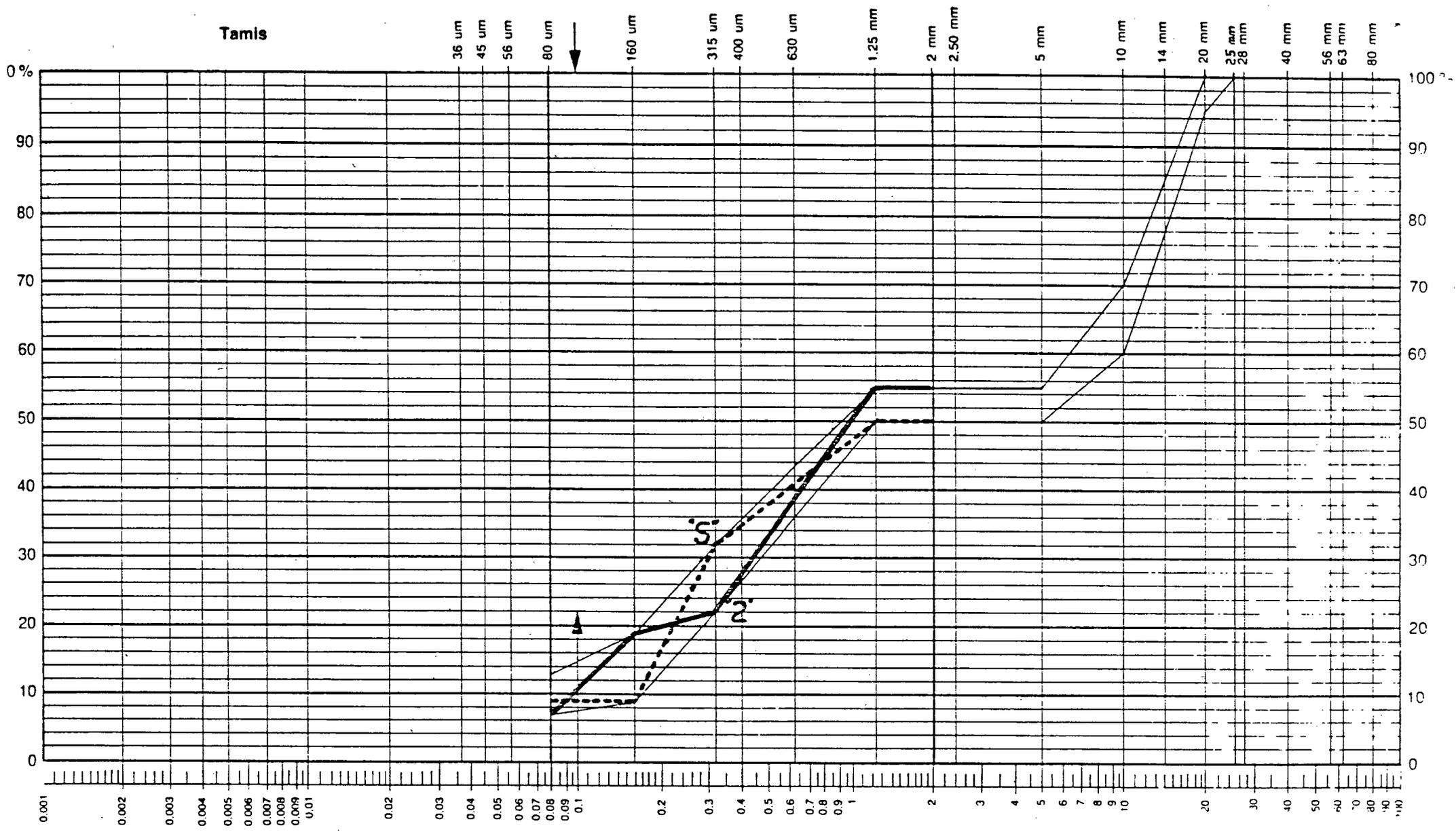


Diamètre équivalent

 Grosseur des particules en millimètres

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$Cc = \frac{D_{(30)^2}}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$	Technicien	Date
--------------------------------------	--	-----------------------------	------------	------

FIGURE 5-C

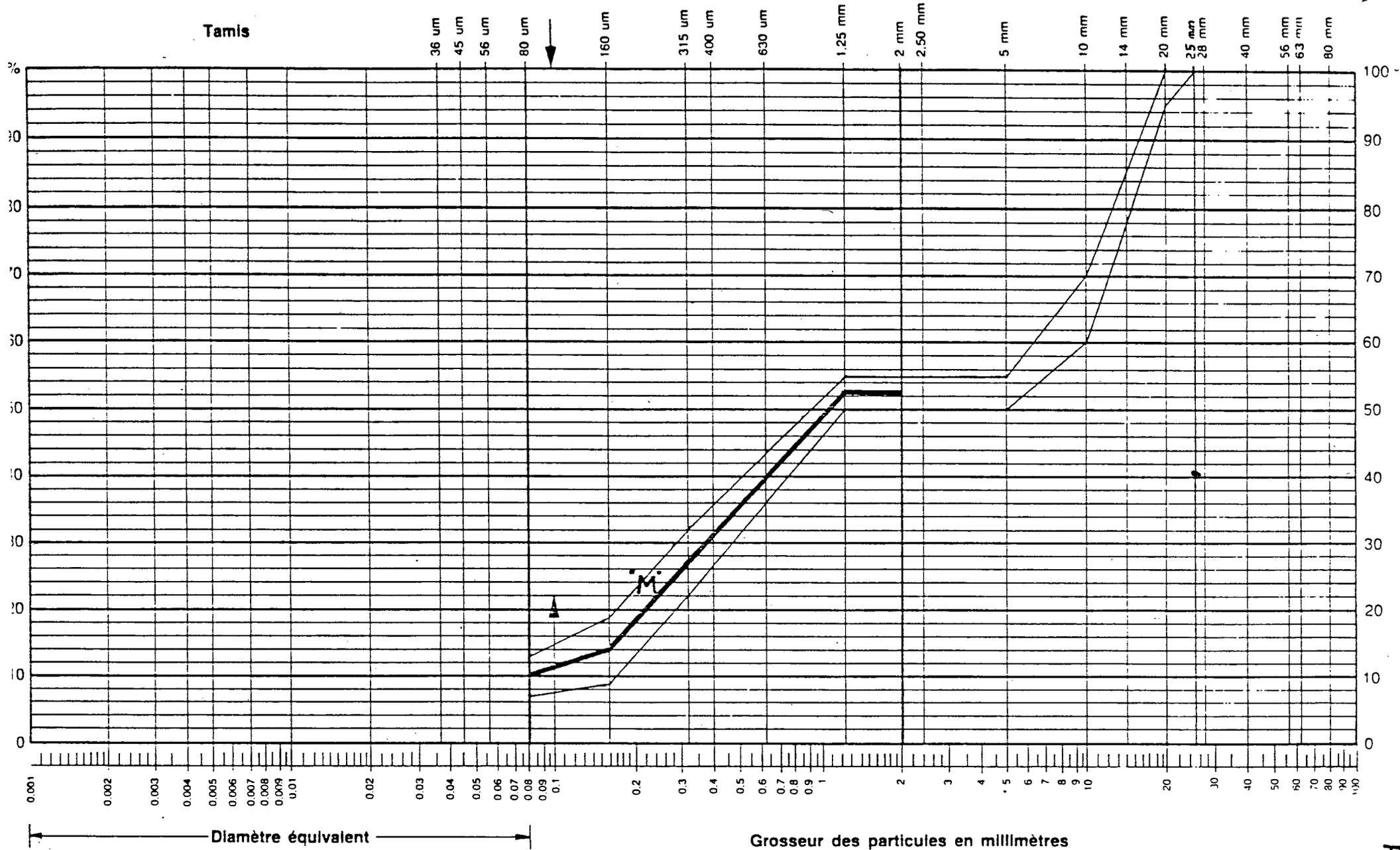


Diamètre équivalent

 Grosseur des particules en millimètres

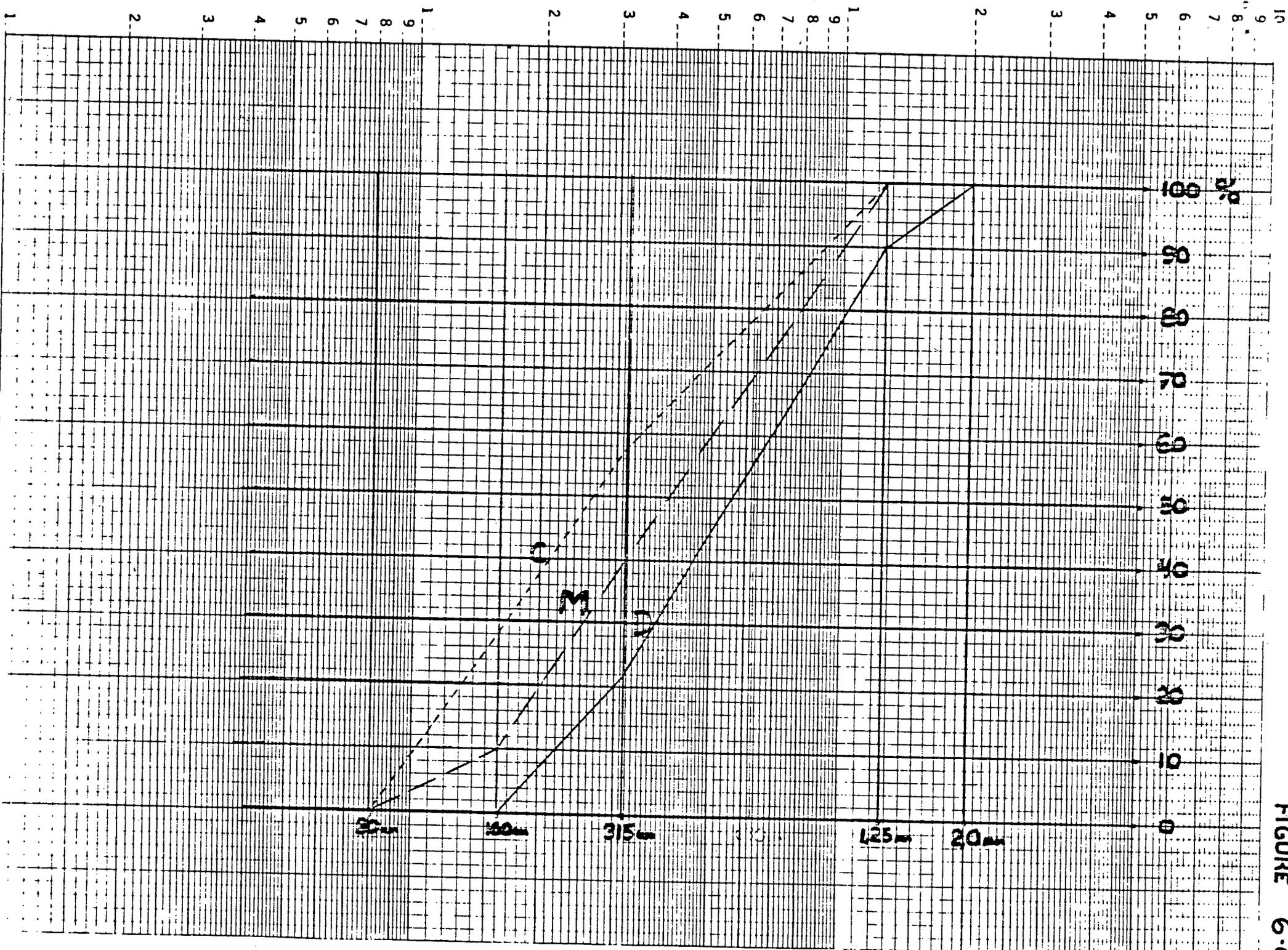
$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$Cc = \frac{D_{(30)^2}}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots \text{ mm}$	Technicien	Date
--------------------------------------	--	-----------------------------	------------	------

FIGURE 5-b



$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$	$Cc = \frac{D_{(30)^2}}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$	$D_{10} = \dots$ mm	Technicien	Date
--------------------------------------	--	---------------------	------------	------

FIGURE 5-C



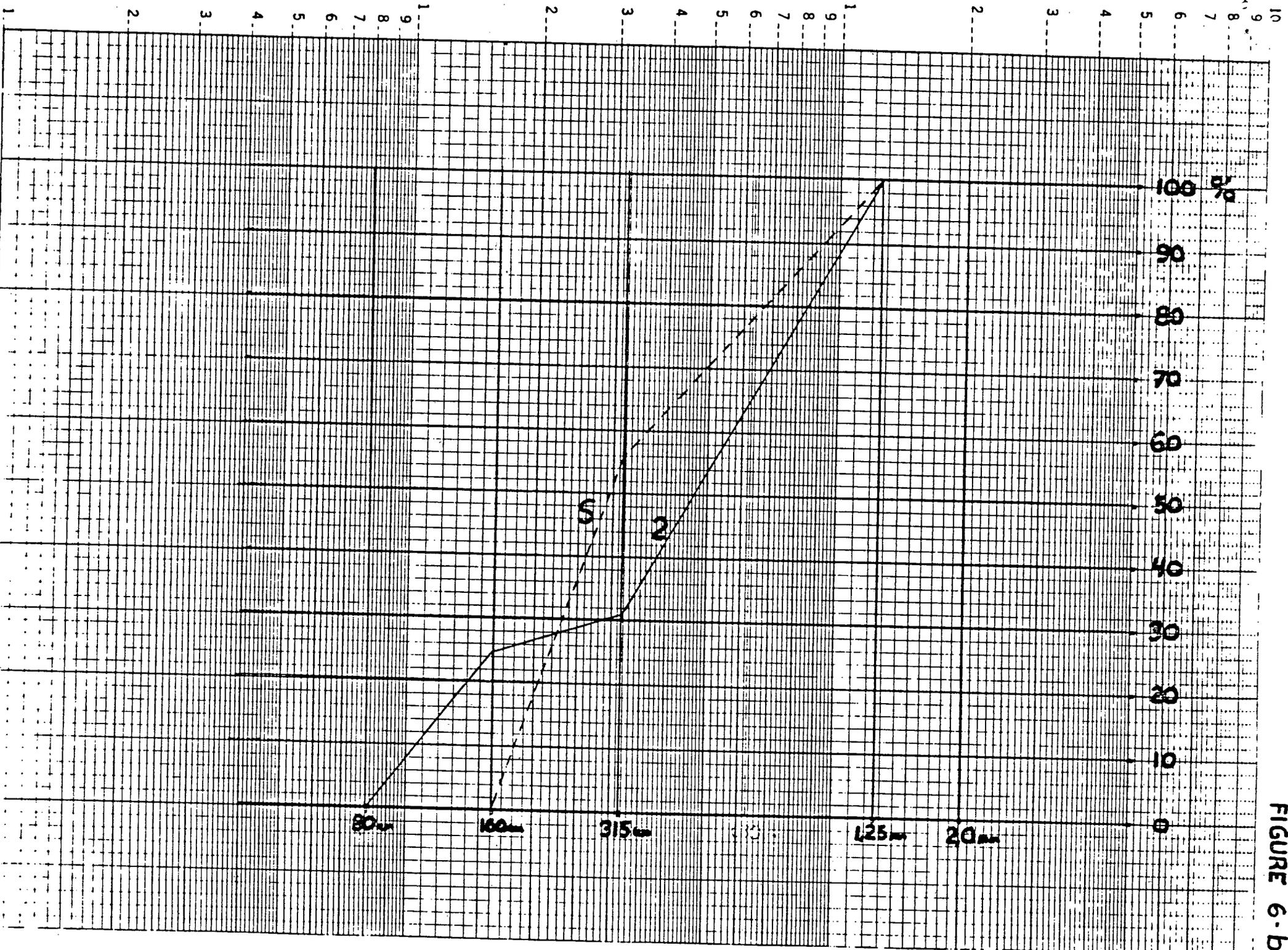


FIGURE 6-b

5m - 25

30m - 20m

FIGURE 7

MELANGE 5M-16

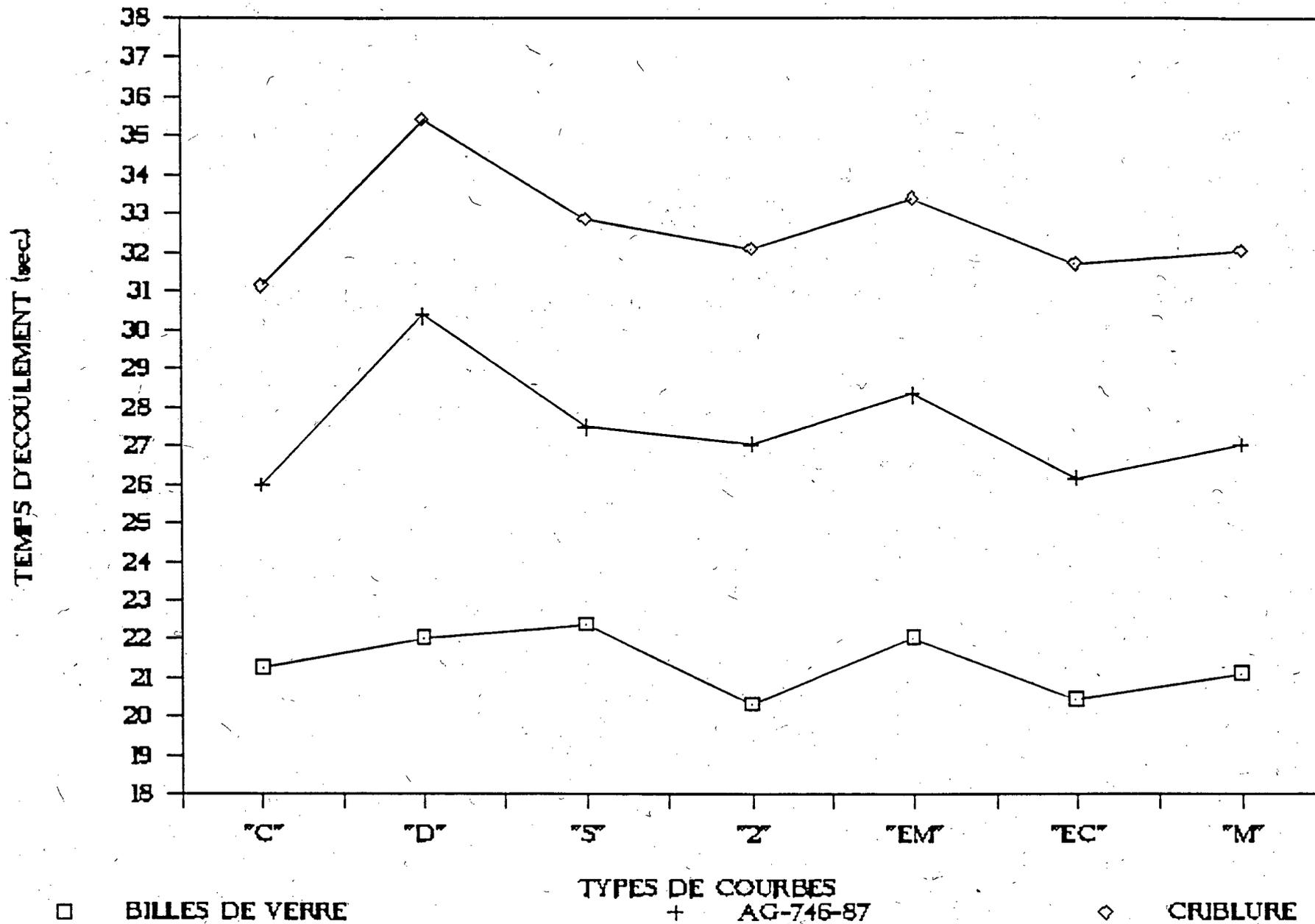


FIGURE 8

MELANGE SM-25

