TABLE DES MATIERES

page

0. RESUME 3
1. INTRODUCTION 5
2. BUT DE L'ETUDE 6
3. DESCRIPTION DE L'ESSAI LOS ANGELES 7

I. EXECUTION

4. ORGANIGRAMME DES PHASES D'ETUDE 11

IA. ETUDES PREALABLES

5. ANALYSES GRANULOMETRIQUES 13
6. CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRES 14
7. METHODE DE SECHAGE DES GRANULATS 32
8. PETROGRAPHIE ET FORME 34

IB. VALIDITE DES ANCIENNES VALEURS PRESCRITES

9. ETAPE 1 37
10. ETAPE 2 38
11. ETAPE 3 39

IC. ETUDES PARTICULIERES

12. REPRODUCTIBILITE 44
13. REPETABILITE 45
14. COMPORTEMENT AU GEL 46
15. MELANGES 47

II. ANALYSE DES RESULTATS

16. RELATION ENTRE LES COEFFICIENTS LOS ANGELES DES DIFFERENTES CLASSES D'UN MEME MATERIAU 50
17. EVOLUTION DES MATERIAUX SUISSES DE 1967 A 1989 51
18. CONCLUSION 52

0. RESUME

L'essai Los Angeles permet de contrôler la qualité des matériaux mis en place. Ce mandat a pour but de réactualiser l'essai suite aux modifications amenées par les deux normes suivantes:

- SN 670 710 d "Sables, Graviers, Gravillons et pierres concassées pour revêtements", Prescriptions de qualité, parue en 1988
- SN 670 808 a "Granulats minéraux et sols", Tamis d'analyse, exigences, parue en 1985

La norme SN 670 710 d propose d'une part de nouvelles classes granulométriques et d'autre part de nouveaux coefficients Los Angeles maximaux admissibles. La caractérisation des couches en fonction du trafic a également changé. Quant à la norme SN 670 808 a, elle élimine les passoires et propose une série de tamis à mailles et trous carrés. L'emploi de la passoire Ø 2,0 mm pour l'essai Los Angeles sera donc impossible à l'avenir et il faut décider du tamis qui la remplacera au mieux.

Les essais effectués pour l'actualisation de l'essai Los Angeles nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

- Il est nécessaire de remplacer la passoire Ø 2,0 mm utilisée jusque là pour l'essai Los Angeles par le tamis ⌀ 1,6 mm. En effet toutes les études menées convergent vers cette solution. Le problème qui se pose est que le tamis ⌀ 1,6 mm n'appartient pas à la série de tamis proposée par la norme SN 670 808 a. Il faudra introduire donc ce tamis pour l'essai Los Angeles. Les tamis entourant celui de 1,6 mmm et appartenant à la série R20/3 retenue par la norme sont ceux de 1,4 et 2,0 mm. Nos études démontrent que l'emploi de l'un ou l'autre de ces deux tamis conduirait à des résultats non concordants et il faudrait réadapter les coefficients. La Suisse serait à ce moment là en désaccord avec d'autres pays notamment la France.

- Comme d'autres chercheurs l'ont constaté avant nous, il est indispensable d'effectuer l'essai Los Angeles pour toutes les classes granulométriques, l'évolution de ce coefficient pour les différentes classes granulométriques étant variable en fonction du matériau granulaire utilisé.

- La répétabilité de cet essai est bonne. Quand à la reproductibilité elle est également satisfaisante, toutefois chaque laboratoire effectuant cet essai devra vérifier régulièrement la conformité de son matériel aux prescriptions de la norme.

- Les nouvelles valeurs prescrites par la norme SN 670 710 d remplaçent les anciennes en tenant compte des nouveaux types de couches.

0. ZUSAMMENFASSUNG

Der Los-Angeles-Versuch erlaubt es die Qualität der Einbaumaterialien zu kontrollieren. Dieser Auftrag hat zum Ziel, den Versuch im Anschluss an die durch die Verbesserung der zwei folgenden Normen verursachten Veränderungen zu aktualisieren :

- SN 670 710 d "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge", Qualitätsvorschfriften; erschienen 1988

- SN 670 808 a "Mineralische Baustoffe", Analysensiebe, Anforderungen; erschienen 1985

Die Norm 670 710 d bringt einerseits neue Kornzusammensetzungsklassen und andererseits neue Los-Angeles-Koeffizienten. Die Bezeichnung der Schichten hat ebenfalls geändert. Was die Norm 679 808 a betrifft, so beseitigt sie die Rundlochsiebe und schlägt eine Reihe Maschensiebe und Quadratlochsiebe vor. In der Zukunft wird der Gebrauch des 2 mm Rundlochsiebes demnach unmöglich und man wird sich für das Sieb entscheiden müssen, welches das fragliche Sieb am besten ersetzen wird.

Die zur Aktualisierung des Los-Angeles-Versuchs durchgeführten Untersuchungen gestatteten uns, die folgenden Schlüsse zu ziehen:

- Es ist nötig, das bis jetzt für den Los-Angeles-Versuch gebrauchte 2 mm Rundlochsieb durch ein 1,6 mm Maschensieb zu ersetzen. Tatsächlich konvergieren alle durchgeführten Versuche in Richtung dieser Lösung. Das Problem, das sich stellt, ist, dass das 1,6 mm Maschensieb nicht zu der in der Norm 670 808 a vorgeschlagenen Serie gehört. Man wird dieses Sieb demnach für den Los-Angeles-Versuch einführen müssen. Die Siebe, die dasjenige von 1,6 mm umgeben und zur in der Norm festgehaltenen Serie R20/3 gehören, sind die von 1,4 und 2 mm. Unsere Studien zeigen, dass der Gebrauch des einen oder anderen dieser Siebe zu irrigen Resultaten führen würde und man müsste die Koeffizienten wieder anpassen. Die Praxis in der Schweiz wäre dann verschieden von derjeniger anderer Länder, namentlich Frankreich.

- Andere Nachforschungen haben es vor uns festgestellt, aber wir bekräftigen erneut, dass es unerlässlich ist, den Los-Angeles-Versuch für alle Nominalkörnungen auszuführen, weil die Streuung der Werte dieses Koeffizienten für die verschieden Nominalkörnungen in Kunktion des verwendeten Kornmaterials veränderlich ist.

- Die Wiederholbarkeit dieses Versuchs ist gut. Was die Reproduzierbarkeit betrifft, so ist diese ebenfalls zufriedenstellend, dennoch wird jedes Labor, das diesen Versuch ausführt, regelmässig die Uebereinstimmung seines Materials mit den Vorschriften der Norm nachprüfen müssen.

- Die neuen vorgeschriebenen Werte aus der Norm 670 710 d ersetzen die alten und berücksichtigen die neuen Schichttypen.

1. INTRODUCTION

La nouvelle version de la norme SN 670 808 a "Granulats minéraux et sols", Tamis d'analyse, exigences; parue en 1985 a remplaçé les passoires par des tamis à trous carrés.
D'autre part, la nouvelle norme SN 670 710 d "Sables, Graviers, Gravillons et pierres concassées pour revêtements", Prescriptions de qualité; parue en 1988, introduit de nouvelles classes granulométriques et propose de nouveaux coefficients maximaux admissibles pour l'essai Los Angeles.
Ces modifications nous amènent à revoir certains essais, notamment l'essai Los Angeles. L'actualisation de cet essai a fait l'objet d'une demande de crédit pour travaux de recherche (mandat 9/86).

A la demande de la commission VSS 271 "Technologie des matériaux", le LAVOC a été prié d'effectuer une série d'essais Los Angeles de manière à étudier cette évolution. L'EMPA a effectué en parallèle les essais d'écrasement et de coefficient de polissage accéléré et les études concernant la pétrographie, la minéralogie et la forme.

1.1. Historique

"...Le premier essai mis au point en utilisant un broyeur à boulets est l'essai Los Angeles. Etudié dans l'Etat de Californie en 1916, il figure dans l'ASTM C.141 depuis 1939 ... De nombreux pays, Italie, Portugal, Bulgarie, Espagne, France, Pologne, Tchécoslovaquie, URSS,... ont adopté cet essai en adaptant les classes granulaires à leurs propres problèmes..."
Ce paragraphe, extrait du rapport de recherche LPC n° 114 "Les essais de granulats", 1972, de Claude Tourenq, docteur en géologie et d'André Denis, ingénieur CNAM, montre l'intérêt international pour l'essai Los Angeles.
En Suisse, des essais effectués à l'EPUL en 1967 par le professeur Daxelhofer ont fait l'objet du rapport OFR 31/67 intitulé "Essai Los Angeles, Essai de friabilité, Analyse granulométrique". Il s'agissait de tester des granulats suisses provenant de 11 carrières différentes. L'essai Los Angeles avait alors été effectué comme décrit dans la norme ASTM en prenant les classes granulométriques ASTM et en utilisant le tamis de ⌀ 1,68 mm. Des essais de friabilité selon SN ont été faits en parallèle de manière à comparer les résultats sur ces différents types de granulats.
Quelques années plus tard, le mandat OFR 25/72 "Comparaison des résultats d'essais Los Angeles effectués selon ASTM C-131-66 et selon adaptation aux classes USPR" adaptait l'essai Los Angeles à la Suisse, notamment en ce qui concerne les classes granulométriques, le nombre de boulets utilisé pour chaque classe et le tamis utilisé pour la détermination du coefficient Los Angeles. Celui-ci était dès lors remplacé par la passoire Ø 2,0 mm qui se rapprochait le plus du tamis de ⌀ 1,68 mm par le coefficient d'équivalence tamis-passoire estimé à 1,25.

2. BUT DE L'ETUDE

Le présent mandat a pour but de réactualiser l'essai Los Angeles. Les matériaux utilisés pour cette étude ont été prélevés dans 11 carrières et gravières. Ce sont en partie les mêmes que ceux utilisés dans les études antérieures faites en 1967 et 1972. Une étude comparative est présentée au paragraphe 17.
La nouvelle norme SN 670 808 a "Granulats minéraux et sol, Tamis d'analyse, Exigences" parue en 1985, a remplacé les passoires à trous ronds par des tamis à mailles carrées. D'autre part, les classes granulométriques sont aussi changées par la norme SN 670 710 d parue en 1988. Cette dernière norme propose également de nouveaux coefficients Los Angeles maximaux admissibles en fonction des nouveaux types de couches définis dans la norme SN 640 431 a "Revêtements en béton bitumineux", Conception, exigences, exécution; parue en 1988 (tableau 2 page 6). L'effet combiné du volume du trafic, des conditions climatiques et des sollicitations subies détermine le type de béton bitumineux à retenir. Ces modifications amènent les réflexions suivantes:

- Tout d'abord il faudra voir si les prescriptions de qualité des matériaux restent inchangées pour cet essai. Il s'agit donc de vérifier si les coefficients Los-Angeles maximum admissibles à la page 13 de la norme SN 670 710 d remplaçent correctement ceux précédemment proposés à la page 5 de la norme SN 670 710 c.
- L'élimination des passoires va nécessiter l'emploi d'un tamis pour l'essai Los Angeles. Or le tamis ù 1,6 mm qui correspond à la passoire Ø 2,0 mm n'appartient pas à la série de tamis proposés par la norme SN 670 808 a. Il faudra examiner ce problème.
- Chaque classe granulométrique sera étudiée séparément, et on tentera de savoir si les essais effectués pour une seule classe sont représentatifs de toutes les autres classes.

La répétabilité et la reproductibilité ont été également examinées par:

- Un même essai reproduit plusieurs fois au LAVOC afin de déterminer la plage de variation du coefficient Los Angeles.
- Un essai interlaboratoire pour mettre en évidence l'influence de l'exécutant et du matériel utilisé sur le résultat de l'essai.

Une dernière phase de l'étude tentera de mettre en évidence l'effet du gel sur la résistance aux chocs et à l'abrasion des granulats. Un essai effectué avec des mélanges des classes granulométriques d'un même matériau sera également effectué.
Les essais effectués nous permettront de refaire un inventaire partiel des caractéristiques Los Angeles des matériaux suisses.

3. DESCRIPTION DE L'ESSAI LOS ANGELES

L'essai Los Angeles permet de mesurer la résistance d'un granulat à la sollicitation simultanée par chocs et par frottements.

Il est effectué sur des gravillons et pierres concassées des classes suivantes : Ø 3/6, Ø 6/10, Ø 10/16, Ø 16/25, Ø 25/40 et Ø 40/63 mm.

Avec la nouvelle série de tamis à mailles carrées (SN 670 808a de 1986), les classes granulométriques deviendront : 3/6, 6/11, 11/16, 16/22, 22/32 et 32/63 mm.

Une masse définie de matériau tamisé lavé et séché est placée dans un cylindre en acier à axe horizontal. Un nombre de boulets représentant une certaine masse qui varie selon la granulométrie testée y est ajouté. Lorsque le cylindre est en rotation, les granulats et les boulets sont tous soulevés par une plaque d'acier. Ils retombent ensuite dans une combinaison de chocs et d'abrasion.

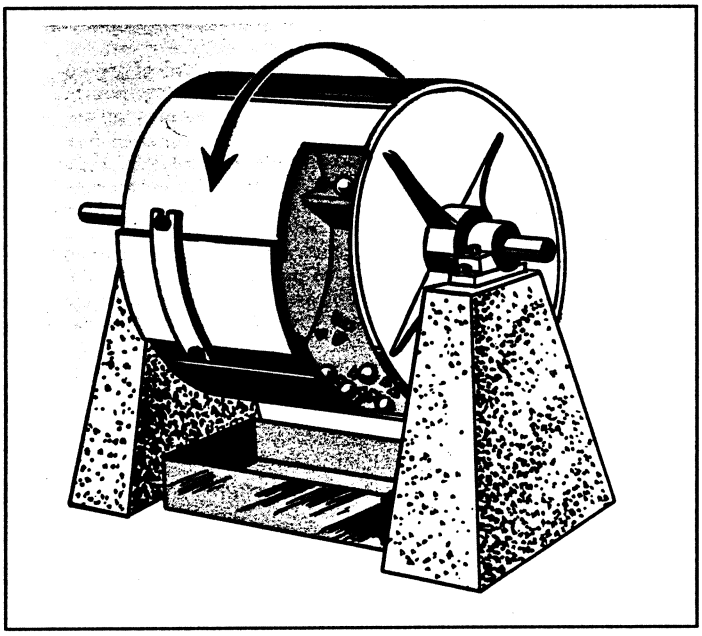


Figure 1
Machine Los Angeles

La machine tourne à raison de 33 tours/mn.
Le tableau 1 donne le nombre et la masse totale des boulets ainsi que le nombre de tours à effectuer en fonction de la classe granulométrique.

Ancienne Classe Granulo.	Nouvelle Classe Granulo.	Nombre de boulets	Masse des boulets	Nombre de tours
3/6	3/6	6	2500(± 15)	500
6/10	6/11	8	3340(± 20)	500
10/16	11/16	10	4170(± 25)	500
16/25	16/22	11	4590(± 25)	500
25/40	22/32	12	5000(± 30)	700
40/63	32/63	12	5000(± 30)	1000

Tableau 1
Caractéristiques concernant l'essai Los Angeles

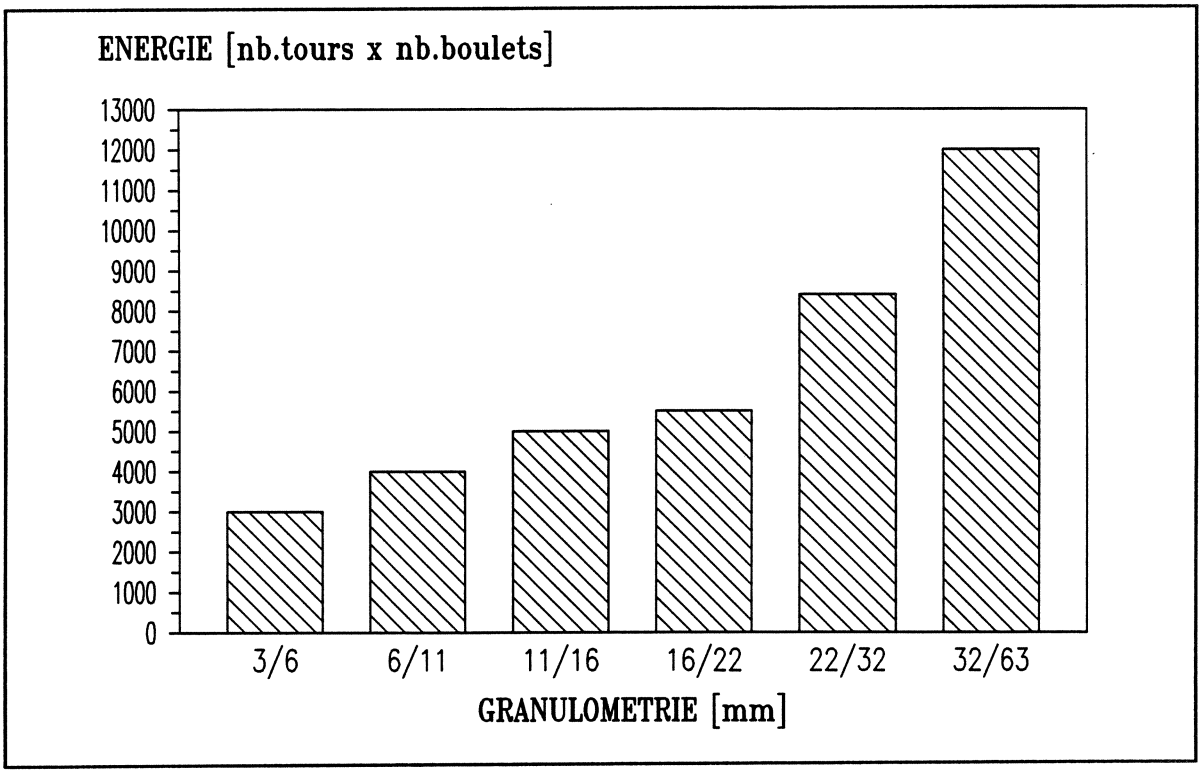


Figure 2
Energie fournie pendant l'essai Los Angeles en fonction des classes granulométriques

L'échantillon est pesé avant l'essai, soit P. L'échantillon est tamisé après l'essai sur la passoire de Ø 2.0 mm et pesé, soit P'. Le coefficient Los Angeles est par définition:

$$\boxed{LA = \frac{P - P'}{P} \cdot 100}$$

Il correspond à la masse de fines < Ø 2.0 mm provoquée par l'essai par rapport à la masse initiale. Ainsi ce coefficient est inversement proportionnel à la résistance aux chocs du granulat. Un bon granulat aura donc un coefficient Los Angeles relativement bas. Pour s'assurer de cette bonne fiabilité l'essai est effectué deux fois. L'écart de chacun des coefficients avec le coefficient moyen ne doit pas dépasser 5 % pour que le résultat soit acceptable. Le coefficient Los Angeles déterminant est la moyenne des deux mesures arrondie à l'unité.

Exemple :

Essai 1 → LA = 18,6
Essai 2 → LA = 18,8

Moyenne $= \frac{18,6 + 18,8}{2} = 18,7$ → LA (déterminant) = 19

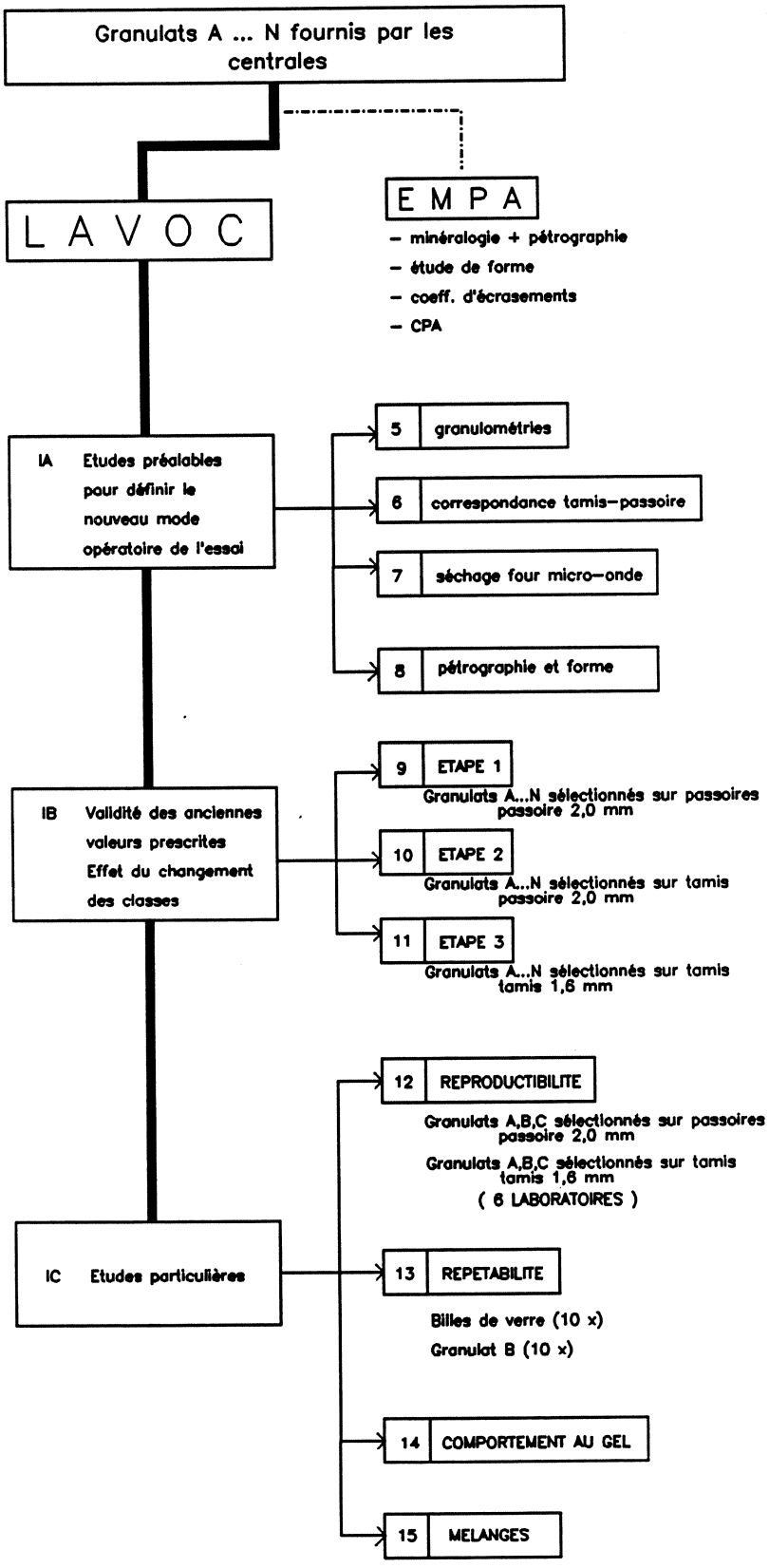
Ecart en % $= \frac{18,8 - 18,7}{18,7} = \frac{0,1}{18,7} = 0,5\ \% < 5\ \%$ → Résultat acceptable

Valeur déterminante du coefficient Los Angeles :

$$\boxed{LA = 19\ \%}$$

I. EXECUTION

4. ORGANIGRAMME DES PHASES D'EXECUTION



I.A ETUDES PREALABLES

5. GRANULOMETRIES
6. CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRES
7. SECHAGE DES GRANULATS
8. PETROGRAPHIE ET FORME

5. ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Les matériaux ont été livrés au LAVOC par classes granulométriques.

Pour vérifier que ces classes appartenaient bien aux fuseaux prescrits à la page 8 de la norme SN 670 710 c, il a été décidé d'effectuer les granulométries de tous les matériaux. Pour cela, la norme prescrit de faire le tamisage des granulats à sec (norme SN 670 710 c, page 6, paragraphe 20).

Cependant, il a été décidé d'effectuer les granulométries à l'eau, ce qui permettait de préparer en même temps les matériaux pour l'essai Los Angeles.

Les courbes granulométriques et fiches correspondantes sont en **annexe 1**

Le tableau suivant donne les résultats des granulométries.

GRANULATS	CLASSES GRANULOMETRIQUES					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
A	○	●	●	○	○	○
B	●	○	○	● ◑	○	○
C	○ ◑	○ ◐	○	○	○ ◐	○ ◐
D	○ ◐	● ◐	●	●	○ ◐	●
E	○ ◐	○ ◐	○	○	●	○
F	○ ◑	●	●	○	○	○
G	● ◑	● ◐	●	○	—	—
H	○	● ◑	○	○	○	—
I	● ◐	○	○	○	○	—
K	○ ◑	○	○	○	○	—
N	○	○	○ ◐	○	○	—

LEGENDE:

○ La courbe granulométrique est dans le fuseau prescrit par la norme SNV 670710c

● La courbe granulométrique déborde du fuseau prescrit par la norme SNV 670710c

◐ Fraction excédentaire inférieure importante (1–2%)

◑ Fraction excédentaire inférieure importante (≧2%)

— Pas de matériaux disponible

6. CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRES

6.1. Nouvelle série de tamis

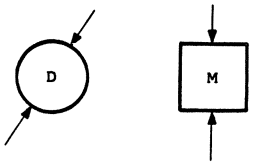
La nouvelle norme SN 670 808a de 1989 propose une série de tamis formant une suite géométrique de raison $10^{3/20}$. Il s'agit de la série principale R 20/3. L'ouverture de 1 mm sert de base à cette série.

$[10^{3/20}]^{-9}$...	$[10^{3/20}]^{-1}$, 1,	$[10^{3/20}]^{+1}$,	$[10^{3/20}]^{+2}$...	$[10^{3/20}]^{14}$
(0.045 mm)	(0.71 mm)	(1.4 mm)	(2.0 mm)	(125 mm)

Les classes granulométriques correspondantes seront

Ancienne fraction granulométrique	Nouvelle fraction granulométrique
3/6	3/6 (2,8-5,6)
6/10	6/11 (5,6-11,2)
10/16	11/16 (11,2-16)
16/25	16/22 (16 -23,4)
25/40	22/32 (23,4-31,5)
40/63	32/63 (31,5-63)

L'ancienne norme, datant de 1965, incluait des tamis et des passoires qui étaient retenus à partir d'une ouverture de mailles de 1 mm. Elle admettait (SNV 70 808, page 2) un rapport de 1,25 entre la passoire et le tamis. "...Des ouvertures de tamis M donneraient un plus grand tamisat que des trous de passoire D de même valeur nominale. On admet qu'un tamis M donne les mêmes résultats qu'une passoire D lorsque: D = 1,25 M et M = 0,8 D "



D = 1,25 M

Il est important que les tamis introduits remplacent au mieux les passoires utilisées auparavant. Par exemple, pour l'essai Los Angeles, la passoire Ø 2,0 mm correspond au tamis ⌀ 1,6 mm si l'on admet le rapport de 1,25 liant les passoires aux tamis.

6.2. Comparaison tamis-passoire

L'existence simultanée de tamis et de passoires a toujours posé un problème. En effet, il fallait trouver un rapport, s'il en existait un, qui permette de passer de l'un à l'autre.

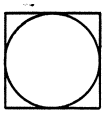
Considérons la maille carrée d'un tamis et le trou circulaire d'une passoire.

Figure 3
passoire 20 mm équivalent au tamis 16 mm

Nous avons les 2 cas limites suivants :

1er cas : cercle inscrit

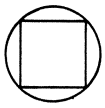
rapport des dimensions = 1
rapport des aires (trou/maille) = 0,785



D = M

2ème cas : cercle circonscrit

rapport des dimensions = 1,414 (= M $\sqrt{2}$)
rapport des aires (trou/maille) = 1,57

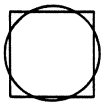


$D = M\sqrt{2}$

Nous éliminons ces deux cas limites qui ne peuvent donner un résultat satisfaisant d'équivalence granulométrique.
Entre ces deux cas extrêmes, nous pouvons avoir :

3ème cas : aires égales

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

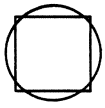


$D = 1{,}128M$

rapport des dimensions = 1,128
rapport des aires (trou/maille) = 1

4ème cas : cas fréquemment rencontré dans la pratique

rapport des dimensions = 1,25
rapport des aires (trou/maille) = 1,23



$D = 1{,}25M$

Le 4ème cas a le même rapport des dimensions et des aires.

6.2.1 Références sur le choix du rapport tamis/passoire.

Concernant la dimension des trous des passoires et des mailles des tamis, L.R. Feret, ancien chef du laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer, a mis en évidence le rapport de 1,25 liant le diamètre du trou et le côté de la maille:

- Article de L.R. Feret extrait du "Congrès de Zürich" (6-12 septembre 1931). Association internationale pour l'essai des matériaux (volume II, page 434-435).
  "...Il ressort des résultats obtenus qu'en moyenne le diamètre des trous de la passoire laissant traverser la même proportion de grains qu'un tamis à mailles carrées dépasse d'un quart le côté du vide des mailles de ce tamis..."

- Extrait du "Nouveau traité des matériaux de construction", Duriez & Arrambide. Les auteurs se réfèrent à Feret et admettent le rapport 1,25 (Les granulats p. 128).
  "...La dimension des trous de passoires n'est pas assimilable au côté de maille (à cause de la diagonale); les expériences de Feret ont montré que, si D est le diamètre du trou et C le côté de maille équivalent au point de vue tamisage : D = 1,25 C..."

- Extrait du "XVIème Congrès mondial de la route", 1979 (Analyse granulométrique par tamisage - B.1. Appareillage).
  "...En Suisse, la passoire de contrôle est de 2 mm, qui correspond à un tamis de 1,6 mm...
  ...Les passoires à trous ronds ne sont pas recommandées. Si toutefois un pays juge opportun de les employer, les résultats devront être rapportés aux tamis en utilisant le rapport moyen de conversion suivant 0,8 diamètre trou = côté de la maille..."

6.2.2 Essai de tamisage

Des granulats ont été sélectionnés par classes pour étudier la relation entre passoires et tamis. Ensuite, ils ont été passés d'une part sur le tamis représentatif de la classe granulométrique et d'autre part, sur les trois passoires entourant ce tamis. Ainsi, il a été possible de voir laquelle des trois passoires donne le résultat le plus proche du tamis en question. Les résultats sont présentés à l'**annexe 2**.

Une représentation graphique de chaque classe granulométrique a permis de connaître la passoire théorique pour laquelle on aurait exactement le même résultat que pour le tamis. On a obtenu un rapport moyen entre passoires et tamis de 1,22.

6.2.3 Mise en évidence du rapport 1,25 par une double granulométrie

Un échantillon est d'abord tamisé à l'aide de l'ancienne série de passoires-tamis, ce qui permet de tracer sa courbe granulométrique. Le même échantillon est ensuite tamisé à l'aide des nouveaux tamis. A chaque nouveau tamis correspondra un pourcentage de refus cumulé. Ces différents refus sont reportés sur la courbe granulométrique tracée auparavant. Cette démarche permet de déterminer en abcisse les passoires théoriques équivalent aux tamis utilisés.

Les résultats en page suivante ont été obtenus sur un essai unique (les calculs détaillés ainsi que la courbe granulométrique sont en **annexe 3**) :

N°	Tamis	Passoire équivalente	Rapport de correspondance
1	1,4	1,82	1,30 ?
2	2,0	2,51	1,26
3	2,8	3,40	1,22
4	5,6	6,61	1,18
5	11,2	12,16	1,09 ?
6	22,4	26,60	1,19
7	31,5	36,31	1,15 ?

Les points donnant un rapport de correspondance contradictoire (points 5 et 7) se trouvent en fait sur la courbe extrapolée.

6.3. Analyse des coefficients obtenus avec la passoire Ø 2,0 mm et les différents tamis ⌀ 1,4 mm, 1,6 mm et 2,0 mm par rapport aux coefficients los Angeles prescrits dans les norme SN 670 710 C et SN 670 710 D

L'essai Los Angeles a été effectué, d'une part, avec la passoire de Ø 2,0 mm et des granulats sélectionnés sur passoire et , d'autre part, avec les tamis ⌀ 1,4 mm, 1,6 mm, et 2,0 mm et des granulats sélectionnés sur tamis. Les résultats sont présentés dans les pages qui suivent. Chaque fois que le coefficient obtenu est supérieur au coefficient maximal admissible correspondant la demi-case correspondante est blanche. (voir tableaux)

Nous avons voulu tenir compte des deux versions de la norme SN 670 710 (ancienne et nouvelle). Il existe dans l'ancienne version SN 670 710 c "Gravillon et pierre concassée pour la construction routière avec des produits hydrocarbonés", Prescriptions de qualité, des coefficients maximaux admissibles variant avec les classes granulométriques en fonction des couches de support et d'usure définies en fonction du trafic soit:
- couche de support pour TF > 1000
- couche de support pour TF > 100...1000
- couche d'usure pour TF > 1000
- couche d'usure pour TF ≤ 1000

En ce qui concerne la norme SN 670 710 d "Sables, Graviers, Gravillons et pierres concassées pour revêtements" les couches de trafic sont:
- couche de surface hydrocarbonée S
  (S = effet combiné des sollicitations climatiques et du trafic important)
- couche de surface hydrocarbonée N,L
  (N = effet combiné des sollicitations climatiques et du trafic moyen)
  (L = effet combiné des sollicitations climatiques et du trafic faible)
- couche de support hydrocarbonée S, N, L

Nous pouvons tirer les conclusions suivantes concernant les figures 4, 5 et 6 (résultats obtenus avec les valeurs prescrites par l'ancienne norme SN 670 710 c), et les figures 7, 8 et 9 (résultats obtenus avec les valeurs prescrites par la nouvelle norme SN 670 710 d):

- L'essai Los Angeles effectué avec le tamis ⌀ 1,4 mm améliore le résultat et donne chaque fois un coefficient inférieur au coefficient de référence (ce dernier étant obtenu avec des granulats "ronds" sur Ø 2,0 mm).
- L'essai effectué avec le tamis ⌀ 1,6 mm donne des coefficients qui recoupent le coefficient de référence. On a un seul coefficient qui donne un résultat différent.
- L'essai Los Angeles effectué avec le tamis ⌀ 2,0 mm donne pratiquement chaque fois un coefficient supérieur au coefficient de référence.

Cette présentation des résultats montre que le tamis ⌀ 1,6 mm employé pour les nouvelles classes granulométriques correspond au mieux à la passoire Ø 2,0 mm utilisée pour les anciennes classes.

La nouvelle norme SN 670 710 d ne donne de valeurs prescrites que pour deux couches de surface et une couche de support alors qu'au paravant dans la norme SN 670 710 c nous avions deux couches d'usure et deux de liaison. D'autre part les couches de surface sont limitées aux classes granulométriques 3/6 6/11 et 11/16.

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A ⌀	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1		
B Ø / B ⌀	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7		
C Ø / C ⌀	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6		
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	18	—	—

COUCHE D'USURE TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A ⌀	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1		
B Ø / B ⌀	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7		
C Ø / C ⌀	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6		
COEFF. L A MAX. ADM.	22	22	20	20	—	—

COUCHE D'USURE TF ≤ 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A ⌀	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1		
B Ø / B ⌀	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7		
C Ø / C ⌀	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6		
COEFF. L A MAX. ADM.	24	24	22	22	22	—

COUCHE DE LIAISON TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A ⌀	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1		
B Ø / B ⌀	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7		
C Ø / C ⌀	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6		
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23	—

COUCHE DE LIAISON TF > 100...1000

Figure 4
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats ⌀ sur ⌀ 1,4 mm

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A Φ	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4	10,8 / 9,1
B Ø / B Φ	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,6	34,7 / 34,8
C Ø / C Φ	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7	37,6 / 30,4
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	18	—	—

COUCHE D'USURE TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A Φ	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4	10,8 / 9,1
B Ø / B Φ	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,6	34,7 / 34,8
C Ø / C Φ	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7	37,6 / 30,4
COEFF. L A MAX. ADM.	22	22	20	20	—	—

COUCHE D'USURE TF ≤ 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A Φ	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4	10,8 / 9,1
B Ø / B Φ	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,6	34,7 / 34,8
C Ø / C Φ	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7	37,6 / 30,4
COEFF. L A MAX. ADM.	24	24	22	22	22	—

COUCHE DE LIAISON TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6 / 3/6	6/10 / 6/11	10/16 / 11/16	16/25 / 16/22	25/40 / 22/32	40/63 / 32/63
A Ø / A Φ	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4	10,8 / 9,1
B Ø / B Φ	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,6	34,7 / 34,8
C Ø / C Φ	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7	37,6 / 30,4
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23	—

COUCHE DE LIAISON TF > 100...1000

Figure 5
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats Φ sur Φ 1,6 mm

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A Ø / A ⊕	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7		
B Ø / B ⊕	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3		
C Ø / C ⊕	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3		
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	18	—	—

COUCHE D'USURE TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A Ø / A ⊕	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7		
B Ø / B ⊕	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3		
C Ø / C ⊕	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3		
COEFF. L A MAX. ADM.	22	22	20	20	—	—

COUCHE D'USURE TF ≤ 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A Ø / A ⊕	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7		
B Ø / B ⊕	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3		
C Ø / C ⊕	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3		
COEFF. L A MAX. ADM.	24	24	22	22	22	—

COUCHE DE LIAISON TF > 1000

CLASSE GRANULOMÉTRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A Ø / A ⊕	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7		
B Ø / B ⊕	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3		
C Ø / C ⊕	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3		
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23	—

COUCHE DE LIAISON TF > 100...1000

Figure 6
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats ⊕ sur ⊕ 2,0 mm

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⊕	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1	
B Ø / B ⊕	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7	
C Ø / C ⊕	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6	
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE S

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⊕	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1	
B Ø / B ⊕	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7	
C Ø / C ⊕	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6	
COEFF. L A MAX. ADM.	23	23	21	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE N,L

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⊕	16,8 / 15,0	15,4 / 13,1	13,4 / 12,7	12,9 / 11,1	
B Ø / B ⊕	16,1 / 13,8	18,3 / 16,3	19,9 / 18,8	22,7 / 21,7	
C Ø / C ⊕	17,1 / 15,4	20,8 / 19,5	19,6 / 17,3	20,7 / 19,6	
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23

COUCHE DE SUPPORT HYDROCARBONEE S,N,L

Figure 7
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats ⊕ sur ⊕ 1,4 mm

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⌀	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4
B Ø / B ⌀	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,5
C Ø / C ⌀	17,1 / 17,3	20,8 / 18,9	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE S

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⌀	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4
B Ø / B ⌀	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,8
C Ø / C ⌀	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7
COEFF. L A MAX. ADM.	23	23	21	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE N,L

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A Ø / A ⌀	16,8 / 16,5	15,4 / 13,6	13,4 / 13,0	12,9 / 10,2	14,4 / 11,4
B Ø / B ⌀	16,1 / 16,3	18,3 / 18,4	19,9 / 17,1	22,7 / 22,9	31,4 / 30,6
C Ø / C ⌀	17,1 / 17,3	20,8 / 21,7	19,6 / 18,9	20,7 / 20,1	25,6 / 24,7
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23

COUCHE DE SUPPORT HYDROCARBONEE S,N,L

Figure 8
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats ⌀ sur ⌀ 1,6 mm

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A ϕ / A ф	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7	
B ϕ / B ф	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3	
C ϕ / C ф	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3	
COEFF. L A MAX. ADM.	20	20	18	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE S

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A ϕ / A ф	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7	
B ϕ / B ф	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3	
C ϕ / C ф	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3	
COEFF. L A MAX. ADM.	23	23	21	—	—

COUCHE DE SURFACE HYDROCARBONEE N,L

CLASSE GRANULOMETRIQUE / GRANULAT	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32
A ϕ / A ф	16,8 / 18,7	15,4 / 15,5	13,4 / 13,9	12,9 / 11,7	
B ϕ / B ф	16,1 / 17,6	18,3 / 19,7	19,9 / 21,6	22,7 / 24,3	
C ϕ / C ф	17,1 / 19,1	20,8 / 23,6	19,6 / 19,6	20,7 / 21,3	
COEFF. L A MAX. ADM.	25	25	23	23	23

COUCHE DE SUPPORT HYDROCARBONEE S,N,L

Figure 9
Granulats Ø sur Ø 2,0 mm
Granulats ф sur ф 2,0 mm

6.4. Droites de corrélation calculées à partir des résultats ponctuels obtenus en effectuant l'essai Los Angeles avec les différents tamis

Les résultats ponctuels obtenus sont reportés graphiquement afin de pouvoir tracer une droite de corrélation. Une parfaite corrélation correspondrait à la droite y = x.

	Abscisse	Ordonnée
Figure 10	Granulats "carrés" Tamis ⌀ 1,4 mm	Granulats "ronds" Passoire Ø 2,0 mm
Figure 11	Granulats "carrés" Tamis ⌀ 1,6 mm	Granulats "ronds" Passoire Ø 2,0 mm
Figure 12	Granulats "carrés" Tamis ⌀ 2,0 mm	Granulats "ronds" Passoire Ø 2,0 mm

Les résultats détaillés se trouvent en **annexe 4.** Aucune des trois droites de corrélation ne correspond à la droite y = x. En prenant différents coefficients en ordonnée (granulats "ronds", passoire Ø 2,0 mm) et en cherchant par les différentes droites de corrélation le coefficient qui leur correspond en abscisse (granulats "carrés", tamis ⌀ 1,4, 1,6 ou 2,0 mm), il est possible d'estimer laquelle des trois droites donne les coefficients les plus concordants. Cette manière de procéder montre qu'avec le tamis ⌀ 1,6 mm les coefficients Los Angeles correspondent le mieux aux coefficients de référence.

En effet il est aisé de voir que le tamis ⌀ 1,4 mm donne systématiquement un coefficient Los Angeles plus bas. Pour ce qui est des tamis ⌀ 1,6 et 2,0 mm les figures 11 et 12 de l'annexe 4 nous donnent les résultats suivants:

Tamis ⌀ 1,6 mm	8	9	10	11	12	14	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26
Passoire Ø 2,0 mm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Tamis ⌀ 2,0 mm	9	11	12	13	14	16	17	18	19	20	22	23	24	25	27	28
Passoire Ø 2,0 mm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

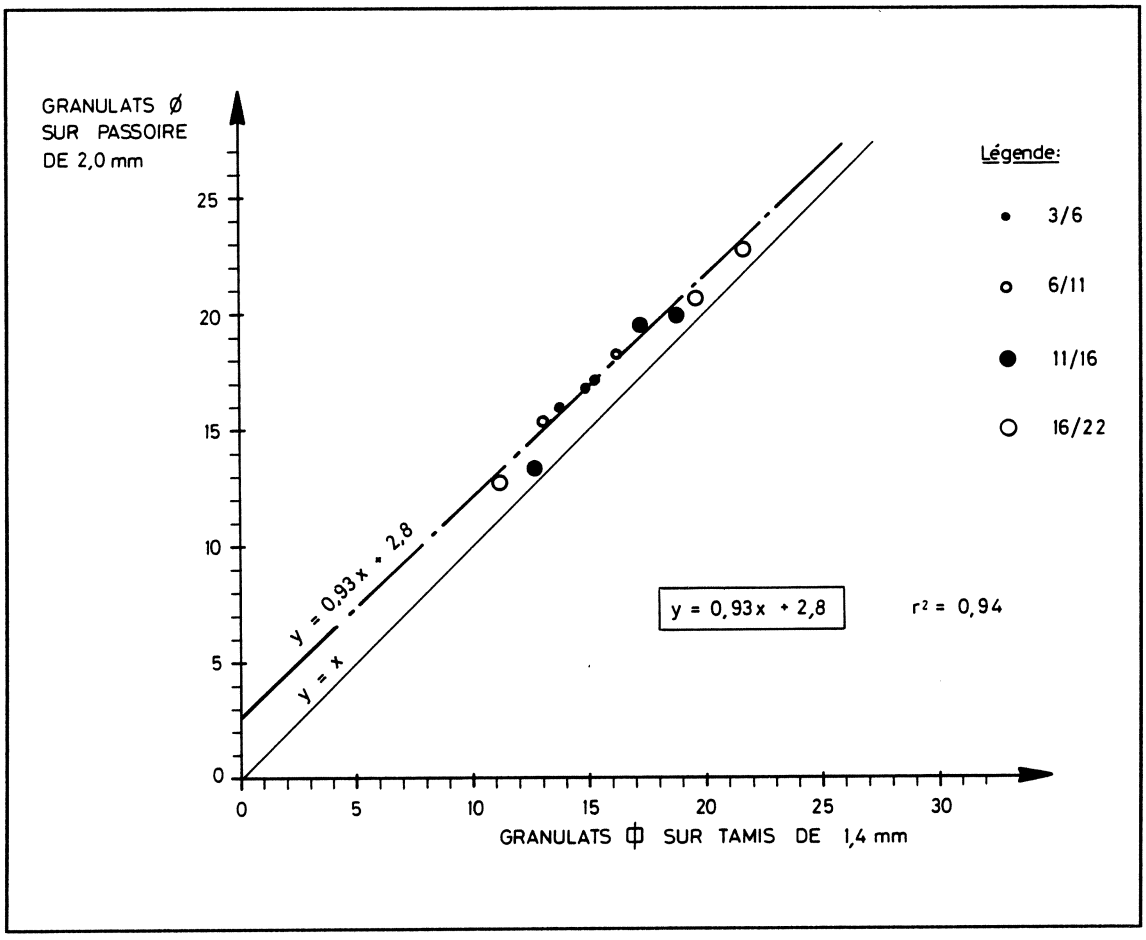


Figure 10
Droite de régression des coefficients Los Angeles "Gran. Carrés"/Tamis 1.4 mm et "Gran. Ronds"/Passoire 2.0 mm

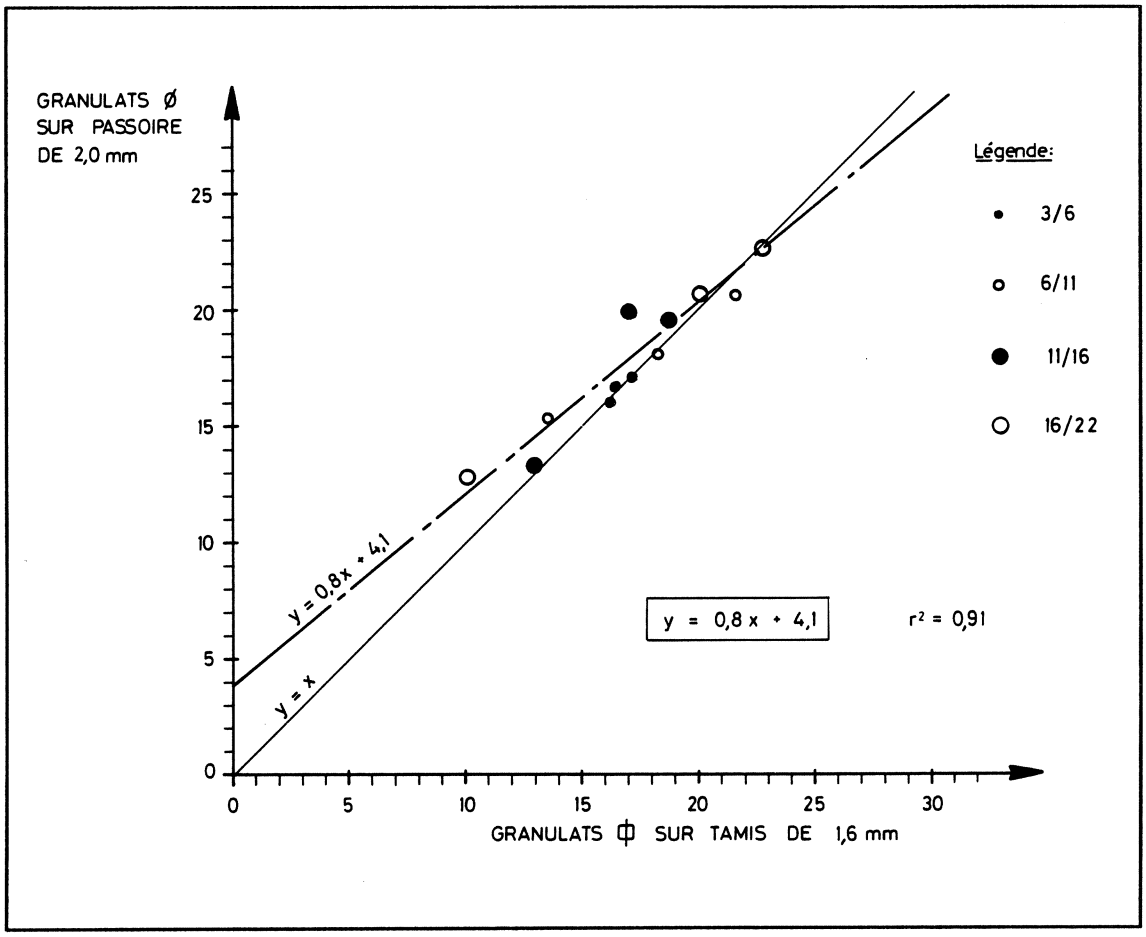


Figure 11
Droite de régression des coefficients Los Angeles "Gran. Carrés"/Tamis 1.6 mm et "Gran. Ronds"/Passoire 2.0 mm

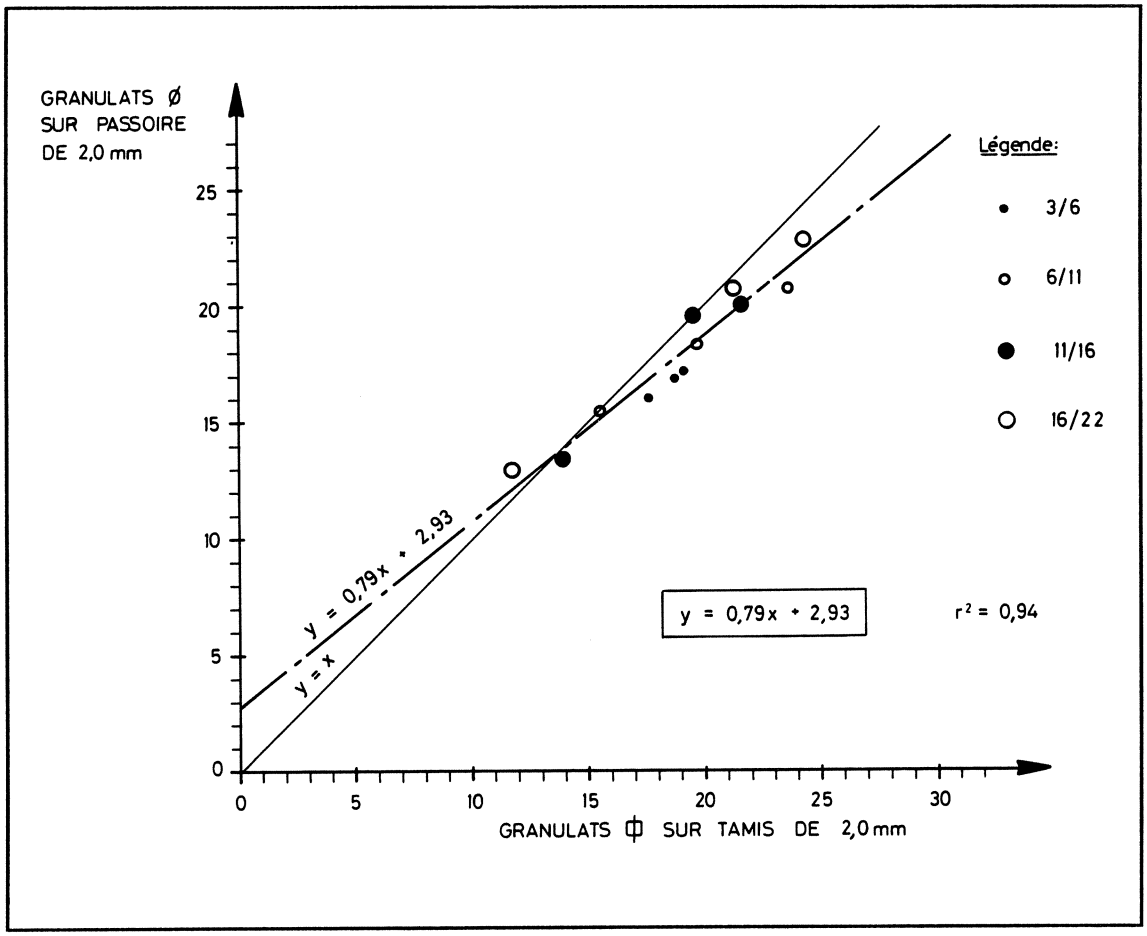


Figure 12
Droite de régression des coefficients Los Angeles "Gran. Carrés"/Tamis 2.0 mm et "Gran. Ronds"/Passoire 2.0 mm

6.5. Rapport de correspondance

Le passage des passoires aux tamis se fait par la suite géométrique de raison $10^{3/20}$. Pendant la phase de transition, les anciens graphiques peuvent être pris en compte sans risque d'erreur étant donné que l'échelle des tamis correspond à celle des passoires par le rapport 1,25. On peut donc utiliser les anciens graphiques en appliquant cette correspondance.

Le tableau qui suit donne la correspondance théorique de l'ancienne série de tamis/passoires par le rapport 1,25. Nous constatons que l'ancienne série avait 32 tamis et passoires alors que la nouvelle n'a plus que 24 tamis.

ANCIENNE SERIE SNV 670 808		CORRESP. THEORIQUE (rapport 1,25)	NOUVELLE SERIE SN 670 808a
TAMIS	PASSOIRES	TAMIS	TAMIS
0,063		0,063	0,045
0,08		0,08	0,063
0,10		0,10	0,09
0,125		0,125	0,125
0,16		0,16	0,18
0,20		0,20	0,25
0,25		0,25	0,355
0,315		0,315	0,5
0,40		0,40	0,71
0,50		0,50	1
0,63		0,63	1,4
	1	0,8	2
	1,25	1	2,8
	1,6	1,28	4
	2	1,6	5,6
	2,5	2	8
	3,15	2,52	11,2
	4	3,2	16
	5	4	22,4
	6,3	5,04	31,5
	8	6,4	45
	10	8	63
	12,5	10	90
	16	12,8	125
	20	16	
	25	20	
	31,5	25,2	
	40	32	
	50	40	
	63	50,4	
	80	64	
	100	80	

L'échelle des diagrammes actuels sera donc conservée. Les fuseaux granulométriques ont été adaptés à la nouvelle série de tamis. De plus le pourcentage de fines a été fixé à la limite logique de 5% remplaçant la valeur irréaliste de 0% exigée par l'ancienne norme.

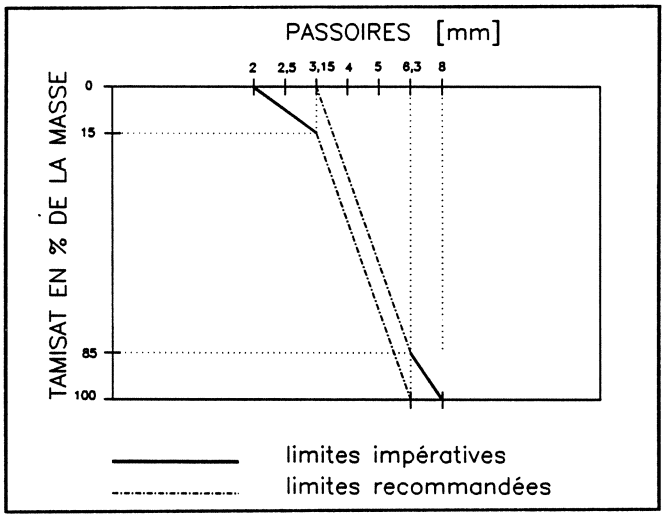


Figure 13
Ancienne norme

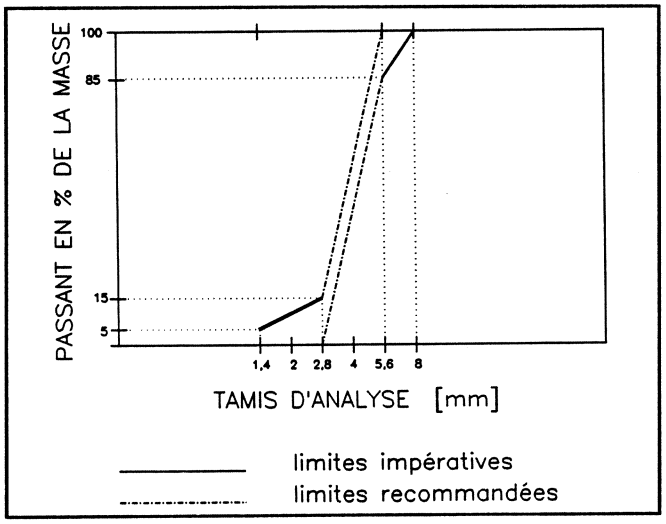


Figure 14
Nouvelle norme

7. METHODE DE SECHAGE DES GRANULATS

L'emploi du four à micro-ondes pour le séchage des granulats après tamisage à l'eau et avant d'effectuer l'essai Los Angeles permet de gagner du temps.

Toutefois, il faut vérifier que cette technique n'affecte pas les résultats du coefficient Los Angeles. Le tableau de la page suivante montre que les essais effectués au micro-ondes et en étuve donnent des résultats qui se recoupent.

Il n'est donc pas possible d'affirmer que le micro-ondes modifie les résultats.

Cependant, nous avons pu observer au LAVOC une **fissuration** des granulats après leur passage au four à micro-ondes. Cela ne semble pas avoir une répercussion directe sur les coefficients Los Angeles obtenus, mais il semble donc préférable de sécher les granulats en étuve.

CLASSE	MATERIAU	MICRO-ONDES		ETUVE	
		COEFF. CALCULE	COEFF. DETERM.	COEFF. CALCULE	COEFF. DETERM.
3/6	A Ø	16,4	**16**	16,8	**17**
	B Ø	15,1	**15**	16,0	**16**
	C Ø	16,2	**16**	17,1	**17**
6/10	A Ø	16,3	**16**	15,4	**15**
	B Ø	18,0	**18**	18,2	**18**
	C Ø	20,7	**21**	20,7	**21**
10/16	A Ø	14,6	**15**	13,4	**13**
	B Ø	19,0	**19**	19,9	**20**
	C Ø	20,0	**20**	19,5	**20**
16/25	A Ø	14,1	**14**	12,9	**13**
	B Ø	22,0	**22**	22,7	**23**
	C Ø	20,9	**21**	20,7	**21**
25/40	A Ø	15,3	**15**	14,4	**14**
	B Ø	31,3	**31**	31,4	**31**
	C Ø	24,8	**25**	25,5	**26**
40/63	A Ø	11,7	**12**	10,8	**11**
	B Ø	38,0	**38**	34,6	**35**
	C Ø	32,6	**33**	37,6	**38**

8. PETROGRAPHIE ET FORME

L'EMPA a fait l'étude de forme et de la pétrographie des matériaux utilisés pour ce mandat. Les résultats détaillés sont en **annexe 7**. Le tableau qui suit résume les caractéristiques principales.

Matériau	Composants principaux	Forme grains
A *	Grès alpin	non cubique
B	Calcaire alpin	cubique
C	Calcaire type Jura	non cubique
D *	Calcaire siliceux	non cubique
E	Calcaire et marbre siliceux	non cubique
F *	Grès	non cubique
H *	Grès alpin, calcaire siliceux roches cristallines	cubique
I *	Roches cristallines, grès alpin	non cubique
K *	Grès alpin, calcaires divers roches cristallines	non cubique
N *	Calcaire siliceux et gréseux	non cubique

* = % grains durs supérieur à 75%

Il est intéressant de constater qu'un granulat à forte proportion de grains durs a un coefficient Los Angeles relativement bas. La dureté n'est cependant pas le seul facteur pouvant influencer le résultat obtenu. La nature de la roche ainsi que la forme des grains sont également des facteurs importants.

I.B EFFET DU CHANGEMENT DE CLASSES SUR LES EXIGENCES DE QUALITE

9. ETAPE 1
10. ETAPE 2
11. ETAPE 3

Dans cette phase de travail, nous étudions l'évolution du coefficient Los Angeles suite aux changements proposés par les différentes nouvelles versions de normes.

On commence par effectuer une série d'essais avec des granulats sélectionnés sur passoires et passés après essai sur la passoire de 2.0 mm, comme le prescrit l'ancienne norme. (paragraphe 9, ETAPE 1)

Dans un deuxième temps, on effectue l'essai avec les nouvelles classes granulométriques (granulats sélectionnés sur tamis) tout en conservant la passoire de Ø 2 mm pour le tamisage des granulats après essai. (paragraphe 10, ETAPE 2) Cela permet de voir comment évoluent les coefficients Los Angeles avec les nouvelles classes granulométriques.

La dernière étape de cette phase de travail donne les coefficients Los Angeles obtenus avec les nouvelles classes granulométriques et avec emploi du tamis ф 1,6 mm pour le tamisage des granulats après essai. (paragraphe 11, ETAPE 3)

Toutes ces étapes sont représentées à la figure 15 en pages 40-1.

9. ETAPE 1

Dans cette première étape, on recherche les valeurs de référence pour l'essai Los Angeles conformément à l'ancienne norme:

L'essai est effectué avec les anciennes classes granulométriques (granulats sélectionnés sur passoires). Après déroulement de l'essai, les granulats sont passés sur la passoire de 2,0 mm. Les coefficients Los Angeles ainsi obtenus vont permettre de situer les coefficients qui seront obtenus dans les deux étapes suivantes.

GRANULAT	CLASSE GRANULOMETRIQUE					
	3/6	6/10	10/16	16/22	22/32	32/63
A	17	15	13	13	14	11
B	16	18	20	23	31	35
C	17	21	20	21	26	38
D	13	14	13	13	19	15
E	27	30	30	29	24	21
F	12	13	12	13	15	20
G	17	17	15	15	-	17
H	15	14	13	15	16	-
I	20	20	17	18	17	-
K	16	16	15	16	15	-
N	11	12	10	11	16	-

- = pas de matériaux disponibles

10. ETAPE 2

Dans cette deuxième étape, on effectue l'essai avec les nouvelles classes granulométriques (granulats sélectionnés sur tamis). Pour le tamisage des granulats après essai, on conserve la passoire de 2,0 mm. Cette démarche va permettre d'observer l'évolution des coefficients Los Angeles.

On observe une augmentation des coefficients Los Angeles par rapport aux valeurs de référence.

GRANULAT	CLASSE GRANULOMETRIQUE					
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A	20	17	14	11	12	-
B	19	21	22	24	34	-
C	21	25	21	22	25	-
D	15	16	13	13	18	17
E	27	32	29	28	21	-
F	14	16	12	13	14	-
G	16	21	15	14	14	-
H	15	17	14	16	16	-
I	23	22	18	16	14	-
K	19	18	16	15	13	-
N	14	15	11	10	12	-

- = pas de matériaux disponibles

11. ETAPE 3

Dans cette dernière étape, on effectue l'essai Los Angeles avec les nouvelles classes granulométriques tout en adaptant l'essai à ces nouvelles classes donc en passant les granulats après l'essai sur le tamis de 1,6 mm.

Les coefficients obtenus sont proches des valeurs de référence.

GRANULAT	CLASSE GRANULOMETRIQUE					
	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
A	17	14	12	12	-	-
B	17	19	19	24	-	-
C	18	22	20	21	-	-
D	13	13	12	12	-	-
E	27	25	25	24	-	-
F	13	13	12	12	-	-
G	16	15	13	12	-	-
H	15	13	13	13	-	-
I	20	16	16	15	-	-
K	16	14	15	15	-	-
N	12	12	12	9	-	-

- = pas de matériaux disponibles

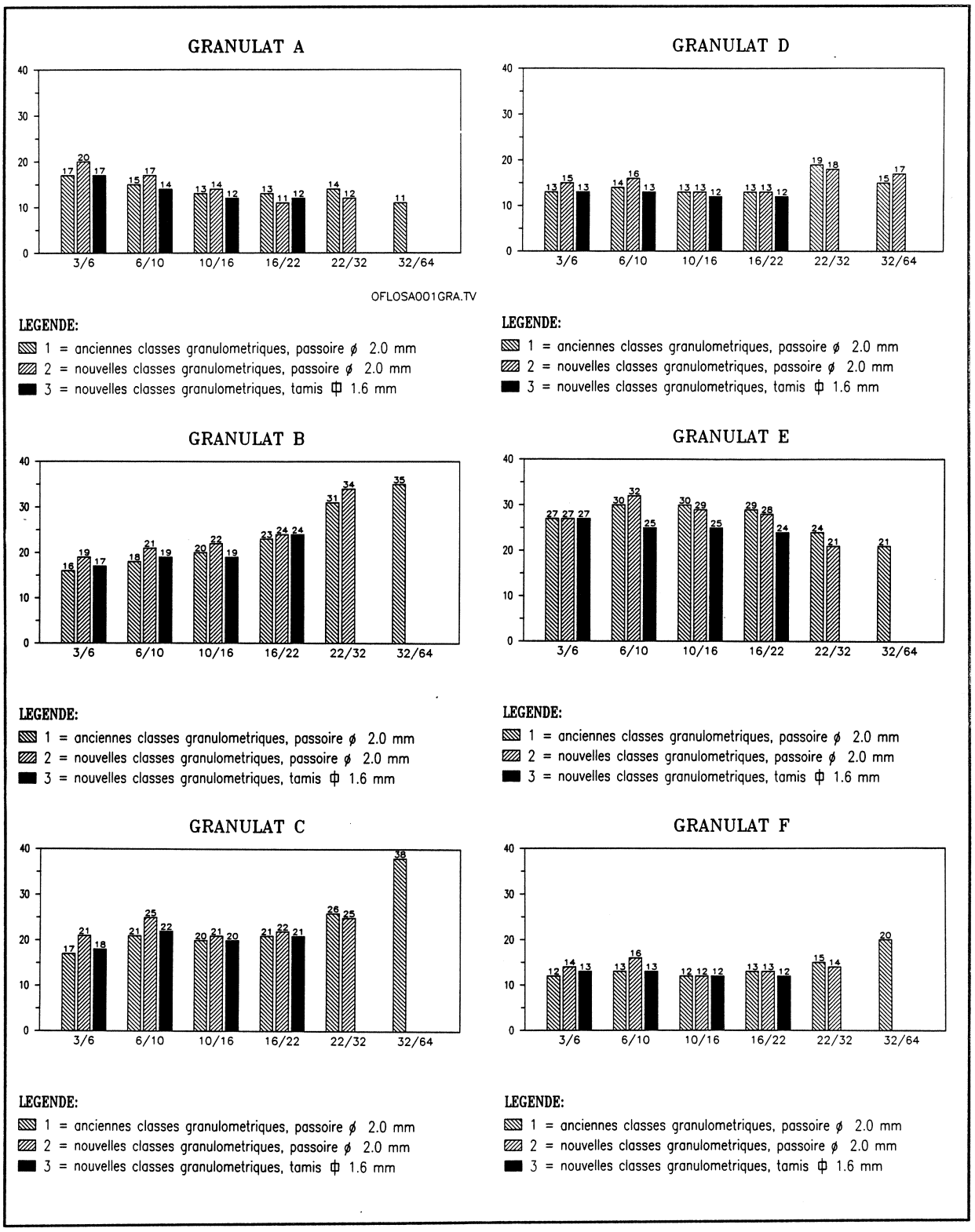


Figure 15
Comparaison des coefficients Los Angeles

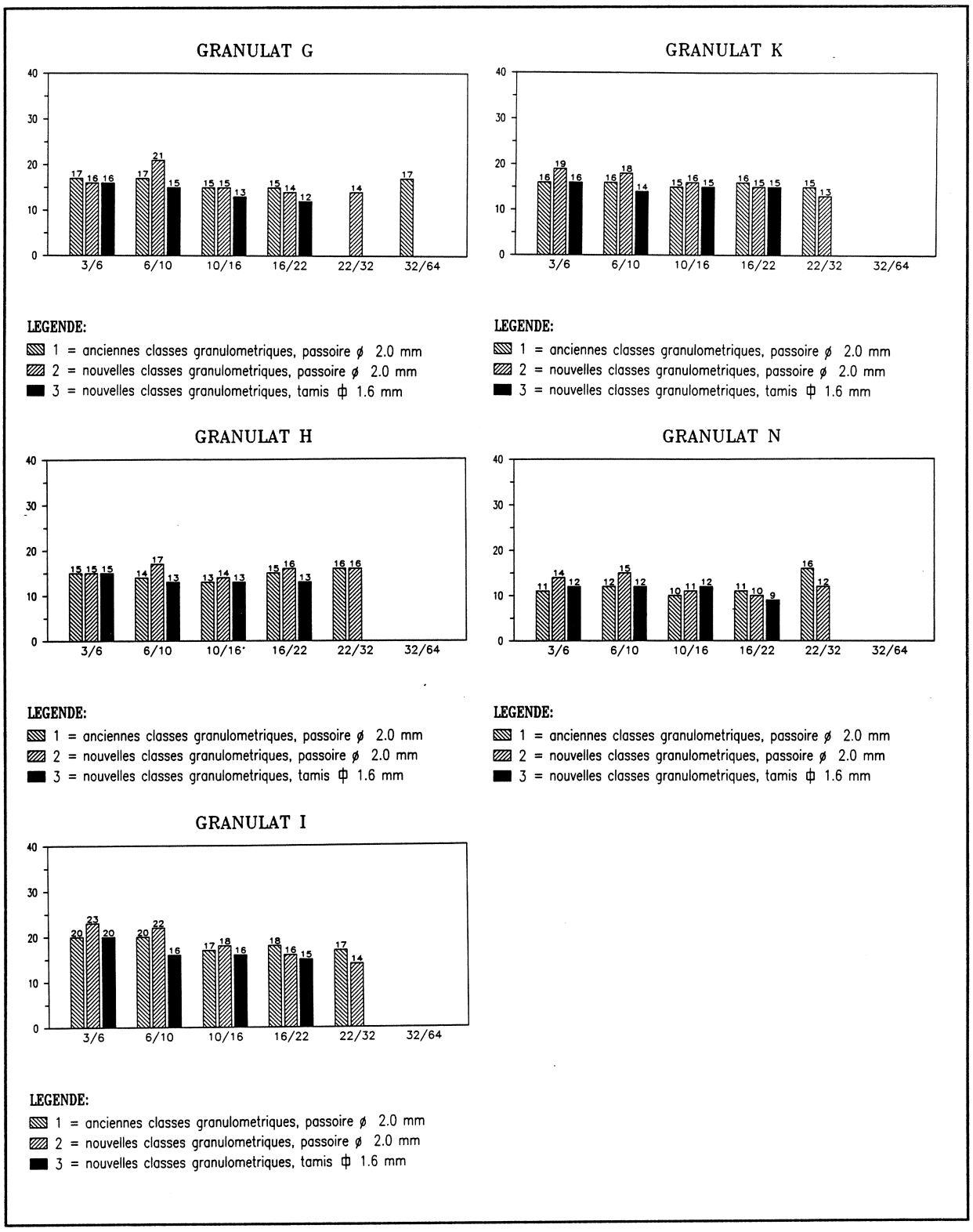


Figure 15 (suite)
Comparaison des coefficients Los Angeles

I.C ETUDES PARTICULIERES

12. REPRODUCTIBILITE
13. REPETABILITE
14. COMPORTEMENT AU GEL
15. MELANGES

Ces études complémentaires ont pour but de nous donner des renseignements intéressants concernant l'essai Los Angeles.

Dans le paragraphe 12 nous examinerons la reproductibilité de l'essai. Il s'agit de faire l'essai dans des laboratoires différents, avec des opérateurs différents.

Le paragraphe 13 présente la répétabilité de l'essai effectuée au LAVOC. Un même opérateur a effectué dix fois l'essai avec des billes de verre de 8 mm de diamètre. L'idée de cet essai était d'avoir d'une part des granulats de forme homogène et d'autre part d'étudier la répétabilité de l'essai Los-Angeles indépendemment de la nature du matériau utilisé. La répétabilité a ensuite été étudiée sur la classe 6/11 du matériau B.

Le paragraphe 14 présente une étude sur la variation de la résistance des granulats dûe au gel.

Le paragraphe 15 montre l'évolution du coefficient Los Angeles quand on effectue l'essai avec un mélange des différentes classes.

12. REPRODUCTIBILITE

Pour étudier la reproductibilité de l'essai Los Angeles, le LAVOC a organisé un essai interlaboratoire "Ring-Los", regroupant six laboratoires (la norme ISO en prescrit au minimum 8). Deux matériaux de nature différente et six niveaux ont été sélectionnés pour l'exécution de l'essai.

Les résultats en **annexe 5**, montrent que la reproductibilité de cet essai est satisfaisante. Le calcul exact n'a pas été fait les données étant insuffisantes.La plage dans laquelle varie les coefficients obtenus dans les différents laboratoires est faible. Toutefois les résultats du laboratoire 5 s'écartent de la moyenne. Nous avons effectué un contrôle du matériel utilisé pour l'exécution de l'essai dans les différents laboratoires. Pour le laboratoire n° 5 nous avons pu constater que le tamisage et lavage des granulats après déroulement de l'essai était effectué manuellemnt à l'aide de tamis de petites dimensions. Ce tamisage insuffisant n'évacue que peu d'éléments fins et conduit à un coefficient Los Angeles trop favorable.

Mis à part le problème cité précédemment il est intéressant de voir que l'allure de la courbe du matériau A (classes granulométriques en abcisse, coefficients Los Angeles en ordonnée) est la même pour tous les laboratoires. Il en est de même pour le matériau C. Cependant les deux courbes ne se ressemblent pas. Il est donc indispensable d'examiner chaque matériau séparément et de faire l'essai Los Angeles pour toutes les classes puisque le coefficient Los Angeles varie en fonction de la classe granulométrique.

13. REPETABILITE

Pour étudier la répétabilité de l'essai Los-Angeles indépendamment du matériau utilisé nous avons effectué cet essai avec des billes de verre de 8 mm de diamètre. Leur forme et le matériau constitutif sont relativement homogènes par rapport aux matériaux testés jusque-là. Un premier essai a été effectué avec les prescriptions d'un granulat normal de la classe 6/11 (500 tours, 8 boulets). Le coefficient ainsi obtenu était de 12. Il a alors été décidé d'effectuer un cycle de 800 tours au lieu de 500 de manière à obtenir un coefficient Los-Angeles plus grand, d'environ 20. Le risque de dispersion était ainsi augmenté puisque le coefficient moyen à prévoir serait plus élevé. Les matériaux ayant été livrés en deux temps une grande variation des coefficients LA a pu être observée sur les quatres premiers essais. Nous attribuons ceci à la fragilité du verre. D'autre part il faut noter que les billes de verre sont souflées et non débitées dans un bloc. Pour cet essai le coefficient Los-Angeles exprime le pourcentage de billes écrasées par les boulets et non l'usure de ces billes dûe aux chocs. Le verre n'est donc pas un matériau intéressant pour étudier la répétabilité de cet essai. Cependant l'essai de répétabilité a été poursuivi lorsque la seconde livraison était faite. Il a été intéressant de constater que le premier essai effectué avec des billes de verre donne un coefficient différent des suivant étant donné que les poussières existant dans la machine Los Angeles ont une influence sur le comportement des billes de verre. En effet une fois le premier essai effectué les coefficients des essais suivants sont moin dispersés.

L'essai a ensuite été effectué plusieurs fois avec la classe 6/11 du granulat B. Cet essai se répéte très bien puisque les dix essais effectués donnaient le même coefficient.

Ces résultats sont en **annexe 6.**

14. COMPORTEMENT AU GEL

Le gel peut provoquer la fissuration des granulats et accélère le vieillissement d'un revêtement routier. La sensibilité au gel des granulats est traitée par la norme française NF P 18-593. Les granulats subissent 25 cycles de gel-dégel avons d'être utilisés pour l'essai Los Angeles. N'étant pas équipés au LAVOC d'une armoire frigorifique programable en conséquence nous avons donc envoyé un échantillonage de granulats au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Autun pour leur faire subir les cycles de gel-dégel nécessaires. Il s'agissait des trois granulats C, E et N de la classe 11/16. Nous avons obtenu les résultats suivants:

Granulat	Coef. LA normal	Coef. LA après gel	% d'augmentation
C	20	23	15
E	25	31	24
N	12	13	8

Cette étude limitée sur le gel ne permet pas de tirer des conclusions générales, cependant nous observons une augmentation du coefficient Los Angeles après plusieurs cycles de gel. Pour les matériaux C et E ayant un grand pourcentage de grains de dureté moyenne l'augmentation du coefficient est plus importante que pour le matériau N, ce dernier contenant plus de grains durs. Les études de pétrographie et de forme faites par l'EMPA sont donnés à l'annexe 7.

15. MELANGES

L'idée d'effectuer l'essai Los Angeles avec des mélanges a pour but de voir s'il est possible de se faire une idée de l'ordre de grandeur du coefficient Los Angeles pour un granulat en mélangeant différentes classes de ce même granulat. De nombreux pays utilisent cette méthode pour donner un résultat plus global sans faire de nombreux essais. Nous avons choisi de faire ces mélanges de la manière suivante:

- mélange 1 33% 3/6
  33% 6/11
  33% 11/16
  essai effectué avec 8 boulets
- mélange 2 25% 3/6
  25% 6/11
  45% 11/16
  5% 16/22
  essai effectué avec 9 boulets

Le mélange 2 a été évalué à partir de la courbe moyenne du fuseau AB16 de la page 7 de la norme SNV 640 431.

Nous obtenons les résultats suivants:

GRANULAT	CLASSE GRANULOMETRIQUE			
	3/6	6/11	11/16	16/22
A	17	14	12	12
B	17	19	19	24
C	18	22	20	21
K	16	14	15	15
N	12	12	12	9

- Nouvelles Classes
- Tamis ф 1.6 mm

GRANULAT	MELANGE 1	MELANGE 2
A	16	17
B	21	23
C	24	23
K	19	19
N	14	14

- Tamis ф 1.6 mm

Nous constatons que le coefficient Los Angeles obtenu en mélangeant les classes granulométriques d'un même granulat est en général supérieur à ceux obtenus avec les différentes classes prises séparement. Ce phénomène pourrait être dû au fait que la différence de taille entre les granulats favorise leur effritement. Si cette méthode était retenue une adaptation des prescriptions de qualité serait nécessaire.

II. ANALYSE DES RESULTATS

16. RELATION ENTRE LES COEFFICIENTS LOS ANGELES DES DIFFERENTES CLASSES GRANULOMETRIQUES D'UN MEME MATERIAU

La figure 16 "ESSAIS LOS ANGELES", Résultats avec différents tamis, montre qu'il est nécessaire d'effectuer l'essai Los Angeles pour chaque type de granulat et pour toutes les classes granulométriques.

En effet, il n'y a pas de tendance générale qui permette d'effectuer cet essai pour une seule classe granulométrique d'un granulat et d'en déduire que ce résultat reste valable pour les autres classes. Pour le granulat A,on peut observer que le résultat s'améliore en même temps que la granulométrie augmente. Pour le granulat B,le phénomène est inverse. Quant au granulat C, les résultats du Ring-Los, **annexe 5**, montrent sa variation par rapport au granulat A.

Il est donc nécessaire d'effectuer l'essai Los Angeles pour toutes les classes granulométriques de tous les granulats, de manière à éviter des conclusions erronées. Ce même sujet a été traité par M. Maurizio Bocci dans la revue "Autostrade" de juillet 1986, page 46, ch. conclusions: "...pour un même matériau, la valeur du coefficient Los Angeles varie en fonction de la classe choisie..."

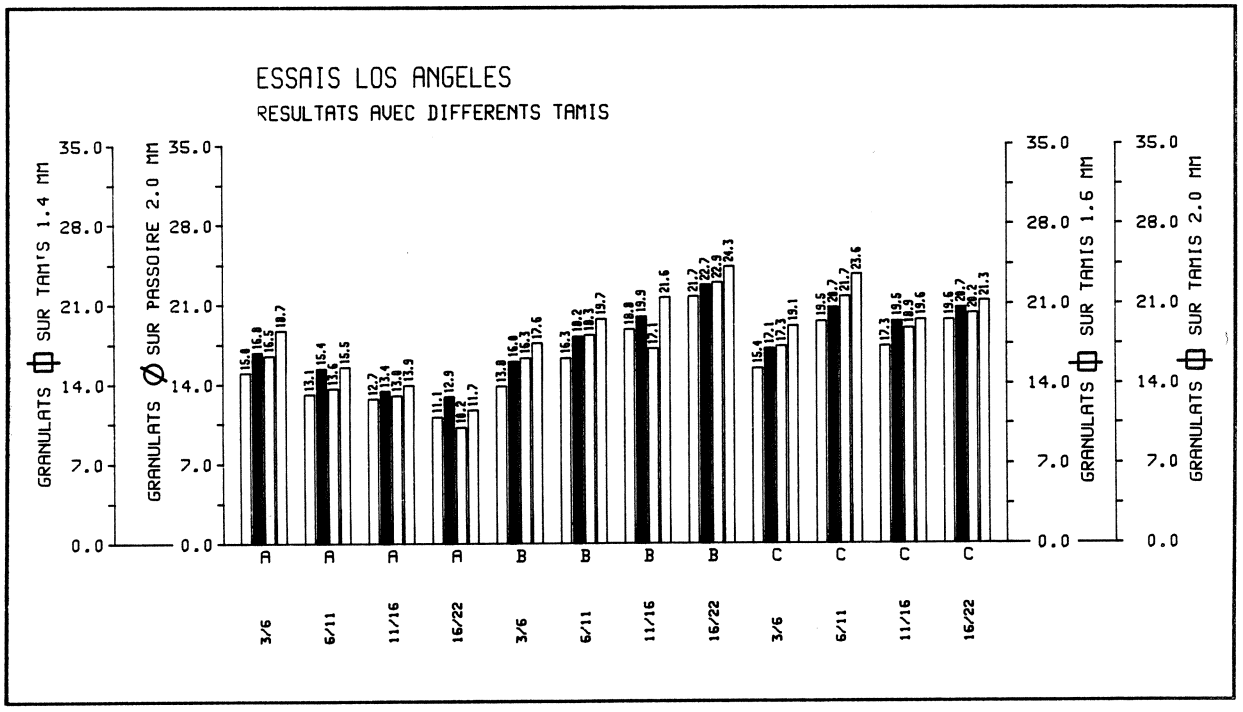


Figure 16
Essais Los Angeles
Résultats avec différents tamis

17. EVOLUTION DES MATERIAUX SUISSES DE 1967 A 1989

Les essais Los Angeles effectués en 1967 étaient faits selon le mode opératoire américain. Il n'est donc pas possible de faire une comparaison de coefficients Los Angeles. Pour ce qui est des valeurs obtenues en 1972 nous constatons en comparant les coefficients des matériaux B, C, D et I que l'ordre de grandeur est à peu près le même. Les autres matériaux utilisés n'étaient pas les mêmes.

18. CONCLUSION

Pendant le déroulement de ce mandat de recherche il y a eu en 1988 parution de deux nouvelles version de normes, SN 640 431 a "Revêtements en béton bitumineux",Conception, exigences, exécution et SN 670 710 d "Sables, graviers et pierres concassées pour revêtements", Prescriptions de qualité. D'autre part en 1985 paraissait la norme SN 670 808 a "Granulats minéraux et sols", Tamis d'analyse, exigences; elle remplaçait les passoires par les tamis.

Le but de ce mandat étant l'actualisation de l'essai Los Angeles nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Il est nécessaire de remplacer la passoire Ø 2,0 mm utilisée jusque là pour l'essai Los Angeles par le tamis ⌀ 1,6 mm. En effet toutes les études menées convergent vers cette solution. Le problème qui se pose est que le tamis ⌀ 1,6 mm n'appartient pas à la série de tamis proposée par la norme SN 670 808 a. Il faudra introduire donc ce tamis pour l'essai Los Angeles. Les tamis entourant celui de 1,6 mmm et appartenant à la série R20/3 retenue par la norme sont ceux de 1,4 et 2,0 mm. Nos études démontrent que l'emploi de l'un ou l'autre de ces deux tamis conduirait à des résultats erronnés et il faudrait réadapter les coefficients. La Suisse serait à ce moment là en désaccord avec d'autres pays notamment la France.

- D'autres recherches l'ont constaté avant nous mais nous réaffirmont qu'il est indispensable d'effectuer l'essai Los Angeles pour toutes les classes granulométriques, l'évolution de ce coefficient pour les différentes classes granulométriques étant variables en fonction du granulat utilisé.

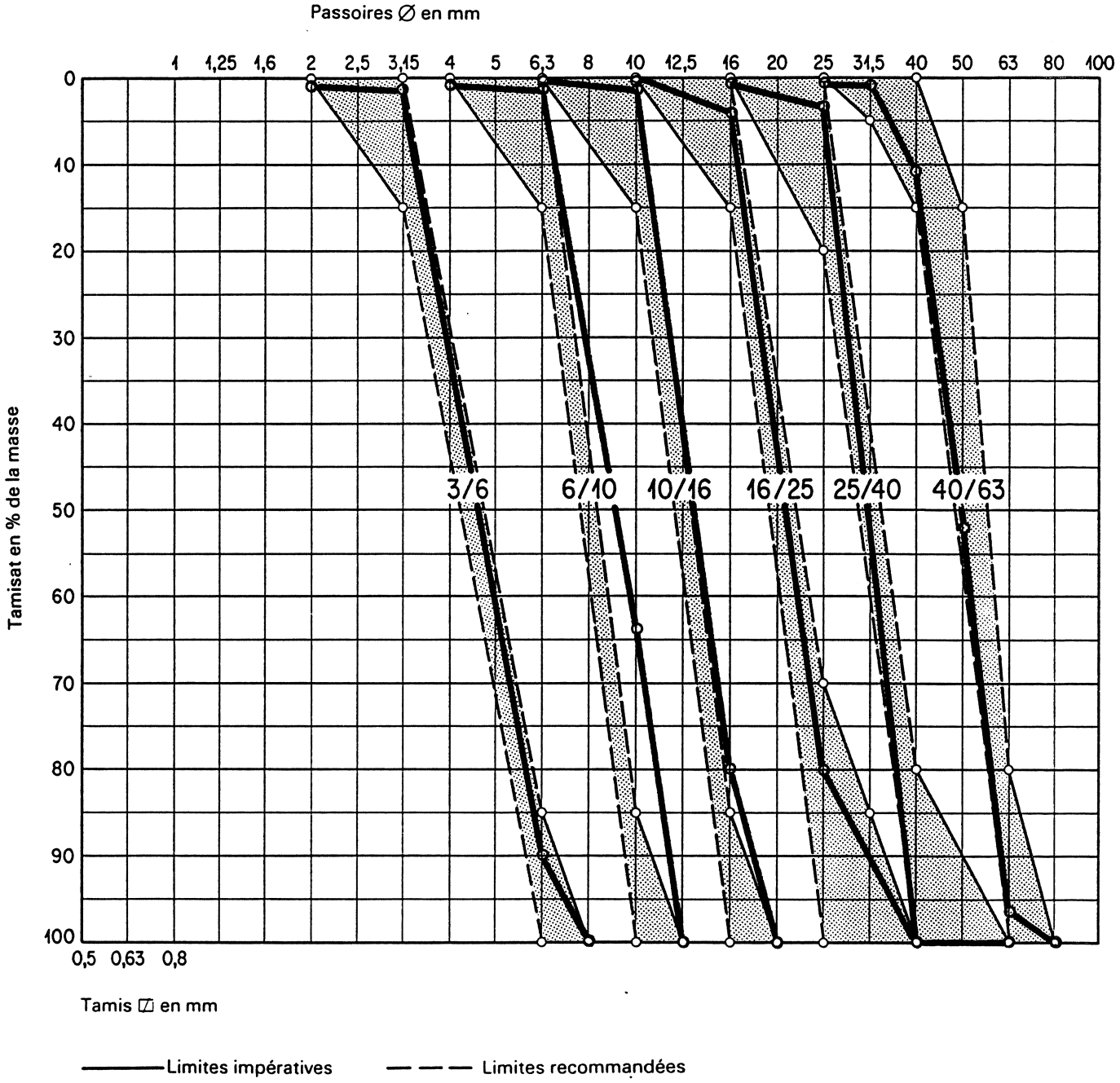
- La répétabilité de cet essai est bonne. La reproductibilité est également satisfaisante, toutefois chaque laboratoire effectuant cet essai devra vérifier régulièrement la conformité de son matériel aux prescriptions de la norme.

- Les nouvelles valeurs prescrites par la norme SN 670 710 d remplacent bien les anciennes, tenant compte des nouveaux types de couches.

A N N E X E 1

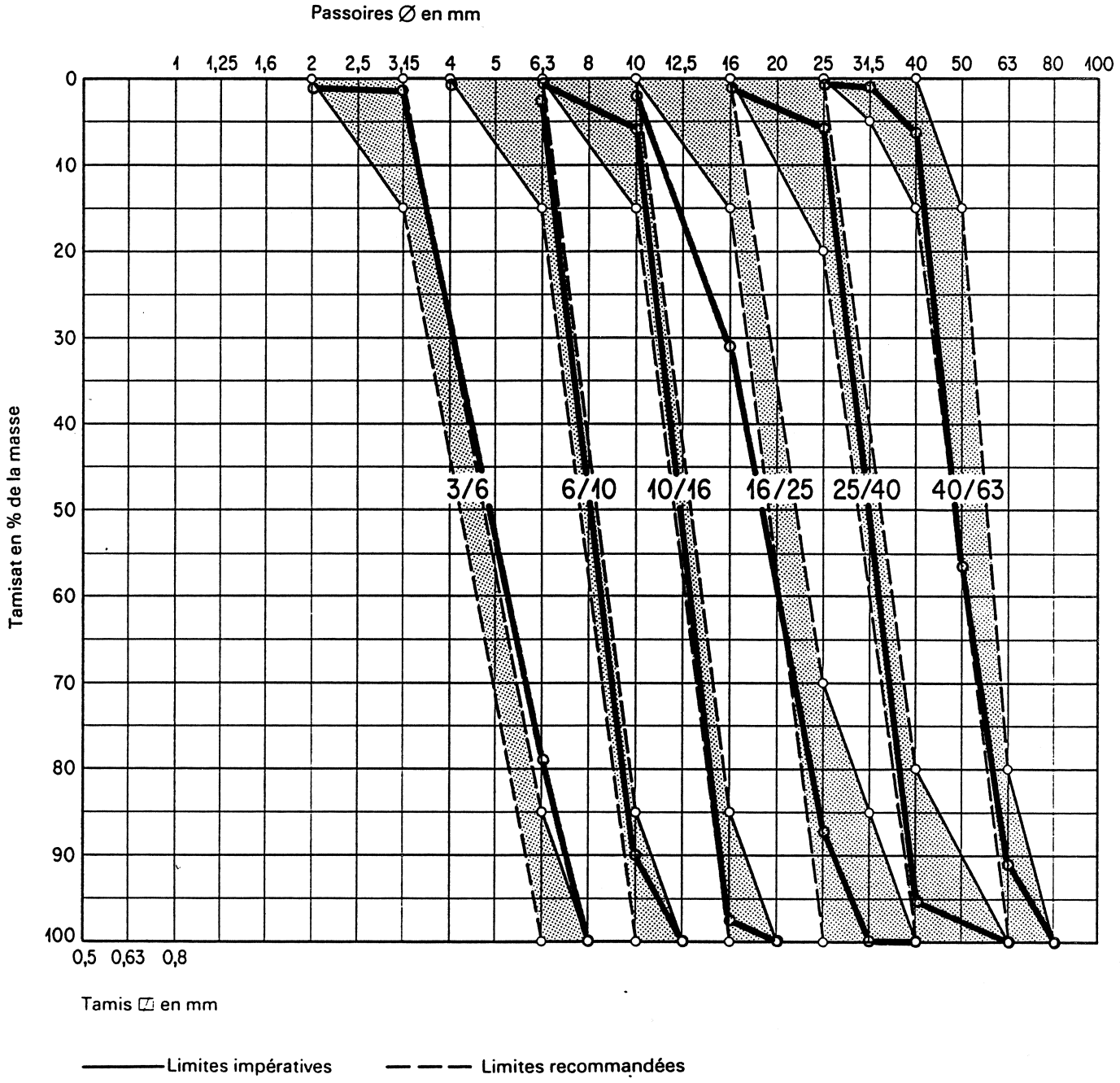
GRANULATS A

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



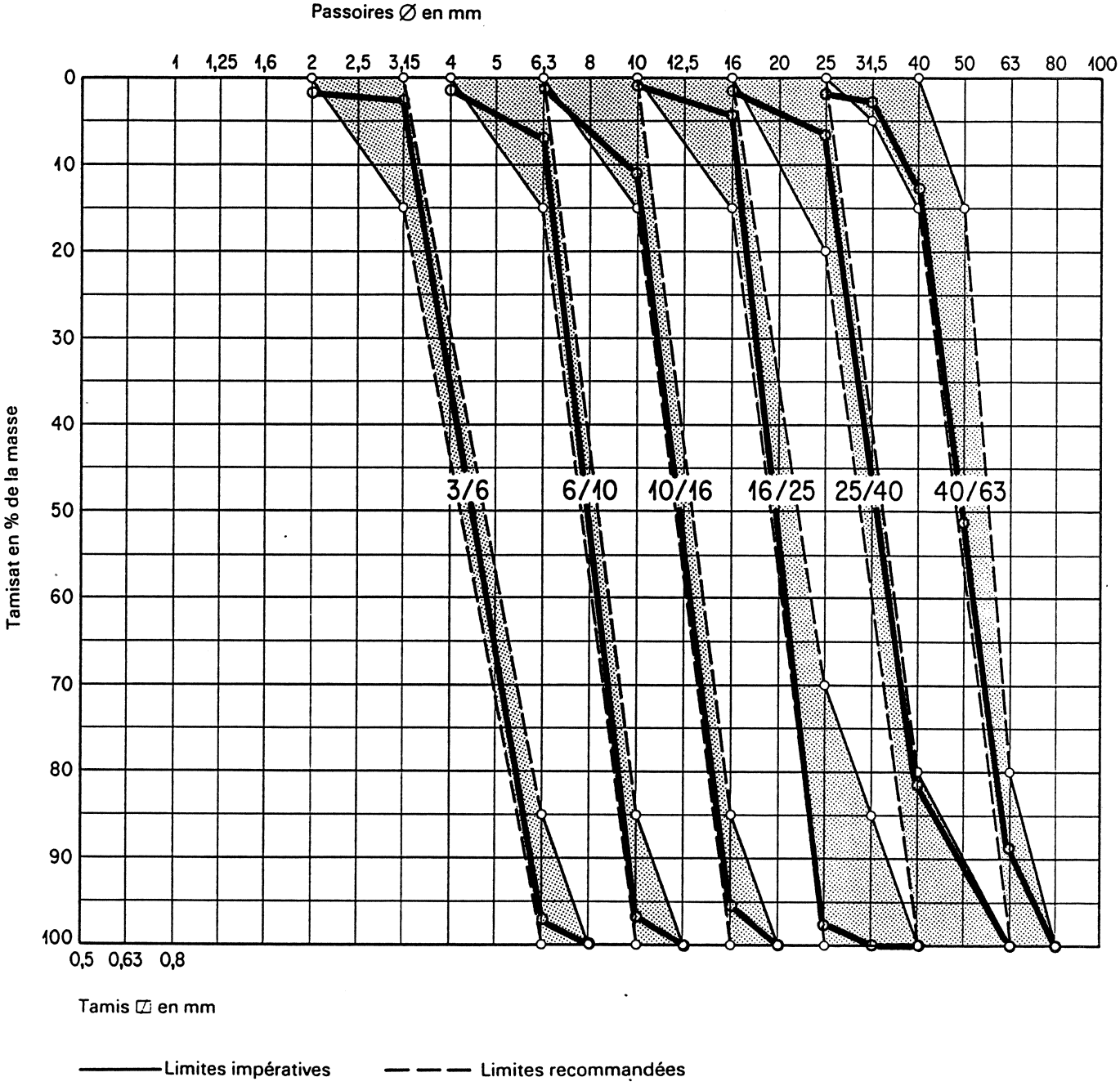
GRANULATS B

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



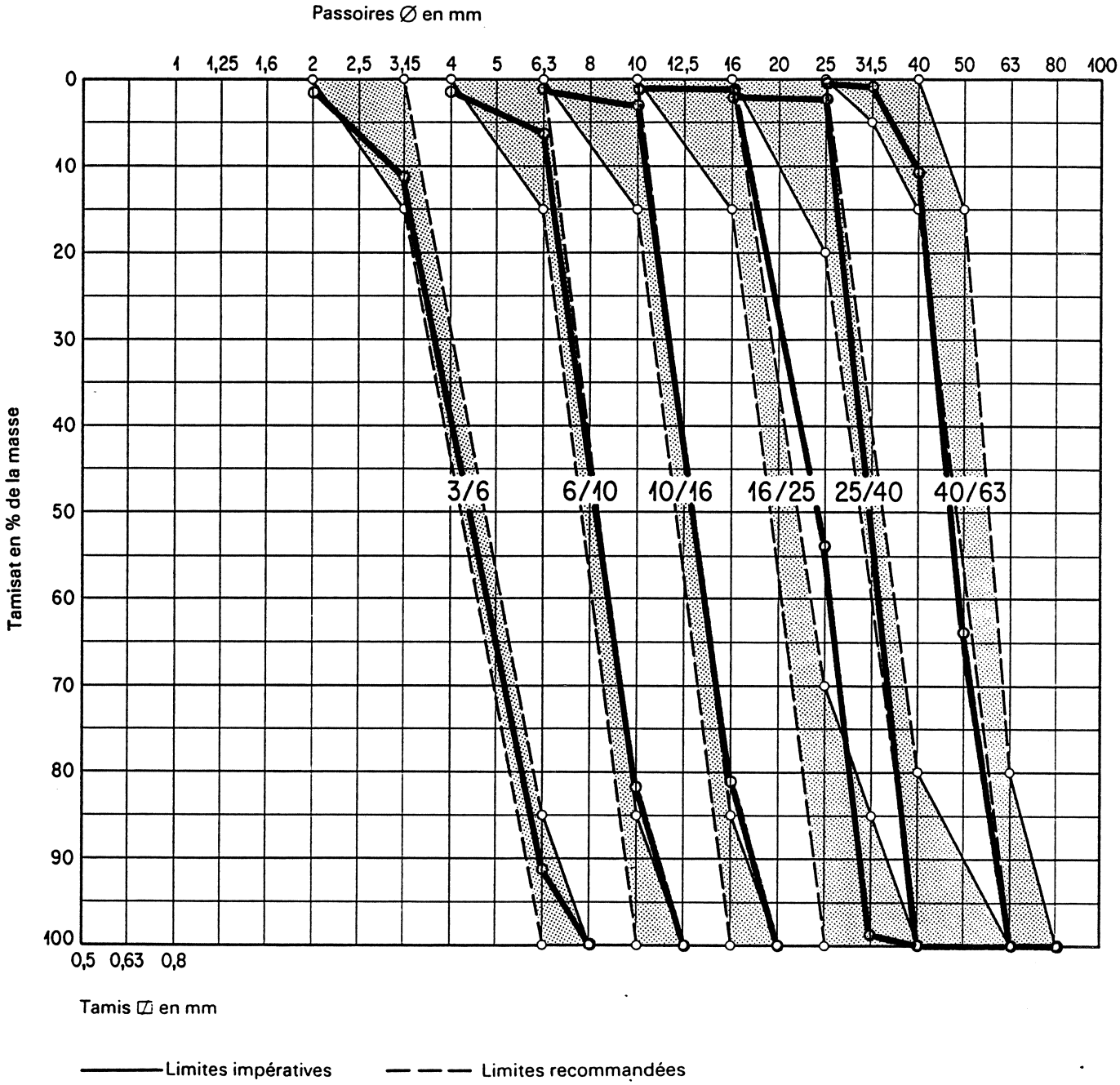
GRANULATS C

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



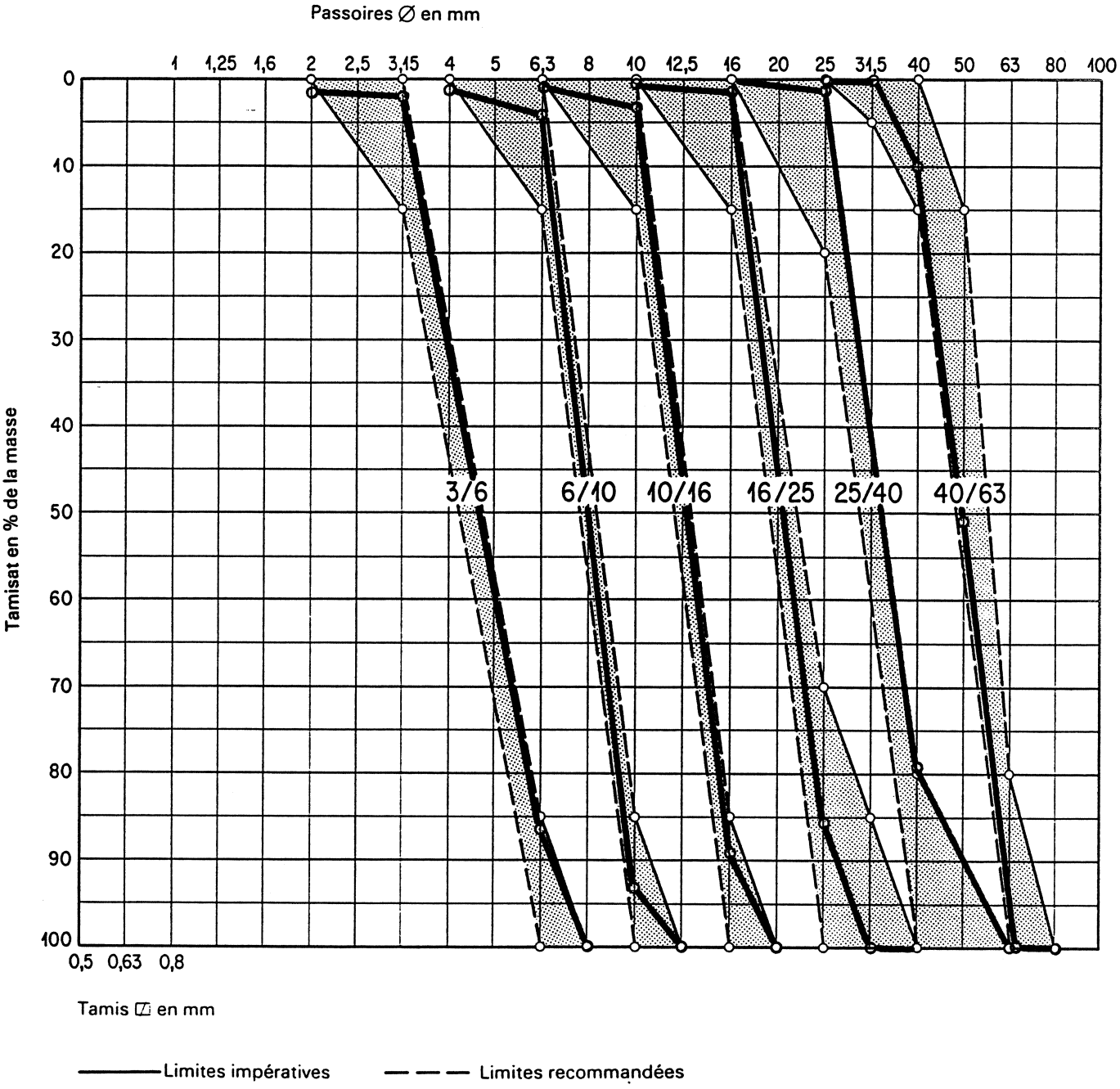
GRANULATS D

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



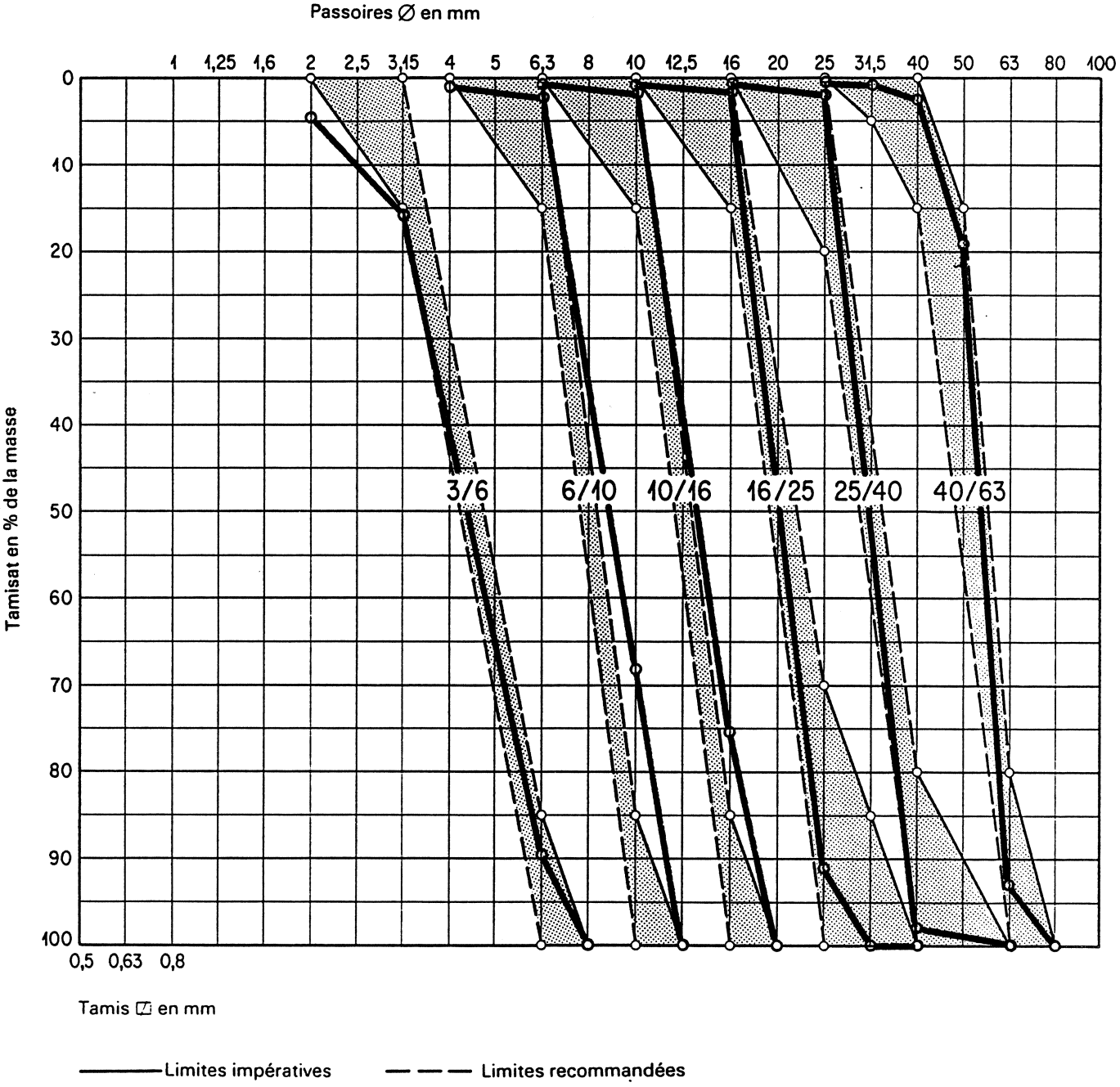
GRANULATS E

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



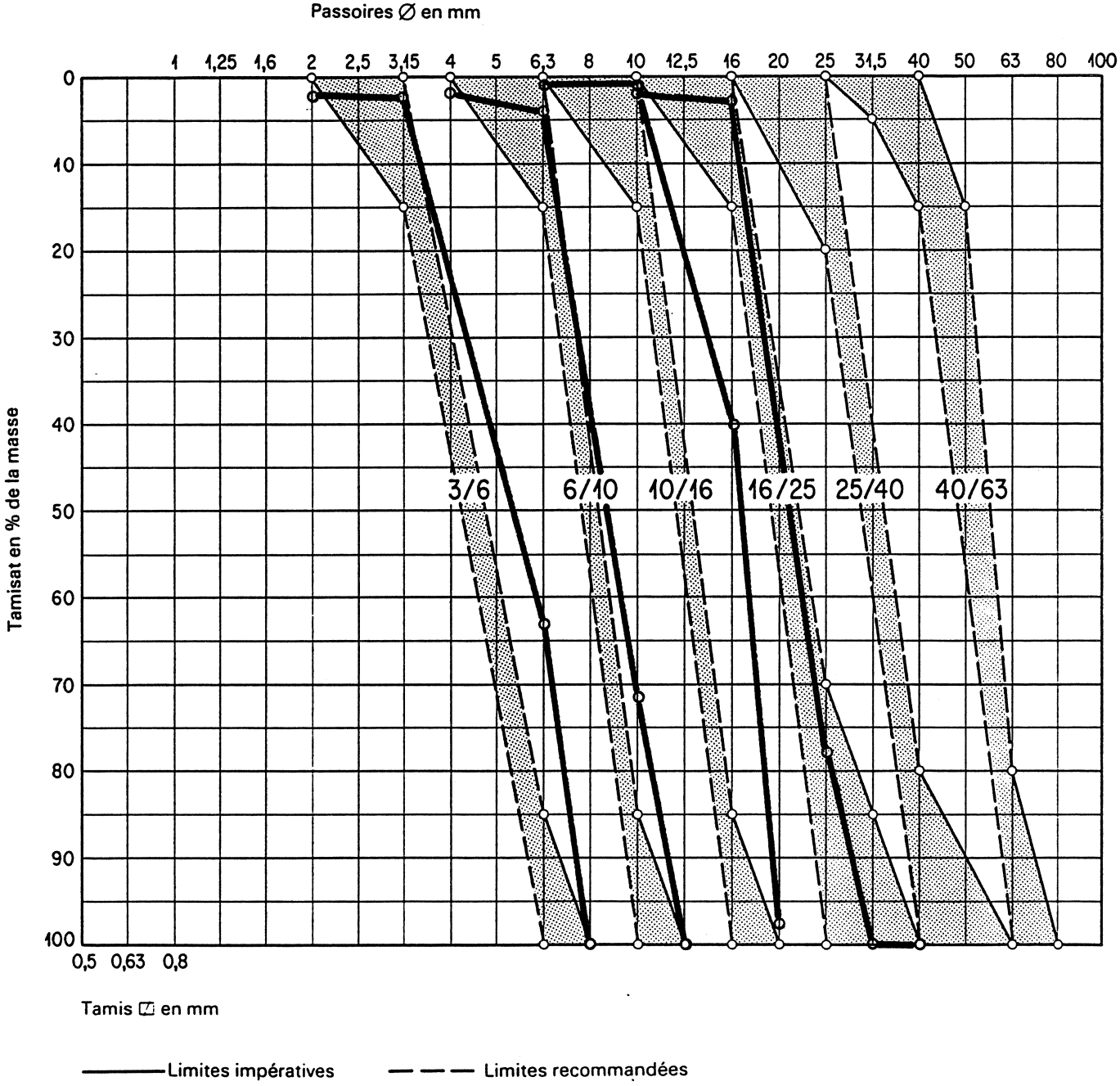
GRANULATS F

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



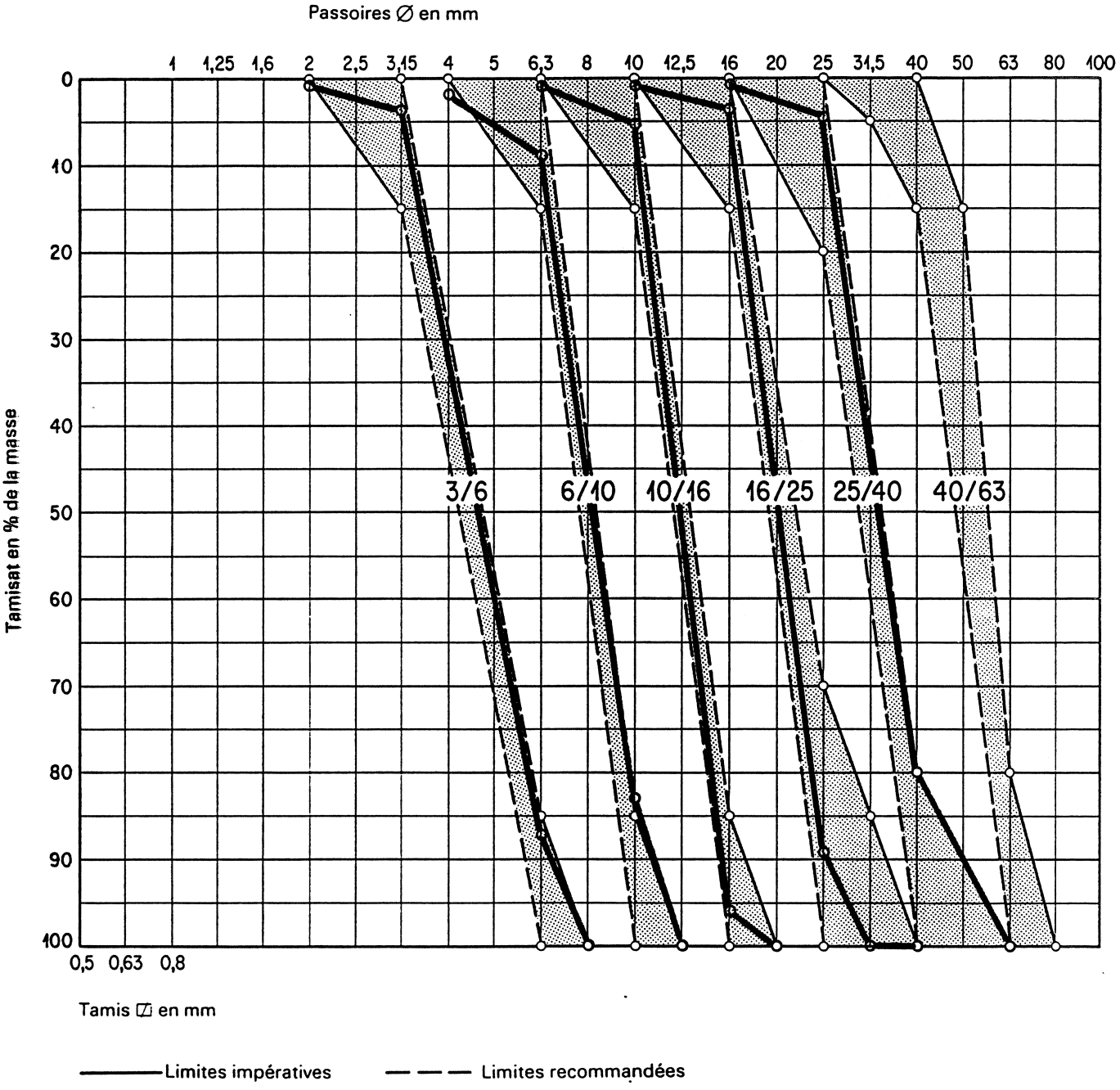
GRANULATS G

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



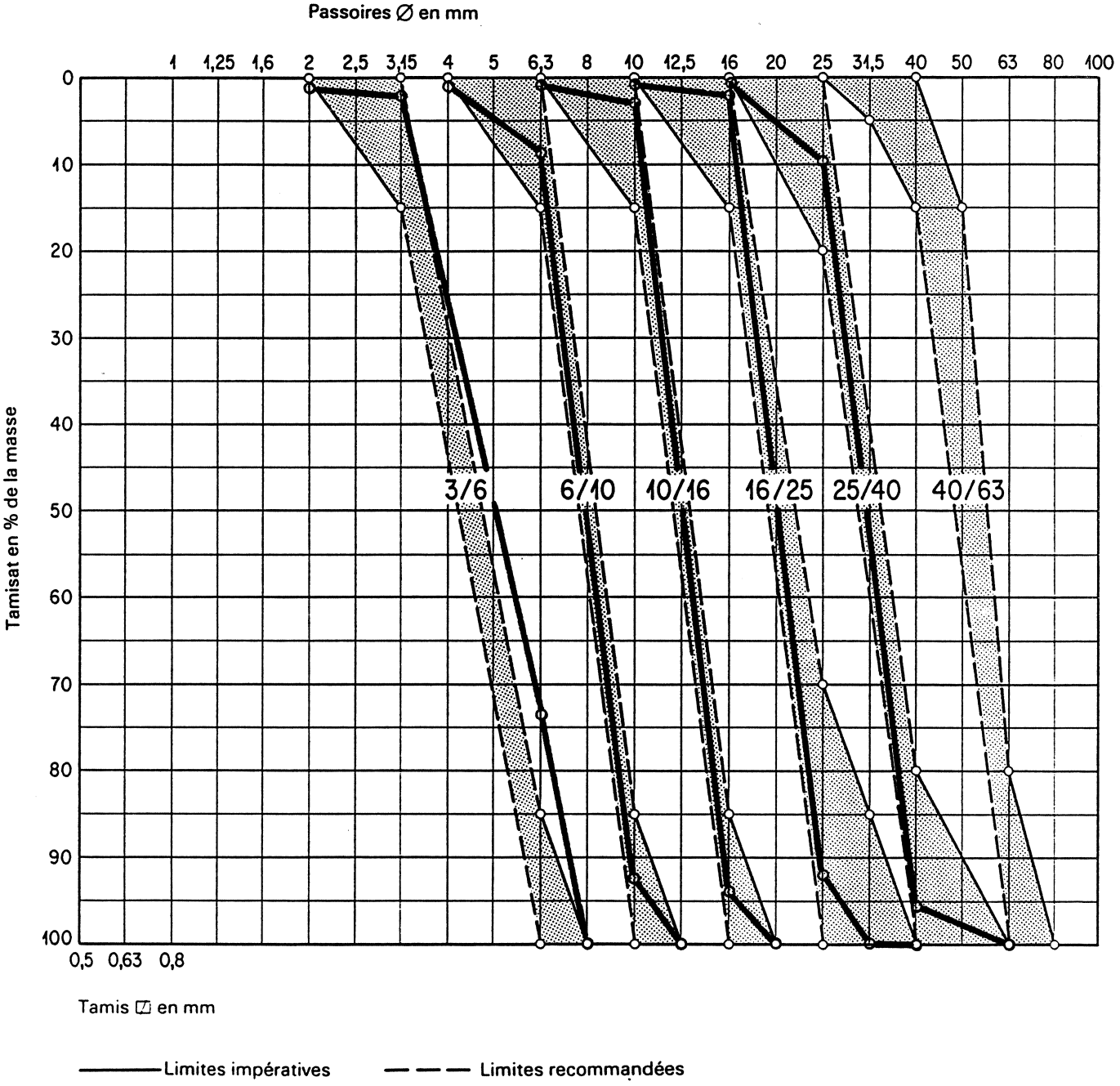
GRANULATS H

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



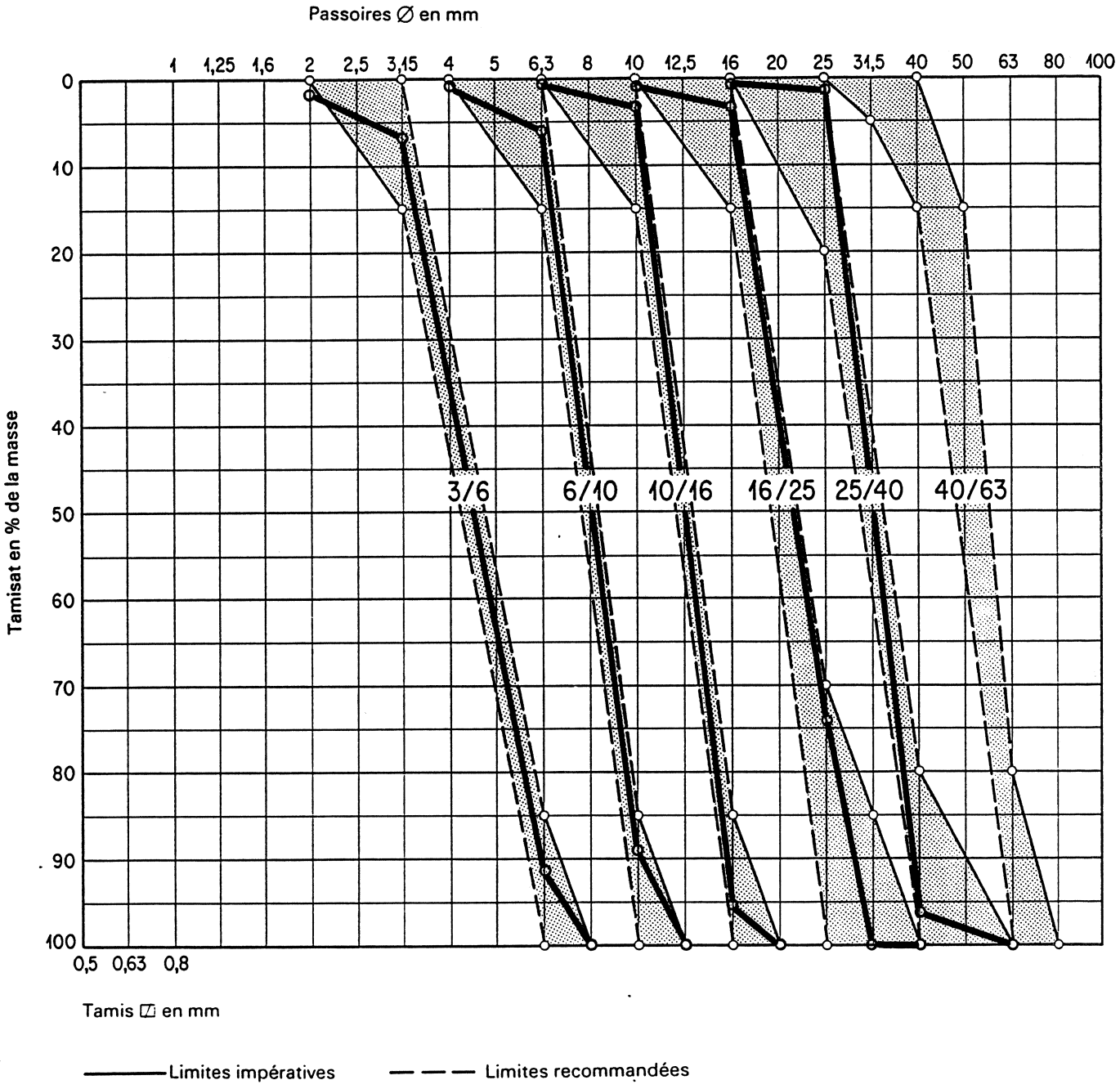
GRANULATS I

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



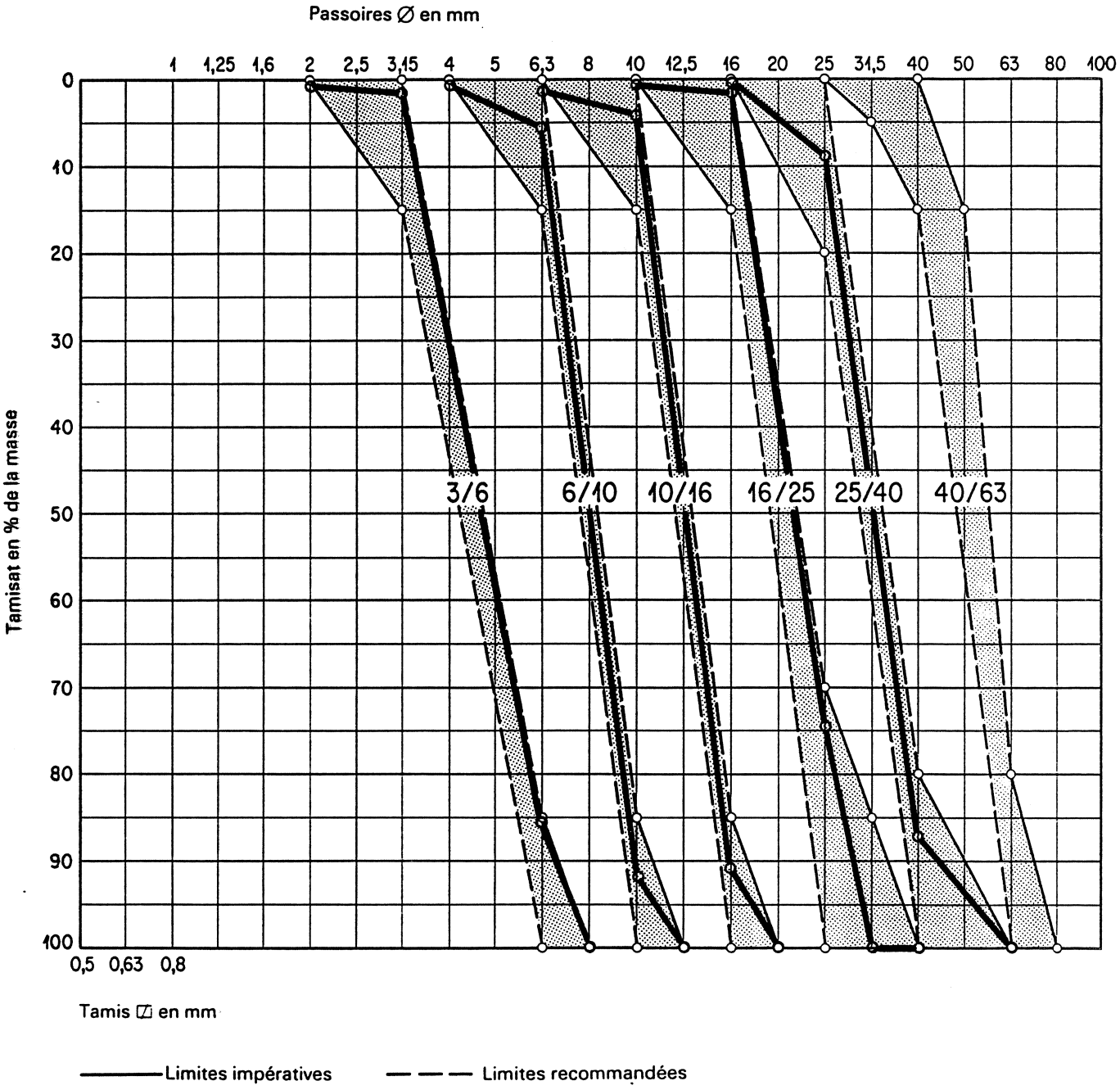
GRANULATS K

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



GRANULATS N

Fuseaux granulométriques pour gravillons et pierres concassées



A N N E X E 2

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

TABLEAU RECAPITULATIF

TAMIS	PASSOIRE THEORIQUE CORRESPONDANT AU TAMIS	RAPPORT DE DIMENSIONS PASSOIRE THEORIQUE/TAMIS
1	1,37	1,37
2	2,47	1,23
4	4,8	1,20
8	9,6	1,20
16	17,1	1,07
31,5	40,5	1,28
	MOYENNE	1,23

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

ETAPES DE L'ESSAI DE TAMISAGE

	PASSOIRE	TAMIS
ETAPE 1	1.000 1.250 1.600	1.000
ETAPE 2	2.000 2.500 3.150	2.000
ETAPE 3	4.000 5.000 6.300	4.000
ETAPE 4	8.000 10.000 12.500	8.000
ETAPE 5	16.000 20.000 25.000	16.000
ETAPE 6	31.500 40.000 50.000	31.500
ETAPE 7	63.000 80.000 100.000	63.000

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 1

CLASSE GRANULOMETRIQUE (0,71; 1,4) Φ

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 1'399 g

POIDS DE LA TARE = 241 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 1,0 mm	A = 810	$a = \frac{A}{P} = 58$	-
Refus sur passoire 1,0 mm	B = 1266	$b = \frac{B}{P} = 90,5$	b/a = 1,56
Refus sur passoire 1,25 mm	C = 993	$c = \frac{C}{P} = 71$	c/a = 1,22
Refus sur passoire 1,6 mm	D = 292	$d = \frac{D}{P} = 21$	d/a = 0,36

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 2

CLASSE GRANULOMETRIQUE (1,4; 2,8) ⌀

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 1'470 g

POIDS DE LA TARE = 241 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 2,0 mm	A = 485	$a = \frac{A}{P} = 33$	-
Refus sur passoire 2,0 mm	B = 1160	$b = \frac{B}{P} = 79$	b/a = 2,39
Refus sur passoire 2,5 mm	C = 459	$c = \frac{C}{P} = 31$	c/a = 0,94
Refus sur passoire 3,15 mm	D = 31	$d = \frac{D}{P} = 2$	d/a = 0,06

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 3

CLASSE GRANULOMETRIQUE (2,8; 5,6) Φ

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 1'548 g

POIDS DE LA TARE = 241 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 4,0 mm	A = 719	$a = \frac{A}{P} = 46$	-
Refus sur passoire 4,0 mm	B = 1253	$b = \frac{B}{P} = 81$	b/a = 1,76
Refus sur passoire 5,0 mm	C = 582	$c = \frac{C}{P} = 38$	c/a = 0,83
Refus sur passoire 6,3 mm	D = 39	$d = \frac{D}{P} = 2,5$	d/a = 0,05

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 4

CLASSE GRANULOMETRIQUE (5,6; 11,2) Φ

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 1'566 g

POIDS DE LA TARE = 241 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 8,0 mm	A = 252	$a = \frac{A}{P} = 16$	-
Refus sur passoire 8,0 mm	B = 1003	$b = \frac{B}{P} = 64$	b/a = 4
Refus sur passoire 10,0 mm	C = 61	$c = \frac{C}{P} = 4$	c/a = 0,25
Refus sur passoire 12,5 mm	D = 0	$d = \frac{D}{P} = 0$	d/a = 0

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 5

CLASSE GRANULOMETRIQUE (11,2; 22,4) ⌀

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 1'965 g

POIDS DE LA TARE = 242 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 16,0 mm	A = 1900	$a = \frac{A}{P} = 97$	-
Refus sur passoire 16,0 mm	B = 1965	$b = \frac{B}{P} = 100$	b/a = 1,03
Refus sur passoire 20,0 mm	C = 1751	$c = \frac{C}{P} = 89$	c/a = 0,92
Refus sur passoire 25,0 mm	D = 463	$d = \frac{D}{P} = 24$	d/a = 0,25

CORRESPONDANCE TAMIS-PASSOIRE

E T A P E 6

CLASSE GRANULOMETRIQUE (22,4; 45) ⌀

POIDS DE L'ECHANTILLON = P = 2'483 g

POIDS DE LA TARE = 240 g

	Refus [g]	Refus [%]	Rapport des refus
Refus sur tamis 31,5 mm	A = 1434	$a = \frac{A}{P} = 58$	-
Refus sur passoire 31,5 mm	B = 2174	$b = \frac{B}{P} = 88$	b/a = 1,52
Refus sur passoire 40,0 mm	C = 1470	$c = \frac{C}{P} = 59$	c/a = 1,02
Refus sur passoire 50,0 mm	D =	$d = \frac{D}{P} =$	d/a =

ETAPE 1

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 1,0 mm
Passoires : 1,0 mm
1,25 mm
1,6 mm
Passoire théorique équivalente : 1,37
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1,37

1.6 1.3 1.0 0.7 0.4
1.56
1.22
1.37
1.0 1.25 1.6 PASSOIRE [mm]
0.36

ETAPE 2

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 2,0 mm
Passoires : 2,0 mm
2,5 mm
3,15 mm
Passoire théorique équivalente : 2.47
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1.23

2.0 1.5 1.0 0.94 0.5 0.0
2.39
2.47
2.0 2.5 3.15 PASSOIRE [mm]
0.06

ETAPE 3

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 4,0 mm
Passoires : 4,0 mm
5,0 mm
6,3 mm
Passoire théorique équivalente : 4.8
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1.20

2.0 1.5 1.0 0.5 0.0
1.76
4.80
6.3
4.0 5.0 PASSOIRE [mm]
0.83
0.05

ETAPE 4

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 8,0 mm
Passoires : 8,0 mm
10,0 mm
12,0 mm
Passoire théorique équivalente : 9.6
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1.20

4.0 2.5 1.0 0.25 0.0
4.0
9.6
8.0 10.0 12.5 PASSOIRE [mm]

ETAPE 5

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 16,0 mm
Passoires : 16,0 mm
20,0 mm
25,0 mm
Passoire théorique équivalente : 17,10
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1,07

2.0 1.5 1.0 0.92 0.5 0.0
1.03
17.6
16.0 20.0 25.0 PASSOIRE [mm]
0.25

ETAPE 6

RAPPORT DES REFUS

Tamis : 32,5 mm
Passoires : 31,5 mm
40,0 mm
50,0 mm
Passoire théorique équivalente : 40,50
Rapport des dimensions :
- Passoire théorique/tamis = 1,28

1.5 1.25 1.0 0.75
1.52
40.5
1.02
31.5 40.0 50.0 PASSOIRE [mm]

A N N E X E 3

ESSAI DE DOUBLE GRANULOMETRIE

ANALYSE D'UN ENROBE HYDROCARBONE

MANDANT : OFFICE FEDERAL DES ROUTES
TYPE D'ENROBE : CARRIERE D'ARVEL (A)
DATE DE RECEPTION : 24.01.86
DATE DE L'ESSAI : 06.04.87
OPERATEUR(S) : KELLENBERGER

GRANULOMETRIE PAR TAMISAGE A SEC

MASSE TOTALE INITIALE : 15992.0 (G)
MASSE TOTALE APRES TAMISAGE : 15986.0 (G) (PERTE : 0.04 %)

Passoire/tamis (mm)	Refus cumulé (G)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé	% par classe
40	0.0	0.00	100.00	0.00
31,5	1237.0	7.74	92.26	7.74
25	4174.0	26.10	73.90	18.37
16	6483.0	40.54	59.46	14.44
10	9305.0	58.19	41.81	17.65
6,3	11494.0	71.87	28.13	13.69
3,15	13601.0	85.05	14.95	13.18
1,6	14650.0	91.61	8.39	6.56
0,63	15209.0	95.10	4.90	3.50
0,315	15553.0	97.25	2.75	2.15
0,16	15743.0	98.44	1.56	1.19
0,08	15863.0	99.19	0.81	0.75
fond	15992.0	100.00	0.00	0.81

ESSAI DE DOUBLE GRANULOMETRIE

ANALYSE D'UN ENROBE HYDROCARBONE

MANDANT : OFFICE FEDERAL DES ROUTES
TYPE D'ENROBE : CARRIERE D'ARVEL
DATE DE RECEPTION : 24.01.86
DATE DE L'ESSAI : 07.04.87
OPERATEUR(S) : KELLENBERGER

GRANULOMETRIE PAR TAMISAGE A SEC

MASSE TOTALE INITIALE : 15986.0 (G)
MASSE TOTALE APRES TAMISAGE : 15975.0 (G) (PERTE : 0.07 %)

Tamis (mm)	Refus cumulé (G)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé	% par classe
45,0	0.0	0.00	100.00	0.00
31,5	442.0	2.76	97.24	2.76
22,4	3401.0	21.27	78.73	18.51
11,2	8104.0	50.69	49.31	29.42
5,6	11309.0	70.74	29.26	20.05
2,8	13364.0	83.60	16.40	12.85
2,0	13960.0	87.33	12.67	3.73
1,4	14417.0	90.19	9.81	2.86
0,71	15151.0	94.78	5.22	4.59
0,355	15498.0	96.95	3.05	2.17
0,18	15704.0	98.24	1.76	1.29
0,09	15851.0	99.16	0.84	0.92
fond	15986.0	100.00	0.00	0.84

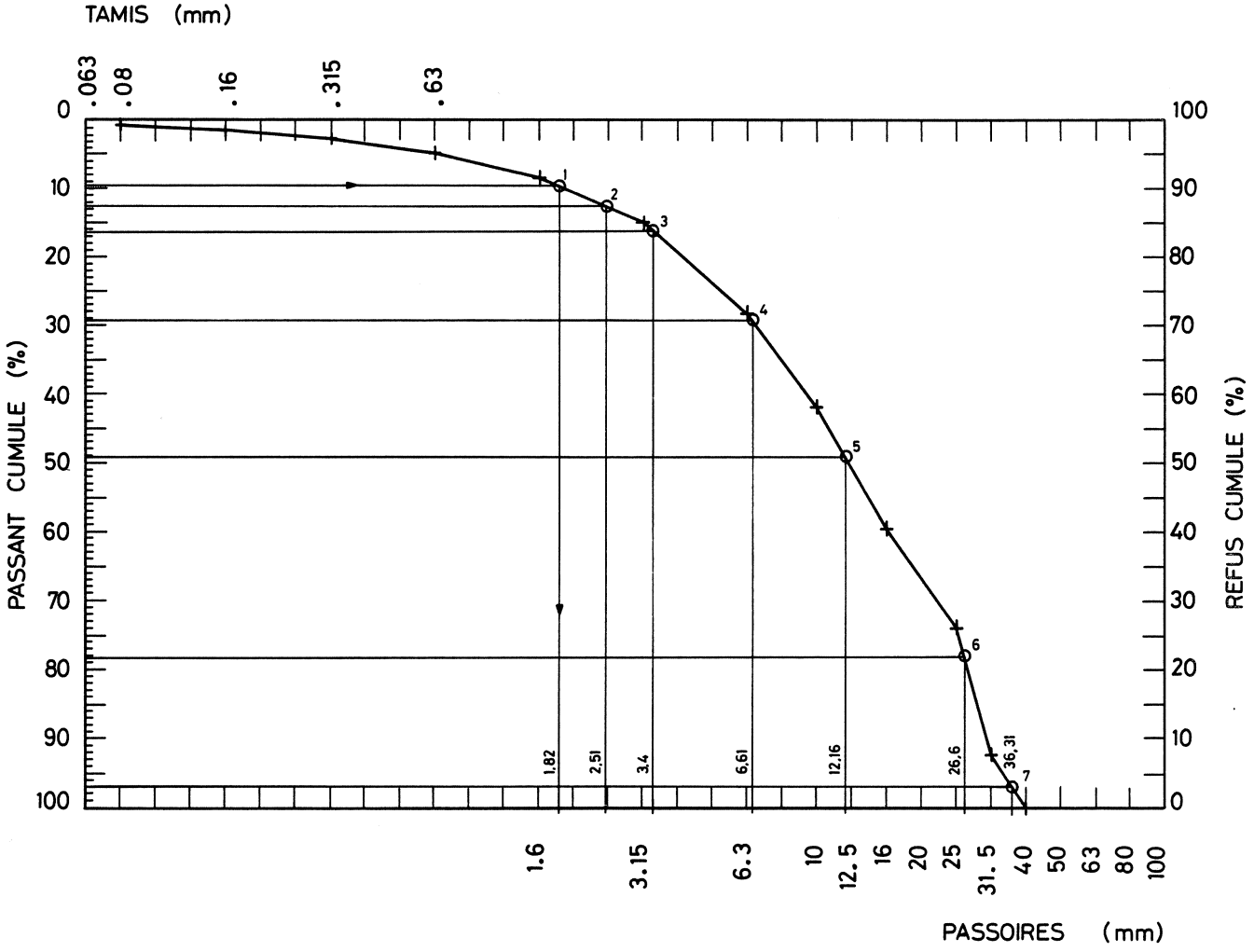
ESSAI DE DOUBLE GRANULOMETRIE

TECHNIQUE DE L. FERET

TRANSFORMATION DES TAMIS EN PASSOIRES :

SOIT 10 % DE GRANULATS RETENUS SUR UN TAMIS. LE 10 % EST REPORTE EN ORDONNEES SUR LA COURBE GRANULOMETRIQUE DE L'ECHANTILLON. CELA PERMET DE RETROUVER EN ABSCISSE LA PASSOIRE CORRESPONDANT AU TAMIS EN QUESTION.

AT/OFLOSA004ANX.TXT


TAMIS (mm)
.063
.08
.16
.315
.63
PASSANT CUMULE (%)
REFUS CUMULE (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
1
2
3
4
5
6
7
1,82
2,51
3,4
6,61
12,16
26,6
36,31
1.6
3.15
6.3
10
12.5
16
20
25
31.5
40
50
63
80
100
PASSOIRES (mm)

A N N E X E 4

CLASSE	GRANULAT	GRANULAT Φ sur Φ 1,4 mm	GRANULATS Ø sur Ø 2,0 mm
3/6	A	15,0	16,8
	B	13,8	16,1
	C	15,4	17,1
6/11	A	13,1	15,4
	B	16,3	18,3
	C	19,5	20,8
11/16	A	12,7	13,4
	B	18,8	19,9
	C	17,3	19,6
16/22	A	11,1	12,9
	B	21,7	22,7
	C	19,6	20,7

COEFFICIENT DE CORRELATION : $r^2 = 0,97$
$a = 0,93$
$b = 2,80$

DROITE DE REGRESSION : $y = a\,x + b$
$y = 0,93\,x + 2,80$

CLASSE	GRANULAT	GRANULAT Φ sur Φ 1,6 mm	GRANULATS Ø sur Ø 2,0 mm
3/6	A	16,5	16,8
	B	16,3	16,1
	C	17,3	17,1
6/11	A	13,6	15,4
	B	18,4	18,3
	C	21,7	20,8
11/16	A	13,0	13,4
	B	17,1	19,9
	C	18,9	19,6
16/22	A	10,2	12,9
	B	22,9	22,7
	C	20,1	20,7

COEFFICIENT DE CORRELATION : $r^2 = 0,91$
$a = 0,8$
$b = 4,1$

DROITE DE REGRESSION : $y = a\,x + b$
: $y = 0,93\,x + 2,80$

CLASSE	GRANULAT	GRANULAT ⌀ sur ⌀ 2,0 mm	GRANULATS Ø sur Ø 2,0 mm
3/6	A	18,7	16,8
	B	17,6	16,1
	C	19,1	17,1
6/11	A	15,5	15,4
	B	19,7	18,3
	C	23,6	20,8
11/16	A	13,9	13,4
	B	21,6	19,9
	C	19,6	19,6
16/22	A	11,7	12,9
	B	24,3	22,7
	C	21,3	20,7

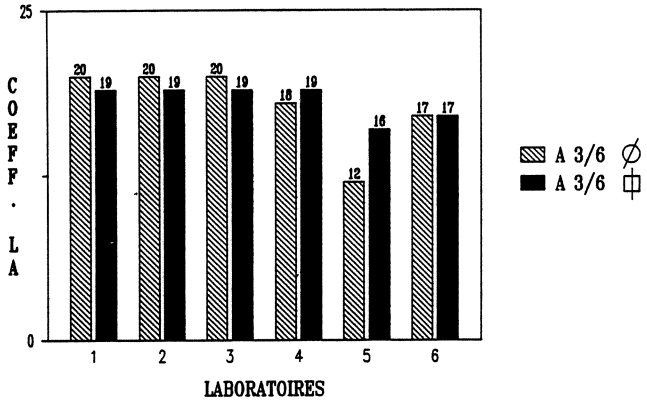
COEFFICIENT DE CORRELATION : $r^2 = 0,94$
$a = 0,79$
$b = 2,93$

DROITE DE REGRESSION : $y = a\,x + b$
$y = 0,93\,x + 2,80$

A N N E X E 5

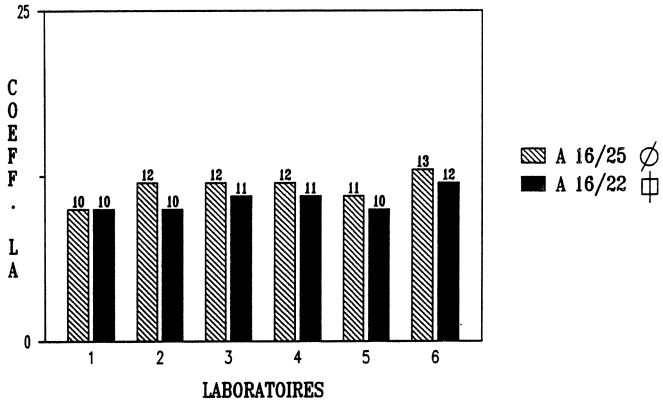
RESULTATS DU RING-LOS

OFLOSA001TRV.DT



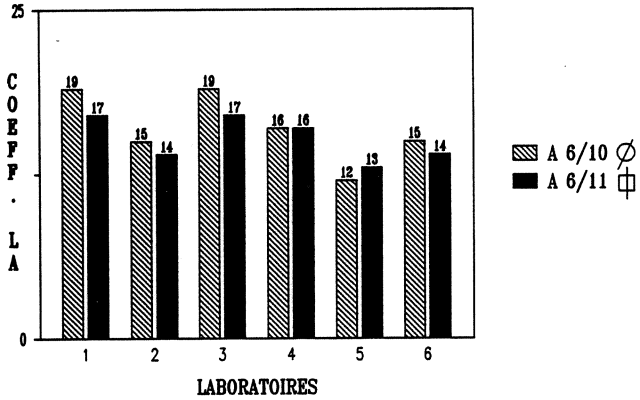
RESULTATS DU RING-LOS

OFLOSA004TRV.DT



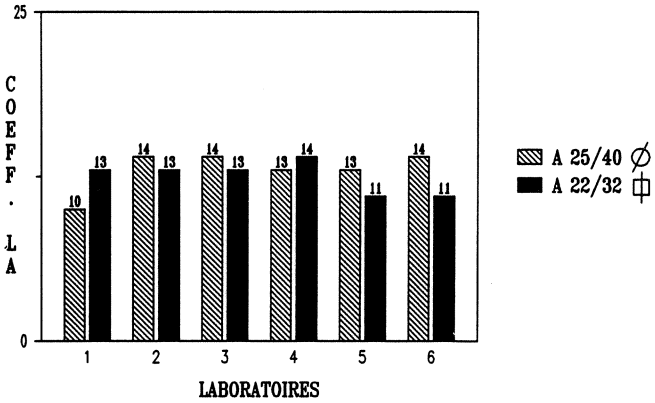
RESULTATS DU RING-LOS

OFLOSA002TRV.DT



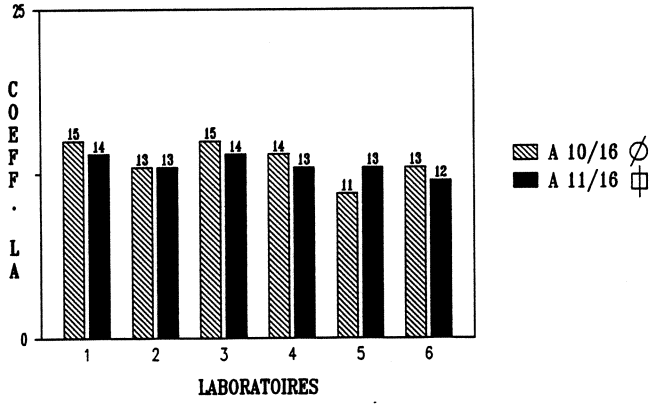
RESULTATS DU RING-LOS

OFLOSA005TRV.DT



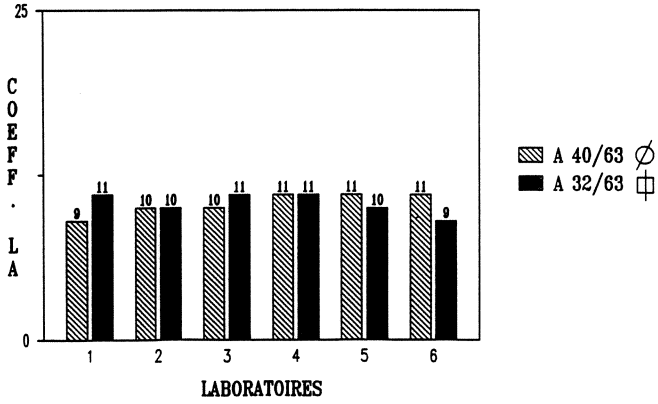
RESULTATS DU RING-LOS

OFLOSA003TRV.DT



RESULTATS DU RING-LOS

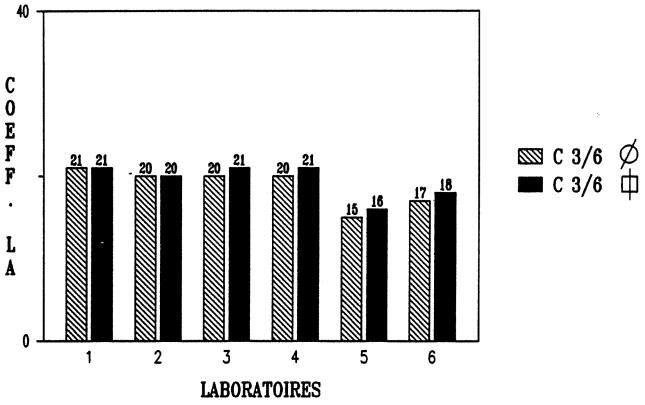
OFLOSA006TRV.DT



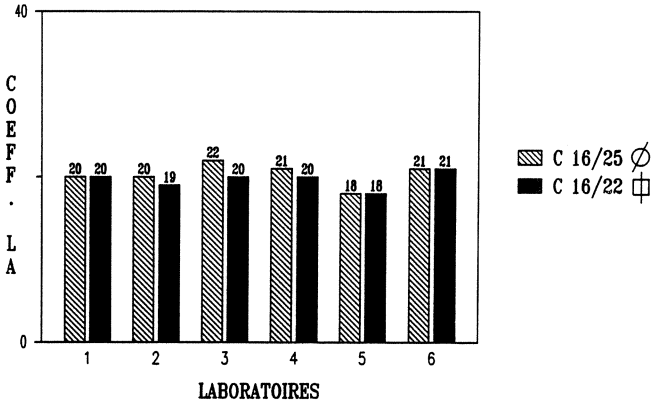
GRANULAT : A Ø
A Φ

LABORATOIRE		CLASSE GRANULOMETRIQUE					
	Ø	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	Φ	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
1		20	19	15	10	10	9
		19	17	14	10	13	11
2		20	15	13	12	14	10
		19	14	13	10	13	10
3		20	19	15	12	14	10
		19	17	14	11	13	11
4		18	16	14	12	13	11
		19	16	13	11	14	11
5		12	12	11	11	13	11
		16	13	13	10	11	10
6		17	15	13	13	14	11
		17	14	12	12	11	9
MOYENNE		18	16	14	12	13	10
		18	15	13	11	13	10
ECART TYPE		3	3	2	1	2	1
		1	2	1	1	1	1

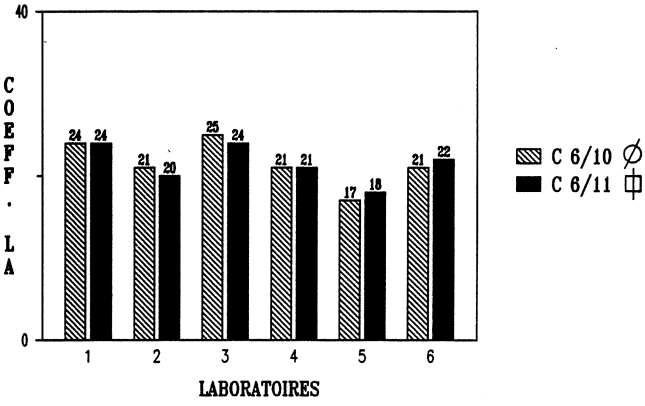
RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA007TRV.DT



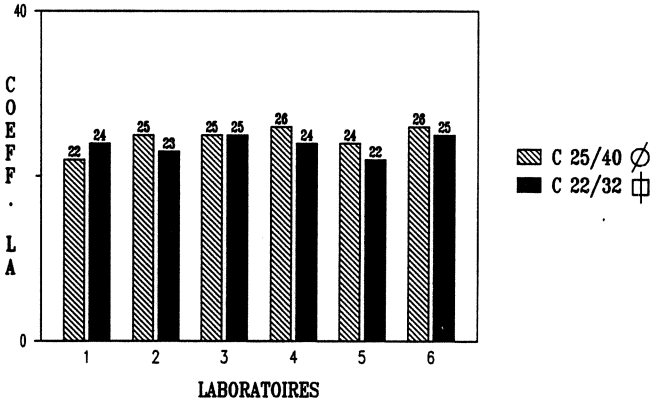
RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA010TRV.DT



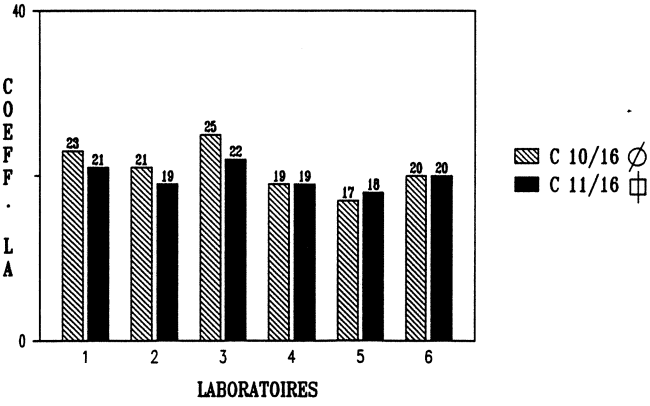
RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA008TRV.DT



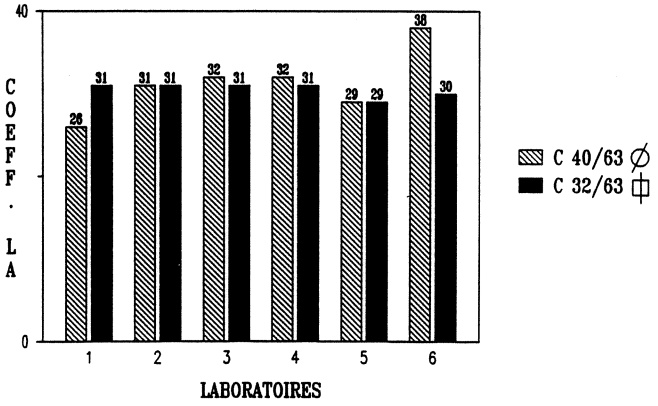
RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA011TRV.DT



RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA009TRV.DT



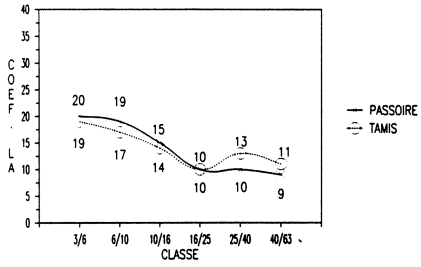
RESULTATS DU RING-LOS
OFLOSA012TRV.DT



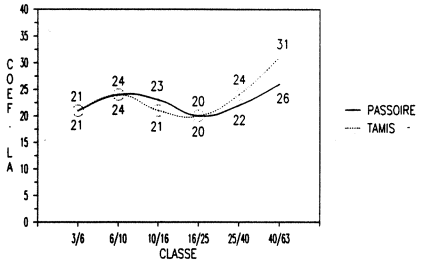
GRANULAT : C Ø
C ⊕

LABORATOIRE		CLASSE GRANULOMETRIQUE					
	Ø	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
	⊕	3/6	6/11	11/16	16/22	22/32	32/63
1		21	24	23	20	22	26
		21	24	21	20	24	31
2		20	21	21	20	25	31
		20	20	19	19	23	31
3		20	25	25	22	25	32
		21	24	22	20	25	31
4		20	21	19	21	26	32
		21	21	19	20	24	31
5		15	17	17	18	24	29
		16	18	18	18	22	29
6		17	21	20	21	26	38
		18	22	20	21	25	30
MOYENNE		19	22	21	20	25	31
		20	22	20	20	24	31
ECART TYPE		2	3	3	1	2	4
		2	2	1	1	1	1

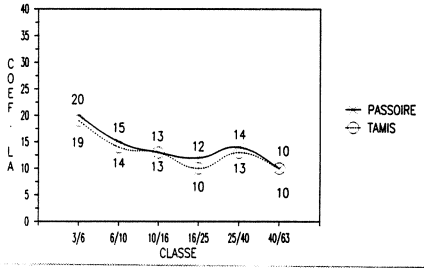
GRANULAT A - LABORATOIRE 1



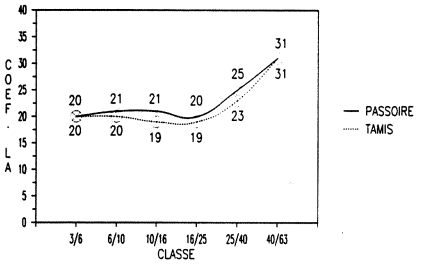
GRANULAT C - LABORATOIRE 1



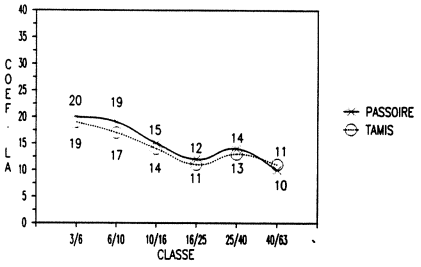
GRANULAT A - LABORATOIRE 2



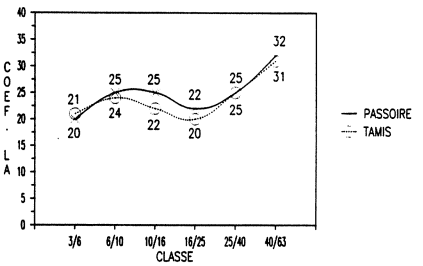
GRANULAT C - LABORATOIRE 2



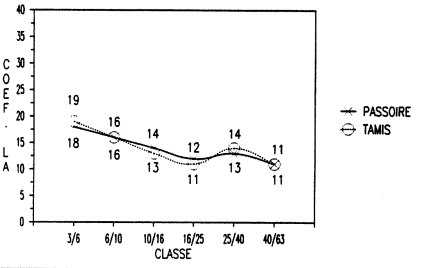
GRANULAT A - LABORATOIRE 3



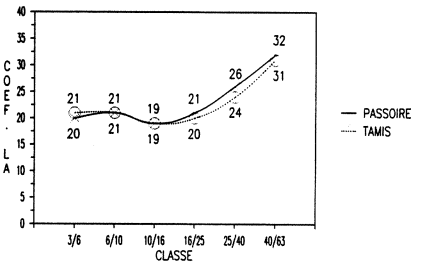
GRANULAT C - LABORATOIRE 3



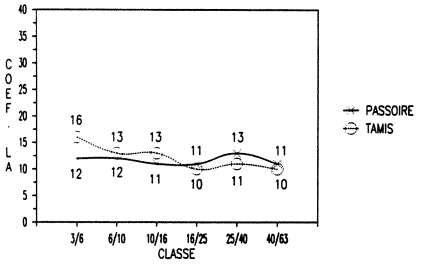
GRANULAT A - LABORATOIRE 4



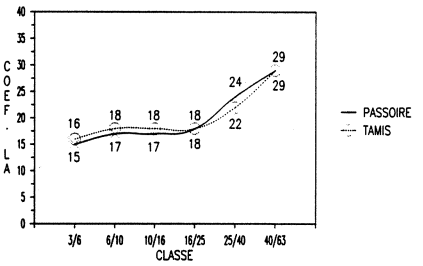
GRANULAT C - LABORATOIRE 4



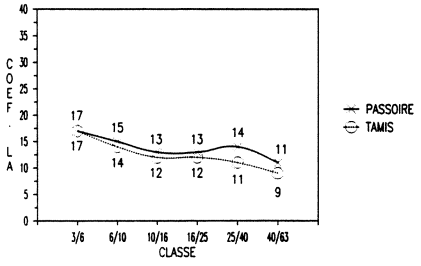
GRANULAT A - LABORATOIRE 5



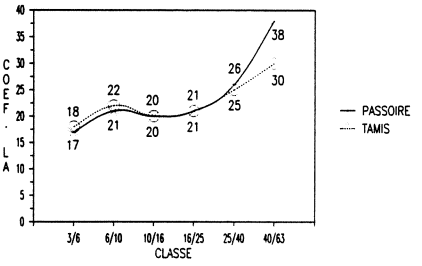
GRANULAT C - LABORATOIRE 5



GRANULAT A - LABORATOIRE 6



GRANULAT C - LABORATOIRE 6



A N N E X E 6

LAVOC-EPFL
1015 LAUSANNE
TEL (021) 472346

DATE: 05/07/88

OFLOSA202LOS.MATH

ESSAI DE CHOC LOS-ANGELES (SNV 670 835)

MANDANT : OFFICE FEDERAL DES ROUTES
PROVENANCE : BILLES DE VERRE, DIAMETRE 8 MM
DATE DE RECEPTION : JUIN 88, ESSAI DE REPETABILITE
DATE DE L'ESSAI : JUILLET 88
OPERATEUR(S) : J.C. GROSS

CLASSE GRANULO-METRIQUE (MM)	NB DE BOULETS	NB DE TOURS	MASSE TOTALE AVANT ESSAI (G)	MASSE >2.0 MM APRES ESSAI (G)	COEF. LOS ANGELES PAR ESSAI	ECART ADMIS (<5%)	COEF. LOS ANGELES DETERM.
6/11	8	800	4987	3813	23.5	6.7	25.2
			5001	3654	26.9		
6/11	8	800	5003	3522	29.6	1.6	29.1
			4986	3556	28.7		
6/11	8	800	5004	3891	22.2	9.3	24.5
			5003	3663	26.8		
6/11	8	800	4999	3582	28.3	1.2	28.7
			4999	3547	29.0		
6/11	8	800	5000	3520	29.6	1.4	30.0
			4998	3478	30.4		

NB: Les écarts encadrés sont ceux obtenus pour le premier essai Los Angeles effectué avec des billes de verre. En effet la livraison des billes de verres ayant été faite en deux temps nous avons d'abord effectué deux essais Los Angeles. Nous constatons un écart de 6.7 pour le premier essai. Par la suite en poursuivant cet essai de répétabilité nous constatons à nouveau un grand écart (9.3) pour le premier essai. Cet écart diminue par la suite. La fiche OFLOSA302LOS.MATH montre la répétabilité de l'essai avec des billes de verre, le premier essai de la série ayant été éliminé.

LAVOC-EPFL
1015 LAUSANNE
TEL (021) 472346

DATE: 05/07/88

OFLOSA302LOS.MATH

ESSAI DE CHOC LOS-ANGELES (SNV 670 835)

MANDANT : OFFICE FEDERAL DES ROUTES
PROVENANCE : BILLES DE VERRE, DIAMETRE 8 MM
DATE DE RECEPTION : JUIN 88, ESSAI DE REPRODUCTIBILITE
DATE DE L'ESSAI : JUILLET 88
OPERATEUR(S) : J.C. GROSS

CLASSE GRANULO-METRIQUE (MM)	NB DE BOULETS	NB DE TOURS	MASSE (G) TOTALE AVANT ESSAI	MASSE (G) >2.0 MM APRES ESSAI	COEF. LOS ANGELES PAR ESSAI	ECART ADMIS (<5%)	COEF. LOS ANGELES DETERM.
			4999	3582	28.3		
6/11	8	800				1.2	28.7
			4999	3547	29.0		
			5000	3520	29.6		
6/11	8	800				1.4	30.0
			4998	3478	30.4		
			4999	3540	29.2		
6/11	8	800				2.8	28.4
			4998	3620	27.6		
			4994	3461	30.7		
6/11	8	800				1.5	30.2
			5000	3511	29.8		
			5005	3490	30.3		
6/11	8	800				1.8	29.7
			4999	3539	29.2		

R E P E T A B I L I T E

ESSAI LOS ANGELES EFFECTUE AVEC LE GRANULAT B
CLASSE 6/11
TAMIS ф 1.6 mm

ESSAI N°	Poids initial [g]	Poids final [g]	Coef. LA [%]
1	5001	4045	19.1
2	5001	4036	19.3
3	5001	4029	19.4
4	5000	4034	19.3
5	5001	4036	19.3
6	5000	4034	19.3
7	5001	4029	19.4
8	5000	4034	19.3
9	5001	4035	19.3
10	5001	4040	19.2

A N N E X E 7

ANALYSE DE MATERIAUX

- NATURE PETROGRAPHIQUE
- PROPORTION DE GRAINS DURS
- FORME ET ARRONDI DES GRAINS

Matériau A

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Grès alpin en quartz provenant de formations de flysch, grains de taille moyenne, de couleur gris foncé à brun rouille; parfois intercalé de schistes phylliteux; très solide et compact, dur.	94	93	97	98	98	100
Grès intercalé de schistes phylliteux, gris foncé à noir; peu solide et fissile; supporte mal le gel; dureté moyenne à faible	6	7	3	2	2	0
Proportion totale						
- de grains durs	94	93	97	98	98	100
- de grains de dureté moyenne	2	3	2	2	2	0
- de grains de dureté faible	4	4	1	0	0	0
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	34	31	27	28	36	25
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0

Matériau B

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Calcaire alpin à grains très fins (compacts), gris clair à gris foncé.; peu à très dolomitique. Solide et compact.	82	70	64	62	69	66
Dolimies à grains fins, gris clair à rouge violet ou rose, parfois d'aspect marbré; solide et compact; dureté moyenne.	18	30	36	38	31	34
Proportion totale						
- de grains durs	0	0	0	0	0	0
- de grains de dureté moyenne	100	100	100	100	100	100
- de grains de dureté faible	0	0	0	0	0	0
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	28	22	20	19	22	18
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0

Matériau C

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Calcaire colithique de type Jura, parfois avec des veines de calcaire spathique, entremêlé de sutures et de veinules; granulométrie fine et compacité moyenne; dureté moyenne.	92	94	93	95	88	90
Calcaire du Jura gris clair à gris foncé, semblable au précédent; dureté moyenne.	6	5	7	5	12	10
Calcaire spathique blanc à grains grossiers, cassants, veinés; dureté faible.	2	1	0	0	0	0
Proportion totale						
- de grains durs	0	0	0	0	0	0
- de grains de dureté moyenne	98	99	100	100	100	100
- de grains de dureté faible	2	1	0	0	0	0
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	27	24	19	17	20	21
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0

Matériau D

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Calcaire siliceux gris foncé à noir, à grains fins; en général massif; parfois légèrement schisteux; parfois isolé dans des roches siliceuses cennéennes et du calcaire gréseux; très solide et compact; dur.	91	90	92	89	90	88
Calcaire alpin gris foncé à brun à grains très fins; en partie spathique et sableux; solide et compact; dureté moyenne.	7	8	7	10	9	12
Calcaire spathique blanc grossièrement cristallisé, formant des veines ainsi que des parties schisteuses isolées; dureté faible.	2	2	1	1	1	0
Proportion totale						
- de grains durs	91	90	92	89	90	88
- de grains de dureté moyenne	7	8	7	10	9	12
- de grains de dureté faible	2	2	1	1	1	0
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	45	53	47	38	39	32
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0

Matériau E

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Calcaire siliceux gris foncé à gris vert; grains fins à moyens; passant parfois à des marbres siliceux; en général riche en biotite; solide et compact; dur.	36	35	36	37	39	41
Marbre siliceux légèrement spathique, gris foncé à gris brun; parfois dans des roches siliceuses; en général riche en biotite et par conséquent assez friable; dureté moyenne.	52	54	54	56	55	52
Calcaire marbré gris clair grossièrement cristallisé, pauvre en silice; friable; dureté moyenne.	6	7	6	5	4	5
Quartz en filons; solide et compact; dur.	3	2	2	1	1	0
Calcaire spathique grossièrement cristallisé en filons ainsi que schistes à biotite peu fissiles; associées: roches altérées isolées; friables; dureté faible.	3	2	2	1	1	2
Proportion totale						
- de grains durs	65	64	65	66	67	67
- de grains de dureté moyenne	32	34	33	33	32	31
- de grains de dureté faible	3	2	2	1	1	2
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	28	27	27	24	25	23
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0

Matériau F

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Grès provenant de formations de flysch, gris, riche en quartz; en général très micacé, parfois avec des veines de calcaire spathique; solide et compact; dur.		87				
Calcaire siliceux gris foncé, à grains très fins; en général légèrement schisteux; solide et compact; dur.		11				
Schistes phylliteux gris foncé; légèrement fissile et sensible au gel; dureté faible.		2				
Proportion totale						
- de grains durs		98				
- de grains de dureté moyenne		0				
- de grains de dureté faible		2				
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques		56				
- " peu arrondis		0				
- " arrondis		0				

Matériau H

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Surtout grès de type alpin, gris à rouge brunâtre, à grains fins et riches en quartz; parfois dans des roches siliceuses cornéennes; solide et compact; dur.	41	42	39	43	42	
Calcaire siliceux et calcaire gréseux gris foncé à jaune brunâtre; parfois dans des roches siliceuses cornéennes; solide et compact; dur.	25	24	24	26	25	
Roches cristallines (granites, quartzites, roches vertes) ainsi que beaucoup de roches siliceuses cornéennes; quelques quartz dans les veines; résistant à la pression et compact; toutefois cassant; dur.	21	21	22	18	20	
Calcaire alpin à grains très fins gris clair à foncé ainsi que Dolomies (env. 3:2); de sableux à graveleux; solide et compact; dureté moyenne.	12	12	14	13	13	
Roches altérées, tendres et poreuses, calcaire spathique cassant provenant de veines.	1	1	1	0	0	
Proportion totale						
- de grains durs	87	83	85	87	87	
- de grains de dureté moyenne	12	12	14	13	13	
- de grains de dureté faible	1	1	1	0	0	
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	20	19	13	17	19	
- " peu arrondis	5	13	25	13	18	
- " arrondis	0	0	0	0	0	

Matériau I

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Roches cristallines (granites, quartzites, quelques roches vertes) ainsi que des grains de quartz et de roche siliceuse cornéenne provenant de veines et de nodules; légèrement cassant; résistant à la pression et compact; dur.	61	57	52	58		
Grès alpin gris à rouille, à grains fins, riches en quartz, parfois disséminés dans roches siliceuses cornéennes; solide et compact; dur.	22	23	26	26		
Calcaire siliceux et calcaire gréseux gris foncé, à grains fins parfois disséminés dans roches siliceuses cornéennes; solide et compact. dur.	12	13	13	12		
Calcaire type Jura brun clair, à grains très fins, ainsi que calcaire alpin isolé; parfois légèrement sableux à graveleux; solide et compact; dureté moyenne.	4	7	8	4		
Roches altérées et poreuses, calcaire spathique grossièrement cristallisé provenant de veines.	1	0	1	0		
Proportion totale						
- de grains durs	95	93	91	96		
- de grains de dureté moyenne	4	7	8	4		
- de grains de dureté faible	1	0	1	0		
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	36	34	27	26		
- " peu arrondis	2	5	16	24		
- " arrondis	0	1	0	0		

Matériau K

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Grès alpin gris à rouille, à grains fins riches en quartz; parfois disséminés dans des roches siliceuses cornéennes; solide et compact; dur.	37	38	41	40	40	
Calcaire siliceux et calcaire gréseux gris foncé, à grains fins parfois disséminés dans roches siliceuses cornéennes; solide et compact. dur.	23	23	25	27	25	
Roches cristallines (granites, quartzites et quelques roches vertes) et de nombreuses roches siliceuses cornéennes provenant de nodules filoniens; parfois quelques quartz provenant de veines; solide et compact, toutefois légèrement dur.	17	19	17	16	19	
Calcaire type alpin gris foncé à gris brun, à grains très fins; quelques dolomies; parfois légèment sableux à graveleux; solide et compact; dureté moyenne.	22	19	16	17	16	
Roches altérées tendres et poreuses, ainsi que des calcaires spathiques cassants grossièrement cristallisés provenant de veines. de et compact; dureté moyenne.	1	1	1	0	0	
Proportion totale						
- de grains durs	77	80	83	83	84	
- de grains de dureté moyenne	22	19	16	17	16	
- de grains de dureté faible	1	1	1	0	0	
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	25	24	18	23	21	
- " peu arrondis	6	15	23	36	42	
- " arrondis	0	1	0	1	0	

Matériau N

	Granulométrie					
	3/6	6/10	10/16	16/25	25/40	40/63
Nature pétrographique : (proportion en % masse)						
Calcaire siliceux et calcaire gréseux gris foncé à grains fins; parfois disséminés dans des grès alpins et des roches siliceuses cornéennes; solide et cmpact; dur	90	89	89	91	90	81
Grès alpins gris à rouille, à grains fins, fractions quartziques provenant de veines; solide et compact; dur.	6	8	8	6	7	6
Calcaire alpin gris clair à foncé à grains très fins; parfois légèrement sableux à graveleux; solide et compact; dureté moyenne.	3	2	2	2	2	3
Partie micacée à intercalations phylliteuses, légèrement fissile et sensible au gel.	2	1	1	1	1	0
Proportion totale						
- de grains durs	96	97	97	97	97	97
- de grains de dureté moyenne	3	2	2	2	2	3
- de grains de dureté faible	2	1	1	1	1	0
Forme des grains et arrondi (proportion en %)						
- grains non cubiques	25	26	24	23	23	24
- " peu arrondis	0	0	0	0	0	0
- " arrondis	0	0	0	0	0	0