

UNIVERSITE DE TLEMCEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de Génie Civil

COURS DE **MATERIAUX DE CONSTRUCTION**

Licence 2 en Génie Civil

CHAP. II. Les granulats

Equipe Pédagogique de la matière matériaux de construction

Pr GHOMARI F. et Pr BEZZAR A.

2.1. INTRODUCTION :

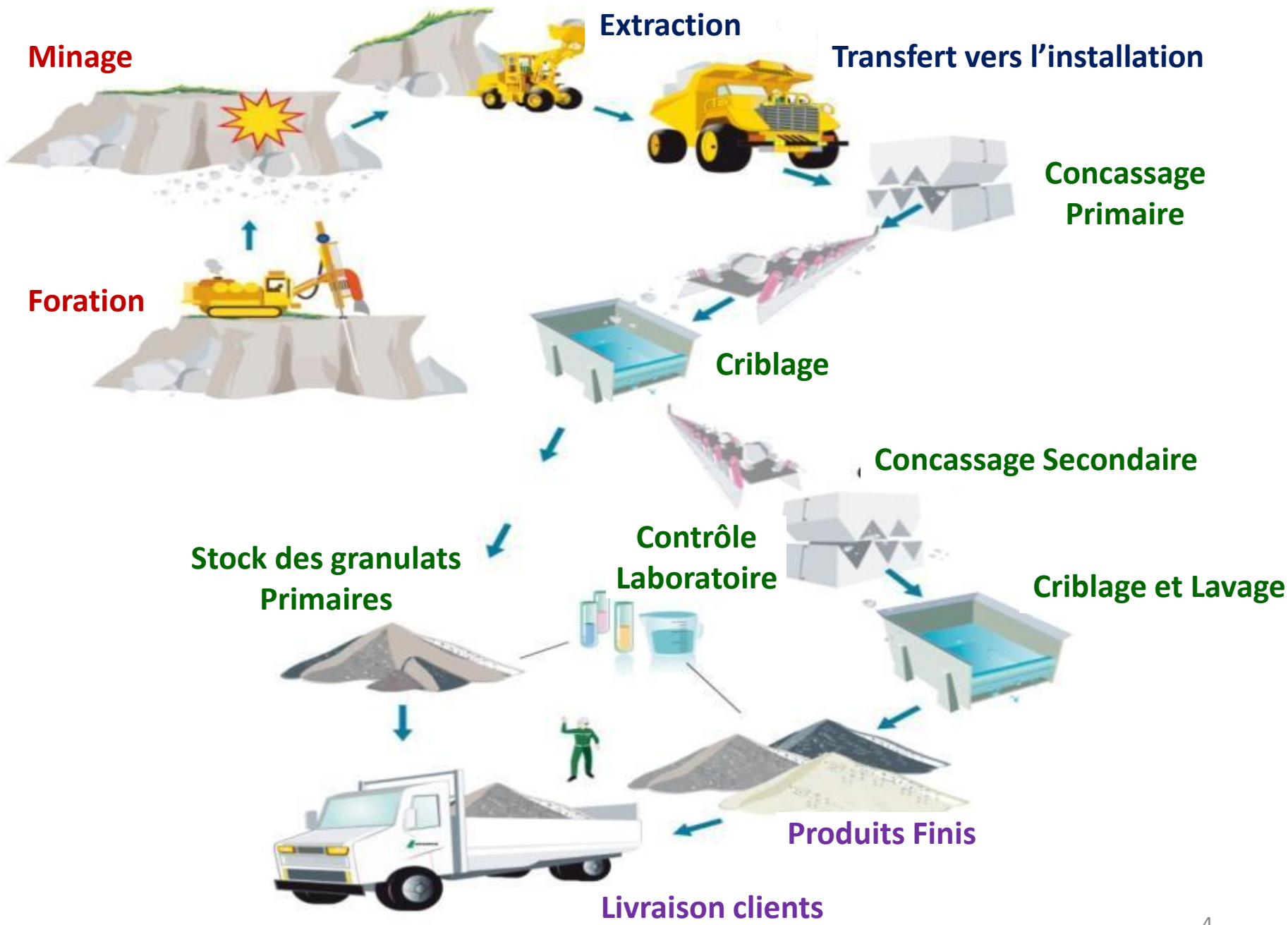
Les granulats sont l'ensemble de grains provenant de roches ou minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 80mm.

*** Les granulats étant le squelette du béton,
ils améliorent la résistance**

2.1. INTRODUCTION :

Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés).

La taille d'un granulats répond à des critères granulométriques précis.



Extraction à ciel ouvert (Espagne)



Cribleur rotatif



Cribleur vibrant



Cribleur Laveur



Le Broyage



- **Opération de réduction jusqu'à une dimension voisine de la taille des grains constitutifs (inférieur à 100 microns) du minerai**
- **On distingue différents types de broyeurs; broyeur dit à boulet, à billes, à petits cylindres, vibrants, à marteaux...**

2.2 CLASSIFICATION DES GRANULATS :

2.2.1 Selon la minéralogie

Roches magmatiques : - granulats de bonne qualité : exemple le granit, le quartz,

Roches sédimentaires : - non recommandé pour le béton : le calcaire- bons granulats,

Roches métamorphiques : -non recommandé pour le béton : les chiste.

2.2.2. Selon la forme des grains

Elle est soit naturelle, soit artificielle. *La forme naturelle* est, en général, roulée. Ces granulats proviennent des mers, dunes, rivières, carrières, etc.

La forme artificielle est issue du concassage de roches dures (roches mères)

2.3 CARACTÉRISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS

2.3.1 Classe granulaire :

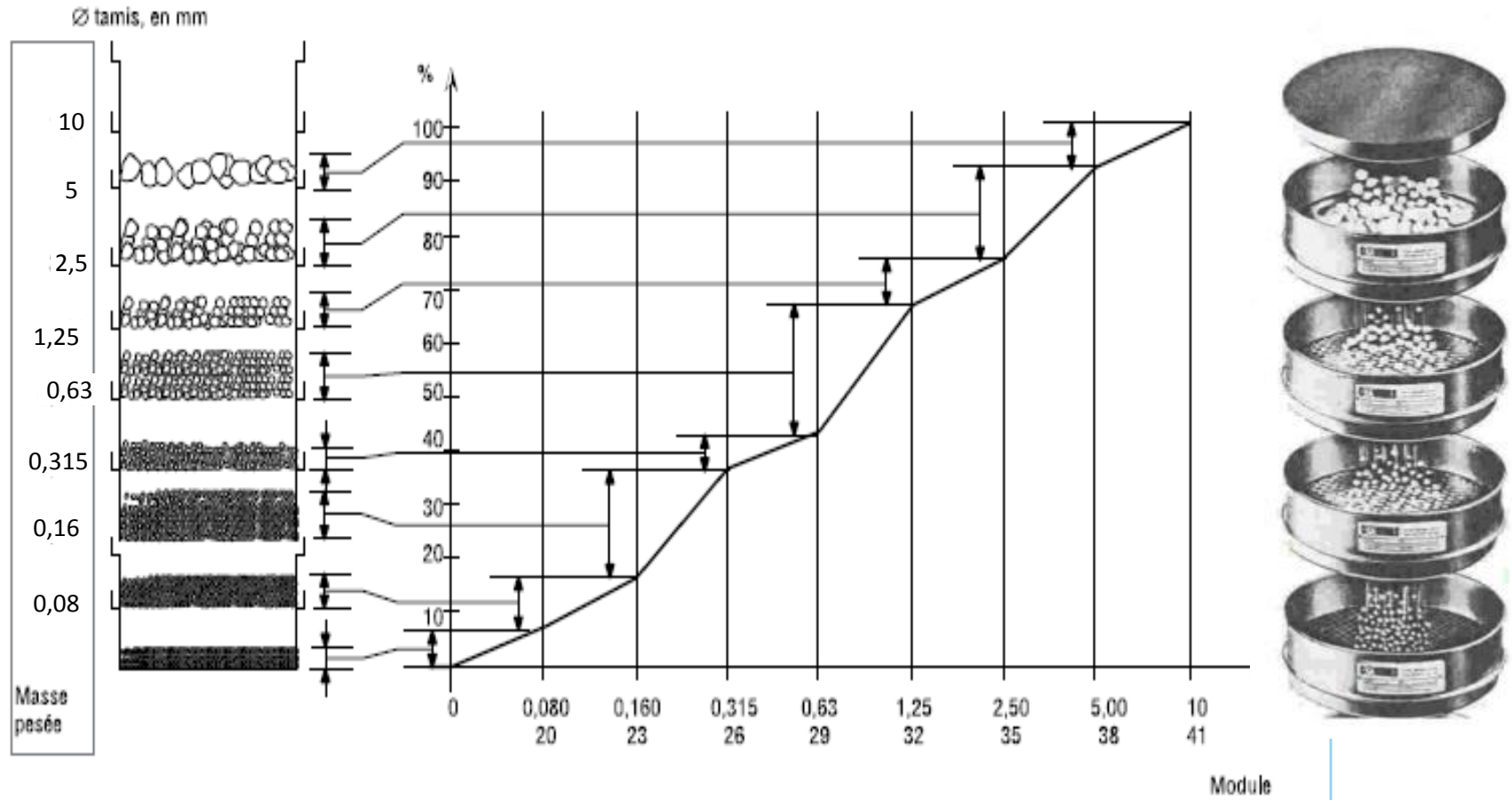
On désigne les granulats selon leur **classe granulaire** : le terme « **Granulat d / D** » est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de « **d** » pour les petits éléments à « **D** » pour les gros éléments.

La **classe granulaire** est identifiée par tamisage selon la norme : **NF P 18-560**. On utilise, pour ce faire, une colonne de tamis dont les mailles présentent des dimensions qui suivent une progression géométrique de raison $^{10}\sqrt{10} = 1.259$.



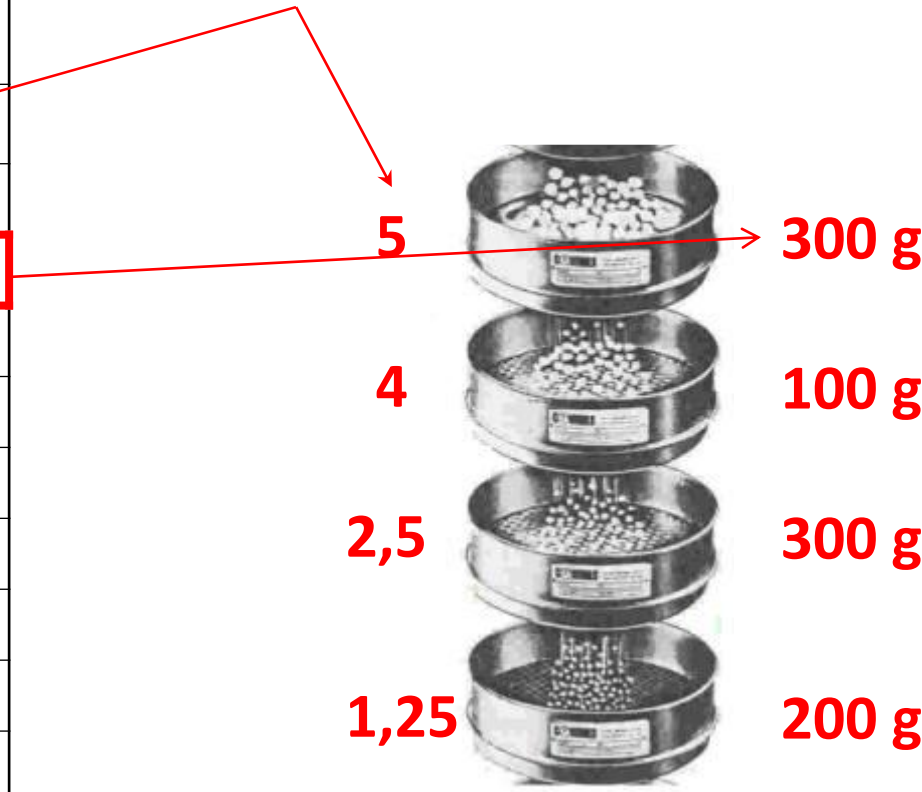
Tamis	0,08	0,10	0,125	0,16	0,20	0,25	0,315	0,40	0,50	0,63	
Module	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Tamis	0,8	1,0	1,25	1,60	2,0	2,50	3,15	4	5	6,3	
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Tamis	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Module	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

2.3.2 Analyse granulométrique :



Exercice d'application

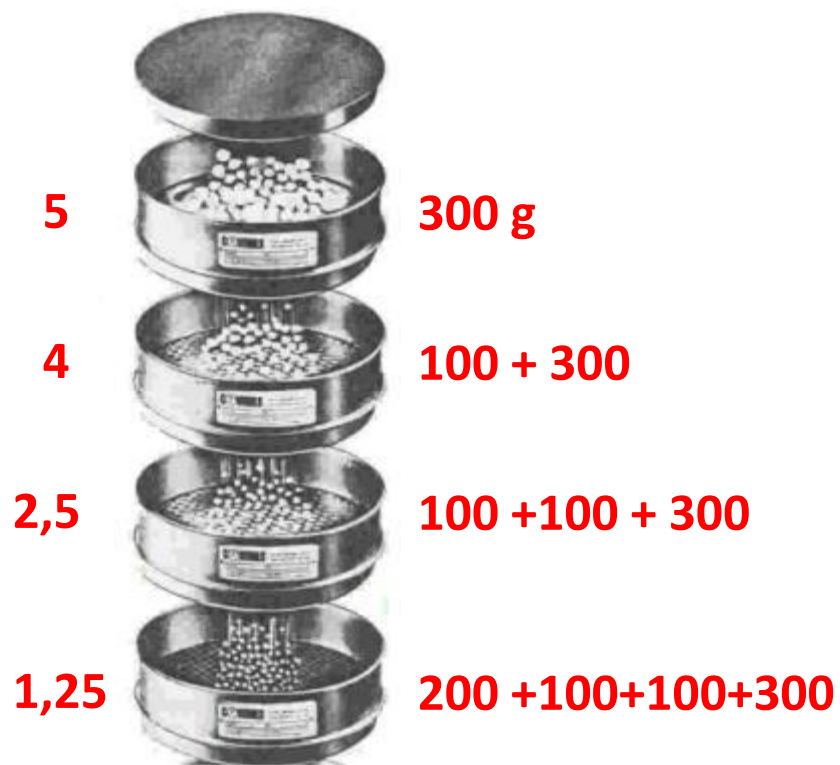
Masse de l'échantillon après séchage $M_1 = 2000$ g	
Ouverture du Tamis (mm)	Masse de Refus partiels (g)
	(R_i) (g)
6,3	0
5	300
4	100
2,5	100
1,25	200
0,63	500
0,315	400
0,16	350
0,08	50



The diagram shows a stack of five sieves. Red arrows point from the table to the sieves. The sieves are labeled with their opening sizes (5, 4, 2,5, 1,25 mm) and the mass of material retained on each (300 g, 100 g, 300 g, 200 g). The 5 mm sieve is highlighted with a red box in the table.

Masse de l'échantillon après séchage M1= 2000 g

Ouverture du Tamis (mm)	Masse de Refus partiels (g)	Masse des Refus cumulés (g)
	(R _i) (g)	(R _i) (g)
6,3	0	0
5	300	300
4	100	100+300
2,5	100	100+100+300
1,25	200	200+100+100+300
0,63	500	
0,315	400	
0,16	350	
0,08	50	



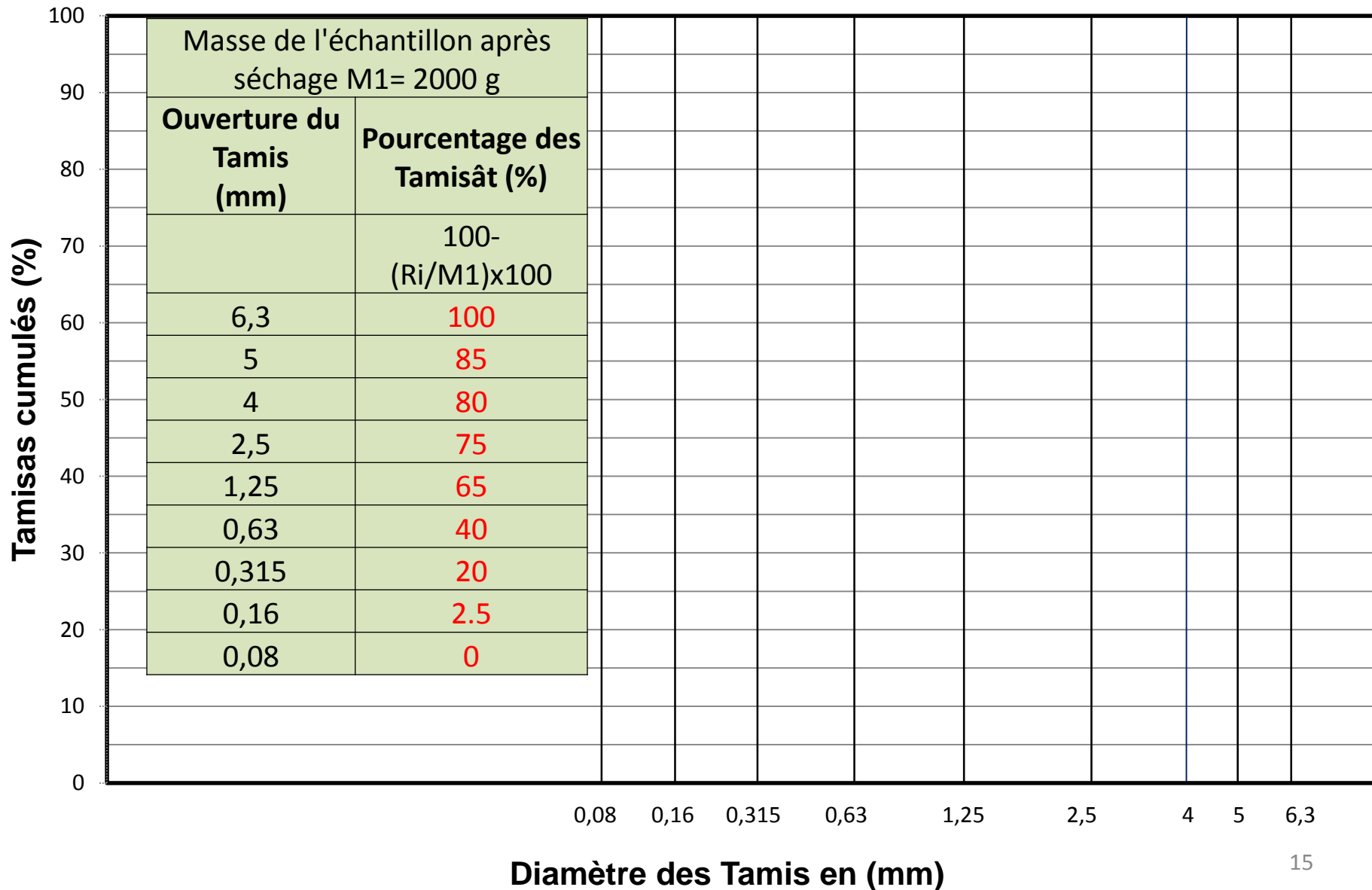
Masse de l'échantillon après séchage M1= 2000 g

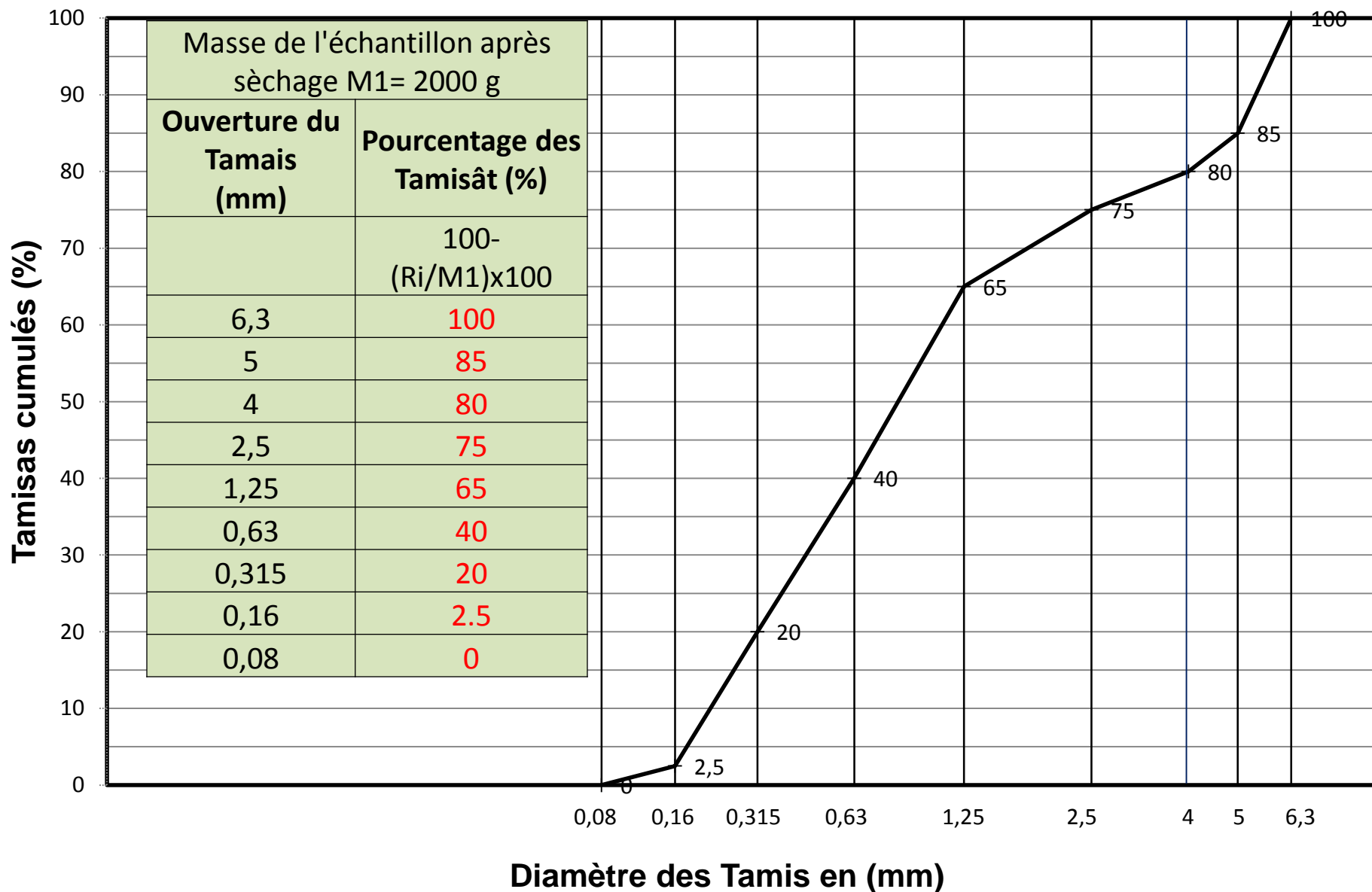
Ouverture du Tamis (mm)	Masse de Refus partiels (g)	Masse des Refus cumulés (g)	Pourcentage des Refus cumulés (%)
	(R _i) (g)	(R _i) (g)	(R _i /M1)x100
6,3	0	0	0
5	300	300	15
4	100	400	20
2,5	100	500	25
1,25	200	700	35
0,63	500	1200	60
0,315	400	1600	80
0,16	350	1950	97.5
0,08	50	2000	100

Masse de l'échantillon après séchage M1= 2000 g

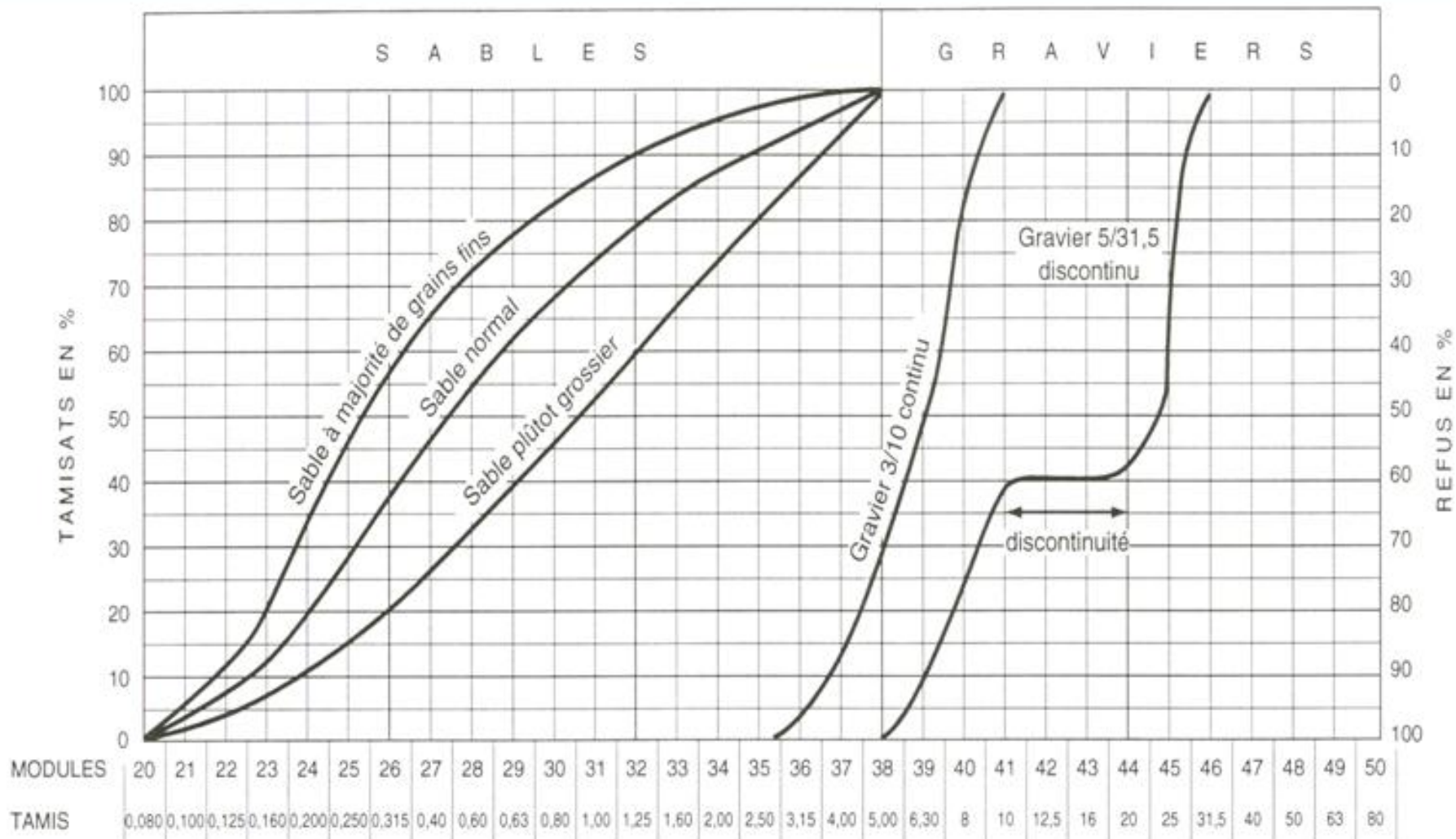
Ouverture du Tamis (mm)	Masse de Refus partiels (g)	Masse des Refus cumulés (g)	Pourcentage des Refus cumulés (%)	Pourcentage des Tamisât (%)
	(Ri) (g)	(Ri) (g)	$(Ri/M1) \times 100$	$100 - (Ri/M1) \times 100$
6,3	0	0	0	100
5	300	300	15	85
4	100	400	20	80
2,5	100	500	25	75
1,25	200	700	35	65
0,63	500	1200	60	40
0,315	400	1600	80	20
0,16	350	1950	97.5	2.5
0,08	50	2000	100	0

2.3.3 Courbes granulométriques :

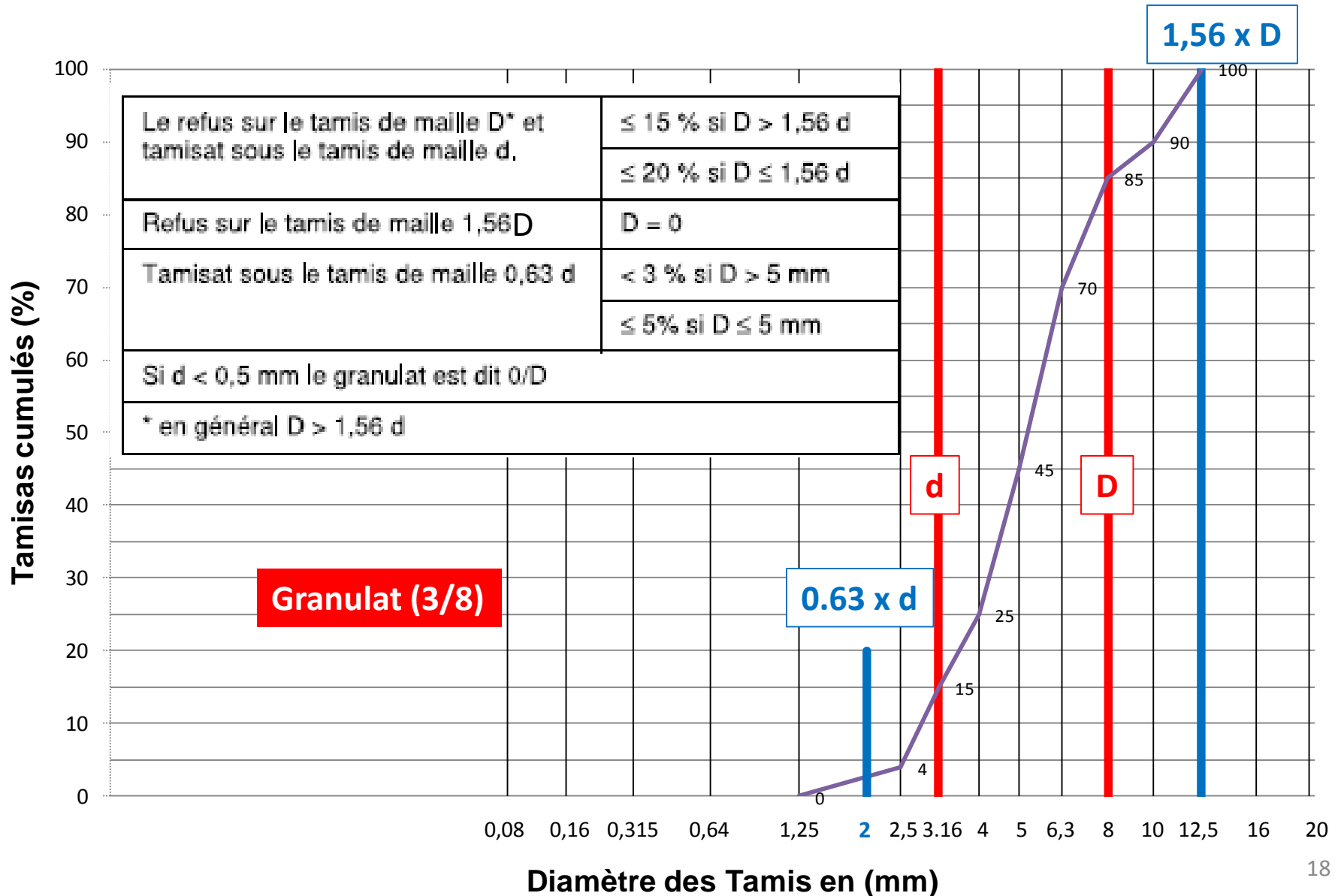




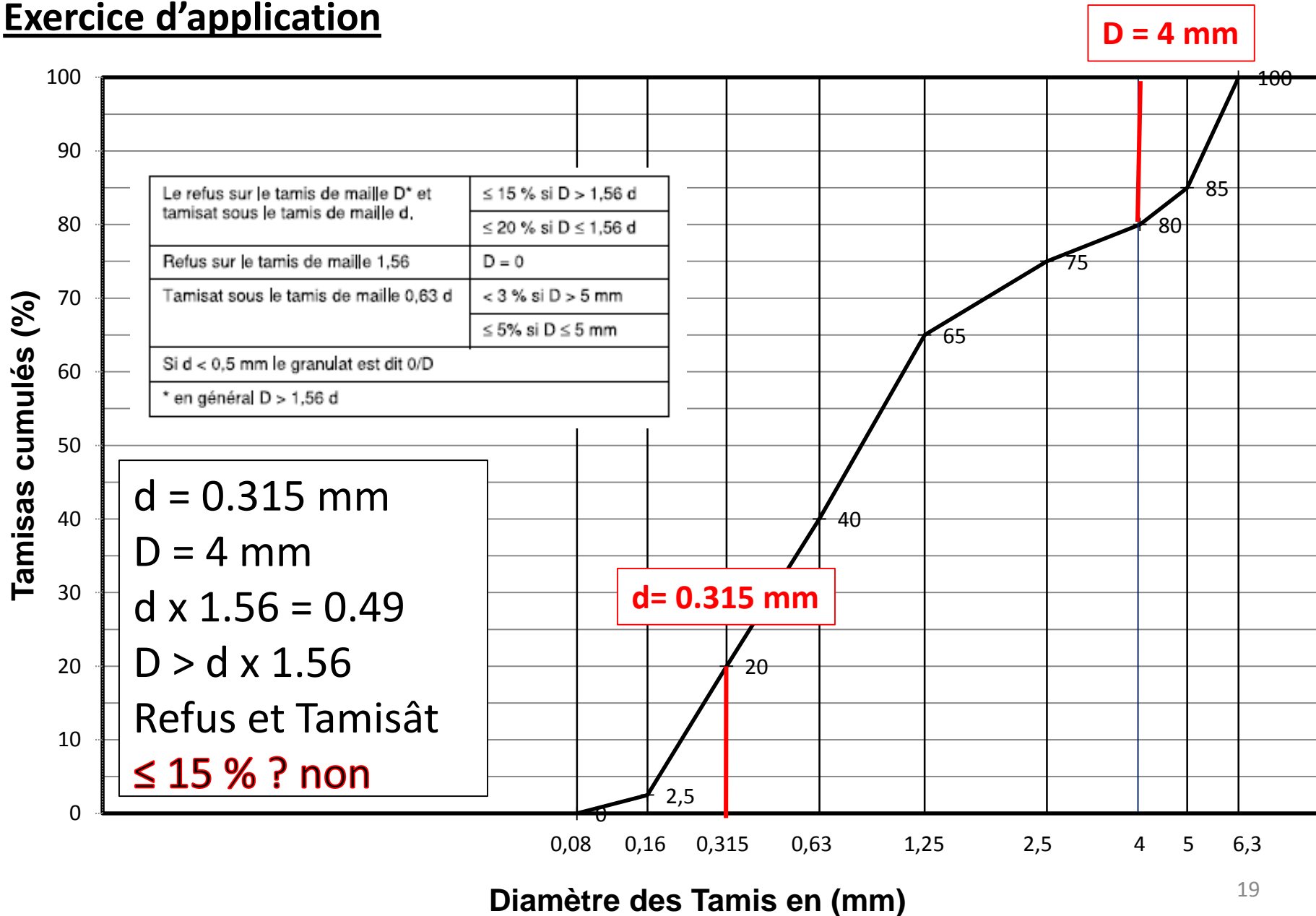
Courbes granulométriques de quelques granulats



2.3.4 Vérification de la classe granulaire (d/D):

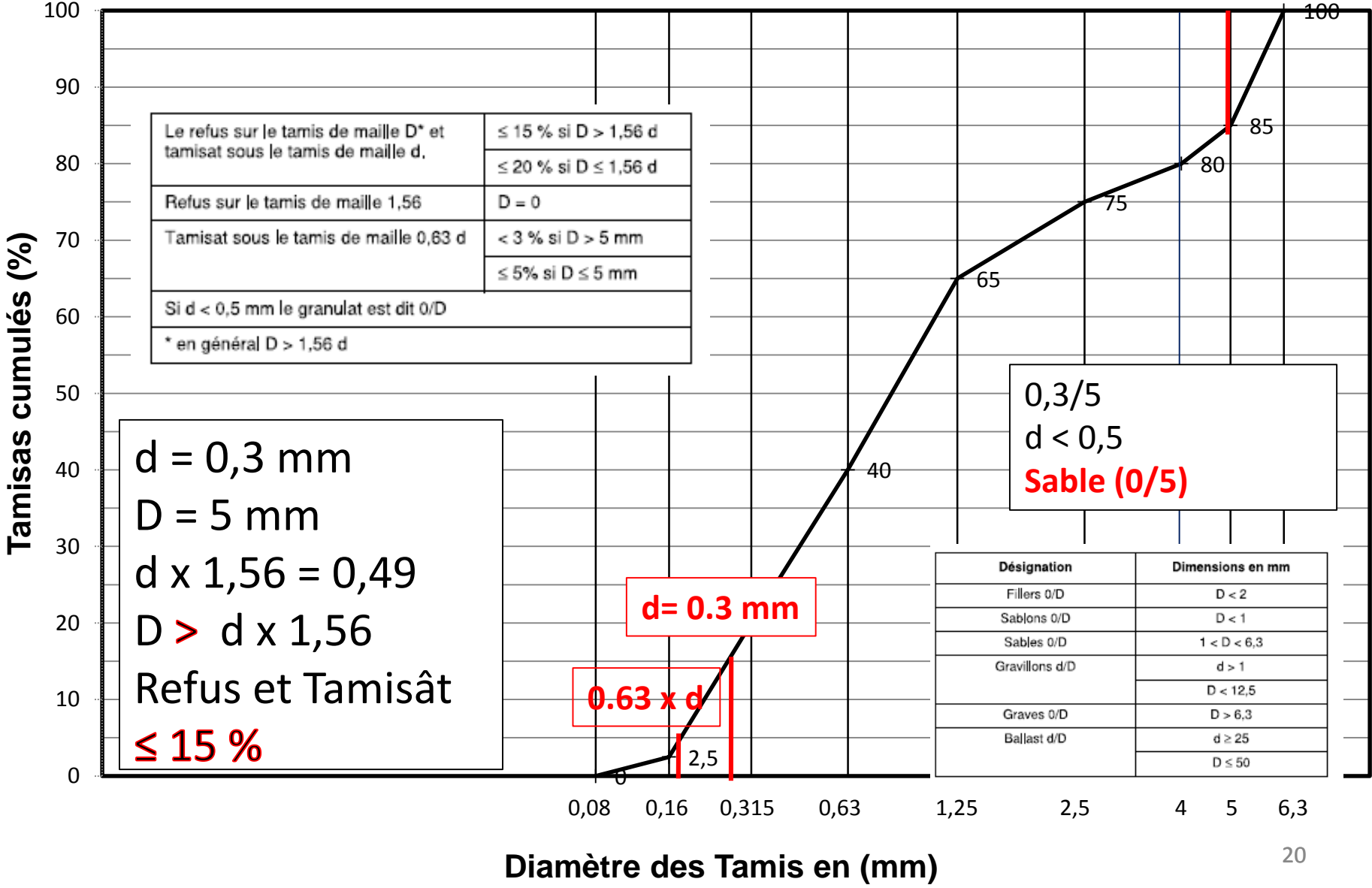


Exercice d'application



1.56 x D = 6.3 mm
Tamisât = 0

D = 5 mm



2.3.5 Type de granulats :

Désignation	Dimensions en mm
Fillers 0/D	$D < 2$
Sablons 0/D	$D < 1$
Sables 0/D	$1 < D < 6,3$
Gravillons d/D	$d > 1$
	$D < 12,5$
Graves 0/D	$D > 6,3$
Ballast d/D	$d \geq 25$
	$D \leq 50$

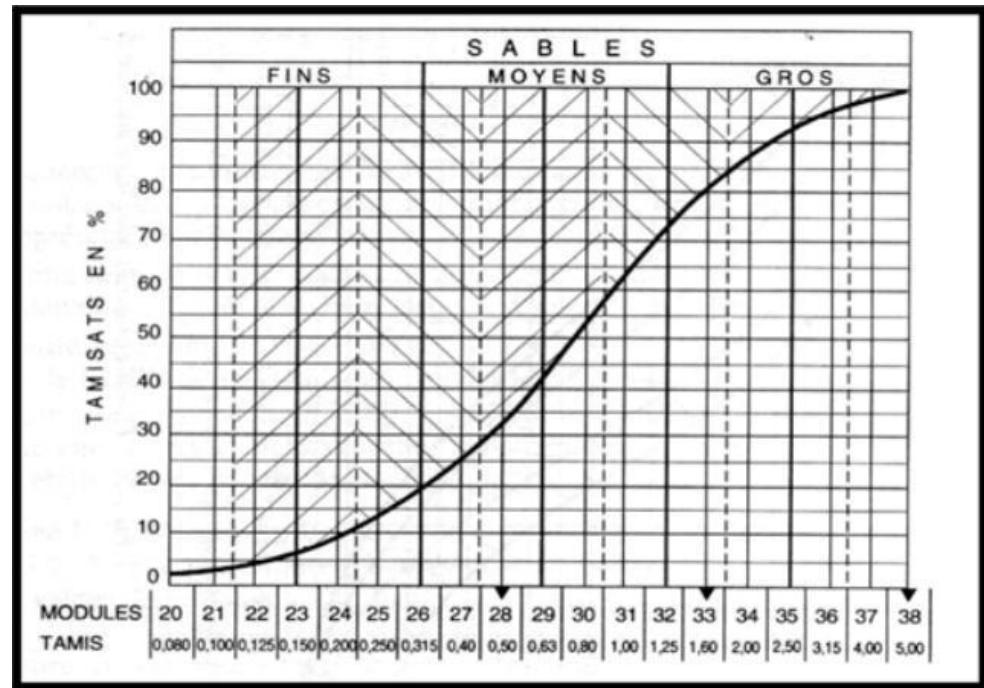
2.3 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (GEOMETRIQUES)

2.3.3 Module de finesse:

La granularité sur la série des tamis (*mm*): 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5, est caractérisée par :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum_{i=0.16}^5 R_i$$

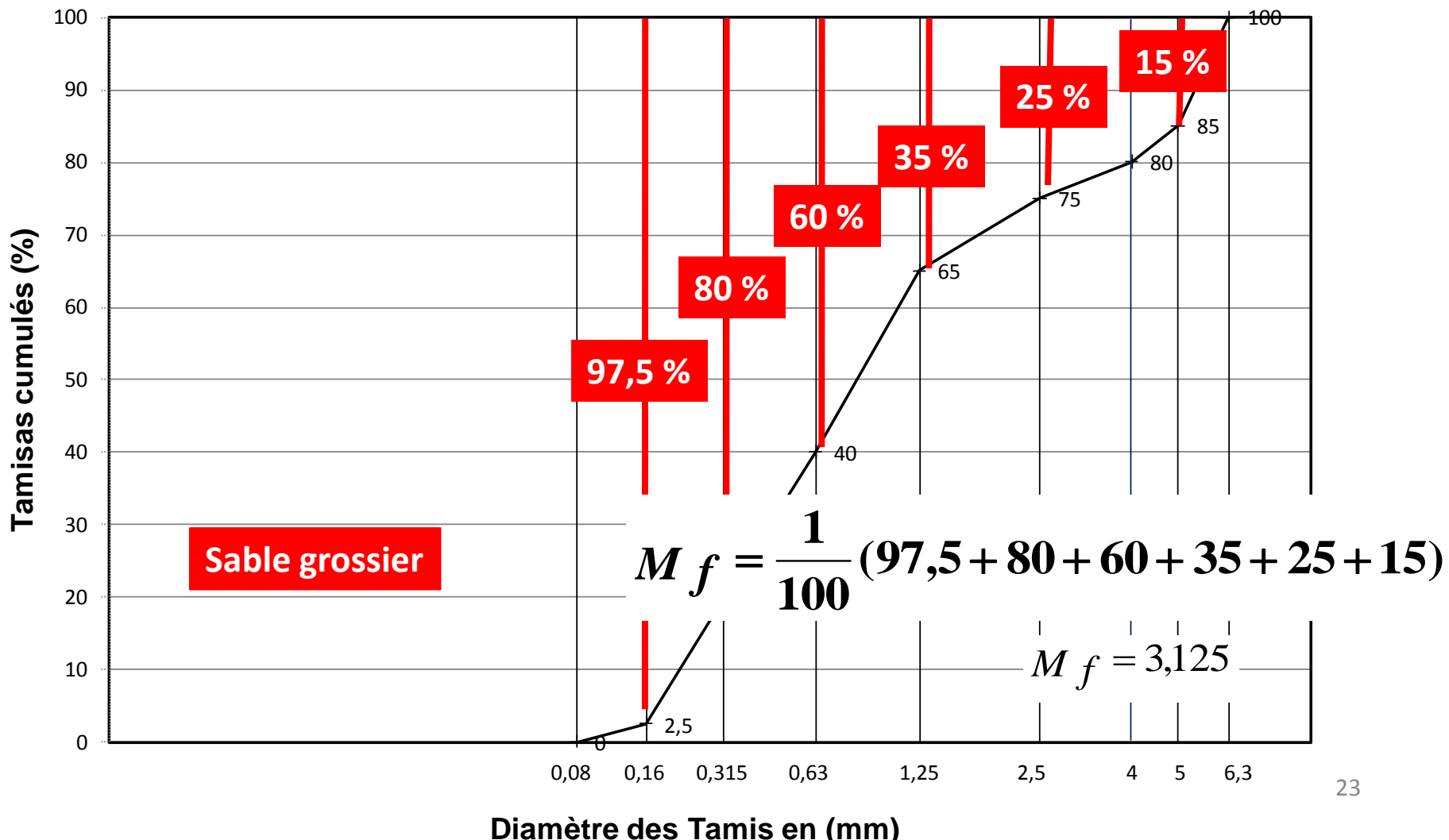
Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante; par exemple, le sable dont la courbe est tracée sur la figure suivante a pour module de finesse $M_f = 2.66$ calculé ainsi:



2.3 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (GEOMETRIQUES)

2.3.3 Module de finesse:

Module de finesse est calculé sur les tamis 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5



2.3 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (GEOMETRIQUES)

2.3.3 Module de finesse:

Sables Admissibles	Qualité du sable	Module de finesse
	Préférentiel	2,2 à 2,4
	Un peu trop fin	1,8 à 2,2
	Un peu trop grossier	2,8 à 3,2

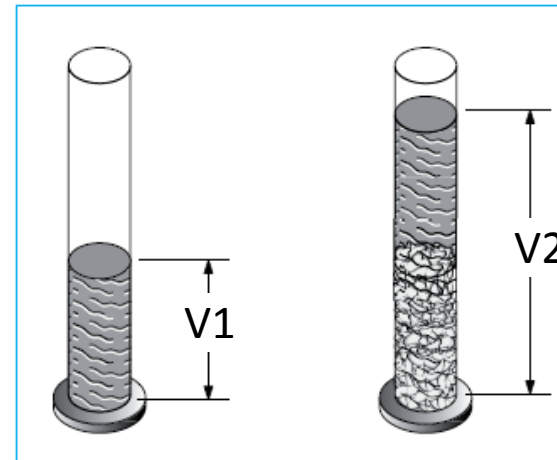
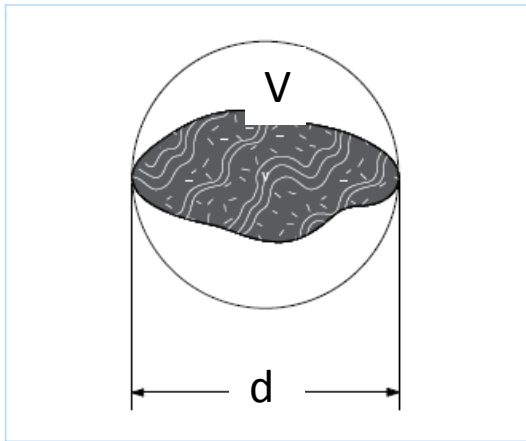
2.3 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (GEOMETRIQUES)

2-3-5 Coefficient de forme

C'est le rapport du volume v du grain au volume $V = \pi \cdot d^3/6$ de la sphère de diamètre d

$$F = v / V = v / (\pi \cdot d^3/6)$$

$$0 < F \leq 1$$



2.3.4 Coefficient d'aplatissement:

C'est le pourcentage d'éléments tel que :

$$G / E > 1.58$$

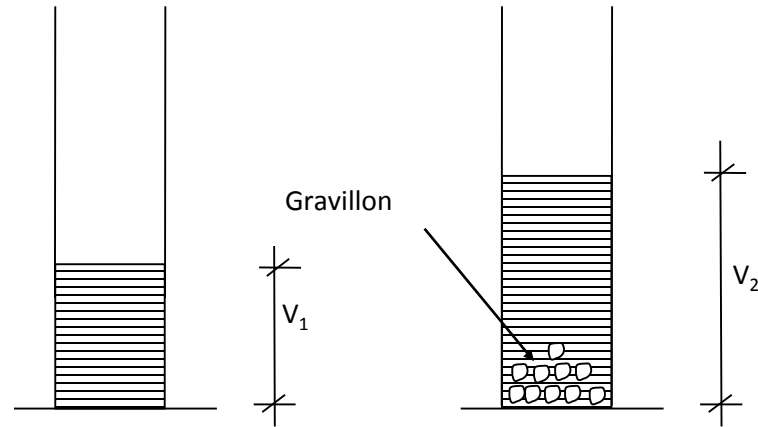
Où **G** : la plus grande dimension des granulats.

E : l'épaisseur.

2.3 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (GEOMETRIQUE)

2-3-5 Coefficient de forme (exemple)

N°	Volume sphère équivalente (cm ³)
1	1
2	2
3	3
4	5
5	10
6	15
7	20
8	30
9	40
10	50
Somme	176



V ₁ (cm ³)	503
V ₂ (cm ³)	532

$$F = \frac{532 - 503}{176} = 0,16$$

Granulat de forme allongée

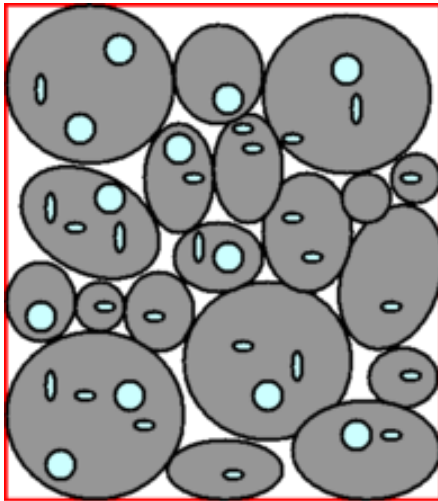
2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.1 Masse volumique apparentes:

$$M_{V_{app}} = \frac{M}{V_{app}}$$

Elle est comprise entre 1400 et 1600 kg /m³.

T/m³, Kg/m³, kg/l, g/l, g/cm³



Volume apparent

Volume réel

Volume des pores



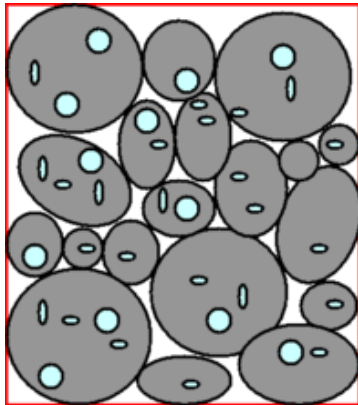
2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.2 Masse volumique absolue:

$$M_{V_{abs}} = \frac{M}{V_{abs}}$$

Elle est comprise entre 2500 et 2600 kg /m³

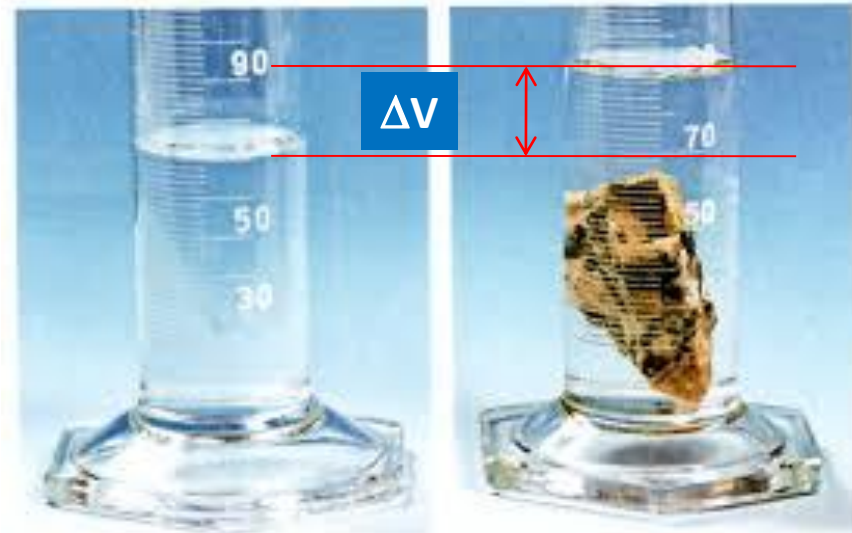
T/m³, Kg/m³, kg/l, g/l, g/cm³



Volume apparent

Volume réel

Volume des pores



$$\Delta V = 20 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masse} = 50 \text{ g}$$

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.3 Compacité (C), Porosité (n) et Indice de Vides (e) :

Compacité. Pour un corps poreux (ou un mélange de granulats) de volume V et dont les pores (ou vides internes) représentent un volume

V_v , la compacité est le rapport du volume de matière pleine au volume total.

$$C = \frac{V - V_v}{V} = 1 - \frac{V_v}{V}$$

Pour les granulats courants on peut admettre que la compacité en vrac est de l'ordre de 0,70 à 0,60 pour les sables et de 0,55 pour les graviers selon qu'ils sont tassés ou non.

Porosité. La porosité est le rapport : $n = \frac{V_v}{V}$

L'indice des vides est le rapport : $e = \frac{V_v}{V - V_v}$

A noter :

On a : $\frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V - V_v} \times \frac{V - V_v}{V}$ Soit : $n = e.C$ ou encore : $e = \frac{n}{C}$

L'indice des vides est donc le quotient de la porosité par la compacité.

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.4 Propreté des granulats :

* **cailloux ou gravillons**: teneur en fines = % de passant à 0.5mm (tamisage effectué sous l'eau) 2 à 5%.

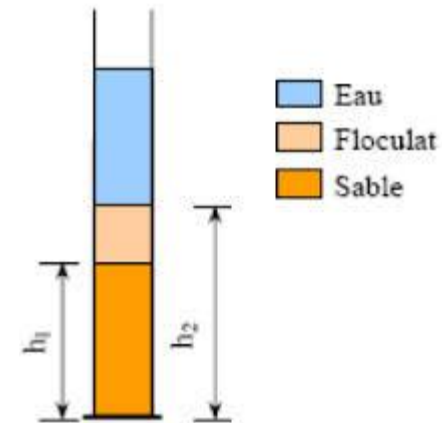
* **sables** : Essai de l'équivalent de sable 15 et 25 %.

$$E_s = (H_1 / H_2) \times 100$$

où H1: hauteur du sable propre.

H2: hauteur totale du sable.

il peut être complété par l'essai du bleu de métylène.



PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ PS < 70	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70 ≤ PS < 80	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
PS > 80	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.


2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.4 Propreté des granulats :

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq PS < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$PS > 80$	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

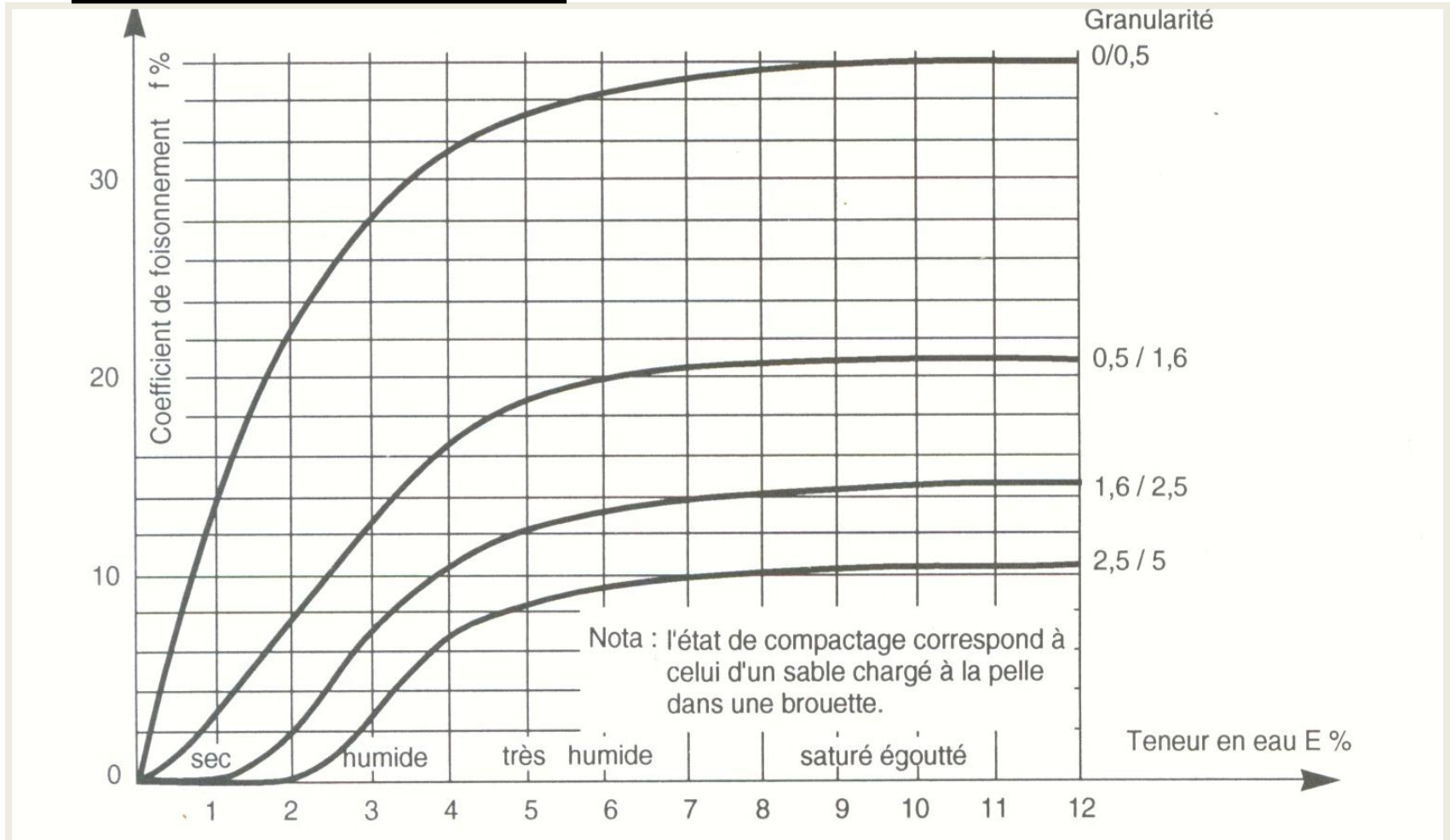
2.4.5 Foisonnement de Sable :

Humidité  L' expansion en volume est désignée sous le nom de “foisonnement “. Le coefficient de foisonnement est donné par:

$$f = (V_h - V_{sec}) / V_{sec} (\%)$$

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (PHYSIQUES)

2.4.5 Foisonnement de Sable :



**foisonnement des sables élémentaires composant
(en proportions données) le sable 0/5 pour béton courant**

2.5 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (MECANIQUE)

2.5.1 Essai deval:

❑ Un échantillon de 5kg, composé de granulats du même calibre, est placé dans un cylindre tournant autour d'une diagonale du plan diamétral.

❑ Après un nombre de tours à une vitesse précisée par le mode opératoire.

$D = 400 / U$ U: étant le passant à 2mm.



D  granulat moins bon

2.5 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (MECANIQUE)

2.5.2 Essai Micro – Deval :

- L'essai micro-Deval permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats.
- Le coefficient micro-Deval obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure par rotation dans un cylindre en présence de bille d'acier inox et d'eau.
- Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure.
- Le coefficient micro-Deval est:

$$\underline{MD = 100 (P/500)}$$

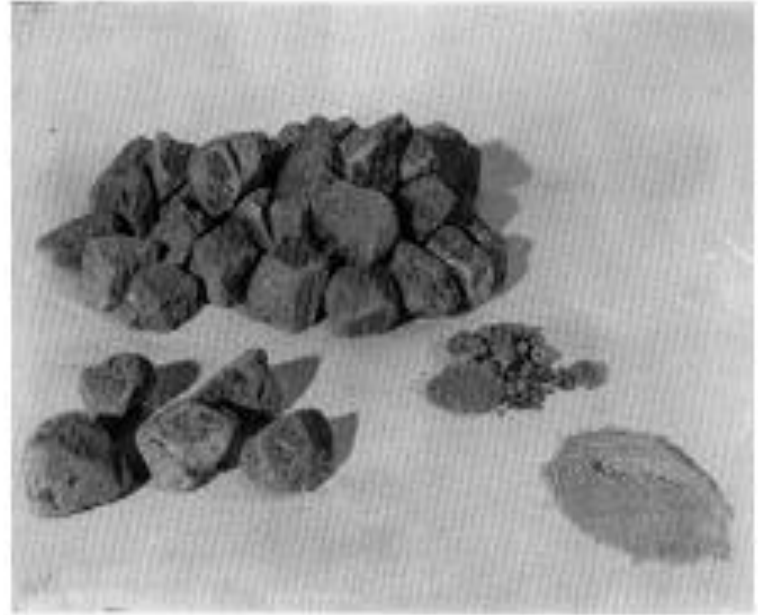
- MD   granulat moins bon

2.5 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (MECANIQUE)

2.5.2 Essai Micro – Deval :



Matériau avant l'essai



Matériau après l'essai

2.5 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (MECANIQUE)

2.5.3 Essai Los Angeles :

- ❖ Estime la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements. Il se pratique sur les classes granulaires 4/6.3 ou 6.3/10 ou 10/14.
- ❖ On place un échantillon de 5 kg de granulat et 7 à 11 boulets de 417 g dans un tambour dont une génératrice intérieure est munie d'une plaque.
- ❖ Lorsque le tambour tourne, le granulat et les boulets s'accumulent sur la plaque pendant une fraction de tour et retombent ensuite.

$$LA = 100 (P/5000) \quad P \text{ est le passant à } 1.6mm$$

la norme NFP 18 541 spécifie que LA doit être ≤ 40 .

Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée.

2.5 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS (MECANIQUE)

2.5.3 Essai Los Angeles :



2.6 CLASSIFICATION DES GRANULATS :

2.6.1 Selon la minéralogie

- Roches magmatiques : - granulats de bonne qualité : exemple le granit, le quartz
- Roches sédimentaires : - non recommandé pour le béton : le calcaire-
- Roches métamorphiques : -non recommandé pour le béton : les chistes

2.6.2. Selon la forme des grains

Elle est soit naturelle, soit artificielle. *La forme naturelle* est en général roulée. Ces granulats proviennent des mers, dunes, rivières, carrières, etc...
La forme artificielle est issue du concassage de roches dures (roches mères)

2.6.3 Selon les caractéristiques physiques (Mv_{app} , Mv_{abs} , ...)

2.6.4. Selon la nature des granulats (Courants, légers, lourds)

2.6 CLASSIFICATION DES GRANULATS :

2.6.5 Selon la dureté du granulat

Dureté (échelle de MOHS)	Granulat de référence (minéral)
10	Diamant
9	Corindon
8	Topaze
7	Quartz
6	Orthose
5	Apatite
4	Fluorine

← ACIER
← VERRE

2.7 DIFFÉRENTS TYPES DE GRANULATS :

Roche d'origine	Dureté Deval	Dilatation $\mu\text{m}/\text{m } ^\circ\text{C}$	propriétés	Difficultés rencontrées	Possibilité d'emploi pour bétons
1- R.éruptives Granites Diorites Porphyres Basaltes	15 à 19 16 16/17 20	8 à 12	Dures et compactes, donc bonne résistance au gel		Oui pour la Plupart
2- R. métamorphiques Quartzites Marbres Schistes gneiss	17 à 20 15 à 20	10 10/12	Durs et compacts, inattaquables chimiquement. Sensibles au gel.	Présence de fines friables	Granulats de qualité utilisés pour les parements Oui. Uniquement Schistes durs Oui si stables.
3- R. sédimentaires Calcaires dolomies	12 à 15 10 à 12	6 à 8	Bonne adhérence au mortier.		Oui. Possible après essais préalables.

2.7 DIFFÉRENTS TYPES DE GRANULATS :

Nature du béton ou de l'ouvrage		Masse volumique du béton	Nature des granulats
Bétons classiques pour le chantier ou la préfabrication.		2200 à 2400 kg/m ³	Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico-calcaires.
Bétons apparents, architectoniques.		2200 à 2400 kg/m ³	Les memes mais aussi les porphyres, basaltes, granites, diorites, qui offrent une palette très riche d'aspect et de teinte.
Bétons légers	Pour structures	1500 à 1800 kg/m ³	Argile ou schiste expansé, laitier expansé.
	Semi-isolant Semi-porteur	1000 à 1500 kg/m ³	Argile expansée, pouzzolane, ponce.
	Isolants	300 à 800 kg/m ³	Vermiculite, liège, bois polystyrène expansé, verre expansé.
Bétons lourds		3000 à 5000 kg/m ³	Corindon, barytine, magnétite.
Bétons réfractaires		2200 à 2500 kg/m ³	Corindon, déchets de produits réfractaires, briques silico-alumineux, laitier, granulats spéciaux.
Bétons ou chapes pour dallages industriels (abrasion importante)		2400 à 3000 kg/m ³	Corindon, carborundum, granulats métalliques.