

PROPRIETES PHYSIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

TP N° 02

1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

1.1 Introduction

Les granulats utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle, artificielle ou recyclés, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm. Ils ne sont généralement pas constitués par des éléments de tailles égales mais par un ensemble de grains dont les tailles variées se répartissent entre deux limites : la plus petite (d) et la plus grande (D) dimension en mm.

1.2 Classification des granulats

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum (D) exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum (d), des grains et le deuxième le diamètre maximum (D).

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en mm :

0.063 - 0,08 - 0,10 - 0.125 - 0,16 - 0,20 - 0.25 - 0,315 - 0,40 - 0.50 - 0,63 - 0,80 - 1 - 1,25 - 1,60 - 2 - 3,15 - 4 - 5 - 6,30 - 8 - 10 - 12,50 - 14 - 16 - 20 - 25 - 31.50 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125.

Les tamis dont les dimensions sont soulignées et notées en gras correspondent à la série de base préconisée par la Norme NF EN 933-2; de ce fait, lors de l'étude granulométrique, utiliser prioritairement ces tamis.

Chaque tamis est désigné par un numéro de module. (Tableau suivant)

Tableau : Série de tamis d'ouvertures de mailles normalisées

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

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe (d/D). Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné (0/ D).

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes (d et D) des granulats rencontrées:

- Les **fin**s 0/ D avec $D \leq 0,08$ mm,

- Les **sables** 0/D avec $D \leq 6,3$ mm,
- Les **gravillons** d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
- Les **cailloux** d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- Les **graves** d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

1.3 But du TP

Ce TP a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat et les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- Dédurre le Module de finesse (Mf).

Mots clés :

- Tamisât - Refus
- Courbe granulométrique
- Module de finesse.

1.4 Définition

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Elle consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 80 mm et 0,063 mm.

La norme **NF EN 933-1 : 2012** concerne l'analyse granulométrique des granulats.

1.5 Intérêt de l'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de distinguer les granulats suivant des classes granulaires qui sont commercialisées par les fabricants. L'élaboration d'une composition de béton nécessite une connaissance parfaite de la granulométrie et de la granularité, car la résistance et l'ouvrabilité du béton dépendent essentiellement du granulat. Par ailleurs, la dimension (D) du granulat se trouve limitée par différentes considérations concernant l'ouvrage à bétonner : épaisseur de la pièce, espacement des armatures, densité du ferrailage, complexité du coffrage, risque de ségrégation...

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile.

1.5.1 Quelques définitions

Granulat : un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle, artificielle ou recyclés, destinés à la confection des bétons, mortiers, ...

Classe granulaire : chaque granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D, Le premier désigne le diamètre minimum des grains d et le deuxième le diamètre maximum D.

Refus sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

Tamisat (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Le module de finesse (Mf) est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Par définition, c'est le centième (1/100) de la somme des refus cumulés (exprimés en pourcentage de masse) des tamis de la série suivante: 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4.

$$Mf = [\Sigma \text{Refus cumulé (0,125 + 0,25 + 0,5 + 1 + 2 + 4)}] / 100$$

Si :

- **Pour $1,8 \leq Mf \leq 2,2$** : le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau. le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- **Pour $2,2 < Mf \leq 2,8$** : le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités. *C'est Un bon sable.*
- **Pour $2,8 < Mf \leq 3,2$** : le sable manque de fin et le béton y perd de l'ouvrabilité. le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $Mf > 3,2$ le sable est à rejeter.

La correction d'un granulat est nécessaire lorsque sa courbe granulométrique présente une discontinuité ou lorsqu'il y a un manque ou un excès de grains dans une zone de tamis. La correction consiste à compenser ces écarts par un apport d'un autre granulat jusqu'à obtention d'un mélange présentant les qualités recherchées. Cette pratique est habituelle pour modifier le module de finesse (Mf) des sables de bétons hydrauliques.

1.6 Principe d'essai

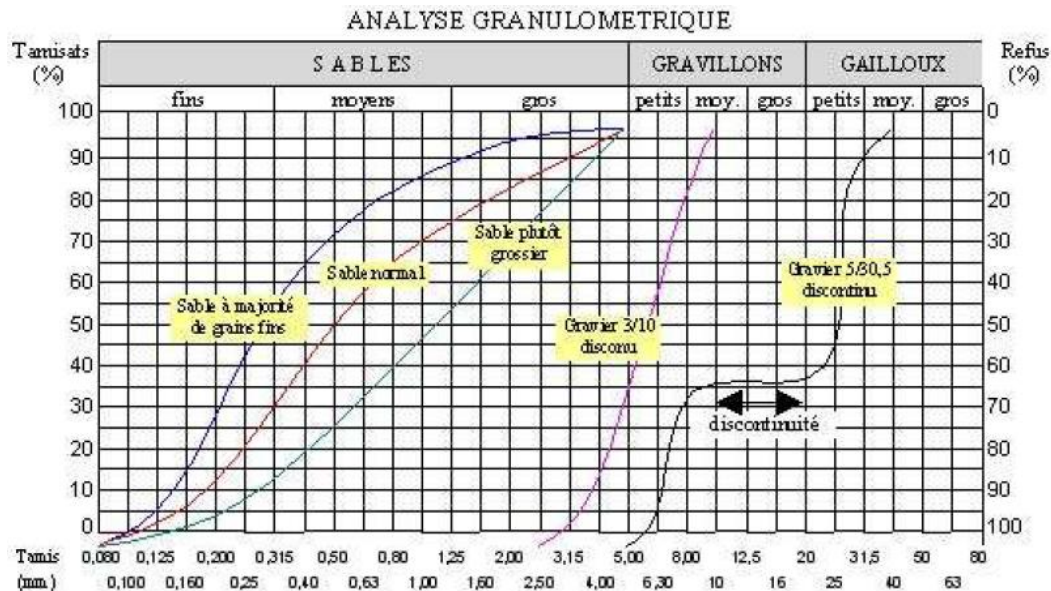
L'essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision requise.

La courbe correspondant à ce sable normal, est présentée sur la fig. 3.6, sur lequel ont été également portées les courbes des sables très fins et grossiers ainsi que celles de graviers. La forme des courbes granulométriques apporte les renseignements suivants:

- Les limites d et D du granulat en question;
- La plus ou moins grande proportion d'éléments fins; par exemple la courbe située au dessus de celle du sable normal correspond à un sable à majorité de grains fins et c'est l'inverse pour celle située en dessous. En effet, ces trois sables sont des sables

0/5 mm mais les proportions de grains fins (<0,5 mm par exemple) sont pour chacun d'eux: 25%, 45% et 60%;

- La continuité ou la discontinuité de la granularité; par exemple, les courbes de sables sont continues mais la courbe du gravier 5/31,5 présente une discontinuité; en effet le palier s'étendant de 10 à 20 mm signifie que le granulat en question ne contient pas de grains compris entre 10 et 20 mm.



Analyse granulométrique des différents cas

1.7 Équipements nécessaire

- Série de tamis d'ouvertures de mailles normalisées.
- Machine à tamiser (Vibro-tamis)
- Couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât
- Récipients métallique ou en en plastique
- Main écope pour le remplissage
- Balance de portée 5 kg, précision 1 g.
- Étuve réglé à $105 \pm 5^\circ\text{C}$.



Récipients métallique



Série de tamis

Machine à tamiser

Mains-Ecopes

1.8 Matériaux utilisés

- ✓ un échantillon de sable sec
- ✓ un échantillon de gravillon sec

1.9 Mode opératoire

1. Sécher le matériau à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant 24 heures
2. Prélever une quantité de matériau sec, quantité qui dépend de la dimension maximale des grains (**D**).
3. Peser la masse (**M**) de matériau dans les limites définies par la formule suivante :

$$200 D \leq M \leq 600 D$$

Où :

D : est le diamètre en millimètres des grains les plus gros et **M** : en Grammes.

4. Monter et Emboîter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles puis ajouter le couvercle et le fond étanche qui permettra de récupérer des particules fines (Figure suivante).

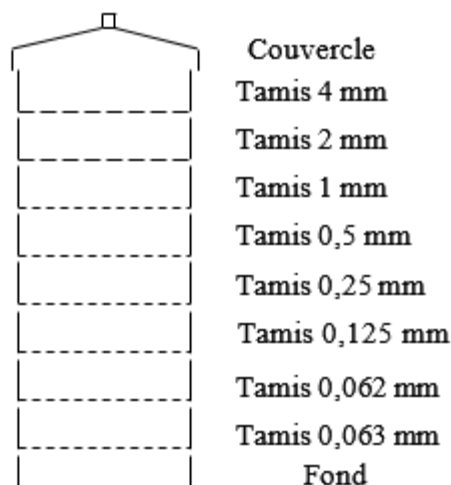


Figure 3 : Exemple d'une série de tamis pour l'analyse granulométrique d'un sable

5. Verser le granulat sur le tamis supérieur et mettre le couvercle.
6. Fixer la série de tamis sur le vibro-tamis et la soumettre aux vibrations pendant quelques minutes. Terminer par des secousses manuelles horizontales et verticales.
7. Prendre le tamis supérieur seul avec son contenu et l'agiter sur un plateau propre. Arrêter l'agitation lorsque le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage.
8. Peser le refus (à 0,1 % près) et verser le tamisât sur le tamis suivant avec ce qui se trouve déjà.
9. Faire de même avec le second tamis. Placer le nouveau refus sur la balance avec le premier et verser le nouveau tamisât sur le troisième tamis. Noter le refus cumulé des deux tamis.

10. Tamiser de même jusqu'au dernier tamis. En pesant le tamisât contenu dans le fond avec la somme des refus cumulés, retrouver la masse pesée au départ.

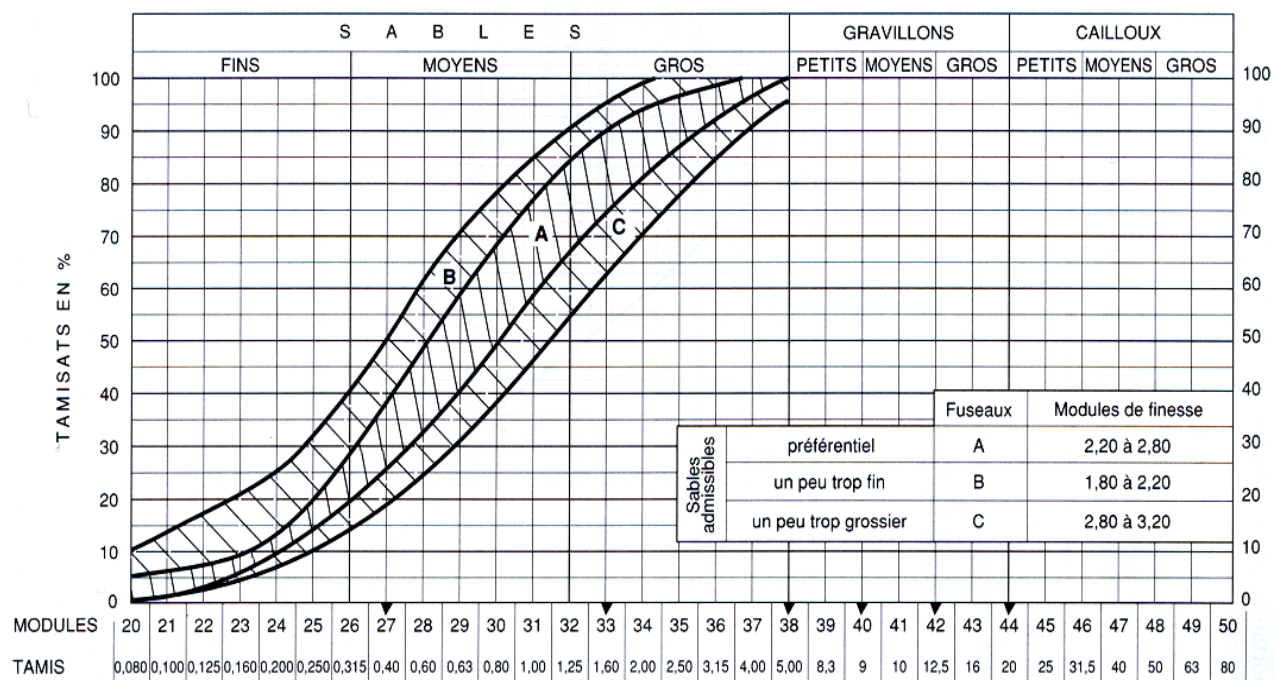
La perte de matériaux ne doit pas dépasser 2 % de la masse totale de l'échantillon.

11. Tracer la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. Par exemple pour le tracé de la courbe granulométrique d'un sable 0/5, Le poids des tamisats successifs permet de déterminer les pourcentages du tamisat (tableau suivant) correspondant à chacun des tamis utilisés.

Tableau : Résultats d'une analyse granulométrique correspondant à un sable

Maille des tamis en (mm)	Tamisats cumulés	
	en poids (g)	en (%)
8	2000	100
5	1920	98
2,5	1740	90
1,25	1300	75
0,63	860	53
0,315	500	25
0,16	200	10
0,08	40	2

La forme de la courbe granulométrique peut conduire à des interprétations rapides. La figure suivante présente différentes possibilités dans le cas d'un sable :



– Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton.

- Fuseau A : Courbe granulométrique courante.
- Fuseau B : Courbe granulométrique riche en éléments fins.
- Fuseau C : Courbe granulométrique pauvre en éléments fins.

1.9.1 Exemple typique



Figure 1 Analyse granulométrique du sable

1.10 Travail demandé

- [1] Effectuer les huit opérations citées au mode opératoire pour le gravier et pour le sable.
- [2] Calculer pour chaque tamis le pourcentage en refus cumulé. En déduire le pourcentage de tamisât cumulé.
- [3] A partir des résultats de l'analyse granulométrique des matériaux

1.11 Exploitation des résultats

- 1/ Remplir la fiche d'essai ci-joint.
- 2/ Tracer pour chaque matériau la courbe granulométrique sur le graphique semi-logarithmique ci-joint.
 - En abscisses, porter les dimensions des tamis.
 - En ordonnées, les pourcentages de tamisats cumulés.
- 3/ La courbe granulométrique est la ligne qui joint les points représentatifs. Elle doit être tracée de manière continue et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points.
- 4/ Faites des commentaires sur la forme de la courbe granulométrique.
- 5/ Calculer le module de finesse du sable.

Fiche N° :

Analyse granulométrique d'un sable

Norme : NF EN 933-1 : 2012

Laboratoire :	
Opérateur : Nom et prénom	Date : 20/02/2020
Désignation de l'Echantillon : Gravier 5/15	
Provenance (Origine) : Oued El Aneb – Annaba	
Chantier : 100 Logements à Draa Erriche	
Masse de l'échantillon initiale sèche (g)	

Tamis		Masse des refus	Masse des refus cumulés	Pourcentage des refus cumulés	Pourcentage des Tamisats cumulés	Observation
Module	Dimensions	(g)	(%)	(%)	(%)	
38	5,0					
37	4,0					
36	3,15					
35	2,5					
34	2,0					
33	1,6					
32	1,25					
31	1,0					
30	0,8					
29	0,63					
28	0,50					
27	0,40					
26	0,315					
25	0,25					
24	0,20					
23	0,16					
22	0,125					
21	0,100					
20	0,08					
19	0,063					
	Fond					

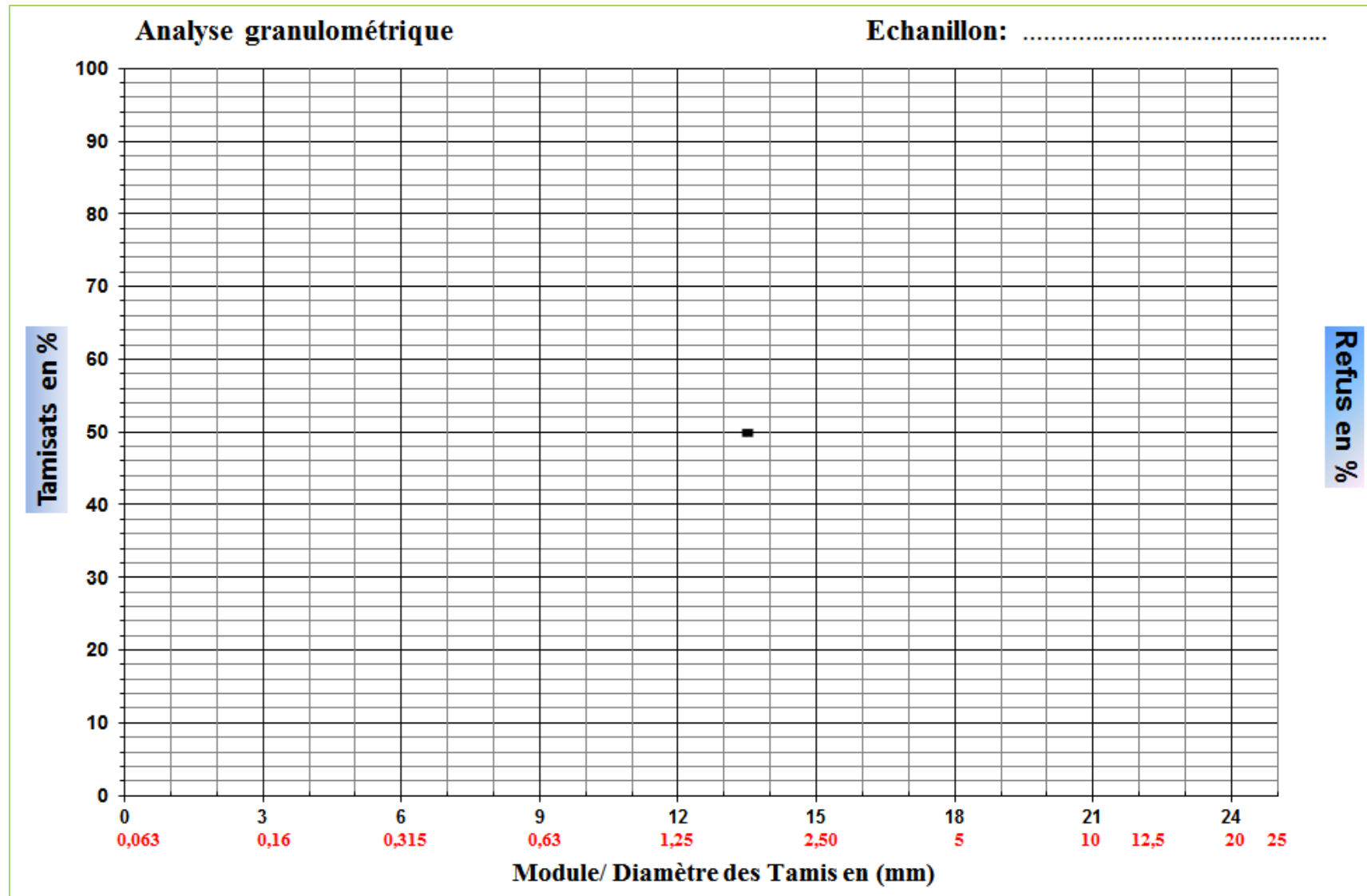
Calcul du Module de finesse :

$$Mf = [Refus\ cumulé\ (0,125 + 0,25 + 0,5 + 1 + 2 + 4)] / 100$$

$$Mf = \cdots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

Qualité du sable :

Interprétation des résultats et Conclusion



Fiche N° :

Analyse granulométrique d'un Gravier

Norme : NF EN 933-1 : 2012

Laboratoire :	
Opérateur : Nom et prénom	Date : 20/02/2020
Désignation de l'Echantillon : Gravier 5/15	
Provenance (Origine): Oued El Aneb – Annaba	
Chantier : 100 Logements à Draa Erriche	
Masse de l'échantillon initiale sèche (g)	

Tamis		Masse des refus	Masse des refus cumulés	Pourcentage des refus cumulés	Pourcentage des Tamisats cumulés	Observation
Module	Dimensions	(g)	(%)	(%)	(%)	
45	25					
44	20					
43	16					
42	12,5					
41	10					
40	8					
39	6,3					
38	5,0					

Interprétation des résultats et Conclusion