

Analyse granulométrique des sols

1. Définitions :

- **Tamis** : il est constitué d'une toile métallique définissant des trous carrés (Photo 1).
- **Refus** : c'est la partie retenue par le tamis (figure 2).
- **Le tamisat** : c'est la partie qui traverse le tamis (figure 2).



Photo 1 : Tamis

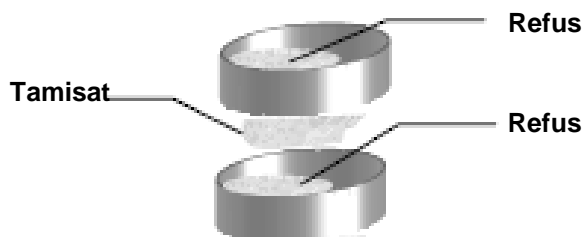


Figure 2 : présentation du refus et du tamisat

2. But de l'essai :

- L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue :
 - Par tamisage (tamis à maille carrée) pour les grains de diamètre supérieur à 80μ . Il se fait par deux méthodes :
 1. Tamisage par voie sèche (**NF P 94-056**).
 2. Tamisage par voie humide (**NF P 94-040**).
 - Par sédimentométrie pour les grains plus fins (**NF P 94-057**).

3. Tamisage par voie sèche (NF P 94-056)

3.1. Principe de l'essai :

- L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériaux par brassage sous l'eau, à fractionner le sol, une fois séché, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulée sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse.

3.2. Appareillage :

Il comprend :

- Un jeu de tamis emboîtables dont les dimensions sont présentées ultérieurement. Les tamis sont emboîtés dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissantes du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire (la sédimentométrie). Et un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériaux pendant le tamisage.

- Un dispositif de lavage avec arroseur et, éventuellement, de malaxage.
- Balance dont les portées maximales est minimales sont compatibles avec les masses à peser, celles-ci effectuées avec une incertitude maximale de 1/1000 de la pesée.
- Tamiseuse électrique (Photo 2).
- Etuve.
- Spatule, pinceau, main écope, bacs,.....



Photo 2 : Tamiseuse électrique

3.3. Dimensions nominales des tamis :

- La dimension nominale des tamis est donnée par l'**ouverture** de la maille, c'est à dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent en multipliant par environ **1.259** depuis le tamis de **0.08mm** jusqu'au tamis de **80mm**. Chaque tamis est désigné par un **numéro de module** (tableau 1).

Tableau 1 : Dimensions nominales des tamis

Modules	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
tamis	0,08	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,63	0,80
Modules	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,3	8	10
Modules	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80		

3.4. Préparation de l'échantillon :

- Prélèvement de l'échantillon de telle manière à avoir une faible quantité représentative, il est recommandé de se tenir dans les limites définies par la formule suivante :

$$200D < m < 600D$$

- où : **m** est la masse sèche de l'échantillon exprimé en grammes et **D** est la dimension maximale exprimée en millimètres des plus gros éléments.
- L'essai s'effectue sur le matériau à la teneur en eau à la quelle se trouve à l'état humide naturel.
- On prélève deux échantillons représentatifs du matériau :
 - L'un des échantillons soumis à l'essai est pesé **m_h**
 - L'autre échantillon est utilisé pour déterminer la teneur en eau **W** suivant la méthode normalisée retenue.

3.5. Mode opératoire :

- La pesée de départ de l'échantillon est **m_{h1}** (pour un échantillon humide), et **m_{d1}** (pour un échantillon sec). Dans l'état humide on doit déterminer **W** pour déduire **m_{d1}**.
- Laver l'échantillon de telle façon à éliminer les éléments fins, de diamètre inférieur à 0.08mm, en projetant de l'eau en pluie à faible débit tout en remuant et en brossant les matériaux jusqu'à qu'il ne reste que des éléments propres.

- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105° ou à 50° (suivant la nature du sol).
- Peser l'échantillon après sa sortie de l'étuve, soit m_{d2} la masse sèche de l'échantillon.
- Verser la totalité du matériau séché au sommet d'une colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisée, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et de son ouverture.
- Terminer le tamisage en remuant soigneusement le matériau à la main, jusqu'à ce que plus aucun élément ne passe à travers les mailles de chaque tamis.
- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille, soit R_1 la masse de ce refus.
- Peser le refus du tamis immédiatement inférieur avec le refus précédent, soit R_2 la masse des deux refus.
- Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_i aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisat présent sur le fond de la colonne est également pesé.
- La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisat sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit au sommet de la colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du poids total de l'échantillon de départ.

3.6. calculs

- Après le tamisage, les masses des différents refus cumulés R_i , sont rapportées à la masse totale sèche de départ m_{d1} et les pourcentages de refus cumulés sont obtenus donc par la formule :

$\left(\frac{R_i}{m_d}\right) \times 100$ et ils sont inscrits sur la feuille d'essai. Les pourcentages de tamisats correspondants sont égaux à : $100 - \left(\frac{R_i}{m_d}\right) \times 100$ (voir tableau 2) .

Tableau 2 : Présentation des résultats

$$m_d = 2200 \text{ g}$$

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R (g)	Pourcentages des refus cumulés R (%)	Pourcentages des tamisats cumulés T (%)
8	56	2.54	97.46
6.3	264	12	88
5	708	32.18	67.82
2.5	1326	60.27	39.73
0.63	1824	82.91	17.08
0.315	1980	90	10
0.160	2045	92.95	7.05
0.08	2184	99.27	0.73
Fillers (<0.08)	2199	100	0.00

3.7. Courbe granulométrique :

- Les pourcentage des refus cumulés , ou ceux des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme

d'une courbe granulométrique en portant , **les ouvertures des tamis en abscisse** ,sur une échelle semi-logarithmique de façon à donner une représentation plus précise des particules fines (qui influent énormément sur le comportement des sols), et **les pourcentages en ordonné**,sur une échelle arithmétique (voir la figure sur la feuille d'essai).

4. Tamisage par voie humide (NF P 94-040) :

4.1. Principe de l'essai :

- L'essai de tamisage par voie humide consiste à faire passer au travers d'une colonne de tamis d'ouverture de plus en plus serrée une masse de sol donnée jusqu'au refus. La masse de sol sec restant dans chaque tamis est alors pesée.
- Le passage des grains de sol au travers des tamis est facilité par l'utilisation d'un mince filet d'eau et d'un pinceau. L'échantillon de sol a été également préalablement humidifié pendant quelques heures pour désagréger les mottes de sol.

4.2. Préparation de l'échantillon :

- La masse de l'échantillon est prise de la même manière présentée au paragraphe 3.4.

4.3. Mode opératoire :

- Déterminer la teneur en eau **W**
- Prendre l'échantillon m_h et le laisser tremper au préalable pendant 2 heures à 24 heures en agitant régulièrement.
- Peser chaque tamis vide (précision de 0.01g).
- Verser le contenu du récipient en haut de la colonne.
- Faire passer le sol dans les différents tamis à l'aide du pinceau et d'un mince filet d'eau jusqu'au refus (l'eau passant au travers des tamis devient claire).
- Mettre l'ensemble de la colonne à l'étuve.
- Peser chaque tamis plein et en déduire la masse de sol sec dans le tamis.

5. Interprétation des courbes :

- Soit D_x le diamètre pour lequel le tamisât est de x % (**ex: D_{30}** = diamètre du tamis pour lequel on obtient 30 % de passant).
- On définit alors les caractéristiques de la courbe granulométrique suivantes :

- **Le coefficient de Hazen (ou coefficient d'uniformité) C_U :**

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée, notamment en ce qui concerne les sables.

- Le coefficient de courbure C_C :

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{60})}$$

- Ce coefficient vient en complément de C_u dans la classification des sols **LCPC** (voir le cours) afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine).
- **A noter** : Un sol est bien gradué si 'il est **compris entre 1 et 3**

- **Continuité - discontinuité** :

- On dit que la courbe granulométrique est **continue** si entre deux granulats élémentaires consécutifs présents il manque au plus **3** granulats élémentaires. Il y a **discontinuité** si l'absence porte sur plus de **3** granulats élémentaires

• **Quelques exemples de courbes granulométriques** :

1. Granulométrie étalée et discontinue (alluvions de sables et graviers).
2. Granulométrie étalée et continue
3. Granulométrie serrée (sable)
4. Limon argileux
5. Argile limoneuse
6. Argile pratiquement pure (bentonite)

