

**PROPRIETES PHYSIQUES DES
MATERIAUX DE CONSTRUCTION**

INTRODUCTION

La connaissance des propriétés physiques est indispensable pour la construction des bâtiments et des ouvrages en général et dans l'application des calculs de stabilité des bâtiments.

BUT DES TRAVAUX PRATIQUES

Le but de ces TP est l'étude des propriétés physiques des matériaux de construction:

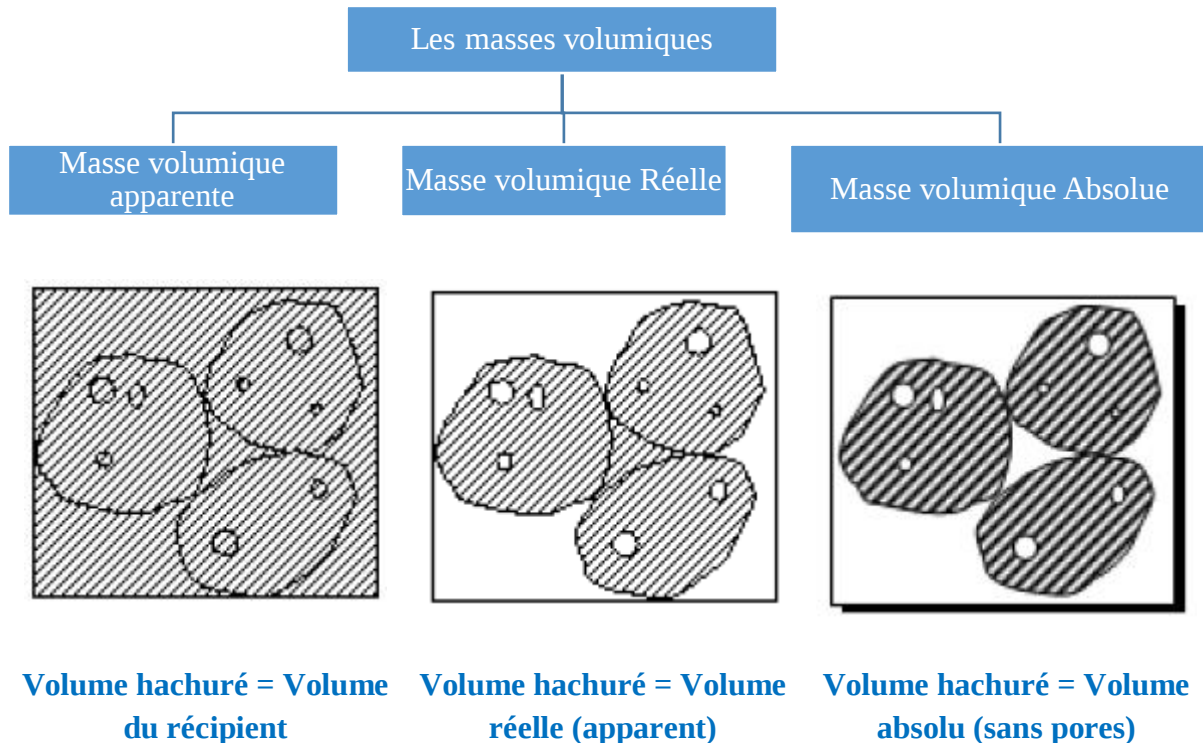
- 1- Masses volumiques (apparente et absolue) et porosité intergranulaire des granulats
- 2- Teneur en eau et Coefficient d'absorption d'eau des granulats
- 3- Analyse granulométrique des granulats.
- 4- Propreté des graviers Equivalent de sable

TP N° 01

LES MASSES VOLUMIQUES

1.1 Introduction

Parmi les propriétés principales des matériaux de construction on a la masse volumique, dans ce TP on va connaître et calculer les différentes masses volumiques des matériaux par plusieurs méthodes.



1.2 Définition

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'une substance par unité de volume. Cette grandeur est notée par les lettres grecques (ρ) (rho).

1.3 But de TP

- ☛ S'approprier la notion de masse volumique.
- ☛ De faire connaître le fonctionnement des matériels dans laboratoire.
- ☛ D'interpréter les résultats obtenus.
- ☛ D'estimer la précision de mesure.
- ☛ De permettre de mieux choisir les matériaux de construction pour une composition de bon béton

1.4 Norme et Unité de mesure

- ☛ Les masses volumiques apparente et absolue sont déterminées selon les normes **NF EN 1097-3** (1998) et **NF EN 1097-6/A1** (2014) respectivement.

- ☛ L'unité de mesure normalisée de la masse volumique absolue est (Kg/m^3) ou (g/cm^3) .

1.5 Principe

1. **Masse volumique apparente** : remplir un récipient de capacité $(1 dm^3)$ et déterminer la masse du contenu.
2. **Masse volumique réelle** : la méthode utilisée est celle de l'éprouvette graduée.
3. **Masse volumique absolue** : la méthode utilisée est celle la méthode de pycnomètre.

1.6 Matériels

- 1/ Récipient $1 dm^3$ + Entonnoir
- 2/ Pycnomètre
- 3/ Eprouvette + Balance

		
Récipient $1 dm^3$ + Entonnoir	Pycnomètre	Eprouvette + Balance

1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (ρ_{app})

1.1 Définition

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, y compris les vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

1.2 Norme

La masse volumique apparente est déterminée selon la norme NF EN 1097-3 (1998): Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. – Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire.

ETAPE 1

1.3 Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau de forme régulière (acier, béton et bois).

1.3.1 But du TP

Ce TP consiste à analyser un échantillon d'un matériau de forme régulière :

- Calculer sa masse volumique apparente.
- Vérifier et comparer les résultats trouvés avec l'ordre de grandeur universel de la masse volumique du matériau concerné.

1.3.2 Matériel utilisé

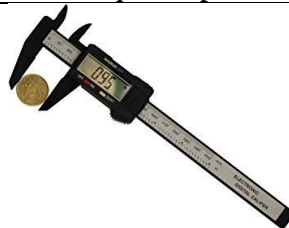
- 1- Etuve réglé à 105 ± 5 °C pour séchage des matériaux ;
- 2- Pied-à-coulisse ;
- 3- Règle métallique graduée en (cm) ;
- 4- Balance électronique de précision (0,1 g) ;



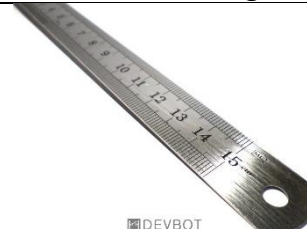
Etuve de laboratoire



Balance électronique de précision (0,1 g)



Pied-à-coulisse digitale



Règle métallique graduée en (cm)

1.3.3 Matériaux utilisés

- Echantillon en Acier (Morceau de cornière, barre d'acier pour béton)
- Eprouvettes cubique et cylindrique en Béton
- Morceaux en Bois et contre plaquée

1.3.4 Mode opératoire

- Prendre trois échantillons de chaque matériau.
- Sécher les échantillons dans l'étuve de séchage à $T = 105 \pm 5$ °C.
- Laisser refroidir les échantillons jusqu'à la température ambiante.

- Peser les échantillons sur la balance électronique, ***M en (g)***.
- Mesurer les dimensions en (cm) (longueurs (*L*), largeurs (*l*) et épaisseurs (*h*)) à l'aide de la règle métallique ou avec le pied-à-coulisse.
- Calculer les volumes des échantillons, ***V en (cm³)***
- Déterminer la masse volumique apparente $\rho_{app} = \frac{M}{V} \left[\frac{g}{cm^3}, \frac{kg}{m^3} \right]$
- Interpréter les résultats trouvés et les comparer avec l'ordre de grandeur universel de la masse volumique du matériau concerné

1.3.5 Tableaux des résultats

Masse volumique apparente d'un matériau de forme régulière

A- Matériau Acier :

N° Ech.	Masse <i>M (g)</i>	Dimensions			Volume (<i>cm³</i>)	ρ_{app} (<i>g/cm³</i>)	ρ_{moy} (<i>g/cm³</i>)
		<i>L (cm)</i>	<i>l (cm)</i>	<i>h (cm)</i>			
1 (Plaque)							
2 (Fer rond)							
3 (cornière)							

B- Matériau Béton :

N° Ech.	Masse <i>M (g)</i>	Dimensions			Volume (<i>cm³</i>)	ρ_{app} (<i>g/cm³</i>)	ρ_{moy} (<i>g/cm³</i>)
		<i>L (cm)</i>	<i>l (cm)</i>	<i>h (cm)</i>			
1 (Disque)							
2 (E cubique)							
3 (E cylindrique)							

C- Matériau Bois :

N° Ech.	Masse <i>M (g)</i>	Dimensions			Volume (<i>cm³</i>)	ρ_{app} (<i>g/cm³</i>)	ρ_{moy} (<i>g/cm³</i>)
		<i>L (cm)</i>	<i>l (cm)</i>	<i>h (cm)</i>			
1							
2							
3							

1.3.6 Conclusion et Interprétation des résultats

ETAPE 2

1.4 Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau de forme Irrégulière (une roche)

1.4.1 Mode opératoire

1. Faire séjourner l'échantillon de roche à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant 24 heures.
2. Peser l'échantillon sec : (M_1).
3. Paraffiner l'échantillon sec : pour cela faire fondre la paraffine, y plonger l'échantillon et faire refroidir. Si des bulles d'air apparaissent sur la surface de l'échantillon, utiliser une pièce métallique chauffée pour les faire disparaître.
4. Peser l'échantillon paraffiné : (M_2).
5. Déterminer le volume (V_1) de l'échantillon paraffiné en le plaçant dans un récipient gradué contenant un volume (V_2) d'eau. (la paraffine empêche l'eau de s'infiltrer dans l'échantillon) :

$$V = V_2 - V_1$$

6. Déterminer la masse volumique apparente de la roche, sachant que la masse volumique de la paraffine est de ($\rho_{para} = 0,98 \text{ g/cm}^3$), Pour cela, on commence par déterminer le volume de la paraffine.

1.4.2 Tableau des résultats

Masse volumique absolue d'une roche

		Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la roche sec	M_1 (kg)			
Masse de la roche paraffinée	M_2 (kg)			
Volume d'eau dans le récipient	V_1 (m^3)			
Volume d'eau + roche paraffiné	V_2 (m^3)			
Volume de la roche paraffiné	$V = V_2 - V_1$ (m^3)			
Masse de paraffine	$M_p = M_2 - M_1$ (kg)			
Masse volumique de paraffine	ρ_{para} (kg / m^3)	980	980	980
Volume de paraffine	V_{para} (m^3)			
Volume de la roche	V_{roche} (m^3)			

Masse volumique absolue de la roche	ρ_{abs} (kg /m ³)			
-------------------------------------	--	--	--	--

1.4.3 Conclusion et Interprétation des résultats

ETAPE 3**1.5 Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau pulvérulent (Granulats : gravier, sable)****1.5.1 Matériel utilisé**

- 1- Étuve réglée à 105 ± 5 °C pour sécher les granulats ;
- 2- Entonnoir sur trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile ;
- 3- Récipient de mesure (1 dm^3)
- 4- Balance de précision (1 cg)
- 5- Règle à araser



Étuve réglée à 105 ± 5 °C pour sécher les granulats



Entonnoir + Récipient de mesure (1 dm^3)



Balance de précision ($0,1 \text{ g}$)



Règle à araser



Bac en plastique pour effectuer les essais

1.5.2 Matériaux utilisés

- 1- Un échantillon de sable
- 2- Un échantillon de gravier

1.5.3 Mode opératoire

- Sécher les échantillons à l'étuve jusqu'à masse constante à $T = 105 \pm 5$ °C.
- Prendre un récipient de volume connu ($V = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3$), et le peser vide (M_0 en g).
- Remplir le récipient du matériau sec à l'aide d'un entonnoir jusqu'à ce qu'il déborde en formant un cône.
- Araser l'excès à l'aide d'une règle

- Peser le récipient rempli de matériau (M_1 en g)
- Déduire la masse de l'échantillon : ($M = M_1 - M_0$) en g
- Calculer la masse volumique apparente de l'échantillon selon la formule suivante :

$$\rho_{app} = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

1.5.3.1 Mode opératoire sans tassement

La procédure de détermination de la masse volumique apparente du sable sans tassement est présentée à travers les photos suivantes :



1.5.3.2 Mode opératoire avec tassement

La procédure de détermination de la masse volumique apparente d'un matériau avec tassement est exposée à travers les photos suivantes :

1/ Peser le récipient mesure vide (M_0 en g). Le volume net (V) du récipient doit être connu précisément (V en cm^3)	
2/ Remplir le récipient de mesure avec la matière (depuis une hauteur comprise entre 20 et 30 cm) en prenant soin d'obtenir un cône le plus haut possible	
3/ Afin de « tasser » la matière, lâcher le récipient plein depuis une hauteur de 15 cm afin qu'il tombe en chute libre en position verticale. Réaliser cette opération 3 fois	
4/ Combler les espaces vides obtenus dans la partie supérieure du récipient	

5/ Araser le niveau supérieur du récipient à l'aide d'une baguette en effectuant un mouvement oscillant. Si le fait d'enlever des gros morceaux provoque des vides dans la surface aplaniée, il faut combler ces derniers avec d'autres morceaux plus petits.	
6/ Peser le récipient plein et aplanié (M_1 en g) et calculer la masse de l'échantillon : $(M = M_1 - M_0)$ en g 7/ Déterminer la masse volumique apparente à l'état réception à l'aide de la formule ci-dessous : $\rho_{app} = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$	

1.5.4 Tableaux des résultats

La masse volumique apparente des granulats (sable et gravier)

	Essai sans tassement							
	Sable				Gravier			
	M_{Rv} (g)	M_{RP} (g)	V_R (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)	M_{Rv} (g)	M_{RP} (g)	V_R (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
Essai 1								
Essai 2								
Essai 3								
ρ_{app}^{Moy} (cm ³)								

	Essai avec tassement							
	Sable				Gravier			
	M_{Rv} (g)	M_{RP} (g)	V_R (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)	M_{Rv} (g)	M_{RP} (g)	V_R (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
Essai 1								
Essai 2								
Essai 3								

$\rho_{app}^{Moy} (cm^3)$				
---------------------------	--	--	--	--

M_{Rv} : Masse du récipient vide ;

M_{RP} : Masse du récipient rempli ;

V_R : Volume du récipient.

1.5.5 Conclusion et Interprétation des résultats

1. Remplir la fiche d'essai ci-joint.
2. Commenter les valeurs trouvées en les comparant avec les valeurs des masses volumiques des matériaux données dans le tableau suivant.

Matériau	Masse volumique apparente
Sable	1450 à 1650 kg/m ³
Gravier	1550 à 1900 kg/m ³

ETAPE 4

2. MASSE VOLUMIQUE REELLE (ρ_r)

2.1 Définition

La masse volumique réelle (ρ_r) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides entre des grains.

La méthode pour déterminer la masse volumique réelle est celle de la **Méthode de l'éprouvette graduée**. C'est une méthode très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible.

2.2 But du TP

Ce TP consiste à analyser un échantillon d'un matériau pulvérulent (granulat).

- Calculer sa masse volumique réelle.

2.3 Détermination de la masse volumique réelle des granulats

2.3.1 Matériel utilisé

- 3- Etuve pour sécher les granulats
- 4- Entonnoir sur trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile
- 5- Eprouvette graduée
- 6- Balance électronique de précision (0,01 g)
- 7- Éprouvette graduée de l'ordre de 500 cm³ de volume.



Etuve



Eprouvette graduée



Balance électronique (0,01 g)



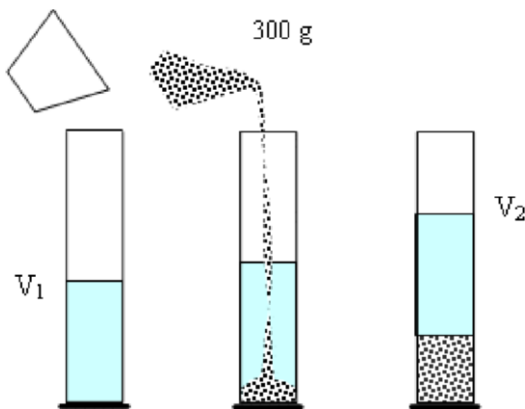
Entonnoir

2.3.2 Matériaux utilisés

- Un échantillon de sable
- Un échantillon de gravier

2.3.3 Mode opératoire (Méthode de l'éprouvette graduée)

- Peser une masse de $M = 300 \text{ g}$ de matériau sec.
- Remplir l'éprouvette graduée d'un volume ($V_1 \text{ en cm}^3$) d'eau (chimiquement inerte par rapport au matériau).
- Introduire le matériau dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air en frappant légèrement l'éprouvette contre la paume de la main.



- Lire sur l'éprouvette le nouveau volume obtenu ($V_2 \text{ en cm}^3$), les lectures de volume doivent être effectuées en bas de ménisque d'eau.
- Déduire le volume de l'échantillon $V_{ech} = V_2 - V_1 \text{ (en cm}^3\text{)}$.
- Calculer la masse volumique absolue

$$\rho_r = M/V_{ech} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

- Répéter l'essai trois fois.

Procédure de détermination de la masse volumique réelle (Méthode de l'éprouvette graduée) par images.

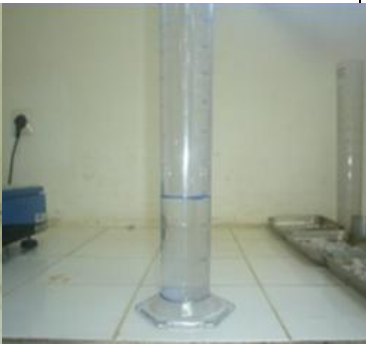
		
<i>Pesage de l'échantillon</i>	<i>Volume d'eau ($V_1 \text{ en cm}^3$)</i>	<i>Nouveau volume obtenu ($V_2 \text{ en cm}^3$)</i>

Figure 1 Méthode de l'éprouvette graduée

2.3.4 Tableau des résultats

	Masse volumique absolue ρ_r (g/cm^3)							
	Sable				Gravier			
	M (g)	V_1 (cm^3)	V_2 (cm^3)	ρ_r (g / cm^3)	M (g)	V_1 (cm^3)	V_2 (cm^3)	ρ_r (g / cm^3)
Essai 1								
Essai 2								
Essai 3								
ρ_r^{Moy} (g / cm^3)								

2.3.5 Conclusion et Interprétation des résultats

1. Remplir la fiche d'essai ci-joint.

ETAPE 5

3. MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE (ρ_{abs})

3.1 Définition

La **masse volumique absolue** (ρ_{abs}) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides et des pores pouvant exister dans ou entre des grains.

La méthode pour déterminer la masse volumique réelle est celle de la **méthode du pycnomètre**.

3.2 Norme

La masse volumique apparente est déterminée selon la norme : **NF EN 1097-6/A1** (2014).

3.3 But du TP

Ce TP consiste à analyser un échantillon d'un matériau granulaire:

- Calculer sa masse volumique absolue.
- Vérifier et comparer les résultats trouvés avec l'ordre de grandeur universel de la masse volumique du matériau concerné.

3.4 Détermination de la masse volumique absolue des granulats

3.4.1 Matériel utilisé

- 1- Etuve pour sécher les granulats
- 2- Entonnoir sur trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile
- 3- Eprouvette graduée
- 4- Balance électronique de précision (0,01 g)
- 5- Éprouvette graduée de l'ordre de 500 cm³ de volume.



Etuve pour séchage des matériaux



Pycnomètre



Balance électronique (0,01 g)



3.4.2 Matériaux utilisé

- Un échantillon de sable
- Un échantillon de gravier

3.5 Méthode de pycnomètre

Le Pycnomètre : Il est généralement composé de deux éléments en verre s'assemblant précisément par un joint en verre rodé :

- une fiole (classiquement d'une capacité de 50 cm^3) ;
 - un bouchon percé d'un tube très fin (capillaire).
- Pycnomètre à bouchon capillaire**

Lorsque l'on ajuste le bouchon sur la fiole, le trop-plein de liquide s'échappe par l'extrémité supérieure du tube et, dans la mesure où ce tube est très fin, le volume de liquide est déterminé avec une grande précision.



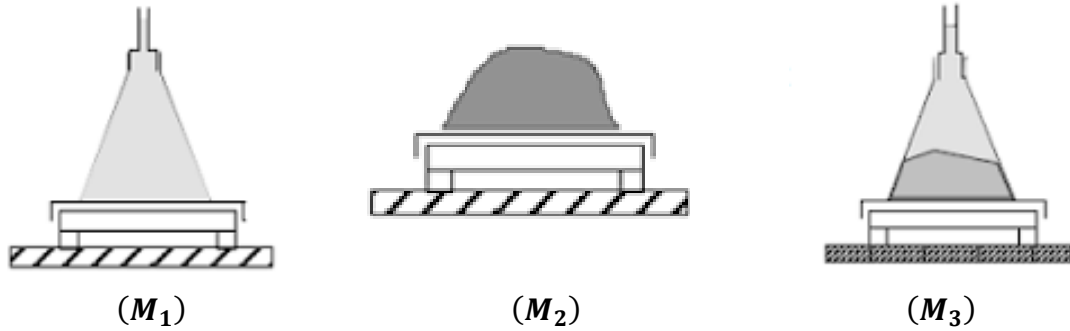
Photo d'un pycnomètre

La capacité du pycnomètre propre étant connue avec précision (indiquée par le fabricant ou mesurée par étalonnage), il suffit de peser au moyen d'une balance de précision.

Le pycnomètre avant et après remplissage pour déterminer par calcul la masse volumique d'un produit liquide, ou éventuellement solide.

3.6 Mode opératoire

- On pèse le pycnomètre rempli de l'eau jusqu'au trait repère soit : (M_1).
- Après on pèse une échantillon de granulats soit : (M_2).
- On introduit l'échantillon dans l'eau après avoir vidé le pycnomètre à moitié.
- Après 24 heures de saturation du matériau, on élimine l'air et remplir l'eau jusqu'au trait repère et on pèse, soit : (M_3).



- On calcul la masse volumique absolue selon la formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2 \times \rho_{eau}}{M_1 + M_2 - M_3}$$

Pour simplifier les calculs, on prend $\rho_{eau} = 1 \text{ g/cm}^3$, d'où on aura :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2}{M_1 + M_2 - M_3}$$

3.7 Conclusion et Interprétation des résultats

1. Remplir la fiche d'essai ci-joint.

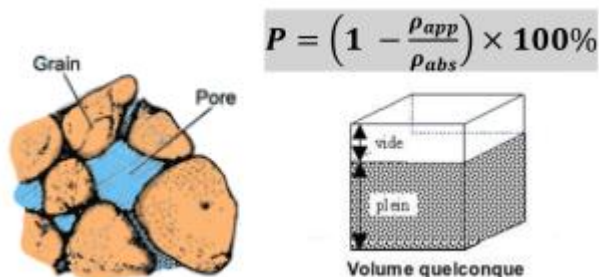
ETAPE 6

4. POROSITE INTERGRANULAIRE $\{P (\%)\}$

4.1 Définition et principe

La porosité est le rapport de volume des vides par unité de volume apparent, c'est-à-dire le degré de remplissage par les vides et les pores.

Le pourcentage de porosité intergranulaire se calcule à partir de la masse volumique apparente (en vrac) et de la masse volumique réelle (absolue).



4.2 Norme

La porosité intergranulaire est déterminée selon les normes **NF EN 1097-3** : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire.

La porosité intergranulaire est calculée en pourcentage, selon la formule suivante :

$$P (\%) = \frac{\rho_{abs} - \rho_{app}}{\rho_{abs}} \times 100 \%$$

4.3 Tableau des résultats

Matériaux	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{abs} (g/cm^3)$	Porosité $\{P (\%)\}$
Sable			
Gravier			

4.3.1 Conclusion et Interprétation des résultats

Dans ces TP, nous avons pu servir du matériel et appareillage du laboratoire, dont on a réalisé les différents essais et manipulations afin de déterminer les différentes masses volumiques (apparente, réelle et absolue) d'un matériau, ainsi que la porosité intergranulaire.

