

Belouadah Messaouda

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.

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

But de l'essai

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité volume de ce corps comme on distingue le volume absolu et le apparent, il faut distinguer de même.

- ✓ **Masse volumique absolue** : C'est la masse par unité de volume absolue du corps, c'est-à-dire du Volume constitué par la matière du corps, sans tenir compte du volume des vides.
- ✓ **Masse volumique apparent** : C'est la masse par unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du Volume constitué par la matière du corps et le vide qu'elle contient.

Masse volumique apparent

Principe

Remplir une mesure de 1dm^3 , et en déterminer la masse. .

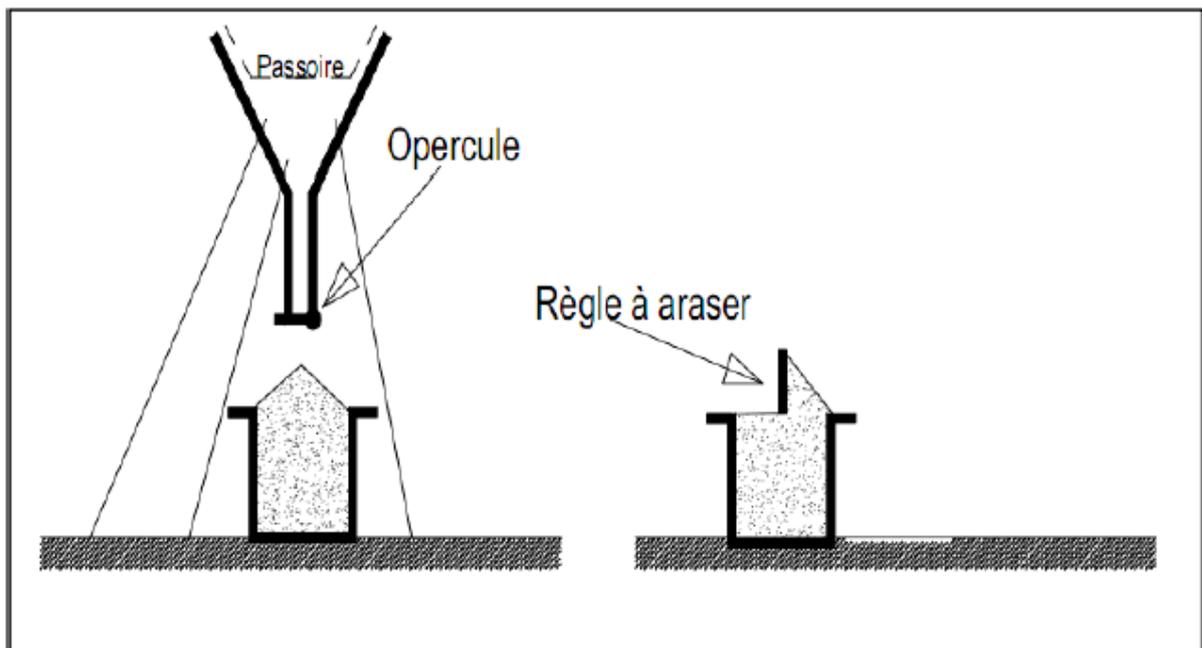
Matériel

- Balance technique à 0.01g.
- Une règle à araser.
- Etuve à $t= 105^{\circ}\text{C}$.
- Une mesure d'un litre.
- Entonnoir.
- Main écopé.
- Tamis de 0.2m

- Un échantillon de sable.
- Un échantillon de gravier.

Mode opératoire

1. peser la mesure d'un litre vide.
2. prendre le sable (ou le granulat) dans les deux mains formant entonnoir.
3. Placer les mains à 10cm environ au-dessus de la mesure d'un litre, et laisser tomber ce sable (ou gravier), ni trop vite, ni trop lentement.
4. Verser ainsi le corps, toujours au centre de la mesure, Jusqu' à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône.
5. Araser à la règle.
6. Peser le récipient rempli : noter .(M)
7. Calculer la masse volumique apparente : $\rho_{app} = \frac{M}{V}$
8. Refaire la mesure 3 fois.



Formules de calculs

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_0}$$

Résultats obtenus

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₂ -M ₁ (g)	V ₀ = 1L cm ³	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{moy}
1						
2						
3						

Commentaire

.....

.....

.....

.....

Masse volumique absolue

Définition

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine(volume de matière seule, pores ' l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en(g/cm³, kg/m³).

But de l'essai

Mesurer la masse volumique absolue d'un gravier et d'un sable de carrière et la comparer avec la valeur théorique donnée.

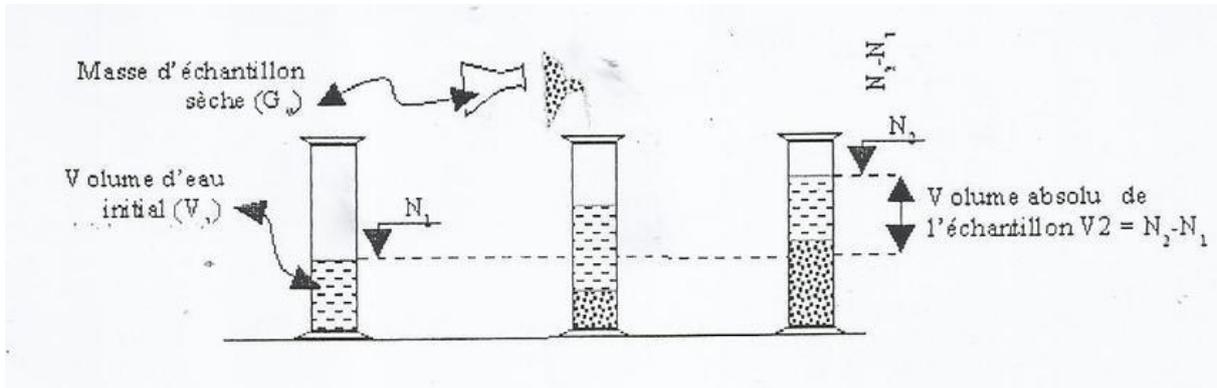
Matériel et Matériaux

1. un récipient
2. un entonnoir
3. une balance
4. un échantillon de sable
5. un échantillon de gravier

Mode opératoire

- ✓ On remplir une éprouvette graduée avec un volume V₁ d'eau.

- ✓ On pèse un échantillon sec m de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. En suit on Lit le nouveau volume V₂.
- ✓ Calculer la masse volumique absolue : $\rho_{abs} = M / V_2 - V_1$
- ✓ Refaire la mesure 3 fois.



Echanttion	N° d'essai	M (kg)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} moy (g/cm ³)
Sable	1					
	2					
Gravien	1					
	2					

Commentaire

.....

.....

.....

Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

Les résultats sont représenté dans les tableaux suivant :

Tableau IV.8 : Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé.

fraction de gravie	Porosité	Compacité	l'indice de vide
3/8	52.90	47.1	1.123
8/16	48.98	51.02	0.960

IV.3.1.6 Degré d'absorption d'eau : [NA EN 1097-6]

Le coefficient A mesure la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant, on en tient compte dans la formulation, Elle est exprimée en (%) et définit par la formule [18] :

$$A(\%) = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) * 100$$

M_H : La masse du matériau sature d'eau en (g).

M_S : La masse du matériau sec en (g).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) concassé.

Fraction	M _H (g)	M _S (g)	A (%)
3/8	1000	975	2.50
8/16	1000	983	1.17



Figure IV.8: tamisage de gravier concasse et recycle avec un tamis 1.6 mm.

III-2-10) Résistance aux chocs : (Essai Los-Angeles) N.F P 18 – 573:

L'essai consiste à mesurer la résistance à la fragmentation par choc entre les granulats et des boulets normalisés dans la machine los Angeles. Il s'agit de mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm produit en soumettant le matériau de masse aux chocs des boulets.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV.13. Résultats d'essai de Los Angeles du gravier concassé (3/8), (8/15).

Fraction	LA (%)
3/8	25.00
8/16	11.70

Les valeurs de la résistance à la fragmentation montrent que le gravier testé est très dur et reconnu apte pour la confection du béton.

Les valeurs de la résistance à la fragmentation montrent que le gravier testé est assez dur et reconnu apte pour la confection du béton.

IV.3.2 Le sable :

Le sable utilisé dans le cadre de notre étude expérimentale est un sable de dune, le sable a été prélevé de la région de OUED SOUF, il est apprécié pour ces bonnes caractéristiques.

IV.3.2.1 Analyse granulométrique du sable : [NA EN 933-1]

➤ But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

Tableau IV.15 : *Tamis utilisés pour le tamisage des graviers.*

Fraction	Tamis utilisés (exprimé en mm)
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08 et le fond)

Les résultats de l'analyse granulométrique de sable sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.16 : *Analyse granulométrique du sable de Boussaâda*

D plus grande dimension spécifiée en millimètres.

Diamètre des tamis (mm)	Refus élémentaire (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	1.58	1.58	0.158	100
2,50	17.16	18.74	1.874	99.842
1,25	58.5	77.24	7.724	98.126
0,63	222.33	299.57	29.957	92.276
0,315	423	722.57	72.257	27.743
0,16	225.33	947.9	94.79	5.210
0,08	48.33	996.23	99.623	0.377
Fond	3.66	999.89	99.989	0.011

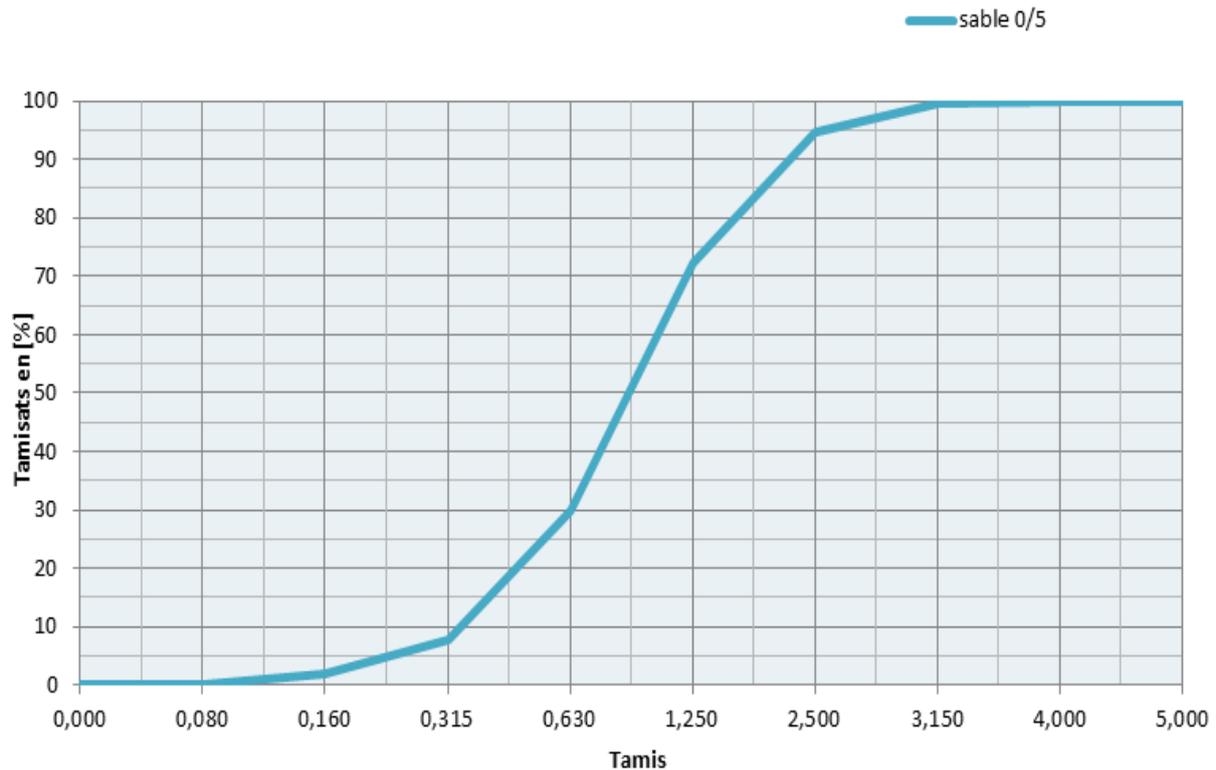


Figure IV.9 : *Courbe granulométrique du sable De bou saada*

IV.3.2.2 Le module de finesse : [82]

C'est un facteur très important qui nous permet de déterminer la grosseur du sable. Le module de finesse correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramener à l'unité pour les tamis d'ouverture exprimé en (mm), (5-2.5-1.25-0.63-0.315-0.125). Il est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{1}{100} (\sum (\text{refus cumulés en \% des tamis}\{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\}))$$

$$MF = (0.158 + 1.874 + 7.724 + 29.957 + 72.257 + 94.79) / 100 = 2.07$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à :

$$MF = 2.07 \quad MF \text{ entre } 2 \text{ et } 2.5 \text{ (c'est un sable moyen).}$$

IV.3.2.3 Equivalent de sable : NA EN 933-8

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuse ou ultra fin contenue dans le sable et pourcentage de poussière nuisible et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons.

Les résultats obtenus sont représenté dans les tableaux suivants :

Tableau IV.19 : *Résultats d'essais d'équivalent de sable de Boussaâda testé.*

N° d'essais	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	E.S.v (%)	E.S.v moy (%)	h' ₂ (cm)	E.S.P (%)	E.S.P moy (%)
1	11.5	9.12	79.13	78.61	8.8	76.56	75.14
2	11.5	9	78.26		8.6	74.78	
3	11.6	9.1	78.44		8.6	74.13	

IV.3.2.4 La masse volumique :

A. Masse volumique apparente:[NA EN 1097-6] :

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.20 : *Masse volumique apparente du sable de bosaada à l'état lâche.*

N° d'essais	M (g)	V (mL)	γ_{app} (g/cm ³)	γ_{app} moy (g/cm ³)
1	1427	900	1.58	1.574
2	1423.8	900	1.582	
3	1408.4	900	1.56	

A.2. Masse volumique apparente à l'état compact

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.21 : *Masse volumique apparente du sable de bousaada à l'état compact.*

N° d'essais	M (g)	V (mL)	$\gamma_{app\ c}$ (g/cm ³)	$\gamma_{app\ c\ moy}$ (g/cm ³)
1	1507.2	900	1.67	1.716
2	1555.4	900	1.728	
3	1576.8	900	1.75	

B. La masse volumique absolue : [NA EN 1097-6]

Le mode opératoire et le même que celui utilise pour le gravier décrit précédemment. La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{abs} = M / (V2 - V1) \quad \text{avec : } M=300g$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.22 : *Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.*

N° d'essais	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g/cm ³)	$\rho_{abs\ moy}$ (g/cm ³)
1	300	400	425	2.400	2.309
2	300	400	435	2.222	
3	300	400	430	2.307	

IV.3.2.5 La porosité:

C'est une caractéristique très importante qu'il faut la prendre en considération car elle influés sur certain propriété tel que la résistance

mécanique.

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = [1 - (\gamma/\rho_s)] \times 100\%$$

A. à l'état lâche :

$$P_L = [1 - (\gamma_L / \rho_s)] \times 100\%$$

B. à l'état compact :

$$P_c = [1 - (\gamma_c / \rho_s)] \times 100\%$$

3.2.6. La compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité est donnée par la relation suivante : [18]

$$C = 1 - P$$

A. à l'état lâche :

$$C_L = 1 - P_L$$

B. à l'état compacte :

$$C_c = 1 - P_c$$

3.2.6. L'indice des vides :

Le rapport de volume des vides sur le volume des solides : [18]

$$e = p / (1-p)$$

A. à l'état lâche :

$$e_L = P_L / (1-P_L)$$

B. à l'état compacte :

$$e_c = P_c / (1-P_c)$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.23 : *La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.*

Porosité (%)		Compacité (%)		l'indice de vide	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
38.80	25.37	61.20	74.63	63.39	33.99

IV.3.3 L'eau de gâchage : (NA EN 1008)

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire de génie civil, l'université de m'sila.

IV.3.4 Les fillers de marbre :

Les fillers de marbre utilisé dans notre étude sont récupéré auprès de l'usine de « hamam dalaà » qui se situe dans la zone industrielle de la wilaya de m'sila

On a traité les déchets de marbre de façon à les pouvoir les utilisé comme ajout de substitution dans le ciment :

- 1^{er} étape a consisté à les sèche pour ça on a utilisé l'étuve qui se trouve au saine de laboratoire de génie civil.
- 2^{ème} étape été de les broyé, cette étape été réalisé au niveau de laboratoire de la cimenterie de HAMAM DALAA .

III-6-1- Les caractéristiques physiques :

Caractéristiques physiques de ce filler (marbre) sont présentées au tableau :

Tableau III-25- Caractéristiques physiques du marbre.

Propriété physique	Fine marbre
Masse volumique apparente (g/cm ³)	
Densité	
Surface spécifique (cm ² /g)	blaine

IV.3.4.1 Les caractéristiques chimiques :

La composition chimique des ajouts a été déterminée dans le laboratoire de la cimentré de HAMAM DALAA.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.25 : Analyse chimique des ajouts.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CL	P.A.F
<i>Filler de marbre</i>	2.38	0.64	0.46	53.42	2.36	0.49	0.07	0.05	0.03	42.29

III-4 Ciment

Le ciment utilisé dans notre recherche est un ciment mixte CPJ (Hammam Dalàa « M'sila ») de classe 425. La masse volumique spécifique de notre ciment est $c = 3.11 \text{ kg/m}^3$. La masse volumique apparente = 1.4.

III-4-1) Analyses chimiques du ciment (CPJ) :

Les résultats d'analyse sont regroupés dans les tableaux suivants:

يعاد الجدول

Tableau III-21- Analyse chimique du ciment.

Résultats d'analyses	Teneur en (%).
----------------------	----------------

Perte au feu	4.00 - 6.00.
Résidus insolubles	3.50 - 5.00
Teneur en sulfates (So3)	1.80 - 2.30.
Teneur en oxyde de magnésium (Mgo)	1.90 - 2.40
Teneur en chlorures	0.01 - 0.03
Teneur équivalent en alcalis	0.40 – 0.60.

III-4-2) propriétés mécaniques du ciment (CPJ):

Les propriétés mécaniques essentielles sont regroupées dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.30 : Propriétés mécaniques du ciment utilisé. [85]

Propriété		Valeur
Résistance à la flexion (MPa)	2 jours	4.08
	7 jours	6.68
	28 jours	8.41
Résistance à la compression (MPa)	2 jours	17.67
	7 jours	36.21
	28 jours	51.12

III-4-L'eau de gâchage :NA EN 1008

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

SOURCE : EAU DE ROBINET

IV.4 Détermination la composition de béton :

IV.4.1 Présentation de la méthode Méthodes de formulation

1.8.1 Méthode de Dreux-Gorisse

Cette méthode est de nature fondamentalement empirique. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants [De Larrard, 2000]. Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme semi-logarithmique (figure I.24).

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [Dupain, Lanchon, Saint-Arroman, 2000].

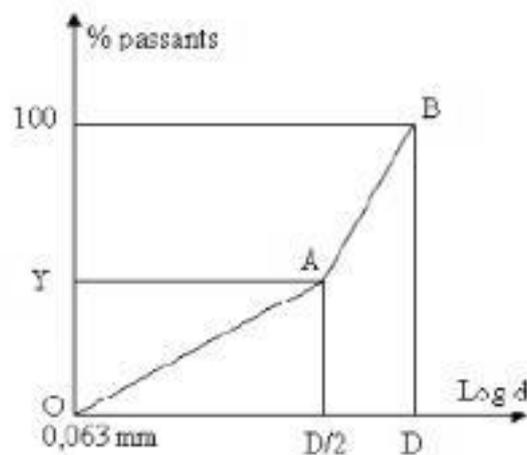


Figure I. 24: courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

Sur un graphe d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence OAB (figure I.24) Le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D des plus gros granulats, c'est-à-dire :

Point B (X= D_{max} et Y=100 %)

Point O (X= 0.063 et Y= 0)

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

- En abscisses (à partir de la dimension D du tamis)

Si : $D < 20$ mm ; l'abscisse est D/2.

Si : $D > 20$ mm l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38(5 mm) et le module correspondant à D.

IV.4.1.5 Détermination de la dépense en sable :

Après avoir déterminé la dépense en gravier, on calcule la dépense en sable (kg/m^3). [18]

$$S = [1000 - [(C/\rho_c) + E + (G/\rho_G)]] \times \rho_s$$

IV.4.2 Application:

Données de base :

- Consistance : $A_{ff} = 5-6$ cm.
- Résistance souhaitée : $R_{b28} = 35$ MPa.
- Classe de ciment employée $R_c = 42.5$ MPa.
- $D_{\max} < 20$ mm

*Sable de BOUSAàda :

$$\gamma_s = 1.413 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s = 2.309 \text{ g/cm}^3$$

*Gravier:

$$D_{\max} = 16 \text{ mm}$$

1) concassé:

$$\gamma_{pc} = 1.331 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{pc} = 2.609 \text{ g/cm}^3$$

*Ciment:

$$\rho_c = 3.05 \text{ g/cm}^3$$

A. détermination du rapport (E/C)

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0.5) \text{ donc : } C/E = R_b/A \cdot R_c + 0.5$$

Avec :

- $R_b = 350$ bars classe du béton
- $R_c = 425$ bars classe du béton
- $D_{\max} < 20\text{mm}$
- Affaissement $A = 5-6\text{cm}$

$$C/E = 1.87$$

B. Quantité d'eau :

- Aff = 5-6, pierres concassés, $D_{\max} < 20\text{mm}$

D'après le tableau $E = 192.5$ l c'est quantité dans le cas de (CPA, sable moyen).

$$E = 192.5$$

c. Quantité du ciment :

$$C = [(C/E) \times E] = 1.872 \times 192.5$$

$$C = 360.5 \text{ kg/m}^3$$

D. quantité de gravier :

$$G = 1000 / [(P_g \alpha / \delta_g) + 1 / \rho_g]$$

- Déterminer le coefficient d'écartement

On a : $E/C = 0.53$, dosage = 360.5 kg/m^3

Donc : $\alpha = 1.40$

- Déterminer la cavité

On a : $V = 1 - P$

Donc :

$$V = 1 - 0.51 = 0.49$$

$$G = 1000 / [0.49(1.40/1.331) + (1/2.609)] = 1112.73 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 1112.73 \text{ kg/m}^3$$

E. quantité de sable :

$$S = [1000 - \{C / \rho_c + E / \rho_e + G / \rho_g\}] \rho_s$$

$$S = [1000 - (360.5/3.05 + 192.5 + 1112.73/2.609)] \times 2.309$$

$$S=606.82 \text{ kg/m}^3$$

Pour 1 m³ de béton frais :

Tableau IV.34 : *dépense en matériaux pour 1 m³.*

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Gravier (3/8)	Gravier (8/16)
Dépense en Kg	192.5	360.5	606.82	445.092	667.638

IV.5.1 Etude du béton à l'état frais :

L'eau est un ingrédient essentiel du béton, qui remplit deux fonctions de base: Une fonction physique qui donne les propriétés rhéologiques nécessaires et une fonction chimique qui permet le développement de la réaction chimique. Il est important de connaître les propriétés du béton à l'état frais avant prise et durcissement, parmi ces propriétés la consistance qui peut se définir comme étant la facilité de la mise en œuvre du béton. Elle est appréciée par différents essais qui permettent tous de situer le béton sur une échelle de fluidité.

IV.5.1.1 Le malaxage : [NA EN 12390-2]

La réaction entre les différents composants, est d'autant plus complète que le mélange est homogène. Cinq étapes constituent le mode de fabrication des bétons.

- Introduire : gravier 8/16, ciment, ajout, sable 0/5 et gravier 3/8.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs.
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.



- Mesurer l'affaissement à chaque fois avec le cône d'Abrams jusqu'à obtenir la consistance voulu. [86]

Figure IV.14 : malaxeur utilisé.

IV.5.1.2 Affaissement au cône d'Abrams (Slump test): [NA EN 12350-2]

Cette essais est incontestablement un des plus simple et des plus fréquemment utilisé [3], cette essais est effectué conformément à la prescription de la norme [NA EN 12350-2].

Le dispositif utilisé dans cet essai est :

- Un cône tronconique place sur une surface lisse (hauteur = 30 cm, D = 20 cm, D=30cm).
- Une tige en acier de 1.6cm de diamètre dont l'extrémité est arrondie.

Le principe de cette essais consiste à remplir le cône tronconique avec le béton en trois couches de volume égale, chacune des couche est compacte avec la tige en acier 25 coups.

Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse.

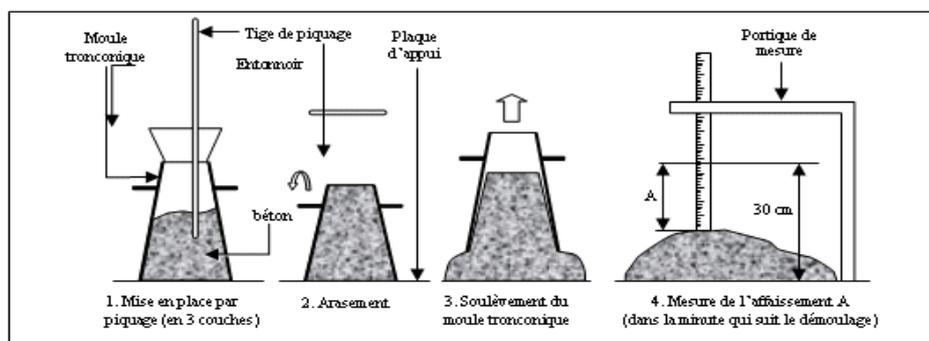


Figure IV.15: étape de mesure l'ouvrabilité du béton.

La différence entre la hauteur du béton affaissé et hauteur du cône est appelée l'affaissement. La valeur de l'affaissement est exprimée en cm. [86]

Dans notre étude l'affaissement visé est entre 5 et 6 cm c'est le cas d'un béton plastique.



la

6

Figure IV.16 : mesure l'affaissement du béton.

Tableau IV.38: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône. [3]

Class de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme (F)	0 à 4	±1
Plastique (P)	5 à 9	±2
Très plastique (TP)	10 à 15	±3
Fluide (FL)	16	±3

IV.5.1.3 Serrage du béton: [NA EN 12390-2]

Le béton frais est un mélange de ciment, d'eau, de sable, de gravillons, d'adjuvants et de ... bulles d'air. En raison des forces capillaires et des forces de frottement entre les granulats, le béton ne peut, sans effet mécanique, occuper la place des vides d'air. Cela peut être obtenu par le compactage mais principalement par la « VIBRATION ». La vibration met artificiellement en mouvement les éléments du béton (granulats, ciment, eau). Elle assure le bon remplissage des coffrages et des moules, le serrage du béton et sa désaération en favorisant l'imbrication des granulats et en expulsant les bulles d'air. [82]

Cette opération consiste à :

- Remplir les moule après avoir déterminé la consistance du béton et les place sur la table vibrante pendant un certain temps, dans notre cas (10 à 15 Seconde).

IV.5.1.4 Teneur en air : [NA EN 12350-7]

L'air occlus est le volume d'air relatif qui restera piégé dans le béton, même après la mise en œuvre [87]. Le but de cette essais et de mesurer la teneur en air occlus du béton frais c.-à-d. connaître la contenance en air d'un béton quelconque. La mesure de d'air occlus d'un béton frais est basée sur le fait que seul l'air occlus est compressible.

L'aéromètre travaille selon le principe de la loi de **BOYLE** – **MARIOTTE**.



FigureIV.17 :

aéromètre.

➤ **Mode opératoire :**

- Pesé la cuve vide par la balance et noté **M1**, Introduire le béton dans la cuve.
- Placer la cuve sur la table vibrante et vibrer pendant 15 secondes en complétant la quantité de béton, ensuite araser la surface supérieure et nettoyer les bords de la cuve.
- peser la cuve plein par la balance et noté **M2** pour calculer la masse volumique apparente.
- Mettre le chapeau sur la cuve, et serrer à l'aide des crochés.
- Régler l'aiguille à 100%.

- Vider l'air occlus jusqu'au niveau rouge.
- Régler l'aiguille à 0% à l'aide du bouton noir.
- Appliqué une pression à l'aide du bouton vert jusqu'à la stabilisation de l'aiguille.
- Après finir le mode opératoire, lire le pourcentage de l'air occlus sur l'écran.

IV.5.1.5. Densité (état frais) :

La densité des mélanges a été calculée en fonction de l'échantillon introduit dans l'appareil de mesure de l'air occlus. On se sert de la chambre inférieure de

L'aéromètre rempli par le mélange, avant la mesure de l'air occlus.

Si les poids de la chambre pleine et vide sont respectivement $M1$ et $M0$, la densité du mélange frais est égal à :



Figure IV.18 : mesure de la densité du béton à l'état frais.

$$d = \frac{M1 - M0}{V}$$

Le volume de la chambre inférieure de l'aéromètre $V = 8 \text{ L}$.

IV.5.1.6 Mode de conservation et durcissement

Nous avons conservé les éprouvettes dans leurs moules pendant les premières 24 heures dans une ambiance à $20^{\circ}\text{C} \pm 2$. Le degré d'humidité du milieu de conservation a une influence importante sur la résistance du béton [3].

Après démoulage, elles sont conservées dans un bac de conservation jusqu'au moment de l'essai. Ces derniers sont réalisés à 7, 14 et 28 jours.

IV.5.2. Etude de béton à l'état durci:

Le béton est considéré comme un solide monolithique après achèvement de la prise. C'est un matériau perpétuel en évolution. Ceci est dû aux plusieurs raisons parmi les quelles :

*La poursuite des réactions d'hydratation du ciment pendant plusieurs années notamment, la cohésion et les dimensions du matériau.

*Les variations du milieu ambiant engendrent des changements lents dans la structure du béton durci.

IV.5.2.1. Les essais non destructifs sur béton durci :

- **Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) :**
[NA EN 12504-2]

L'essai au scléromètre est destiné à mesurer la dureté superficielle du béton et il existe une corrélation empirique entre la résistance et l'indice sclérométrique. [88] Le marteau de Schmidt est le seul instrument connu qui utilise le principe du rebondissement pour les essais sur le béton.

➤ **Principe de l'essai**

Une masse commandée par un ressort se déplace sur un plongeur dans un tube de protection. La masse est projetée contre la surface de béton par le ressort, et l'indice sclérométrique est mesuré sur une échelle. La surface sur laquelle l'essai est effectué peut être horizontale, verticale ou à tout autre angle, mais l'appareil doit être étalonné à la position où il sera utilisé.

➤ **Mode opératoire :**

On place l'éprouvette entre les plateaux de la presse et on applique la vitesse constante (0.5



MPa) jusqu'à la charge de 10KN, puis on fait l'essai sclérométrique horizontal (10 coups).

La distance entre les points d'essai doit être au moins de (30mm), pour éviter l'influence du compactage superficiel du béton.

Figure IV.19 : *mesurer la dureté superficielle du béton.*

Pour chaque zone d'essai, on établit la moyenne des lectures au scléromètre après l'élimination des valeurs très faibles au très élevées.

La formule suivante proposée par Dreux [3] permet d'évaluer approximativement la résistance du béton ausculté :

$$R_c = \frac{I^2}{32}$$

Avec :

R_c : la résistance du béton en (MPa)

I : l'indice scléromètre (la moyenne des valeurs obtenu).

- **Auscultation dynamique (Ultra son) : [NA EN 12504-4]**

La méthode qui consiste à mesurer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques est actuellement la seule du genre qui permette d'effectuer des essais de résistance sur le béton coulé sur place.



Figure IV.20 : *mesure la vitesse du son.*

Le principe de cette méthode consiste à mesurer le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le béton à l'aide d'un générateur

et d'un récepteur, les essais peuvent être effectués sur des éprouvettes en laboratoire ou sur ouvrage.

Tableau IV.39 :
Qualité du béton et vitesse de

Qualité du béton	Vitesse de propagation des impulsions (m/s)
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660 – 4575
Douteuse	3050 – 3660
Mauvaise	2135 – 3050
Très mauvaise	Inferieure a 2135

propagation des impulsions. [89]

IV.5.2.3 La méthode combinée :

Dans certains cas, on combine les deux méthodes, l'essai par scléromètre et ultrason, ce qui permet ensuite l'établissement de la résistance mécanique de l'élément testé [3].

L'objectif de ces tests combinés est d'évaluer la résistance à la compression du béton coulé sur place, la meilleure approche est généralement de développer une relation de corrélation entre la vitesse d'ultrason, l'indice sclérométrique et la résistance à compression d'échantillon normalisée de laboratoire.

On a un exemple d'une formule combinée proposée par FERET [90] qui associe le résultat de l'essai à l'ultrason et celui du scléromètre :

$$R_c = \left(\frac{S}{3,64 + 0,0235 \cdot S - 0,56 \cdot v} \right)^2$$

Avec :

S : l'indice sclérométrique

V : la vitesse de propagation (mm/μs).

Rc: la résistance à la compression du béton (bars).

IV.5.2.4 Module d'élasticité dynamique :

A partir de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques, il est possible de calculer le module d'élasticité dynamique (Ed) selon l'expression suivante :

$$E_d = V^2 \gamma \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu}$$

Dans laquelle :

V : représente la vitesse des ondes, exprimée en km/s.

γ : la masse volumique du béton, exprimée en kg/m³

ν : coefficient de poisson du béton, dont la valeur est de 0.15 pour un béton de haut résistance et de 0.30 pour un béton de faible résistance.

Ed : module d'élasticité dynamique, exprimé en MPa. [91]

IV.5.4 Les essais destructifs sur béton durci :

IV.5.4.1 La résistance à la compression (essai d'écrasement): [NA EN 12390-3]

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubiques normalisée (10*10*10 cm ; norme NF P 18-406, NA 427).

➤ La presse hydraulique : [NA EN 12390-3]

La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 3000 KN conforme à la norme NF P 18-412 (NA 2832).



Figure IV.21 : Presse hydraulique.

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

La conduite de l'essai est la suivante : l'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de ± 0.2 MPa. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette [3].

$$R_c = F/S$$

R_c : résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm²).

Remarque :

La résistance sur cylindre est plus faible de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes. [3], [83]

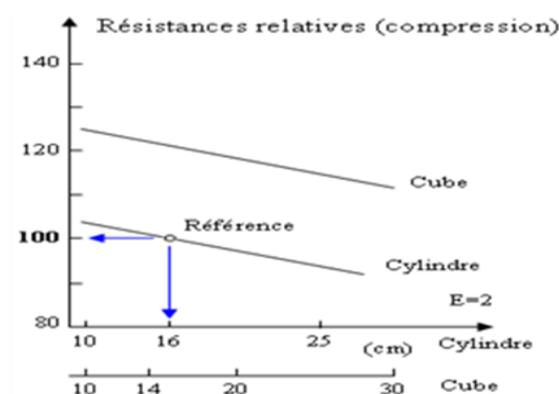


Figure IV.22 : *variation des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.*

IV.5.4.2 Essai de traction par fendage : [NA EN 12390-6]

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton normalisée (10*20 cm ; norme NF P 18-406, NA 427), suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse [92]. Cet essai est souvent appelé « Essai Brésilien ». Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, Cet essai nécessite que les éprouvettes présentent des génératrices bien rectilignes.

La mise, en charge s'effectue à la vitesse de **0,25 MPa/s** avec une tolérance de $\pm 0,1$ MPa par seconds. La résistance en traction par fendage sera :

$$f_{\text{tj}} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec :

P : charge de rupture en newtons.

D et L : diamètre et longueur du cylindre

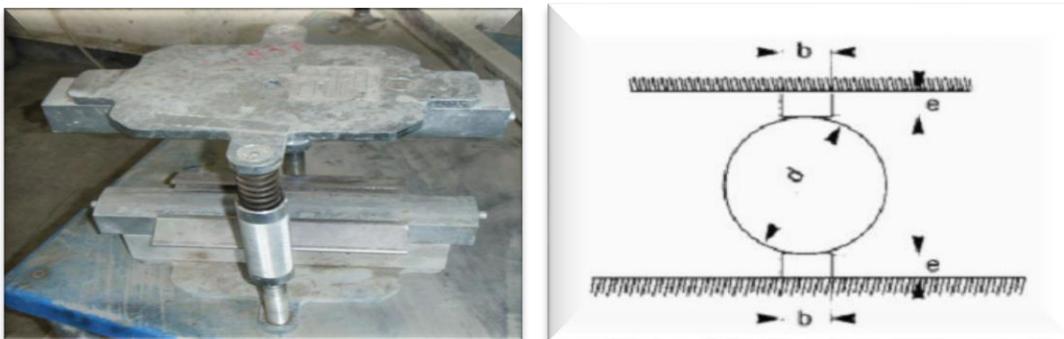


Figure IV.23 : *Disposition de mise en charge de l'éprouvette cylindrique pour l'essai de fendage. [3]*

Avec :

$$b = (0.09 \pm 0.01) d$$

$$e = 4 \pm 1 \text{ mm.}$$



Figure IV.24 : Essai de traction par fendage.

IV.5.5 Absorption d'eau : [NA EN 1097]

Cette norme a pour objet d'exposer la technique pour mesure le coefficient d'absorption d'eau par le béton.

➤ Préparation des carottes de béton :

Les carottes de béton utiliser pour cette essais sont des éprouvettes de béton cubique (10*10*10), qui ont été coupe en deux par une scie électrique et eprouvettes cylindrique (10*20).

Avant tout essai, les éprouvettes sont séchées à la température de 105°C jusqu'à une masse constante. On considère que cette masse est atteinte lorsque l'écart entre deux pesés effectuées à une heure d'intervalle est au plus égale à 1/1000 (Généralement, il suffit de 15heur à l'étuve pour éteindre cette masse).

➤ Mode opératoire :

On note la masse M1 (en gramme) de chaque éprouvette sèche.

- Au temps t, on place les éprouvettes dans l'eau potable jusqu'au quart de leur hauteur de façon que l'eau remonte perpendiculairement au lit de carrière.
- À [t+1 heures], on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau atteigne la moitié de la hauteur des éprouvettes.
- À [t+22heurs] on ajoute de l'eau jusqu'à ce que les éprouvettes soient complètement immergées.
- À [t+48heurs], les éprouvettes sont sorties de l'eau, rapidement essuyées à l'aide d'un chiffon ou d'une peau de chamois humide, puis pesées, soit M2 la masse (en grammes) de chaque éprouvette saturée d'eau à la pression atmosphérique [93].

➤ **Expression des résultats :**

L'absorption d'eau à la pression atmosphérique est $M2 - M1$.

Alors le taux d'absorption sera calculer a partir cette formule :

$$\text{Abs} = (M2 - M1) / M1$$

Abs : taux d'absorption.

M1 : masse d'éprouvette après l'étuvage.

M2 : masse d'éprouvette saturée d'eau