

**Chapitre III: caractéristiques des matériaux utilisés****Introduction:**

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable de dune de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- Le sable concassé de carrière (COSIDER).
- Le gravier concassé de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- Le ciment CPJ de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa.
- Les adjuvants : **MEDALAST SP 40** de Granitex. (super-plastifiant).
- L'eau potable du laboratoire.

**III.1.SABLE :****III.1.1. SABLE de dune D'OUED (BOUSAADA):****III.1.1.1 Origine du sable :**

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR  
(BOUSAADA)

**III.1.1.2. Caractéristiques physiques des sables utilisés:**

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**

**III. 1.1.2.1. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555**

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

**Mode opératoire :**

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **150g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **120** ml d'eau préparé préalablement dans **2<sup>ème</sup>** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume ( $V_e$ ) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :  $V_1 = V - 150$  ( ml ).

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho = \frac{M}{V_1} \quad \text{Avec : } M=150$$

Résultats obtenus :

**Tableau III.1** : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

N° d'essai	M (g)	$V_e (cm^3)$	$V_1 (cm^3)$	$\rho (g / cm^3)$	$\rho_{moy} (g / cm^3)$
1	150	120	178	2.586	2.54
2	150	120	180	2.50	
3	150	120	179	2.542	

### III.1.1.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554

#### III.1.1.2.2.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

**Mode opératoire :**

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide  $M_1$ .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit  $M_2$  ce poids.
- Volume de récipient  $V_r = 900 cm^3$ .

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

**Tableau III .2** : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app}^{moye} (g/cm^3)$
01	117	1402	1.427	1.42
02	117	1386	1.410	
03	117	1391	1.415	

#### III.1.1.2.2.2. Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

**Mode opératoire :**

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à **30** secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit  $M_2$  le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Où :

$M_1$  : Masse du récipient à vide.

$M_2$  : Masse du récipient plus le sable.

$V_r$  : Volume du récipient.

**Tableau III.3 :** Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\text{ moy}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	117	1635.7	1.687	1.69
02	117	1637.4	1.689	
03	117	1639.4	1.691	

#### III.1.1.2.3. Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche :  $\rho_L = 44.09 \%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 33.46 \%$ .

#### III.1.1.2.4. Compacité :

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche :  $C_L = 55.90 \%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 66.53 \%$ .

#### III.1.1.2.5. L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (P - 100)$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche :  $e = 0.78 \%$

- Etat compacte :  $e = 0.50$  %

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau III.4:** la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides(e)	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
44.09	33.46	55.90	66.53	0.78	0.50

#### III.1.1.2.6. Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

##### Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10** minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20cm** de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2<sup>ème</sup>** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

##### A / Equivalent de sable visuel (ESV):

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où :  $h_2 < h_1$  avec :  $h_1$  : sable propre + éléments fins.

**B / Equivalent de sable visuel (ESP):**

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h'_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où  $h'_2$  : La hauteur du sable ( $h'_2 < h_1$ ).

**Tableau III.5 : Equivalent du sable de Boussaâda**

$N^\circ$ d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
01	10.1	9.1	91.08	8.7	86.13
02	9.8	9.1	92.85	8.5	86.73
03	10.1	9.2	91.08	8.6	85.14
moy			91.67		86

(ESV)<sub>moy</sub> = 91.67%

(ESP)<sub>moy</sub> = 86%

Donc :

**Tableau III.6 : Comparaison des résultats. [25]**

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Pour le sable de Boussaâda :** C'est un sable très propre.

E.S<sub>85</sub> et E.S<sub>80</sub> Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

#### III.1.1.2.7. Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25** % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

#### Mode opératoire :

- ♦ Peser un échantillon de sable humide, soit  $M_h$  son poids (**500 g**).
- ♦ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110 °C** pendant **24 heures**.
- ♦ Peser l'échantillon de nouveau, soit  $M_s$  son poids.

La teneur en eau du sable est :

$$W = \left( \frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- $M_h$  : Poids du sable humide en (g).
- $M_s$  : Poids du sable sec en (g).

**Tableau III.7 : Teneur en eau du sable de Boussaâda**

<i>N° d'essai</i>	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{moy}$ (%)
<b>1</b>	500	497.6	0.48	0.4
<b>2</b>	500	498	0.4	
<b>3</b>	500	498.3	0.34	

#### III.1.1.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau III.8 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda.

<i>N° d'essai</i>	<b>M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>M<sub>2</sub> (g)</b>	<b>A (%)</b>	<b>A<sub>moy</sub> (%)</b>
1	300	307	2.33	2.44
2	300	308	2.66	
3	300	307	2.33	

**III.1.1.2.9. Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

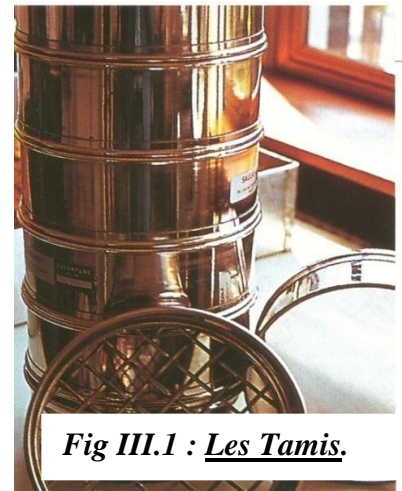
L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes.
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau.

Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

**Fig III.1 : Les Tamis.****Mode opératoire :**

- Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08** mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

- Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.

- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumulé du tamis 2 ( $R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis 2}$ ).

- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots$

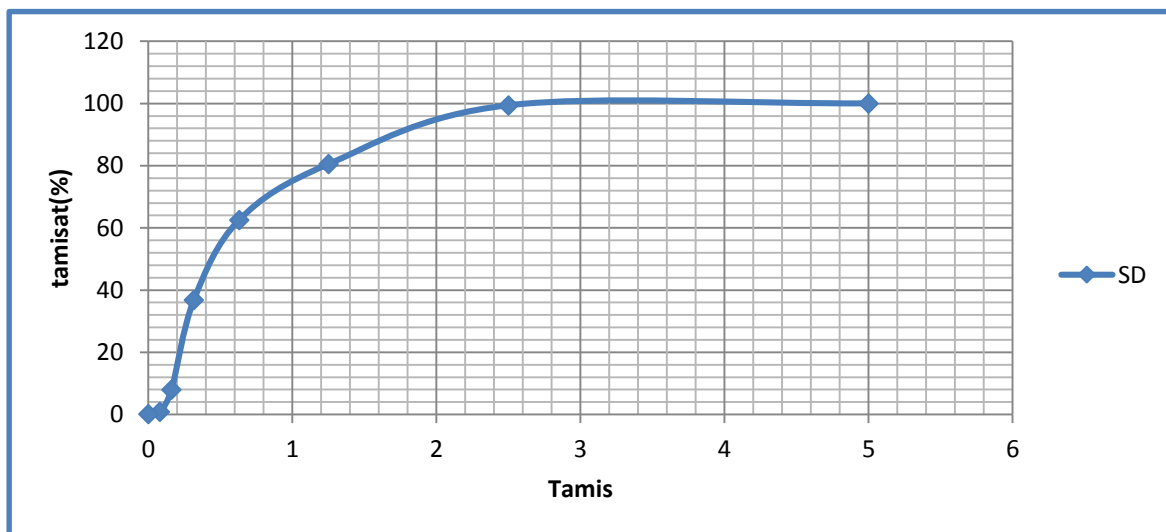
Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :  $T = 100 - R_c$

Où :

- T: Tamisât en %
- $R_c$  : Refus cumulés en %

**Tableau III.9** : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	11	11	0.55	99.45
1.25	112	123	6.15	93.85
0.63	238	361	18.05	81.95
0.315	681	1042	52.1	47.9
0.160	903	1945	97.25	2.75
0.08	41	1986	99.3	0.7
fines	11	1997	99.85	0.15



**Figure III.2** : La courbe granulométrique du sable d'oued (0/3).

**Commentaire :**  $\Rightarrow$  Le sable de dune (Oued Maitre.BOUSSADA) propre.

$\Rightarrow$  Le sable (0/3) est un sable fin.

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

Nous déduisons que c'est un sable fin et il n'est pas de bonne qualité, il n'est donc spécifié pour la fabrication des bétons du point de vue de l'analyse granulométrique.

#### III.1.1.2.10. Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :



[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où :  $R_c$  = Refus cumulé.

Et le refus dont le tamis 0,16 = 85.32 %

Pour le sable de Boussaâda :  $M_f = 1.4$

Les normes soviétiques spécifient le  $M_f$  des sables comme suit :

- Sable gros  $M_f > 2.5$
- Sable moyen  $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin  $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin  $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

✓ Pour le sable de Boussaâda : Sable très fin

### III.1.1.3. Les Caractéristiques chimiques du sable de Boussaâda :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars 2005, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (Tableau III.10.).

**Tableau III.10** : Analyse chimique du sable de BOUSAADA.

<i>CONSTITUANTS</i>		
<i>Elément</i>	<i>Symbole</i>	<i>Teneur en (%)</i>
Silice	SiO <sub>2</sub>	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.90
Alumine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53
Sulfate	So <sub>3</sub>	0.44
Pente au fer	P.A.F	2.81

#### Commentaire :

Le sable de **BOUSAADA** est un sable à haute teneur en silice.

### III.1.2. SABLE CONCASSE :

#### III.1.2.1. Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient: de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière **COSIDER**).

#### III.1.2.2. Caractéristiques physiques de sable concassé :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

**III.1.2.2.1. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Résultats obtenus :**

**Tableau III.11 : Masse volumique absolue du sable concassé.**

N° d'essai	M (g)	$V_e (cm^3)$	$V_1 (cm^3)$	$\rho (g / cm^3)$	$\rho_{moy} (g / cm^3)$
1	150	120	178	2.58	2.67
2	150	120	174	2.77	
3	150	120	176	2.67	

**III.1.2.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554****III.1.2.2.2.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

**Tableau III .12 : Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.**

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app\ moye} (g/cm^3)$
01	117	1327	1.34	1.36
02	117	1351	1.37	
03	117	1340	1.36	

**III.1.2.2.2.2. Masse volumique apparente à l'état compact :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

**Tableau III.13 : Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.**

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app\ moy} (g/cm^3)$
01	117	1585	1.660	1.630
02	117	1574	1.618	
03	117	1569	1.613	

**III.1.2.2.3. Porosité : (NF P 18-554)**

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable concassé :**

- Etat lâche :  $\rho_L = 49.06 \%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 38.95 \%$ .

#### III.1.2.2.4. Compacité :

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

La compacité donnée par la formule :  $C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$

On distingue deux cas :

**Pour le sable concassé :**

- Etat lâche :  $C_L = 50.94 \%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 61.05 \%$ .

#### III.1.2.2.5. L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = Vv/Vs = P / (P - 100) \text{ Avec } P \text{ en pourcent}$$

**Pour le sable concassé :**

- Etat lâche :  $e = 0.96\%$ .
- Etat compacte :  $e = 0.63\%$ .

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.14:** la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concassé.

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides (e)	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
49.06	38.95	50.94	61.05	0.96	0.63

#### III.1.2.2.6. Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.15 :** Equivalent du sable concassé.

<i>N° d'essai</i>	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
<b>01</b>	10.8	10.4	93.29	10.2	94.44
<b>02</b>	11.4	11	96.49	10.6	92.98
<b>03</b>	11.2	10.8	96.42	10.4	92.85
<b>moy</b>			95.4		93.42

On à :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 95.4 \% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 93.42 \%$$

**Donc :**

$$E.S \geq 85 \quad \text{et} \quad E.S > 80$$

#### **Pour le sable concassé**

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

#### **III.1.2.2.7. Teneur en eau : NF P 18-555**

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25** % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.16 :** Teneur en eau du sable concassé.

<i>N° d'essai</i>	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{\text{moy}}$ (%)
<b>1</b>	500	494.5	1.11	1.1
<b>2</b>	500	494.2	1.17	
<b>3</b>	500	494.9	1.03	

#### **III.1.2.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau III.17 : Degré d'absorption du sable concassé.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	A (%)	A <sub>moy</sub> (%)
1	300	305	1.66	1.72
2	300	305,3	1.76	
3	300	305,25	1.75	

#### III.1.2.2.9. Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	12	12	0.6	99.4
1.25	631	643	32.15	67.85
0.63	615	1258	62.9	37.1
0.315	457	1715	85.75	14.25
0.160	209	1924	96.25	3.8
0.08	61	1985	99.25	0.75
fines	12	1997	99.85	0.15

Tableau III.18 : l'analyse granulométrique du sable concassé.

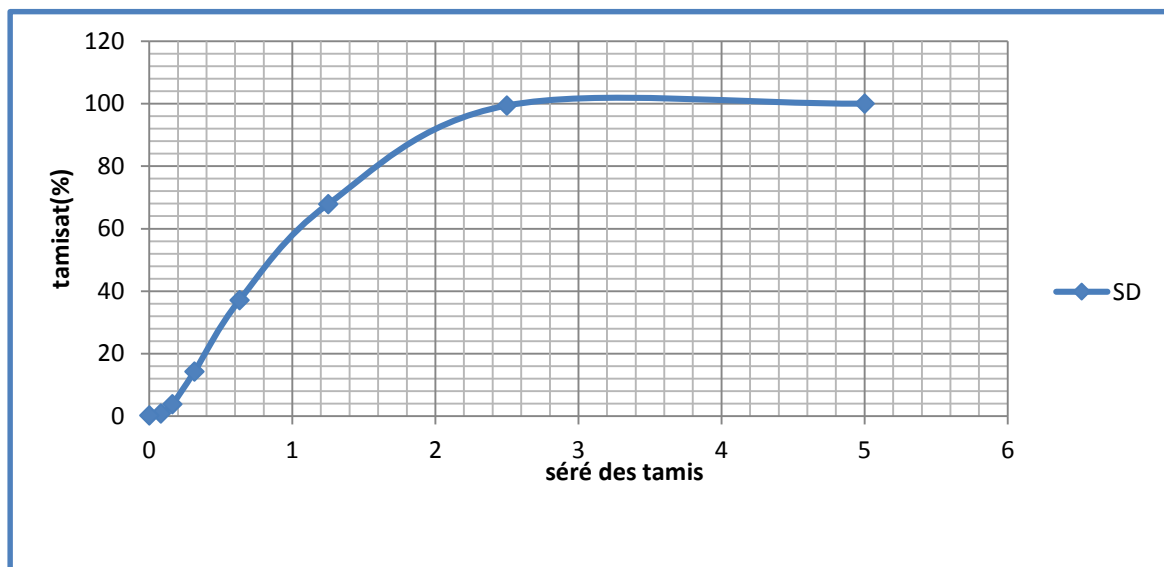


figure III.3 : la courbe granulométrique du sable concassé.

#### III 1.2.2.10. Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \Sigma R_c / 100 \Rightarrow M_F = 3.21$$

- sable gros :  $M_F > 2.5$ .
- sable moyen :  $M_F = 2$  à  $2.5$ .
- sable fin :  $M_F = 1.5$  à  $2$ .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

Pour le sable concassé :  $M_f > 2,5$  : C'est un sable gros.

### **III.1.3.SABLE MIXTE 01(50% de dune - 50% concassé) :**

#### **III.1.3.1.Caractéristiques physiques de sable mixte<sub>1</sub> :**

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

##### **III.1.3.2.1. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Résultats obtenus :

**Tableau III.19 : Masse volumique absolue du sable mixte<sub>1</sub>.**

<i>N° d'essai</i>	<i>M (g)</i>	<i>V<sub>e</sub> (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>V<sub>1</sub> (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>ρ (g / cm<sup>3</sup>)</i>	<i>ρ<sub>moy</sub> (g / cm<sup>3</sup>)</i>
<b>1</b>	150	120	177.5	2.60	2.63
<b>2</b>	150	120	177	2.63	
<b>3</b>	150	120	176	2.67	

##### **III.1.3.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554**

##### **III.1.3.2.2.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued

**Tableau III .20 : Masse volumique apparente du sable mixte<sub>1</sub>  
à l'état lâche.**

<i>N° d'essai</i>	<i>M<sub>1</sub> (g)</i>	<i>M<sub>2</sub> (g)</i>	<i>ρ<sub>app</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>ρ<sub>app</sub> moyenne (g/cm<sup>3</sup>)</i>
01	117	1545	1.586	1.576
02	117	1532	1.572	
03	117	1532	1.572	

##### **III.1.3.2.2.2. Masse volumique apparente à l'état compact :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

**Tableau III.21 :** Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\text{ moy}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	117	1653	1.706	1.723
02	117	1667	1.722	
03	117	1685	1.742	

**III.1.3.2.3. Porosité : (NF P 18-554)**

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte<sub>1</sub> :**

- Etat lâche :  $\rho_L = 40.07\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 34.48\%$ .

**III.1.3.2.4. Compacité :**

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

$$\text{La compacité donnée par la formule : } C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte<sub>1</sub>:**

- Etat lâche :  $C_L = 59.93\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 65.52\%$ .

**III.1.3.2.5. L'indice des vides :**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (P - 100) \text{ Avec } P \text{ en pourcent}$$

**Pour le sable mixte<sub>1</sub>:**

- Etat lâche :  $e = 0.67\%$ .
- Etat compacte :  $e = 0.53\%$ .

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.22:** la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte<sub>1</sub>.

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40.07	34.48	59.93	65.52	0.67	0.53

**III.1.3.2.6. Equivalent de sable : NF P 18-598**

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.23 :** Equivalent du sable mixte<sub>1</sub>.

N° d'essai	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ESV (%)	h' <sub>2</sub> (cm)	ESP (%)
<b>01</b>	10.4	9.35	89.90	8.3	79.80
<b>02</b>	10.7	9.3	86.91	8.4	78.5
<b>03</b>	10.8	9.5	87.96	8.9	82.40

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 88.25\% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 80.23\%.$$

**Donc :**

$$E.S \geq 85 \quad \text{et} \quad E.S > 80.$$

**Pour le sable mixte<sub>1</sub>.**

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**III.1.3.2.7. Teneur en eau : NF P 18-555**

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.24 :** Teneur en eau du sable mixte<sub>1</sub>.

N° d'essai	M <sub>h</sub> (g)	M <sub>s</sub> (g)	W (%)	W <sub>moy</sub> (%)
<b>1</b>	500	494.8	1.04	1.02
<b>2</b>	500	494.5	1.1	
<b>3</b>	500	495.3	0.94	



**III.1.3.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

**Tableau III.25 : Degré d'absorption du sable mixte<sub>1</sub>.**

<i>N° d'essai</i>	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$A$ (%)	$A_{moy}$ (%)
1	300	306	2	1.88
2	300	305	1.66	
3	300	306	2	

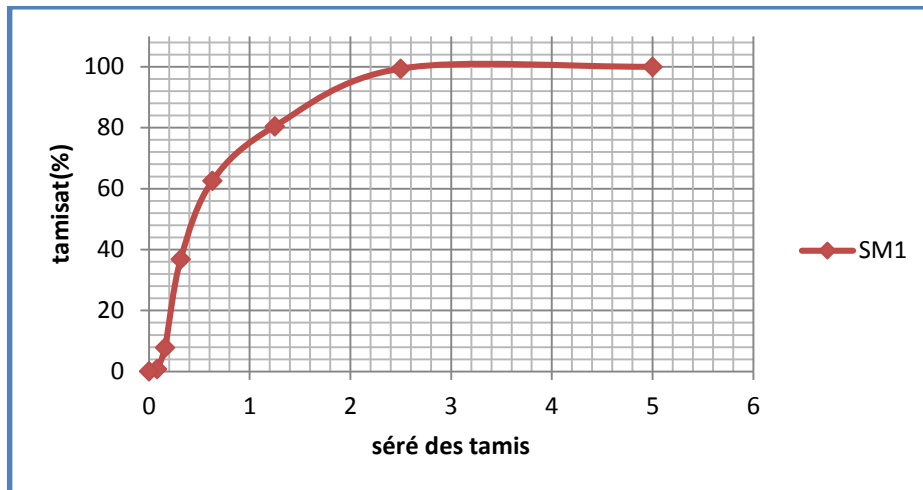
**III.1.3.2.9. Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		<i>(g)</i>	<i>(%)</i>	
5	0	0	0	100
2.5	12	12	0.6	99.4
1.25	378	390	19.5	80.5
0.63	359	749	37.45	62.55
0.315	515	1264	63.2	36.8
0.160	578	1842	92.1	7.9
0.08	142	1984	99.2	0.8
fines	14	1998	99.9	0.1

**Tableau III.26 : l'analyse granulométrique du sable mixte<sub>1</sub>.**



**Figure III.4 :** La courbe granulométrique sable mixte<sub>1</sub>.

#### III.1.3.2.10. Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \sum R_c / 100 \Rightarrow M_F = 2.1.$$

- sable gros :  $M_F > 2.5$ .
- sable moyen :  $M_F = 2$  à  $2.5$ .
- sable fin :  $M_F = 1.5$  à  $2$ .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- **Pour le sable mixte<sub>1</sub> :  $M_F = 2$  à  $2.5 \Rightarrow$  sable moyen**

#### Commentaire :

Le sable mixte<sub>1</sub> (0/3) est un sable moyen

#### III.1.4.SABLE MIXTE 02 (concassé 60% - 40%) :

##### III.1.4.1. : Caractéristiques physiques de sable mixte<sub>2</sub> :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

##### III.1.4.2.1. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

#### Résultats obtenus :

Tableau III.27 : Masse volumique absolue du sable mixte2.

N° d'essai	M (g)	$V_e (cm^3)$	$V_1 (cm^3)$	$\rho (g/cm^3)$	$\rho_{moy} (g/cm^3)$
1	150	120	178	2.58	2.61
2	150	120	179	2.54	
3	150	120	175	2.72	

**III.1.4.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554****III.1.4.2.2.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau III .28 : Masse volumique apparente du sable mixte2 l'état lâche.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app\ moye} (g/cm^3)$
01	117	1557	1.600	1.601
02	117	1554	1.596	
03	117	1565	1.608	

**III.1.4.2.2.2. Masse volumique apparente à l'état compact :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau III.29 : Masse volumique apparente du sable concassé à sable mixte2.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app\ moy} (g/cm^3)$
01	117	1682	1.738	1.733
02	117	1681	1.737	
03	117	1671	1.726	

**III.1.4.2.3. Porosité : (NF P 18-554)**

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$\rho_L P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte2:**

- Etat lâche :  $\rho_L = 38.65\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 33.60\%$ .

**III.1.4.2.4. Compacité :**

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

La compacité donnée par la formule :  $C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte2:**

- Etat lâche :  $C_L = 61.35\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 66.4\%$ .

**III.1.4.2.5. L'indice des vides :**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (P - 100) \text{ Avec } P \text{ en pourcent}$$

**Pour le sable mixte2:**

- Etat lâche :  $e = 0.62\%$ .
- Etat compacte :  $e = 0.50\%$ .

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.30:** la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le **sable mixte2**.

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
38.85	33.60	61.35	66.4	0.62	0.50

**III.1.4.2.6. Equivalent de sable : NF P 18-598**

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.31 :** Equivalent du **sable mixte2**.

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
<b>01</b>	10.8	8.9	82.40	8.3	76.85
<b>02</b>	10.3	9.1	88.34	8.5	82.52
<b>03</b>	10	9.15	91.5	8.6	86

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 87.41\% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 81.79\%.$$

Donc :

$$E.S \geq 85 \quad \text{et} \quad E.S > 80 \quad .$$

**Pour le sable mixte2.**

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**III.1.4.2.7. Teneur en eau : NF P 18-555**

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.32 : Teneur en eau du sable mixte2.**

<i>N° d'essai</i>	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{moy}$ (%)
<b>1</b>	300	298.9	0.36	0.37
<b>2</b>	300	298.8	0.40	
<b>3</b>	300	298.9	0.36	

**III.1.4.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

**Tableau III.33 : Degré d'absorption du sable mixte2.**

<i>N° d'essai</i>	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$A$ (%)	$A_{moy}$ (%)
<b>1</b>	300	303	1	1.11
<b>2</b>	300	303	1	
<b>3</b>	300	304	1.33	

## III.1.4.2.9. Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	15	15	0.75	99.25
1.25	379	394	19.7	80.3
0.63	425	819	40.95	59.05
0.315	565	1384	69.2	30.8
0.160	514	1898	94.9	5.1
0.08	69	1967	98.35	1.65
fin	28	1995	99.75	0.25

Tableau III.34 : l'analyse granulométrique du sable mixte<sub>2</sub>.

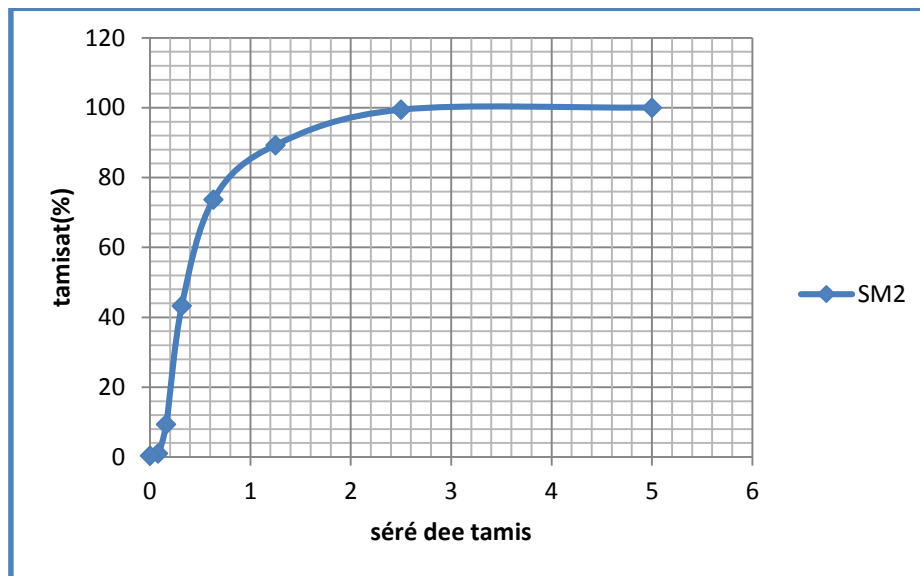


Figure III.5 : La courbe granulométrique sable mixte<sub>2</sub>.

## III 1.4.2.10. Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \sum R_c / 100 \Rightarrow M_F = 3.76$$

sable gros :  $M_F > 2.5$ .

- sable moyen :  $M_F = 2$  à  $2.5$ .
- sable fin :  $M_F = 1.5$  à  $2$ .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable mixte<sub>2</sub>:  $MF > 2.5 \Rightarrow$  sable gros

Commentaire :

Le sable mixte<sub>2</sub> (0/3) est un sable gros

### **III.1.5.SABLE MIXTE 03 (SC 40% SD 60%) :**

#### **III.1.5.1. Caractéristiques physiques de sable mixte<sub>3</sub> :**

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

##### **III.1.5.2.1. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Résultats obtenus :**

**Tableau III.35 : Masse volumique absolue du sable mixte<sub>3</sub>.**

<i>N° d'essai</i>	<b>M (g)</b>	$V_e (cm^3)$	$V_l (cm^3)$	$\rho (g / cm^3)$	$\rho_{moy} (g / cm^3)$
<b>1</b>	150	120	175	2.72	2.65
<b>2</b>	150	120	178	2.58	
<b>3</b>	150	120	176	2.67	

##### **III.1.5.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554**

##### **III.1.5.2.2.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued

**Tableau III .36 : Masse volumique apparente du sable mixte<sub>3</sub> à l'état lâche.**

<b>N° d'essai</b>	<b>M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>M<sub>2</sub> (g)</b>	$\rho_{app} (g/cm^3)$	$\rho_{app\ moye} (g/cm^3)$
01	117	1545	1.586	1.576
02	117	1532	1.572	
03	117	1532	1.572	

##### **III.1.5.2.2.2. Masse volumique apparente à l'état compact :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

**Tableau III.37 :** Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\text{ moy}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	117	1653	1.706	1.723
02	117	1667	1.722	
03	117	1685	1.742	

**III.1.5.2.3. Porosité : (NF P 18-554)**

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$\rho_L P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte :**

- Etat lâche :  $\rho_L = 40.52\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 35.98\%$ .

**III.1.5.2.4. Compacité :**

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

$$\text{La compacité donnée par la formule : } C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

**Pour le sable mixte :**

- Etat lâche :  $C_L = 59.48\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 65.02\%$ .

**III.1.5.2.5. L'indice des vides :**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (P - 100) \text{ Avec } P \text{ en pourcent}$$

**Pour le sable mixte :**

- Etat lâche :  $e = 0.68\%$ .
- Etat compacte :  $e = 0.55\%$ .

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :



**Tableau III.38:** la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte.

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40.52	35.98	59.48	65.02	0.68	0.55

**III.1.5.2.6. Equivalent de sable : NF P 18-598**

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.39 :** Equivalent du sable mixte.

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
01	10.4	9.35	89.90	8.3	79.80
02	10.7	9.3	86.91	8.4	78.5
03	10.8	9.5	87.96	8.9	82.40

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 88.22\% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 80.24\%.$$

**Donc :**

$$E.S \geq 85 \quad \text{et} \quad E.S > 80.$$

**Pour le sable mixte.**

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**III.1.5.2.7. Teneur en eau : NF P 18-555**

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25 % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3%, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

**Tableau III.40 :** Teneur en eau du sable mixte.

N° d'essai	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	W (%)	$W_{\text{moy}}$ (%)
1	500	494.8	1.04	1.02
2	500	494.5	1.1	
3	500	495.3	0.94	

**III.1.5.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

**Tableau III.41 : Degré d'absorption du sable mixte<sub>3</sub>.**

<i>N° d'essai</i>	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$A$ (%)	$A_{moy}$ (%)
1	300	306	2	1.88
2	300	305	1.66	
3	300	306	2	

**III.1.5.2.9. Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		<i>(g)</i>	<i>(%)</i>	
5	0	0	0	100
2.5	12	12	0.6	99.4
1.25	292	214	10.7	89.3
0.63	302	526	26.3	73.7
0.315	601	1135	56.75	43.25
0.160	667	1812	90.6	9.4
0.08	117	1979	98.95	1.05
fines	19	1998	99.9	0.4

**Tableau III.42 : l'analyse granulométrique du sable mixte<sub>3</sub>.**

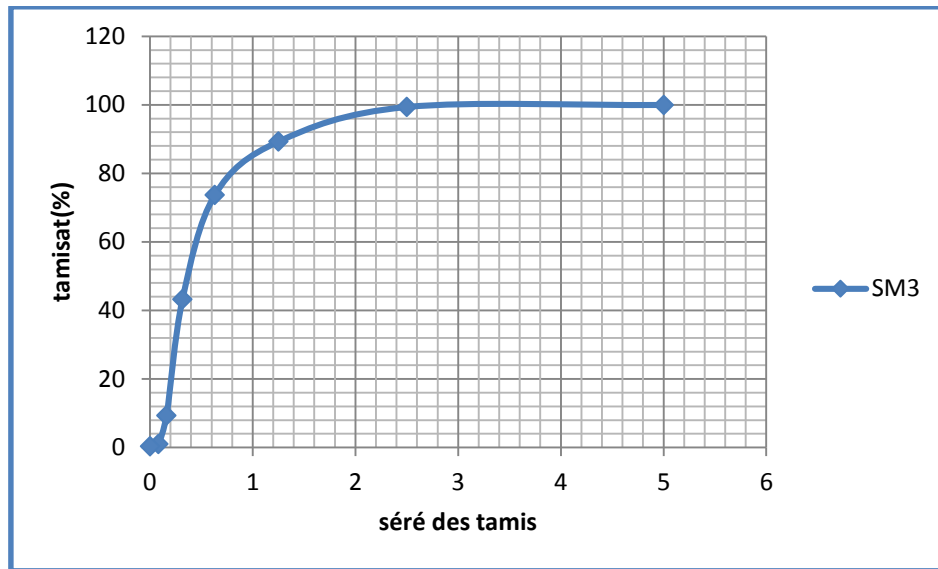


Figure III.6 : La courbe granulométrique **sable mixte3**.

#### III.1.5.2.10. Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \Sigma R_c / 100 \Rightarrow M_F = 2.3.$$

- sable gros :  $M_F > 2.5$ .
- sable moyen :  $M_F = 2 \text{ à } 2.5$ .
- sable fin :  $M_F = 1.5 \text{ à } 2$ .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable mixte3:  $M_F = 2 \text{ à } 2.5 \Rightarrow$  sable moyen

#### Commentaire :

Le **sable mixte3 (0/3)** est un sable moyen

#### III.2.GRAVIER :

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

#### Gravier concassé:

##### III.2.1. Origine de gravier:

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à **25Km** de M'sila, en allant vers **B.B.A** (carrière **COSIDER**). [26]

##### III.2.1.1. Classes granulaires:

Les fractions du gravier sont :

- Fraction **3/8**.

**III.2.1.2. Résistance à la compression de la roche d'origine:** La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à **610 g /Cm<sup>2</sup>**.

### III.2. 2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé:

#### III.2.2.1.Masse volumique apparente:

##### Mode opératoire :

- Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- Peser le récipient à l'état vide ( $M_1$ ).
- Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10cm.
- Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit  $M_2$  ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- $M_1$ : Le poids du récipient à l'état vide.
- $M_2$ : Le poids du récipient plein de gravier.

**Tableau III.43:** Masse volumique apparente du gravier.

Graviers	N° d'essai	$M_1(kg)$	$M_2(kg)$	$\rho_{app}(kg/l)$	$\rho_{moy}(kg/l)$
3/8 V = 7 L	01	2.922	12.587	1.380	1.401
	02	2.922	12.794	1.410	
	03	2.922	12.818	1.413	

### III.2.2.2. Masse volumique absolue :

#### Mode opératoire :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable

**Tableau III.44 :** Masse volumique absolue du gravier.

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$V_e(cm^3)$	$V(cm^3)$	$\rho_{abs}(g/cm^3)$	$\rho_{moy}(g/cm^3)$
3/8	01	300	300	410	2.727	2.71
	02	300	300	410	2.727	
	03	300	300	412	2.678	

### III.2.2.3. La densité absolue :

La densité est le rapport entre la masse volumique absolue du matériau et la masse volumique de l'eau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.45 :** la densité du gravier.

Les fractions	Gravier 3/8
Densité normale	2.71
Densité SSS	2,73

### III.2. 2.4. Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554

Le mode opératoire est semblé à celui effectuée pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

**Tableau III.46 :** Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

<i>fraction de gravie</i>	Porosité (%)	Compacité (%)	l'indice de vide
3/8	48.30	51.7	0.93

III.2.2.5. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554

Tableau III.47 : Degré d'absorption d'eau du gravier.

<i>Graviers</i>	<i>N° d'essai</i>	<i>M<sub>1</sub> (g)</i>	<i>M<sub>2</sub> (g)</i>	<i>A (%)</i>	<i>A<sub>moy</sub> (%)</i>
<b>3/8</b>	<b>01</b>	700	709,06	1,29	1,29
	<b>02</b>	700	709,77	1,39	
	<b>03</b>	700	708,53	1,21	

III.2.2.6. Teneur en eau :

Tableau III.48 : Teneur en eau du gravier.

<i>Graviers</i>	<i>N° d'essai</i>	<i>M<sub>h</sub> (g)</i>	<i>M<sub>s</sub> (g)</i>	<i>W (%)</i>	<i>W<sub>moy</sub> (%)</i>
<b>3/8</b>	<b>01</b>	500	495	1	0,80
	<b>02</b>	500	497	0,60	
	<b>03</b>	500	496	0,80	

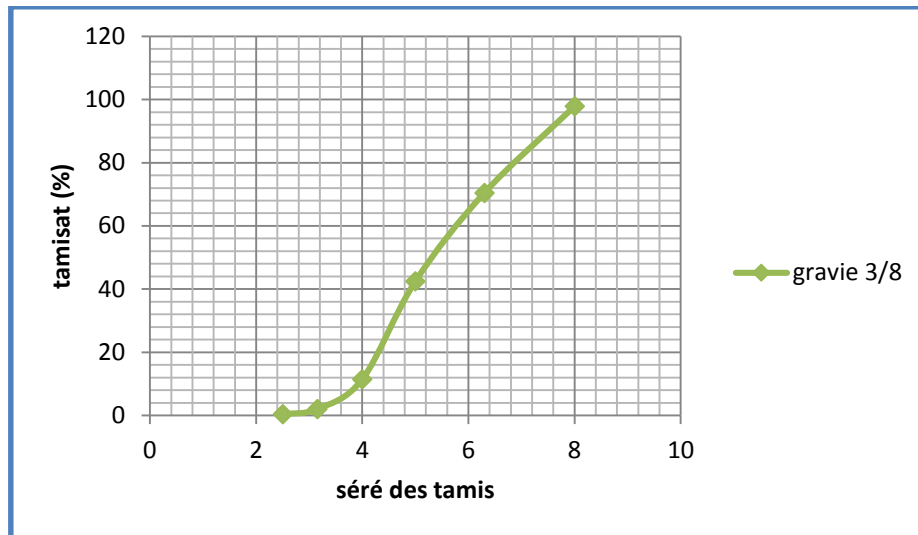
III.2.2.7. Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

a)- Fraction 3/8 (2Kg)

Tableau III.49 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		<i>(g)</i>	<i>(%)</i>	
<b>8</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>2,13</b>	<b>97,86</b>
<b>6,3</b>	<b>411</b>	<b>443</b>	<b>29,53</b>	<b>70,46</b>
<b>5</b>	<b>420</b>	<b>863</b>	<b>57,53</b>	<b>42,46</b>
<b>4</b>	<b>465</b>	<b>1328</b>	<b>88,53</b>	<b>11,46</b>
<b>3,15</b>	<b>141</b>	<b>1469</b>	<b>97,93</b>	<b>2,06</b>
<b>2,5</b>	<b>25</b>	<b>1494</b>	<b>99,6</b>	<b>0,4</b>
<b>fond</b>	<b>6</b>	<b>1500</b>	<b>100</b>	<b>0</b>



*Figure III.7 : Courbe granulométrique du gravier 3/8*

**III.3.CIMENT :****III.3.1. Caractéristiques du ciment CPJ-CEM II :****III.3.1.1. Description :**

Le ciment portland composé **CPJ-CEM II / 42,5** est un produit en broyant le clinker qui se compose essentiellement de silicate de calcium avec le gypse comme ajout constitué de différentes forme se calcium, il est conforme à la norme NA 442. Il est généralement utilisé lorsqu'il n'y a pas de besoins spéciaux, dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau.

Il est appliqué dans plusieurs domaines à savoir :

Le secteur de construction en béton armé pour les bâtiments résidentiels et administratifs

Le secteur de travaux publics pour les ponts, les revêtements des routes ou les structures ferroviaires.

**III.3.1.2. Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :**

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant: [27]

**Tableau III. 50 : Caractéristiques du CPJ.**

		<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
<i>Masse volumique absolue</i>		g/cm <sup>3</sup>	3,1
<i>Consistance normale</i>		%	26 – 28
<i>La finesse (Blaine)</i>		cm <sup>3</sup> /g	4000 – 4200
<i>Le Chatelier</i>	<b>A froid</b>	mm	00
	<b>A chaud</b>		2
<i>Temps de prise</i>	<b>Début</b>	Heur : min	2 : 30
	<b>Fin</b>		3 : 30
<i>Résistance à la compression</i>	<b>2 jours</b>	MPa	18
	<b>7 jours</b>		32
	<b>28 jours</b>		Plus de 42.5

**III.3.1.3. Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé:**

L'analyse chimique et minéralogique du CPJ est établie au laboratoire de l'ACC. Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants : [28]



**Tableau III.51 :** Caractéristiques chimiques du CPJ.

<i>ELEMENT</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>	<i>SO<sub>3</sub></i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>
<i>Teneur (%)</i>	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

**Tableau III.52 :** Caractéristiques minéralogique du CPJ.

Eléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	3CaOSiO <sub>2</sub>	2CaOSiO <sub>2</sub>	3CaAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Teneur %	59	14	6	10

### III.4.LES ADJUVANTS:

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du béton durci, (norme NF EN 934 – 2).

Dans notre étude on a utilisé les super-plastifiants à savoir :

**MEDALAST SP 40** de **GRANITEX** (super-plastifiant).

#### III.4.1.MEDALAST SP 40:

##### III.4.1.1. Description:

Le MEDALAST SP 40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. [29]

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. [29]

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

- Bétons hautes performances.
- Béton pompés
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.
- Bétons extrudés
- Béton BCR

Son utilisation permet :

#### A- sur le béton frais :

- Amélioration la fluidité.

- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Eviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton.

#### B- sur le béton durci :

- augmenter la résistance mécanique même à jeune âge
- diminuer la porosité
- augmenter la durabilité
- diminuer le retrait

#### III.4.1.2. Caractéristiques:

Les Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40 sont regroupées dans le tableau suivant [30]

**Tableau III.53 :** Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40.

Nature	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	marron	8.2	1.20±0,01	< 1g/L	40%

#### III.4.1.3. Dosage :

La page de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0,5L à 2,L pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

#### III.5.L'EAU DE GACHAGE :

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

#### III.5.1.Caractéristique chimique de l'eau utilisée :

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil est établie en 10/05/05, à laboratoire de département de chimie (M'sila).

Elle est donnée par le (Tableau III.54).

<i>La mesure</i>	<i>Teneur en (mg / l)</i>
Le temps de prise d'échantillon	10/10/05 (9.25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore $\text{cl}^-$	234.3

Sulfate $So_4^-$	351.60
Magnesium $Mg^{2+}$	110.8
Sodium $Na^+$	/
Calcium $Ca^{2+}$	267.2
Sédiment sec	1412
rééligibilité d'oxydation en eau	1024

Tableau III.54 : Caractéristiques Chimique D'eau.

### III.6.Formulation du béton

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance). Il existe deux méthodes pour déterminer une formulation du béton :

#### III.6.1.METHODE DE CALCUL DE LA COMPOSITION DU BETON :

Il existe plusieurs méthodes de détermination de la composition du béton proposé et appliquées dans les différents pays du monde ; parmi ces méthodes on peut citer ;

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de d'ABRAMS.
- Méthode de FAURY.
- Méthode de JOISEL.
- Méthode de VALETTE.
- Méthode de DREUX GORISSE.
- Méthode des volumes absolus.
- Méthode générale du CES (Centre d'Essais des Structures).

##### III.6.1.a. METHODE DES VOLUMES ABSOLUS

Dans le présent chapitre on va utiliser la méthode appelée la méthode des volumes absolus (méthode de SCRAMTAIEV).

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme de tous les matériaux composants pour un dosage de 1 m<sup>3</sup> de béton frais est égal à 1000 litres. C'est une méthode de calcul purement expérimentale.

Pour confectionner un béton, il faut connaître les méthodes de calcul en vigueur (calcul des dépenses en matières premières) et leur mise en œuvre.

On choisit alors les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

Les données de base servant pour le calcul de la composition du béton sont :

- la classe de résistance requise du béton ( $R_b$ ).
- Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- Les caractéristiques des matériaux d'origine :

1- Activité du ciment ( $R_c$ ).

2- Masse spécifique (absolue) du ciment.

3- Masses spécifiques (absolus) et masses volumiques (apparentes) du sable, ou gravier.

4- La porosité des pierres concassées ou du gravier.

Les principes étapes de calcul de la composition du béton sont :

1- On définit le rapport «ciment / eau » (C/ E) qui assure l'obtention d'un béton de résistance requise.

2- On détermine la dépense en eau (E)

3- On fait le calcul de la quantité de ciment (C), ensuite des pierres concassées (PC) ou gravier (G) et de sable (S).

### III.6.1.b. PRESENTATION DE LA METHODE

#### A- Définition du rapport «ciment / eau » :

Le professeur Scramtaiev à établi la relation suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (Rb) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

a)- pour :  $C/E \leq 2.5$  on a :  $R_b = A \cdot R_c \cdot [(C/E) - 0.5]$

d'ou':  $C/E = R_b / (A \cdot R_c) + 0.5.$

b)- pour :  $C/E > 2.5$

on a :  $R_b = A' \cdot R_c \cdot [(C/E) + 0.50].$

d'ou :

$C/E = R_b / (A' \cdot R_c) - 0.5.$

Avec :

- **Rb** : classe de béton (résistance à la compression du béton après 28 jours de durcissement).
- **Rc** : Activité ou classe du ciment.
- A, A' : coefficients admis d'après le tableau [1] selon les propriétés et la qualité des matériaux utilisés.
- **C/E** : Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange.

Granulats et liants	A	A'
De qualité supérieure	<b>0.65</b>	<b>0.43</b>
De qualité ordinaire	<b>0.60</b>	<b>0.40</b>
De qualité inférieure	<b>0.55</b>	<b>0.37</b>

**Tableau III.55** : valeurs des coefficients A et A'.

La formule (1) correspond aux bétons ordinaires plastiques.

La formule(2) correspond aux bétons plutôt secs de haute résistance mécanique.

**B-Détermination de la dépense en eau :**

- Elle est établie approximativement d'après le tableau 2, qui tient compte de la qualité des matériaux utilisés.

Caractéristiques du mélange de béton	Dosage en eau (l/m <sup>3</sup> ) par rapport À la grosseur D max (mm)					
	Pierres concassées			pierres roulées		
Affaissement au cône « Ac » (cm)	10	20	40	10	20	40
1	195	185	170	185	170	155
2-2.5	200	190	175	190	175	160
3-4	205	195	180	195	180	165
5	210	200	185	200	185	170
7	215	205	190	205	190	175
8	220	210	195	210	195	180
10-12	225	215	200	215	200	190

**Tableau III.56 :** Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.

**C - Détermination de la dépense en ciment :  $C = [(C/E).E]$**

**D - La détermination du dosage en agrégats** (sables et pierres concassées ou gravier pour un mètre cube de béton frais)

1- La somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m<sup>3</sup> (1000 litres ) du mélange de béton damé :

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_e) + (S/\rho_s) + (G/\rho_g) = 1000$$

ou :

C,E,S et G: dépenses en ciment, eau, sable et pierres concassées(gravier) en (Kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_c, \rho_e, \rho_s$  et  $\rho_g$ : Masses spécifiques ou masses volumiques absolues de granulats avec un certain écartement des grains:

$$(C/\rho_c) + (S/\rho_s) + E = [(P_g . \alpha . G / \gamma_g)] \quad (2)$$

**Avec :**

**P<sub>g</sub>:** Porosité des pierres concassées.

**$\gamma_g$  :** Masse volumique ou masses volumique apparente des pierres concassées en (Kg/litre)

**$\alpha$  :** Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le tableau [3]

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	E/C 0.40	E/C 0.50	E/C 0.60	E/C 0.70	E/C 0.80
250	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	1.30	1.36	1.42	-
350	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.40	1.46	-	-	-

**Tableau III.57 : Valeur de coefficient  $\alpha$  »**

En résolvant simultanément les deux équations (1) et (2), on trouve l'expression qui permet de déterminer la qualité nécessaire de pierres concassées :

$$G = 1000 / [ P_g \cdot (\alpha/\Gamma_g) + (1/\rho_g)] \quad (3)$$

Après avoir déterminé la dépense en pierres concassées, on fait le calcul de la dépense en sable ( Kg/m<sup>3</sup>).

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

**III.7.Composition du micro béton pour 1 m<sup>3</sup> par la méthode du volume absolue :**

<u>E</u> en ( L)	<u>C</u> en (Kg)	<u>G</u> en (kg)	<u>S</u> en (Kg)
200	450	1200	520

**Tableau III.58 : composition 1m3 du béton**