

## CHAPITRE III : Caractéristiques des matériaux

### III.1. Introduction:

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

Les matériaux utilisés sont :

- ◆ Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- ◆ Le sable concassé de carrière (COSIDAR).
- ◆ Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- ◆ Le ciment CPJ de la cimenterie la farge de Hammam Dhalàa.
- ◆ L'eau potable du laboratoire.

### III.2. SABLE D'OUED (BOUSAADA):

#### III.2.1. Origine du sable :

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

#### II.2.2. 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**.

##### II. 2.2.1. 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 **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** 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 :  $V_1 = V - 300$  (ml).

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:  $\rho = \frac{M}{V_1}$  Avec :

$M = 300 \text{ g}$ .

#### Résultats obtenus :

<i>N° d'essai</i>	<b>M (g)</b>	$V_e (cm^3)$	$V_1 (cm^3)$	$\rho (g / cm^3)$	$\rho_{\text{moy}} (g / cm^3)$
<b>1</b>	300	300	118	2,54	2.54
<b>2</b>	300	300	119	2.52	
<b>3</b>	300	300	116	2.57	

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

### III.2.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554

#### III.2.2.2.1. 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  $V_r = 900 \text{ cm}^3$ .

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

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

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\text{moye}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1526	1.56	1.563
02	114	1529	1,57	
03	114	1525	1.56	

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

### III .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 :

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

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche :  $\rho_L = 38.46\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 32,55\%$ .

### III. 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 de Boussaâda :

- Etat lâche :  $C_L = 61.53\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 67,44\%$ .

### III.2.2.5. L'indice des vides :

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

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

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- Etat lâche :  $e = 0,608\%$

- Etat compacte :  $e = 0,482\%$

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

Porosité P%	Compacité C%	Indice des vides e
38.46	61.53	0,608

**Tableau III.3: la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda**

### III.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.

#### 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 vanteau 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 flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- 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 ( $h'_2 < h_1$ ).

<b>N° d'essai</b>	<b><math>h_1</math> (cm)</b>	<b><math>h_2</math> (cm)</b>	<b>ESV (%)</b>	<b><math>h'_2</math> (cm)</b>	<b>ESP (%)</b>
<b>01</b>	11,6	8,8	75,86	8,4	73,68
<b>02</b>	12,7	9,4	74,01	8,0	67,77
<b>03</b>	12,35	9,43	75,70	8,2	69,92

**Tableau III.4 : Equivalent du sable de Boussaâda.**

$$(ESV)_{\text{moy}} = 75,19\%$$

$$(ESP)_{\text{moy}} = 70,45\%$$

Donc :  $75 < ESV < 85\%$

$70 < ESP < 80\%$ .

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.

Tableau III.5 : Comparaison des résultats.

**Pour le sable de Boussaâda :** C'est un sable propre, à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour le béton de haute qualité.

### III.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.

#### \*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 **24heurs**.
- ◆ 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).

<i>N° d'essai</i>	<i>M<sub>h</sub></i> (g)	<i>M<sub>s</sub></i> (g)	<i>W</i> (%)	<i>W<sub>moy</sub></i> (%)
1	500	495	1	1,2
2	500	494	1,2	
3	500	493	1,4	

Tableau III.6 : Teneur en eau du sable de Boussaâda.

### III.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).

<i>N° d'essai</i>	<i>M<sub>1</sub></i> (g)	<i>M<sub>2</sub></i> (g)	<i>A</i> (%)	<i>A<sub>moy</sub></i> (%)
1	300	307,98	2,66	2,67
2	300	308,66	2,88	
3	300	308,86	2,95	

Tableau III.7 : Degré d'absorption du sable de Boussaâda

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est-à-dire  $A_b < 5\%$ . Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée.

La norme NF P 18 541 fixe comme valeur maximale 5%, pour les bétons classiques, ce qui est peut-être insuffisamment sévère, valeur d'ailleurs ramenée à 2,5% pour les bétons de résistance caractéristique supérieure à 36 MPa.

#### Observation :

Exceptionnellement, pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à 2 %.



Figure II.1 : Les Tamis.

### III.2.2.9. 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.

#### Mode opératoire :

- Prélever (**1,5 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 **0,08mm**. 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 cumuler du tamis 2 ( $R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$ ).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots$



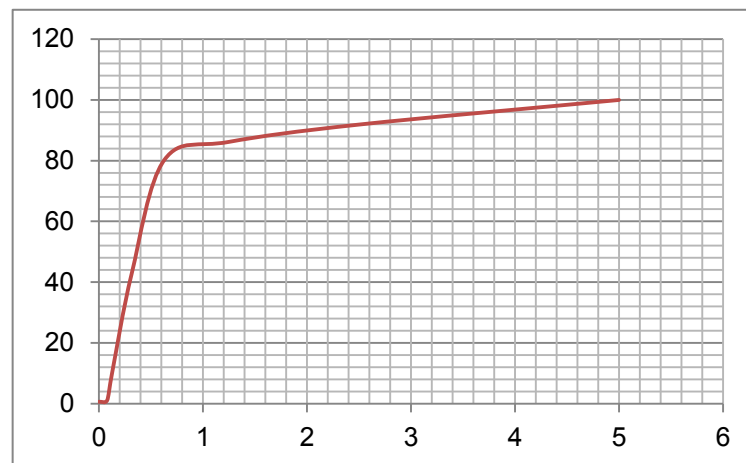
Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :  $T = 100 - R_c$

Où :

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

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	87	87	8.7	91.3
1.25	57	144	14.4	85.6
0.63	54	198	19.8	80.5
0.315	242	440	44	56
0.16	447	887	88.7	11.7
0.08	105	992	99,2	0,8
Fond	6	998	99,80	0,20

**Tableau III.8 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).**



**Figure III.I.2 : La courbe granulométrique du sable (0/5).**

**Commentaire :**

$ES_{may} = 76,73\% \Rightarrow$  Le sable de dune (Oued Maitre) propre.

$\Rightarrow$  Le sable (0/5) 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.2.2.10. 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 = 88,70%**

Pour le sable de Boussaâda :  $Mf = 1,75$ .

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

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

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

✓ Pour le sable de Boussaâda :  $1.5 < M_f < 2$  : C'est un **sable fin**.

### III.2.3. 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.**).

<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

**Tableau III.9 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA.**

**Commentaire :**

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

**III.3. SABLE CONASSE :****III.3.1. 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.3.2. : 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. 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 :**

<i>N° d'essai</i>	<b>M (g)</b>	$V_e (cm^3)$	$V_1 (cm^3)$	$\rho (g / cm^3)$	$\rho_{\text{moy}} (g / cm^3)$
<b>1</b>	300	300	120	2,50	2,50
<b>2</b>	300	300	119,5	2,51	
<b>3</b>	300	300	120,5	2,49	

**Tableau III.10 : Masse volumique absolue du sable concassé.**

### III.3.2.2. Masse volumique apparente : NF P 18-554

#### III.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.

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\text{ moyenne}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1449	1,483	1,483
02	114	1449	1,483	
03	114	1450	1,484	

**Tableau III.11 : Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.**

### III.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 :

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

On distingue deux cas :

#### Pour le sable concassé :

- Etat lâche :  $\rho_L = 40,68\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 29,52\%$ .

### III. 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.

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

On distingue deux cas :

**Pour le sable concassé :**

- Etat lâche :  $C_L = 59,32\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 70,48\%$ .

**III.3.2.5. L'indice des vides :**

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

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

**Pour le sable concassé :**

- Etat lâche :  $e = 0,685\%$ .
- Etat compacte :  $e = 0,418\%$ .

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

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40,68	29,52	59,32	70,48	0,685	0,418

**Tableau III.12: la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concassé.**

**III.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.

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
01	11,5	7,6	66,08	8,0	69,56
02	11,4	7,2	63,15	8,0	70,17
03	11,7	7,8	66,66	7,9	69,08

**Tableau III.13 : Equivalent du sable concassé.**

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 65,29\% \text{ et } (ESP)_{\text{moy}} = 70,13\%.$$

Donc :

$$65\% < \mathbf{ESV} < 70\% \quad \text{et} \quad 70\% < \mathbf{ESP} < 80\%.$$

**Pour le sable concassé :** C'est un sable légèrement argileux convenant parfaitement pour le béton de qualité courante. [08]

### III.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.

<i>N° d'essai</i>	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{\text{moy}}$ (%)
<b>1</b>	500	494,5	1,1	1.16
<b>2</b>	500	494	1,2	
<b>3</b>	500	494	1,2	

Tableau III.14 : Teneur en eau du sable concassé.

### III.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).

<i>N° d'essai</i>	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$A$ (%)	$A_{\text{moy}}$ (%)
<b>1</b>	300	305,60	1,86	1,77
<b>2</b>	300	305,24	1,74	
<b>3</b>	300	305,20	1,73	

Tableau III.15 : Degré d'absorption du sable concassé

### III.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>	
<b>5</b>	0	0	0	100
<b>2.5</b>	30	30	2.5	97.5
<b>1.25</b>	602	632	52.66	47.03
<b>0.63</b>	401	1033	86.08	13.92
<b>0.315</b>	88	1121	93.41	6.59
<b>0.2</b>	17	1138	94.83	5.17
<b>0.08</b>	21	1159	96.58	3.42
<b>Fond</b>	33	1192	99.33	0.67

Tableau III.16 : l'analyse granulométrique du sable concassé.

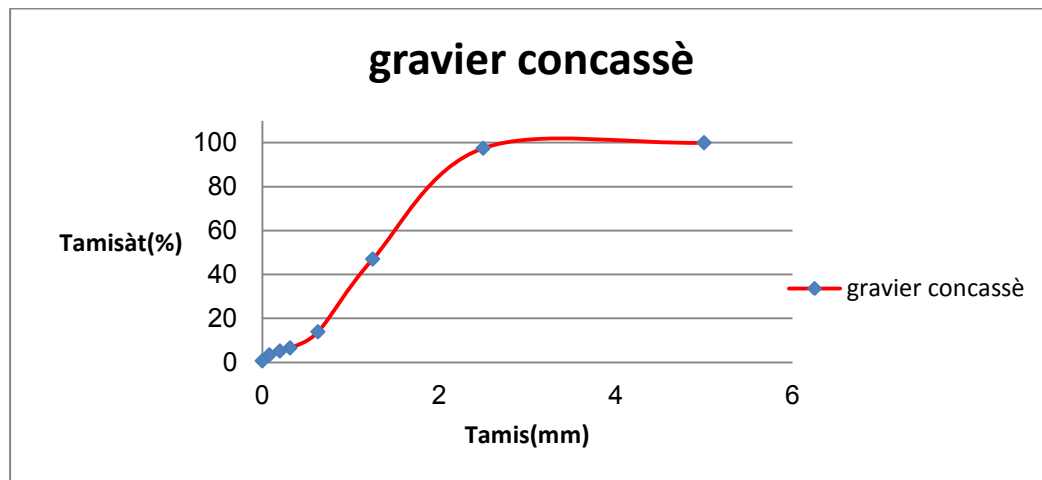


Figure III.3 : la courbe granulométrique du sable concassé.

### III.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 :

$$M_F = \Sigma R_c / 100 \Rightarrow M_F = 3,294.$$

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

- ◆ sable fin :  $MF = 1.5$  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.**

**Commentaire :**

$ES_{may} = 76,73\%$ .

Le sable (0/3) est un sable gros.

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.4. GRAVIER :**

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

- ◆ **Gravier concassé:**

#### **III.4.1. 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**).[09]

##### **III.4.1.1. Classes granulaires:**

Les fractions du gravier sont :

- Fraction **3/8**.
- .Fraction **8/16**.
- Fraction **16/25**.



**III.4.1.2. 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.4. 2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé:****III.4.2.1.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.

	N° d'essai	M (g)	M <sub>2</sub> (g)	V (L)	$\rho_{moy}$ (kg/L)
<b>3/8</b>	<b>1</b>	114	1289	0.9	<b>1.300</b>
	<b>2</b>	114	1283	0.9	
	<b>3</b>	114	1295	0.9	
<b>8/16</b>	<b>1</b>	114	1279	0.9	<b>1.302</b>
	<b>2</b>	114	1287	0.9	
	<b>3</b>	114	1283	0.9	
<b>16/25</b>	<b>1</b>	114	1245	0.9	<b>1.200</b>
	<b>2</b>	114	1222	0.9	
	<b>3</b>	114	1200	0.9	

Tableau III.17: Masse volumique apparente du gravier

**III.4. 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.

	N° d'essai	M (g)	V (cm3)	M(g)	$\rho_{moy}$ (g/cm3)
<b>3/8</b>	<b>1</b>	300	380	200	<b>2.52</b>
	<b>2</b>	300	379	200	
	<b>3</b>	300	379	200	
<b>8/16</b>	<b>1</b>	300	381	200	<b>2.54</b>
	<b>2</b>	300	380	200	
	<b>3</b>	300	375	200	
<b>16/25</b>	<b>1</b>	300	380	200	<b>2.54</b>
	<b>2</b>	300	380	200	
	<b>3</b>	300	378	200	

Tableau III.18 : Masse volumique absolue du gravier.

**III.4. 2.4. Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554**

Le mode opératoire est semblé a 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 :

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

<i>Fraction de gravie</i>	<b>Porosité (%)</b>	<b>Compacité (%)</b>	<b>l'indice de vide</b>
<b>3/8</b>	48.41	51.58	0.938
<b>8/16</b>	48.20	51.79	0.930
<b>16/25</b>	47.80	52.19	0.915

**Tableau III.19 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.**

**III.4.2.5. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554**

<i>Graviers</i>	<i>N° d'essai</i>	$M_1(g)$	$M_2(g)$	$A (%)$	$A_{moy} (%)$
<b>3/8</b>	<b>01</b>	700	709,06	1,29	<b>1.29</b>
	<b>02</b>	700	709,77	1,39	
	<b>03</b>	700	708,53	1,21	
<b>8/16</b>	<b>01</b>	700	712	1,71	<b>1.66</b>
	<b>02</b>	700	711	1,57	
	<b>03</b>	700	712	1,71	
<b>16/25</b>	<b>01</b>	700	713	1.85	<b>1.83</b>
	<b>02</b>	700	713	1.85	
	<b>03</b>	700	712.7	1.81	

**Tableau III.20 : Degré d'absorption d'eau du gravier.****III.4.2.6. Teneur en eau :**

<i>Graviers</i>	<i>N° d'essai</i>	$M_1(g)$	$M_2(g)$	$W (%)$	$W_{moy} (%)$
<b>3/8</b>	<b>01</b>	500	498	0,40	<b>0.53</b>
	<b>02</b>	500	497	0,60	
	<b>03</b>	500	497	0.60	
<b>8/16</b>	<b>01</b>	500	497	0.60	<b>0.53</b>
	<b>02</b>	500	498	0.40	
	<b>03</b>	500	498	0.60	
<b>16/25</b>	<b>01</b>	500	0.497	0.60	<b>0.53</b>
	<b>02</b>	500	0498	0.40	
	<b>03</b>	500	0.497	0.60	

**Tableau III.21 : Teneur en eau du gravier.**

**III.4.2.7. Analyse granulométrique :**

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

**a)- Fraction 3/8 (2Kg)**

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulé (g)</i>	<i>Refuscumulé (%)</i>	<i>Tamisât (%)</i>
8	0	0	0	0
6,3	237	237	237	237
5	350	350	350	350
4	514	514	514	514
3,15	335	335	335	335
2,5	53	53	53	53
<i>Fond</i>	6	6	6	6

**Tableau III.22 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.**

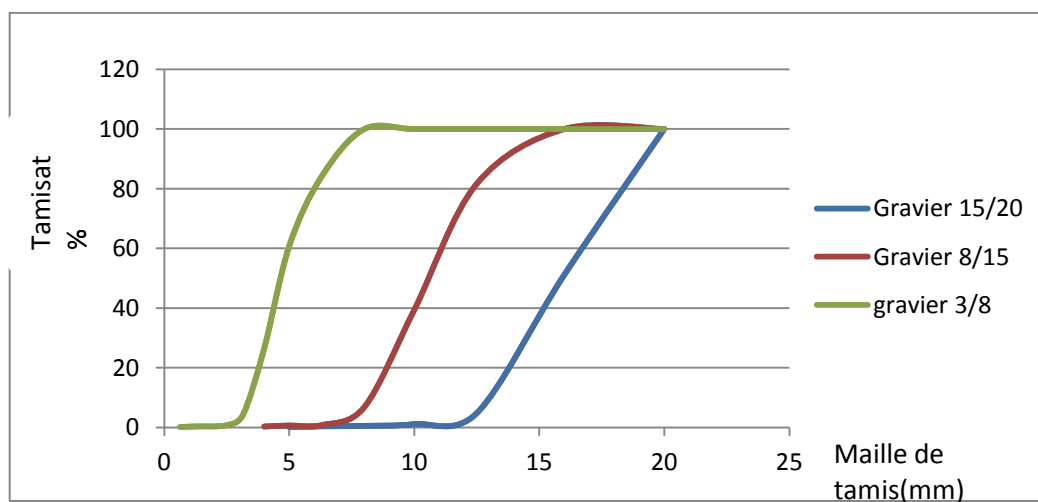
**b)- Fraction 8/16 (3Kg)**

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulé (g)</i>	<i>Refus cumulé (%)</i>	<i>Tamisât (%)</i>
16	0	0	0	100
12,5	272	272	18,33	81,66
10	637	909	60,66	39,4
8	489	13	93,2	6,8
6,3	90	1488	99,2	0,8
5	2	1490	99,33	0,66
<i>Fond</i>	5	1495	99,66	0,33

**Tableau III.23 : analyse granulométrique du gravier 8/16.**

**b)- Fraction 16/25 (3Kg)**

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulé (g)</i>	<i>Refus cumulé (%)</i>	<i>Tamisât (%)</i>
<b>20</b>	16	16	16	16
<b>16</b>	12.5	12.5	12.5	12.5
<b>12,5</b>	10	10	10	10
<b>10</b>	8	8	8	8
<b>8</b>	16	16	16	16
<b>6,3</b>	12.5	12.5	12.5	12.5
<b>Fond</b>	10	10	10	10

**Tableau. III.24 Analyse granulométrique gravier 16/25.****Figure III.4 : La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8-8/16.16/25).**

### III.4.3. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés:

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

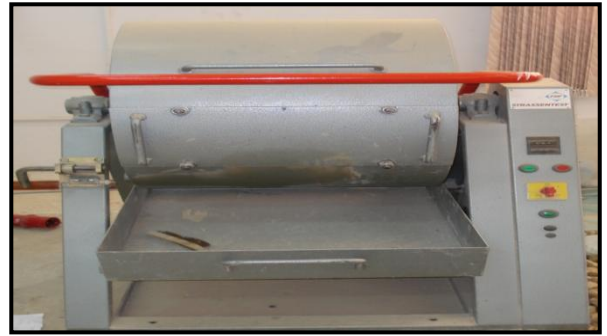


Figure III.5. Appareil Los Angeles.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

#### III.4.3.1. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles  $L_A$ , et sur le principe de l'effritement par abrasion.

Figure III.5 : Appareil de l'essai Los Angeles.

#### Principe de l'essai:

L'essai consiste à mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à **1.6 mm**, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre **4** et **50 mm**) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en **500** rotations.

#### Formulation:

Si  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai et  $m$  la masse des éléments inférieurs à **1.6 mm** produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles ( $L_A$ ) :  $L_A = (m/M) \cdot 100$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

<i>Fraction de Gravier</i>	<i>Nombre de boules</i>	<i>M (Kg)</i>	<i>m (Kg)</i>	<i>Coef <math>L_A</math> %</i>
<b>Gravier 3/8</b>	7	5	1.050	21%
<b>Gravier 8/16</b>	11	5000	0.942	19%
<b>Gravier 16/25</b>	12	500	1.149	22%

Tableau III.25. : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

**Classification :** Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Coefficient $L_A$	Nature de la roche
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
> 50	Très tendre

Tableau III.26 : Classification des roches en fonction du coefficient  $L_A$ **Commentaire :**

- Le gravier (3/8) : c'est un gravier dur ( $L_A=21\%$ ) / ( $L_A$  entre 20 à 25),
- Le gravier (8/16) : c'est un gravier très dur ( $L_A=19\%$ ) / ( $L_A < 20$ ),
- Le gravier (16/25) : c'est un gravier dur ( $L_A=22\%$ ) / ( $L_A$  entre 20 à 25)

**III.4.4. Caractéristiques chimiques des graviers utilisés :**

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars **2004**, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau III.29**). [15]

ELEMENT	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$MgO$	$SO_3$	$K_2O$	$Na_2O$
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

Tableau III.27 : Analyse chimique de la pierre concassée.

**III.6. CIMENT :**

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe **42.5** provient de la cimenterie de l'ACC de M'sila.

**III.6.1. Caractéristiques du ciment CPJ-CEM II:****III.6.1.1. 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 formes de 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.6.1.2. Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant: [10]

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

Tableau III. 28 : Caractéristiques du CPJ.

### III.6.1.3. 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 :

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

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>
<b>Teneur %</b>	59	14	6	10

Tableau III.29 : Caractéristiques chimiques du CPJ.

### **III.7.FORMULATION DU BÉTON :**

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré.

Généralement les qualités recherchées avec une telle composition sont :

Une consistance adaptée à sa destination.

Des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours.

Des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment et un rapport E/C maximum.

On peut conclure que la formulation d'un béton doit permettre de respecter les qualités de consistance et de résistance aux moindres coûts possibles [24]. Plusieurs méthode de formulation ont été élaborées par : ABRAMS, BOLOMEY, CAQUOT, FAURY...etc.

Mais, dans notre cas, nous avons choisi la méthode ((DREUX-GORISSE)) parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné une satisfaction, d'une part, et d'autre part, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [24].

#### **III.7.1.PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE ((DREUX-GORISSE)) :**

Cette méthode a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et résistance recherchées. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment connu.

Les proportions de différents granulats sont déterminées à travers la courbe de référence. Cette courbe est tracée à travers les courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées. Un coefficient de compacité est probablement donné au béton, il permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux de notre béton.

Quelque essais préliminaires de plasticité doivent avoir lieu pour fixer le dosage en eau afin d'adapter la maniabilité désirée.

### III.7.2.DOSAGE EN CIMENT ET EN EAU

Le rapport C/E est évalué par la formule de BOLOMEY.

$$F_{c28} = G \delta_c (C / (E - 0.5))$$

D'où :  $F_{c28}$  : Résistance moyenne en compression désirée (MPa). Pour notre cas  $F_{c28} < 25$  MPa.

G : Coefficient granulaire donné en fonction de serrage du béton et du diamètre de gros granulats.

Pour notre cas, on prend  $G = 0.45$  qui correspond aux granulats courants de  $D < 16$  mm.

$\delta_c$  : Classe vraie de résistance de ciment (MPa).

C : dosage en ciment ( $\text{Kg/m}^3$ ).

E : dosage en eau ( $\text{L/m}^3$ ).

Le dosage en ciment qu'on a choisi est de  $C = 350 \text{ Kg/m}^3$ .

### III.7.3.TRACE DE LA COURBE GRANULAIRE DE RÉFÉRENCE:

Après le traçage des courbes granulométriques des différents granulats, et sur le même graphique, on trace la composition granulométrique optimale qui est représentée par une ligne brisée OAB.

Le point B correspond à l'ordonnée de 100fi et du diamètre de gros granulats en abscisse. Le point A est défini comme ce qui suit :

En abscisse :

-Si,  $D \leq 20$  mm l'abscisse est  $D/2$ .

-Si,  $D > 20$  mm l'abscisse est situé au milieu du segment délimité par le tamis de maille 5 mm.

En ordonnée :  $y = 50 - \sqrt{D} + K$  [24].

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage à la mise en place, de la forme des granulats, en particulier du sable (roulé ou concassé) et du module de finesse de sable, K a pour expression [24] :

$K=6MF-15$  si le sable est roulé ;

$K=6MF-13$  si le sable est concassé.

Pour obtenir les proportions des granulats, on doit tracer les lignes de partage en joignant le point de 95fi de la première courbe avec le point de 5fi de la courbe suivante. Les points de croisement entre chacun des lignes de partage et ceux de la courbe de référence représentent le pourcentage de chaque granulat.

### III.7.4.DOSAGE EN GRANULATS :

Connaissant la masse volumique du ciment  $\rho_c$  et son dosage  $C$ , on peut déduire son volume  $V_C = C / \rho_c$ . Après le choix du coefficient de compacité de béton  $y$  qui est fonction de  $D$ , de la consistance et de l'efficacité de serrage. On peut déterminer le volume total absolu  $V_t = 1000y$  pour nous  $y=0.825$ . Donc le volume du granulat :

$$V_g = V_t - V_C. \quad \dots\dots\dots (III-11). \quad V_g = 1000y - V_C.$$

Si ;  $g_1, g_2$  et  $g_3$  sont les pourcentages en volume absolu des granulats déterminés par le Graphique, donc leurs volumes absolus sont :

$$V_1 = g_1 V_g.$$

$$V_2 = g_2 V_g.$$

$$V_3 = g_3 V_g.$$

Soit :  $\rho_1, \rho_2$  et  $\rho_3$  les masses volumiques absolues des trois granulats, leurs masses seront respectivement :

$$M_1 = V_1 \rho_1.$$

$$M_2 = V_2 \rho_2.$$

$$M_3 = V_3 \rho_3.$$

Après l'application numérique, les compositions des bétons doit étudié sont représentées dans le tableau ci-après.

Cement	L'eau	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/16	Gravier 15/25
350 kg	213.21 kg	587.5 kg	166.6 kg	407.31 kg	671.63 kg

**Tableau III.30: formulation de béton pour (1m<sup>3</sup>).**

**III.8. Les différentes compositions du béton :**

<b>Désignation des bétons</b>	<b>Agrégats</b>		<b>Ciment (%)</b>
	<b>Sable Concasse (%)</b>	<b>Sable de dune</b>	
<b>B1</b>	0	100	100
<b>B2</b>	100	0	100
<b>B3</b>	20	80	100
<b>B4</b>	80	20	100
<b>B5</b>	50	50	100
<b>B6</b>	40	60	100
<b>B7</b>	60	40	100

**Tableau III.31: Les différentes compositions du béton.**