

Caractéristiques des matériaux utilisés et formulation des bétons

A travers ce chapitre, on a présenté les matériaux utilisés dans cette étude et les techniques expérimentales pour caractériser ces matériaux ainsi que la formulation des bétons.

Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre béton et ensuite on décrit les différents modes opératoire des essais non destructifs (ultrason, scléromètre) et des essais destructif.

III-1- Matériaux utilisés

Nous avons utilisé des matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de MOHAMMED BOUDIAF M'sila. D'autres travaux dans le cadre de ce projet ont fait l'objet d'essais réalisés par nos soins au laboratoire de génie civil à l'Université de M'sil

III-2- Caractéristiques des matériaux :

III-2-1- Caractéristiques du gravier

Le gravier utilisé pour la confection du béton est gravier de MECHRI obtenue après concassage de la roche. Les fractions utilisées sont : (3/8), (8/15).

a)- Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-5] :

***Gravier concassé :**

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique.

- **Domain d'application :**

La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

- **Préparation de l'échantillon pour l'essai :**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5).

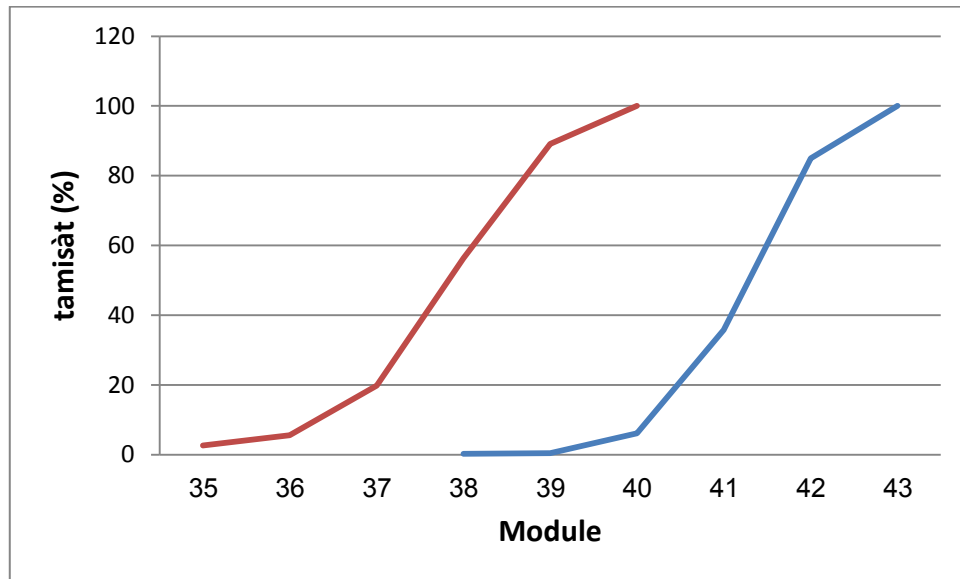
La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à 0,2 D, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres [5].

L'opération du tamisage du gravier se fait au moyen d'une tamiseuse ou on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. La vibration se fait 03 fois durant 07 minutes à chaque fois.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

	Le tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé	% des Refus cumulé	% de Tamis cumulé
Gravier 3/8 1600g	8	0	0	0	100
	6.3	174	174	10.88	89.12
	5	525	699	43.69	56.31
	4	584	1283	80.19	19.81
	3.15	227	1510	94.38	5.62
	2.5	47	1557	97.31	2.69
	fond	42	1599	100	0
Gravier 8/16 2000g	16	0	0	0	100
	12.5	300	300	15	85
	10	984	1284	64.2	35.8
	8	593	1877	93.85	6.15
	6.3	113	1990	99.5	0.5
	5	4	1994	99.7	0.3
	Fond	6	2000	100	0

Tableau III -1- L'analyse granulométrique de gravier concassé (3/8) (8/16).



Figuré III -1- Courbe granulométrique de graviers concassés (3/8), (8/15).

***Gravier recyclé :**

Ce gravier est obtenu pas le concassage des éprouvâtes déjà fabriquées au laboratoire. C'est un béton local



Figure III -2- Procédure de préparation des granulats recyclés

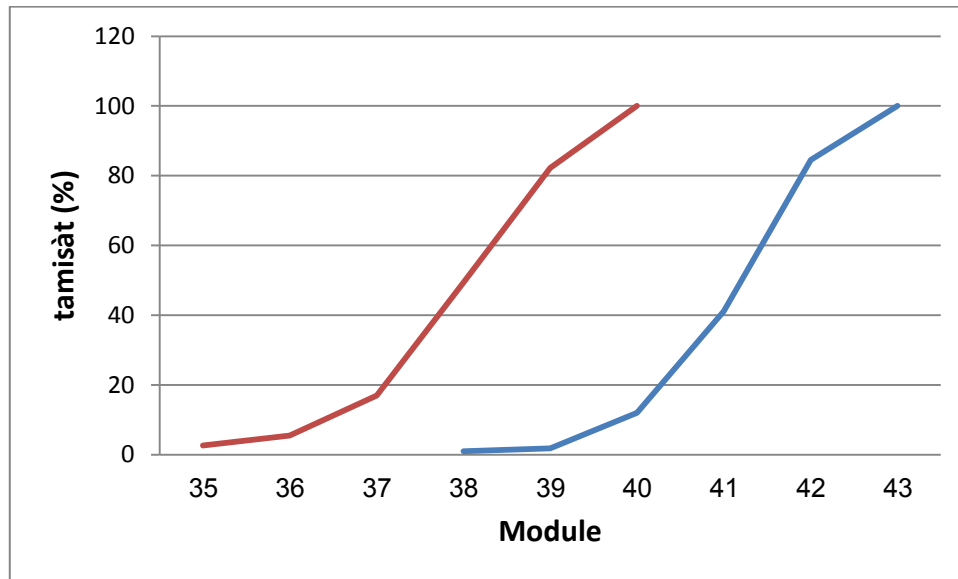


Figure III -3- graviers recyclés (3/8) (8/16).

Les recyclages de l'analyse granulométrique que sont représentés sur le tableau suivant.

	Le tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé	% des Refus cumulé	% de Tamis cumulé
Gravier 3/8 1600g	8	0	0	0	100
	6.3	285	285	17.81	82.19
	5	525	810	50.63	49.37
	4	518	1328	83	17
	3.15	184	1512	94.5	5.5
	2.5	45	1557	97.31	2.69
	fond	43	1600	100	0
Gravier 8/16 2000g	16	0	0	0	100
	12.5	309	309	15.45	84.55
	10	869	1178	58.9	41.1
	8	582	1760	88	12
	6.3	203	1963	98.15	1.85
	5	16	1979	98.95	1.05
	Fond	21	2000	100	0

Tableau III -2- L'analyse granulométrique de graviers recyclés (3/8) (8/16).



Figuré III -4- Courbe granulométrique de graviers recyclés (3/8) (8/16).

b)- La densité :

En sens physique ; c'est le degré de remplissage de la masse d'un corps par la matière solide.

Elle est calculée par le rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau à une température Elle est exprimée sans unité

c)- Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps.

Il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité: Une densité est le quotient entre la masse d'un certain volume d'un matériau et la masse du même volume d'eau à 4 °C, c'est - à - dire une grandeur sans unité. [5]

Comme il existe le volume apparent et le volume absolu, on distinguera :

-La masse volumique apparente (γ):

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm; Kg/m; t/m).

• Principe :

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement.

- **Mode opératoire :**

-Peser le récipient à vide et noter M1

-Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir,

-Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement,

-Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,

-Araser à la règle,

-Peser le contenu et noter M2

Il résulte que :

$$\gamma_{app} = (M2 - M1)/V$$

M₁ : masse du récipient vide.

M₂ : masse du récipient et gravier.

V : Volume de récipient

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

matériaux	M ₁ (kg)	V (l)	M ₂ (kg)	ρ _{app}	ρ _{moy} (kg/l)
3/8	2.922	7	12.355	1.347	1.342
			12.4	1.354	
			12.205	1.326	
8/16	3.493	10	17.279	1.378	1.36
			17.172	1.367	
			16.849	1.335	

Tableau III-3 - La masse volumique apparente (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/15).

matériaux	M ₁ (kg)	V (l)	M ₂ (kg)	ρ _{app}	ρ _{moy} (kg/l)
3/8	2.922	7	10.841	1.131	1.122
			10.690	1.109	
			10.803	1.125	
8/16	3.492	10	16.41	1.291	1.381
			17.12	1.363	
			16.98	1.49	

Tableau III-4 - La masse volumique apparente (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/15).

-La masse volumique absolue ou spécifique (ρ) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores).

Elle est exprimée en (t/m, kg/d , g/cm).

- **Principe :**

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée.

- **Mode opératoire :**

-Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V (400 ml).

-Peser une masse M du corps (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette.

-Bien éliminer les bulles d'air,

-Lire les nouveaux volumes V₂

-Le volume absolu ou réel est :

$$\rho_{\text{abs}} = M / (V_2 - V_1)$$

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

matériaux	M ₁ (kg)	V ₁ (l)	V ₂ (kg)	ρ _{abs}	ρ _{moy} (kg/l)
3/8	300	300	410	2.727	2.611
			420	2.5	
			415	2.608	
8/16	300	300	418	2.542	2.578
			415	2.608	
			416	2.586	

Tableau III -5- La masse volumique absolue (ρ) du gravier concassé (3/8), (8/15).

matériaux	M ₁ (kg)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ _{abs}	ρ _{moy} (kg/l)
3/8	300	300	410	2.73	2.56
			420	2.5	
			423	2.45	
8/16	300	300	425	2.4	2.5
			420	2.5	
			415	2.60	

Tableau III -6- La masse volumique absolue (ρ) du gravier recyclé (3/8), (8/15).

d)-La compacité et porosité:

Le mode opératoire est le même utiliser pour le gravier. On calcule la porosité selon la formation :

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

La compacité donnée la formule :

$$C(\%) = 1 - P$$

L'indice des vides est donné par la formule :

$$e (\%) = (P / 100 - P)$$

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C(%)	Indice des vides e (%)
(3/8)	48.60	51.4	0.945
(8/16)	47.25	52.75	0.895

Tableau III -7- Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé.

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C(%)	Indice des vides e (%)
(3/8)	56.17	43.83	1.28
(8/16)	44.76	55.24	0.81

Tableau III -8- Porosité, compacité et indice des vides du gravier recyclé.

e)- Degré d'absorption d'eau [4] :

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est exprimée en (%) et définit par la formule :

$$W (\%) = [(M_h - M_s)/M_s].100$$

M_h : La masse du matériau saturé d'eau en (g).

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

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Gravier	M _h (g)	M _s (g)	w (%)
(3/8)	1000	981	1.94
(8/16)	1000	975	2.56

Tableau III -9- Degré d'absorption d'eau des agrégats concassé (3/8), (8/16).

f)-Essai Los Angeles :

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

La machine utilisée comporte un cylindre creux pouvant tourner de son axe et où on introduit l'échantillon ainsi que des boulets d'acier jouant le rôle de charges abrasives.

- **Principe de l'essai :**

Faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulats mélangé à des boules d'acier. A la fin, on évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1.6 mm

Il se pratique sur une des six classes granulaires qui sont : (4/6.3) ou (6.3/10) ou (10/14) ou (10/25) ou (16/31.5) ou (25/50). [4]

On place un échantillon de 5 kg de granulat et 7 à 12 boulets d'aciers dans un tambour pouvant tourner de son axe, la charge des boules est fixée conformément aux indications du tableau ci-après

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	
4 - 6.3	7	3080	+20 a -150
6.3 – 10	9	3960	
10 – 14	11	4840	
10 – 25	11	4840	+20 a -150
16 - 31.5	12	5280	
25 – 50	12	5280	

Tableau III -10- Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe

- **Mode opératoire :**

La roche ramenée de la carrière est concassée puis tamisée. Selon le refus et le Tamisat enregistrés lors de l'analyse granulométrique, on la classe dans une des quatre grandes catégories de granulométrie (introduire A ,B ,C ou D).

Cette classification va nous permettre de choisir précisément le nombre de boulets d'acier à utiliser selon les normes prescrites.

Les boulets ainsi que le matériau sont mis en place dans le cylindre.

La machine fait alors 500 tours en 15 minutes, 15 secondes.

Ce temps écoulé, on arrête la machine et on récupère 5000 g de l'échantillon sans faire de choix, l'échantillon est alors lavé au tamis de 1,6 mm puis passé à l'étuve pendant 24 heures jusqu'à poids constant.



Figure III -5- les boules avant l'essai.



Figure III -6- Appareil de Los Angeles

- **Calculs :**

Peser ce refus une fois sécher. Soit P le résultat de la pesée avec :

$$P = 5000 - \text{refus}$$

Le coefficient de Los Angeles LA est donné par la relation suivante :

$$LA = 100 (P/5000)$$

P : est le passant à 1.6mm.

- **Classification :**

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

Coefficient LA	Estimation de la dureté des agrégats
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dur
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
>50	Très tendre

Tableau III -12- Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient LA.

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau ci-dessous

Fraction granulaire	LA (%)
8/16	18

Tableau III -13- Résultats d'essai de Los Angeles du gravier concassé (8/16).

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

Fraction granulaire	LA (%)
8/16	26.6

Tableau III -14- Résultats d'essai de Los Angeles du gravier recyclé (8/16).

III -2-2-Caractéristique du sable :

a)-Equivalent de sable : [NA EN 933-8]

Selon la norme NF-18-598 qui décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et le pourcentage de poussière nuisible et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et provoquent des gonflements et des retraites.

- **Mode opératoire :**

-tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g)

- prendre une pesée de 120g

-Remplir l'éprouvette d'une solution la remplissant jusqu'au premier repère

-A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de 120g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de libérer les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon

- Laisser reposer pendant 10 min

-fermer l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de coups horizontaux en 30s à la main à l'aide de l'agitateur mécanique.

-Retirer le bouchon ,l erincer avec solution la vente au-dessus l'éprouvette et 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 eu tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire montrer les éléments fins et argileux.

Effectuer Cette opération jusqu' a ce que la solution la va 2eme repère, laisser ensuite reposer pendent 20 minutes

a-1 Equivalent de sable visuel (E.S.V)

Après 20 min de dépôt de sable , on lit la hauteur **h1**du niveau supérieure de flocculat jusqu'au fonde l'éprouvette à l'aide d'une règlette .on mesure également avec la règlette : la hauteur **h2** comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$E_{sv} = (h_2/h_1) 100\%$$

Avec : **h1** : hauteur du sable+ flocculat.

h2 : hauteur du sable

a-2 Equivalent de sable piston (E.S.P)

-Introduire le piston dans l'éprouvette et la 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 la règlette 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 a la hauteur de la partie sédimentée.

$$E_{sp} = (h'2/h_1) 100\%$$

Avec :

h1 : hauteur du sable plus flocculat.

h'2 : hauteur du sable.

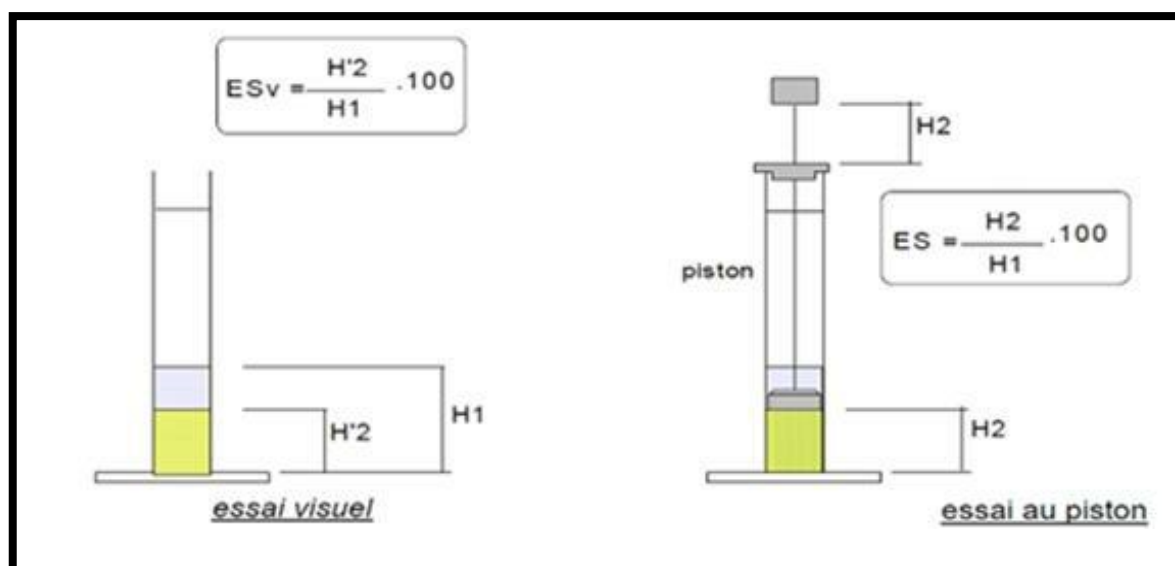


Figure III -7- Essais de l'équivalent de sable

Esv	Esp	Nature et qualité de sable
$Es < 65$	$Es < 60$	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
$65 < Es < 75$	$65 < Es < 80$	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de particulièrement le retrait
$75 \leq Es \leq 85$	$70 \leq Es \leq 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
$Es \geq 85$	$Es > 85$	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 -15- Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP

En a répété l'essai 03 fois, les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Hauteur (cm)	h1	h2	ESV (%)	ESV moy (%)	h'2	ESP (%)	ESPmoy (%)
Echantillon (1)	11.3	9.1	80.53	83.14	8.6	76.11	76.37
Echantillon (2)	11.8	9.2	77.97		8.4	71.19	
Echantillon (3)	11	10	90.90		9	81.82	

Tableau III -16- Résultats d'essais d'équivalent de sable concassai 0/3.

Le sable testé donne les résultats suivants :

Esv= 83.14

Esp= 76.37

Sable propre à faible pourcentage de farin argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

Hauteur (cm)	h1	h2	ESV (%)	ESV moy (%)	h'2	ESP (%)	ESPmoy (%)
Echantillon (1)	13.6	11.1	81.62	84.08	10	73.53	73.93
Echantillon (2)	13.2	11.3	85.61		9.8	74.24	
Echantillon (3)	12.7	10.8	85.04		9.4	74.02	

Tableau IV-17- Résultats d'essais d'équivalent de sable recycler .

Esv= 84.08

Esp= 73.93

Sable propre à faible pourcentage de farin argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

b)-Analyse granulométrique [NA EN 933-1]

L'essai de l'analyse granulométrique a pour but de détermination de la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes classes de grains constituant l'échantillon. La distribution en poids des particules d'un granulat suivant leurs dimensions permet de déterminer ses continuités

- **Mode opératoire :**

-Prélever une masse de 2kg de matériau (sable concassai)

-Peser chaque tamis a vide, soit m_i la masse du tamis

-Constituer une colonne de tamis propres et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas

(Exprimée en mm) [5,3.15, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315,0.16, 0.08, fond]

-verse le sable sur la colonne de tamis et celle –ci est vibrée a l'aide de la tamiseuse électrique pendant 7minutes

-On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse

-a la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis 1g soit M_i =la masse de tamis (i) + sable.

-Calcule la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1)

-repandre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur .

-ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , Soit R_2 la masse du refus m du tamis 2($R_2= R_1 +$ refus partiel sur tamis 2)

-poursuivre la même opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses de différents refus cumulés $R_3, R_4, \dots R_n$ le tamisât est calcule par relation :

$$T=100-R_c$$

R_c : refus cumulés en (%)

T : tamisât en(%)

Les résultats obtenus sont représenta dans le tableau suivant :

tamis	Refus partiel	Refus cumules		Tamisât cumulés
(mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
5	0	0	0	100
3.15	2	2	0.1	99.9
2.5	38	40	2	98
1.25	971	1011	50.55	49.45
0.63	467	1478	73.9	26.1
0.315	331	1809	90.45	9.55
0.16	134	1943	97.15	2.85
0.08	43	1986	99.3	0.7
Fond	13	1999	100	0

Tableau III -18- Analyse granulométrique du sable concassai 0/3

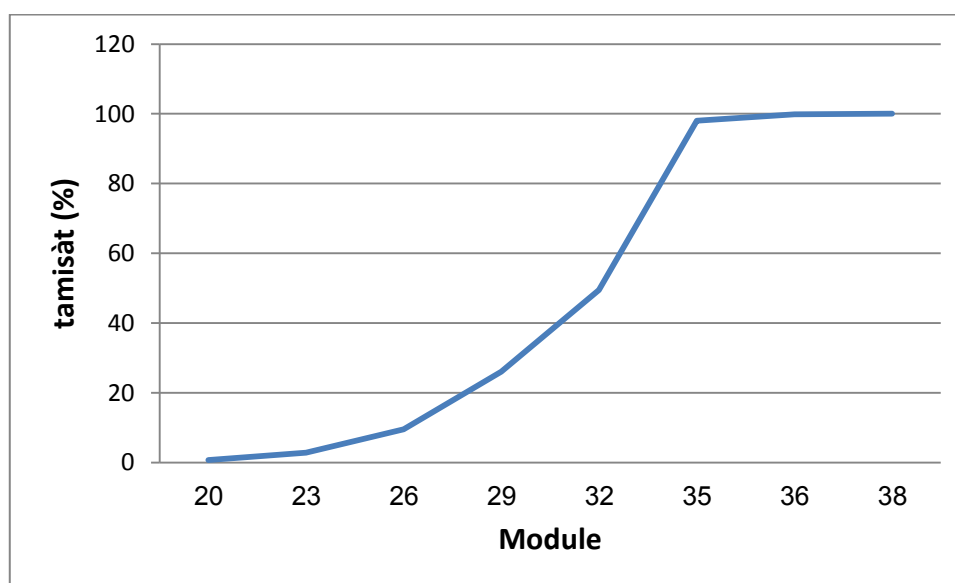


Figure III -8- Courbe granulométrique du sable

tamis	Refus partiel	Refus cumules		Tamisât cumulés
(mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
5	0	0	0	100
3.15	5	5	0.25	99.75
2.5	165	170	8.5	91.5
1.25	821	991	49.55	50.45
0.63	215	1206	60.3	39.7
0.315	319	1525	76.25	23.75
0.16	291	1816	90.8	9.20
0.08	151	1967	98.35	1.65
Fond	32	1999	100	0

Tableau III -19- Analyse granulométrique du sable recycle 0/3

c)-Modules de finesse [NA EN 12620] :

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis. [5]

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

Tableau III -20- Module de finesse du sable

$$MF = \sum Ri/100$$

$$MF = Ri/100 \sum (\text{refuscumules de\% des tamis [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5]})$$

$$MF = (97.15+90.45+73.9+50.55+2+0.1+0) /100 \quad MF = 3.14 \text{ sable concassai 0/3}$$

$$MF = (90.8+76.25+60.3+49.55+8.5+0.25+0) /100 \quad MF = 2.86 \text{ sable recycle 0/3}$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à : MF= 3.14 et MF= 2.86 donc : (C'est un sable Moyen).

III -2-3-Caractéristiques physiques du sable :

a)- Masse volumique apparent [EN 1097-6]

- **Masse volumique à l'état lâche :**

La masse volumique apparente du sable est déterminée par un entonnoir Standardisé de capacité 1L. On remplit l'entonnoir avec du sable sec.

Pèse le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.

On nivelle la surface du sable et on pèse le tout soit M2 ce poids.

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

$$\rho = (M2 - M1) / V_r$$

M1 : Masse du récipient vide.

M2 : Masse du récipient plus le sable.

Vr : Volume du récipient (Vr = 900ml).

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	Vr(ml)	$\rho_{abs}(kg/ml)$	$\rho_{moy} (kg/ml)$
1	115	1374	900	1.4	1.39
2	115	1371	900	1.39	
3	115	1361	900	1.38	

Tableau III-21 - La masse volumique à l'état lâche (ρ) du Sable concassé

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	Vr(ml)	$\rho_{abs}(kg/l)$	$\rho_{moy} (kg/l)$
1	115	1299	900	1.32	1.31
2	115	1284	900	1.30	
3	115	1302	900	1.31	

Tableau III-22 - La masse volumique à l'état lâche (ρ) du Sable recycle concassé

- **Masse volumique à l'état Compact**

C'est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et le compacter par tassement à 25 secousses manuelles, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M2 la masse de l'ensemble (sable +récipient) M1 la masse de le récipient.

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = (M2 - M1) / V_r$$

M1 : Masse du récipient vide

M2 : Masse du récipient plus le sable

Vr : Volume du récipient (Vr = 1L)

N° d'essai	M1(kg)	M2(kg)	Vr(l)	$\rho_{abs}(kg/l)$	$\rho_{moy} (kg/l)$
1	0.115	1.549	0.9	1.59	1.59
2	0.115	1.538	0.9	1.58	
3	0.115	1.556	0.9	1.6	

Tableau III-23 - La masse volumique à l'état lâche (ρ) du Sable concassé

N° d'essai	M1(kg)	M2(kg)	Vr(l)	$\rho_{abs}(kg/l)$	$\rho_{moy} (kg/l)$
1	0.115	1.495	0.900	1.54	1.55
2	0.115	1.509	0.900	1.55	
3	0.115	1.519	0.900	1.56	

Tableau III-24 - La masse volumique à l'état lâche (ρ) du Sable recycle concassé

- **Masse volumique absolue [NF P18-555]**

Il s'agit de connaître le poids de l'unité de volume des matériaux étudiés. La mesure peut s'effectuer par déplacement de liquide comme il est montré du mode d'opération

- **Mode opératoire :**

La masse volumique absolue du sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 1000 cm³ on prend 3 échantillons de masse 300 g

On place l'échantillon dans le récipient capacité 1000 mL. On y verse 250 ml d'eau puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y est.

Après l'opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau

Donc : le volume occupé par le sable c'est :

N° d'essai	M1(g)	Ve(ml)	V1(ml)	$\rho_{abs}(kg/l)$	$\rho_{moy}(kg/l)$
1	300	300	409	2.75	2.72
2	300	300	410	2.72	
3	300	300	412	2.69	

Tableau III-25 - La Masse volumique absolue du Sable concassé

N° d'essai	M1(g)	Ve(ml)	V1(ml)	$\rho_{abs}(kg/l)$	$\rho_{moy}(kg/l)$
1	300	300	425	2.4	2.44
2	300	300	423	2.43	
3	300	300	420	2.5	

Tableau III-26 - La Masse volumique absolue du Sable recyclé concassé

Le volume de sable : $V_1 = V - V_e$

$V_e = 300$

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

$$p_{abs} = M/V \quad M = 300g$$

Le ciment

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment CRS de classe **42.5** provient de La cimenterie kharouba Tunisie

III -2-4- Caractéristiques du ciment CRS-CEM I:

III -2-4-1 Description :

Le **CRS** est un ciment Portland résistant aux sulfates de classe 42,5 «CPA-CEM I CRS 42,5», c'est un ciment de référence, il contient au moins 95 % de clinker et Le reste est composé de constituants secondaires tel que le gypse comme Régulateur de prise, ses caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques sont données par les Tableaux suivants.

III -2-4-2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CRS sont regroupées dans le tableau suivant:

		Unités	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm ³	3.17
Consistance normale		%	27.8
La finesse (Blaine)		Cm ² /g	3673
Le Chatelier	A froid	Mm	00
	A chaud		1
Temps de prise	Début	Heur : min	2 : 20
	Fin		4 : 37
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours		37
	28 jours		Plus de 42.5

Tableau- III -27- Caractéristiques du CRS.au laboratoire de cimenterie d'Ain El Kebira.

III -2-4-3 Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé:

L'analyse chimique et minéralogique du CRS est établie au Laboratoire de S.C.A.E.K Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

ELEMENT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	PaF
Teneur (%)	21.9	4.68	64.91	5.32	1.50	2.07	0.31	1.14

Tableau III -28- Caractéristiques chimiques du CRS.

Éléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	3CaOSiO ₂	2CaOSiO ₂	3CaAl ₂ O ₃	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Teneur %	52.13	23.55	6.76	12.13

Tableau III -29- Caractéristiques minéralogique du CRS

III -3-Composition du béton

III -3-1-Méthode de calcul de la composition du béton:

Le calcul de la composition du béton a pour le but de déterminer le dosage en ciment, granulats et en eau pour un dosage de 1 m³ de béton frais afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique voulue.

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

Méthode de BOLOMEY

Méthode d'ABRAMS

Méthode de FAURY

Méthode d'OISEL

Méthode de VALETTE

Méthode de DREUX GORISSE

Méthode des VOLUMES ABSOLUS

Méthode GENERALE DU CENTRE D'ESSAIS DES STRUCTURES

III -3-2-Formulation d'un béton référence :

Les méthodes de composition ne conduisent pas toutes au même résultat, car chacune d'elle doit simplifier et s'appuyer sur quelques hypothèses qui ne sont pas toujours les mêmes.

Signalons néanmoins qu'aucune d'entre elles n'aboutit à coup sûr une composition exacte ceci est paramètres influant sur le béton qui sont très nombreux et difficilement appréciables.

Pour la formulation de notre béton de référence, il a été retenu d'utiliser la méthode de BARON-LESAGE, mais il faut que nous sachions le dosage en granulats de sorte que le squelette minéral soit optimal. par conséquent d'après BARON-LESAGE deux hypothèses doivent être respectées :

-pour un dosage en eau et en ciment fixe au départ, le béton le maniable et le plus compact c'est que son squelette sera optimal

-le dosage optimal en granulats ne dépend pas des teneurs en eau ni en ciment.

Pour la composition optimale d'un béton, plusieurs paramètres peuvent être étudiés :

Le dosage en ciment, Le dosage en eau et Le dosage en granulats (S/G= sable/gravier). Afin de simplifier l'étude et satisfaire les principes de la méthode, seul le rapport S/G est variable. Le dosage en ciment ainsi que le rapport eau/ ciment (E/C) sont fixés au départ d'après Gorisse, le rapport S/G optimale est compris entre 0.5 et 0.83. sept valeurs du rapport

Ont été choisies et expérimentées avec un pas de 0.05, ce qui veut dire sept compositions différentes. Pour chaque composition, on mesure l'affaissement au cône d'Abrams correspondant

Formulation du béton:

Ciment : $C=450\text{kg/m}^3$

Sable concassé 0/3 : 670 kg/m^3

Gravier 3/8: 200 kg/m^3

Gravier 8/16: 905 kg/m^3

E/C = 0.6 et variable

Volume perdu: 1.25

Affaissement = 6cm

E=270 L

Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques

$$[(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = \mathbf{0.016395 \text{ m}^3}$$

III -3-3-Volume des Temion :

Ciment : 7.2kg

Sable concassé 0/3 : 10.72 kg

Gravier 3/8: 3.2 kg

Gravier 8/16: 14.48 kg

E = 4.32 L

III -4-composition des mélanges d'essais :

Groupe 1: Mélange de sable (naturel + recycle):

Matériaux	Sable concassé 0/3 (kg/m³)		Gravier 3/8 (kg/m³)	Gravier 8/16 (kg/m³)	Ciment (kg/m³)	E (kg/m³)
	Naturel	Recycle	Naturel	Naturel	450	270
0%	670	0	200	905		
30%	469	201	200	905		
50%	335	335	200	905		
100%	0	670	200	905		

(0% -30% -50% -100% est la taure de remplacement du sable concassé Pa le sable recyclé)

Groupe 2 : Mélange de Gravier (naturel + recycle):

Matériaux	Gravier 3/8 (kg/m ³)		Gravier 8/16 (kg/m ³)		Sable concassé0/3 (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	E (kg/m ³)
	naturel	Recycle	naturel	Recycle	naturel		
0%	200	0	905	0	670	450	270
30%	140	60	633.5	271.5	670		
50%	100	100	452.5	452.5	670		
100%	0	200	0	905	670		

(0% -30% -50% -100% est le taur de remplacement du sable concassé Pa le sable recyclé)

Groupe 3 : Mélange de Gravier et sable:

Matériaux	Gravier 3/8 (kg/m ³)		Gravier 8/16 (kg/m ³)		Sable concassé0/3 (kg/m ³)		Ciment (kg/m ³)	E(kg/m ³)
	naturel	Recycle	naturel	Recycle	naturel	Recycle		
0%	200	0	905	0	670	0	450	270
30%	140	60	271.5	633.5	469	201		
50%	100	100	452.5	452.5	335	335		
100%	0	200	0	905	0	670		

(0% -30% -50% -100% est le taure de remplacement du sable concassé Pa le sable recyclé)

III -5-Matériels et essais :

III -5-1-Etude de béton à l'état frais :

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidarisation par un liant de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs gravies.

La norme (NF 18-404) distingue les essais d'études, des essais de convenance et de contrôle, l'essai d'études sont exécutés sur un béton réalisé en laboratoire.

Les essais d'études, des essais de convenance et de contrôle, les essais d'études sont exécutés sur un béton gâchés dans la bétonnière ou le malaxeur utilise ser le chantier

a)-Affaissement au cône d'abrams [NA EN 12350-2]

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est simple à mettre en œuvre, il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40mm, il est réalisé à l'ordre suivant:

- introduire le béton dans le moule légèrement humidifié et huilé en trois couches d'égales.
- piquer chaque couche 25 coups avec une tige de $\phi=16\text{mm}$
- Araser en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule
- démouler le cône et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et arrondi au centimètre



Figure III -9- Appareillage de cône d'Abrams

b)-Vibration : [NA EN 12390-2]

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- remplir les moules cubiques et prismatiques
- faire la vibration sur la table vibrante pendant 30s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquées par peinture et conservées dans l'eau

c)-le malaxage:

L'efficacité de malaxage est importante, elle dépend du type de mélangeurs employés, du temps consacré au mélange lui-même.

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant:

- Introduire le sable, gravier, ciment
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désiré

III -5-2- Les essais sur le béton durci :

le béton est considéré comme un solide monolithique après c'est un matériau perpétuel en évolution. ceci est dû aux plusieurs raisons parmi les quelles :

- la poursuite de la réaction d'hydratation du ciment pendant plusieurs années notamment, la cohésion et les dimensions du matériau
- les variations du milieu ambiant engendrent des changements lents dans la structure du béton durci

a)-Durcissement de béton :

Le durcissement d'un béton avec le temps est essentiellement à l'hydratation progressive du ciment.

Il est bien connu que la progression des résistances mécaniques d'un béton se fait de plus en plus lentement lorsque le béton passe ceci peut s'expliquer par le fait que la vitesse d'hydratation des grains de ciment décroît elle-même avec le temps

III -5-3- Détermination de la résistance par les essais non destructifs :

III -5-3-1-Ultrason (NA EN 12504-4)

- **But :**

La vitesse des ondes sonores dans le béton dépend des caractéristiques élastiques, de la densité et de la teneur en humidité. C'est pourquoi, par des mesures ultrasoniques, il est possible de faire des indications sur la régularité du béton, la fissuration, les endroits creux et sur les dommages dus au gel ou au feu. Par ailleurs il est possible de faire, à l'aide d'essais préliminaires, une indication sur la résistance.

- **Exécution :**

- Rayonnement à travers un ouvrage / une éprouvette
- Mesurer le temps de transit et calculer le module d'élasticité

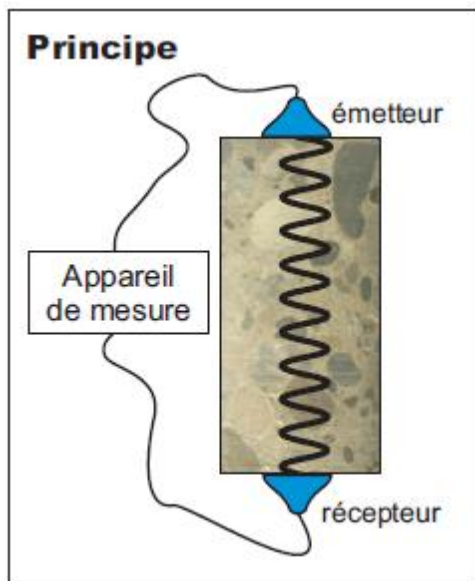


Figure III -10- Principe d'essai



Figure III -11- Appareil ultrason.

- **Résultats :**

- Indications sur la qualité du béton
- Découvertes de fissures, d'endroits creux, de nids de gravier, etc.

III -5-3-2-Essai d'écrasement :

on met la presse en marche de même vitesse (0.5KN/S) jusqu'à la rupture, on décharge puis on note la charge de rupture F.

- la résistance de béton à la compression, dans tous les cas, est déterminée par la relation :

$$R_c = F/S$$

R_c: résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm)



Figure III -12- Presse hydraulique capacité 3000 KN.

III -5-3-3-Essai de traction par flexion (EN 12390-5) :

Le but de cet essai de chargement en flexion simple est d'obtenir une réalisation contrainte de formation, dont le diagramme permet d'observer l'évolution de la fissuration.

l'éprouvette prismatique de longueur 4a (avec a=10cm) est soumise à une charge P(kn) appliquée à une vitesse constante (V=1.5 bar/s) jusqu'à la rupture. Cette charge est transmise directement par l'intermédiaire d'un rouleau métallique placé au centre de l'éprouvette.

La résistance : $R = 90f/2a^2$

La contrainte : $\sigma_t = 6P/a^2$ (MPa)

σ_t : contrainte de traction

P : charge de rupture

a : Cote de prisme