

CHAPITRE 4

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

4.1 INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux utilisés dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques, physico-chimiques et mécaniques pour permettre de faire un choix répondant à leur destination.

4.2 LES LIANTS

4.2.1 laitier granulé

Le laitier utilisé dans cette étude provient de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar de Annaba.

C'est un laitier granulé, obtenu à partir d'un refroidissement rapide du laitier fondu dans les bassins d'eau, ce qui conduit à la formation d'une grande quantité de la phase vitreuse.

Le tableau 4.1 présente l'analyse chimique du laitier granulé :

Tableau 4.1 : Analyse chimique du laitier granulé.

Teneur %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻
40.8	5.2	0.53	43.01	6.4	0.80	3.02	0.01	0.007

4.2.1.1 Module de basicité

A partir de la composition chimique du laitier granulé, on peut calculer le module « M₀ » module de basicité, on appliquant les formules utilisées dans les références :

$$M_{01} = \frac{\%CaO}{\%SiO_2} = 1,05 \quad M_{01} > 1$$

$$M_{02} = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2} = 1,21 \quad M_{02} < 1,5$$

$$M_{03} = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3} = 1,074 \quad M_{03} > 1$$

A partir des résultats obtenus, le laitier utilisé est un laitier basique.

4.2.1.2 Module d'activité

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = 0,127$$

4.2.1.3 Diffractogramme du laitier

Le laitier granulé se présente sous forme de sable de couleur claire, de granulométrie 0 à 5 mm.

Le diffractogramme du laitier granulé du haut fourneau d'Annaba présenté à la figure (4.1) est typique de laitier amorphe qui présente cependant deux pics caractéristiques correspondant à la calcite et au fer.

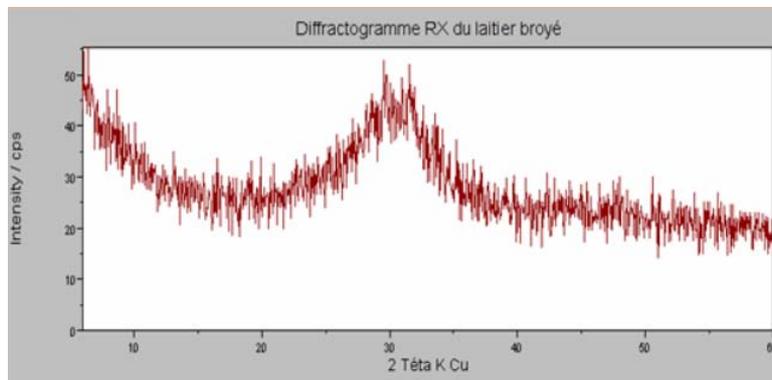


Figure 4.1: Diagramme de diffraction des rayons X du laitier granulé.

4.2.2 Ciment portland

Nous avons utilisé deux types de ciment portland l'un est un ciment portland artificiel CPA et l'autre est un ciment composé CPJ CEM II/A.

Le ciment portland artificiel résulte du broyage du clinker avec environ 5 % du gypse, le clinker utilisé provient de la cimenterie de Ain-Touta (Batna).

Le ciment portland composé provient de la cimenterie de Hammam Dalâa de Msila.

La composition chimique des ciments est donnée au tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Composition chimique des clinkers .

Teneur %									
Types	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Chaux libre
CPA	21.14	5.46	3.67	64.2	1.3	-	-	-	-
CPJ	20.70	4.75	3.75	62.92	1.53	1.98	0.39	0.09	0

La composition minéralogique des deux types de clinker est donnée au tableau 4.3.

Tableau 4.3 : composition minéralogique des clinkers.

Types	Teneur %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ Af
CPA	65.90	8.43	9.04	9.4
CPJ	55.83	17.53	6.25	11.42

Il faut noter ici que le ciment portland est utilisé pour étudier la pâte de ciment, tandis que le ciment composé est utilisé pour la confection du béton.

4.4.3 Propriétés physiques des liants

Les propriétés physiques des liants (laitier, CPA, CPJ) sont représentées au tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Propriétés physiques des liants.

Propriétés	Ciment composé	Laitier granulé	Ciment portland
Surface spécifique, cm ² /g	3400	3200	3200
Masse volumique absolue, kg/m ³	3110	2940	3100
Masse volumique apparente à l'état lâche, kg/m ³	1080	1040	1125.3
Masse volumique apparente à l'état compact, kg/m ³	1290	1210	1250

4.3. LES GRANULATS

4.3.1 Les sables

4.3.1.1 *Sable naturel*

Le sable utilisé, est un sable très fin d'origine siliceux, provenant de la région de (Boussaâda, Msila) , dont la composition chimique est présentée au tableau 4.5 :

Tableau 4.5 : composition chimique du sable naturel.

Teneur %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻
89.67	0.90	0.91	5.96	0.2	0.05	0.3	0.01	0.019

a. Diffractogramme du sable naturel

L'analyse par diffraction aux rayons X (DRX) montre que le sable est constitué de SiO₂ cristallisé sous forme de quartz α comme il est représenté à la figure 4.2.

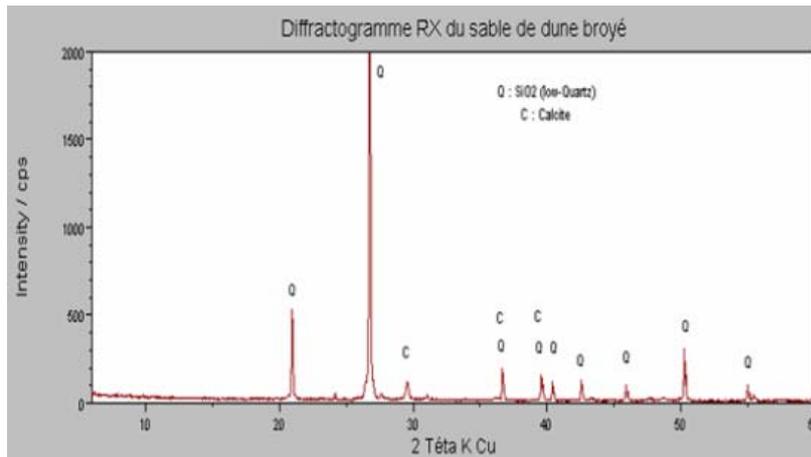


Figure 4.2 : Diffractogramme du sable.

4.3.1.2 Sable de laitier granulé

Nous avons utilisé également le sable de laitier granulé en guise de granulats fins (afin d'étudier l'influence du remplacement du sable naturel par du sable de laitier granulé sur quelques propriétés du béton).

La composition chimique du laitier granulé est déjà présentée au tableau 4.1.

4.3.1.3 Caractéristiques physiques des sables

Les caractéristiques physiques des sables (laitier granulé, sable naturel) sont récapitulées au tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Propriétés physiques des sables (naturel, laitier).

Propriétés	Sable (0/3)	Laitier granulé (0/5)
Masse volumique absolue, kg/m ³ .	2540	1900
Masse volumique apparente :		
- l'état lâche, kg/m ³ .	1540	920
- l'état compact, kg/m ³ .	1750	1015
Porosité, (%).	39.37	-
Teneur en eau, (%).	0.50	2
Coefficient d'absorption, (%).	2.30	12
Propreté ESV – ES (équivalent de sable), (%).	75 73	En général ≥ 80

4.3.1.4 Analyse granulométrique des sables

La consistance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.

La granulométrie du sable est indispensable pour l'étude d'un béton de qualité. Se sont les éléments les plus fins qui influencent le plus le dosage en eau, la maniabilité, la compacité et l'aspect du béton.

L'analyse granulométrique du sable naturel et du laitier granulé est donné au tableau 4.7 et 4.8 respectivement.

Tableau 4.7 : Analyse granulométrique du sable naturel .

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât
		(g)	(%)	
5	10	10	1	99
2.5	40	50	5	95
1.25	25	75	7.5	92.5
0.63	35	110	11	89
0.315	240	350	35	65
0.125	640	960	96	4
0.08	35	995	99.5	0.5
le fond	5	1000	100	0

Tableau 4.8 : Analyse granulométrique du laitier granulé :

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât, (%)
		(g)	(%)	
5	60	60	6	94
2.5	45	105	10.5	89.5
1.25	505	610	61	39
0.63	280	890	89	11
0.315	75	965	96.5	3.5
0.125	20	985	98.5	1.5
0.08	10	995	99.5	0.5
Le fond	5	1000	100	0

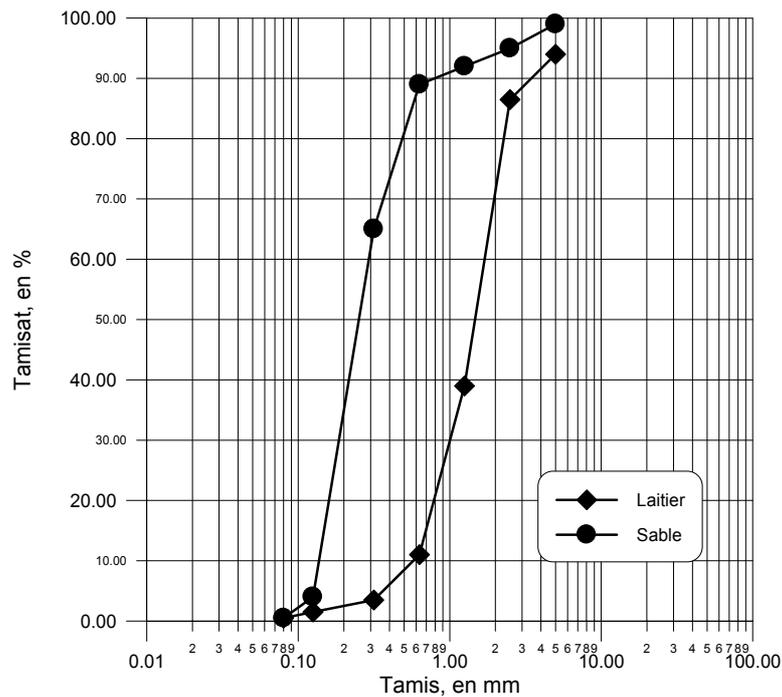


Figure 4.3 : Analyse granulométrique du sable et du laitier.

A partir de la courbe granulométrie du sable et au laitier on détermine le module de finesse :

- Module de finesse du sable MF=1,55 % (sable très fin).
- Module de finesse du laitier MF=3,54 % (sable grossier).

4.3.2 Les pierres concassées

4.3.2.1 Les pierres concassées naturelles

Il s'agit ici de pierres concassées de nature silico – calcaire provenant d'une carrière implantée dans les calcaires de la route de (M'sila- Bord Bou Arreridj).

Trois fractions sont retenues pour la confection du béton : 3/8 , 8/16 et 16/25.

La composition chimique des pierres concassées naturelles est représentée au tableau 4.9 :

Tableau 4.9 : composition chimique des pierres concassées naturelles.

Teneur %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl
40.65	8.87	3.25	40.56	3.65	0.79	0.65	0.01	0.008

4.3.2.2 Le laitier cristallisé concassé

Il s'agit ici des granulats obtenus par concassage du laitier cristallisé refroidi lentement à l'air, il proviennent de l'usine métallurgique d'El-Hadjar de Annaba, sous forme de roches grisâtres, et micro poreuses, dont la dimension est de 75 mm.

Afin d'obtenir la granulométrie choisie (3/8, 8/16 et 16/25), les roches sont concassées et criblées de telle façon à obtenir la même granulométrie que celles des pierres concassées naturelles.

La composition chimique du laitier cristallisé concassé est représenté au tableau 4.8.

Tableau 4.10 : Composition chimique du laitier cristallisé.

Teneur %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl
40.26	8.98	2.98	40.89	3.40	0.59	0.6	0.01	0.01

Selon (Lea, 1971) le laitier cristallisé servant comme granulats de béton, doit respecter les deux conditions :

1. $CaO + 0,8 MgO \leq 1,28 SiO_2 + 0,4 Al_2O_3 + 1,75 S$.
2. $CaO \leq 0,9 SiO_2 + 0,6 Al_2O_3 + 1,75 S$.

La première condition donne : $43,61 < 56,15$.

La deuxième donne : $40,89 < 42,65$.

Donc les deux conditions sont remplies.

4.3.2.3 Les propriétés physiques des pierres concassées (naturelles et artificielles)

Les propriétés physiques des pierres concassées naturelles et artificielles sont représentées au tableau 4.9 :

Tableau 4.11 : propriétés physiques des granulats.

Propriétés	Pierres concassées			Laitier cristallisé (0/5)		
	3/8	8/16	16/25	3/8	8/16	16/25
Classe granulaire						
Masse volumique absolue, kg/m ³ .	2540	2560	2600	2550	2500	2500
Masse volumique apparente :						
- l'état lâche, kg/m ³ .	1380	1370	1390	1270	1150	1170
- l'état compact, kg/m ³ .	1500	1500	1490	1049	1280	1270
Porosité, (%).	47	46.48	46.50	50.2	46	46.8
Teneur en eau, (%).	0.13	0.10	0.10	0.40	0.30	0.25
Coefficient d'absorption, (%).	0.20	0.50	0.50	1.50	1.38	1.38
Coefficient volumétrique CV	-	-	0.25	-	-	0.34
Coefficient de Los Angeles, (%).	-	-	22.78	-	-	28.55
Forme	Angulaire			Angulaire		
Texture	Lisse			Micro – alluvioilaire		

4.3.2.4 L'analyse granulométrique des pierres concassées

Trois fractions sont choisi pour confectionner le béton : (3/8, 8/16, 16/25).

L'analyse granulométrique des trois fractions est représenté au tableau 4.10 , 4.11 et 4.12 respectivement.

Il faut noter ici que ces mêmes courbes sont adoptées aux granulats artificielles (laitier cristallisé).

a. Analyse granulométrique du 16/25

Tableau 4.12 : Analyse granulométrique des pierres concassées 16/25.

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât, (%)
		(g)	(%)	
25	0	0	0	100
20	1425	1425	47.5	52.5
16	1425	2850	95	5
Le fond	150	3000	100	0

b. Analyse granulométrique du 8/16

Tableau 4.13 : Analyse granulométrique des pierres concassées 8/16 :

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât, (%)
		(g)	(%)	
16	0	0	0	100
12.5	1425	1425	47.5	52.5
10	900	2325	77.5	22.5
8	525	2850	95	5
6.3	90	2940	98	2
Le fond	60	3000	100	0

c. Analyse granulométrique du 3/8

Tableau 4.14 : Analyse granulométrique des pierres concassées 3/8

Tamis, (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât, (%)
		(g)	(%)	
8	0	0	0	100
6.3	320	320	20	80
5	426.66	746.66	46.66	53.33
4	226.66	1013.33	63.33	36.66
3.15	320	1333.33	83.33	16.66
2.5	160	1493.33	93.33	6.66
Le fond	106	1600	100	0

Les courbes granulométriques sont présentées sur la figure 4.4

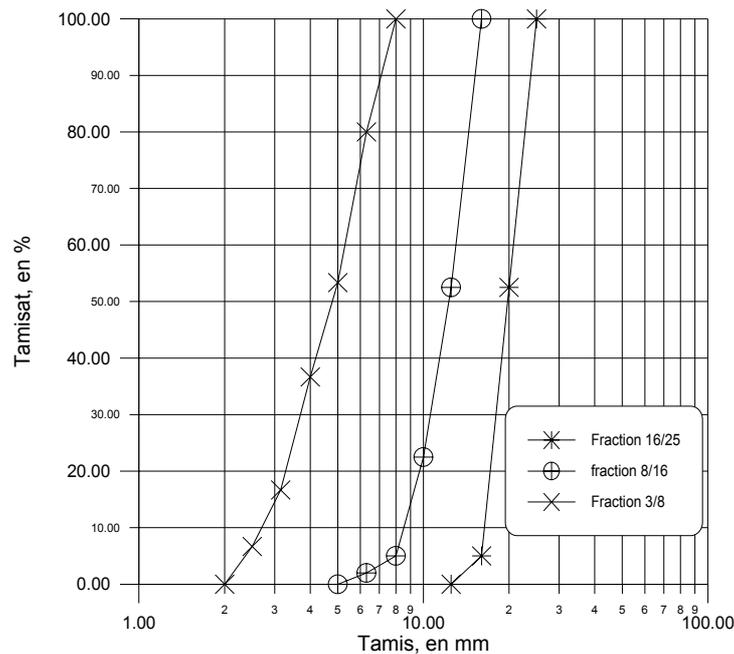


Figure 4.3 : courbes granulométriques des granulats grossiers.

4.4 LES ACTIVANTS

Les activants chimiques sont des produits solubles dans l'eau, et le plus souvent d'origine minérale (les bases fortes et leurs sels). Ils agissent en modifiant la solubilité et la vitesse d'hydratation des différents constituants anhydres des liants.

L'activant sélectionné pour effectuer les essais est un sel de base alcaline « le carbonate de sodium » (Na_2CO_3) vu sa disponibilité et son coût raisonnable.

Il provient de l'usine de « GRANITEX : nouveaux produits » de Boussaâda (M'sila), sous forme d'une poudre blanche, diluée dans l'eau afin d'obtenir les densités voulues.

La densité désirée dans cette partie expérimentale est de $1,25 \text{ g/cm}^3$.

La composition chimique du carbonate de soude anhydre est représentée au tableau 4.15

Tableau 4.15: Composition chimique du carbonate de soude.

Teneur %			
Na_2O	K_2O	CO	H_2O
46.6	0.02	34.7	17.73

Dans certains essais on a utilisé également de la soude caustique (NaOH) afin d'estimer l'effet des différents activants sur le comportement physique et mécanique de la pâte de ciment au laitier.