

III.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la caractérisation des matières premières, la méthode de formulation des mortiers et description des essais utilisés.

III.2. Matériaux utilisés :

On a utilisé les matériaux suivant :

- Sable de Messaâd.
- Ciment LAFARGE .
- Argile calcinée (Métakaolin).
- Solutions alcalines (KOH , NaOH) .



Figure III.1 : Matériaux utilisés.

III .2.1.Sable :

Le sable est le composant principal du mortier, il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de sable carrière issue du concassage d'une roche massive ou détritique.

On a utilisé le Sable de Messaâd avec une correction granulométrique par l'utilisation des tamis : 2mm et 0.4mm , pour minimiser le pourcentage des fines afin d'obtenir une granulométrie dans le fuseau d'un sable normalisé .



Figure III.2 : Opération de tamisage du sable.

III.2.2.Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment portland (CPA LAFARGE) Est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃) (Tableau III.1). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique des températures comprises entre 1300 et 1500°C, En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calcium hydratés.

Tableau III.1 : Composition chimique du ciment utilisé

Eléments %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	S O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
CPA	21.33	5.00	3.38	60.94	1.91	2.04	0.54	0.09

III.2.3.Argile calcinée :

L'argile utilisée dans notre étude expérimentale est une argile de type kaolin traitée thermiquement à une température de 800°C afin d'obtenir le matériau pouzzolanique souhaité (Métakaolin) (MT) (figure III.3 et figure III.4), qui sera activé par des solutions alcalines . Le kaolin utilisé (KT03) est venu de gisement d'EL-Milia.



Figure III-3 : Métakaolin utilisée (MT)



Figure III-4 : Utilisation de los Angeles pour broyage de MT.

III.2.3.1. Gisement :

Le gisement d'El-Milia est connu depuis 1925. Il se trouve dans la wilaya de Jijel au Nord – Est de l'Algérie, à 17 km au nord de la daïra d'El-Milia.

Ce gisement de kaolin sableux à une composition chimique et minéralogique qui diffère d'un corps à l'autre. Le quartz est toujours dominant avec une moyenne de 67%. L'importance des minéraux dits potassiques (orthose, microcline et micas muscovite) et des minéraux sodique << plagioclase >> varie d'un endroit à l'autre.

Le gisement est exploité à ciel ouvert sur une superficie de 331 hectares. Il se présente en lentilles qui affleurent, d'épaisseurs très variables en fonction du degré de kaolinisation avec des gradins d'une hauteur de 5 mètres et d'une largeur de 20 mètres.

L'extraction mécanisée du minerai se fait après sélection des sites d'abattage aux moyens d'engins de carrière. Le chargement du minerai abattu au moyen de pelles chargeuse et son évacuation vers l'usine de traitement à l'aide de camions de 14 tonnes de charge.

III.2.3.2. Usine de traitement :

L'usine de traitement des kaolins d'El-Milia est située à 11 km du gisement. Elle a été mise en production en 1994 avec une capacité de traitement de 50.000 T par an. Elle a été conçue pour traiter les minerais du gisement d'El-Milia selon le processus technologique suivant :

Ensachage et expédition des produits finis. ◇ filtration – séchage (pour la production des kaolins traités KT3 et KT3B d'une capacité de 2,65 T/H chacun et du kaolin KT2 d'une capacité de production de 5,30 T/H) ◇ blanchiment chimique (pour la production du kaolin blanchi KT3B, soit 25% de la capacité installée de l'usine) ◇ Décantation-Epaississement (décanteur) ◇ Séparation par voie humide ◇ Homogénéisation – stockage ◇ Trémie de réception de minerai .

III.2.3.3. Caractéristique du kaolin utilisée KT03 :

Les caractéristiques physiques et chimiques du kaolin utilisé sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques et chimiques du kaolin utilisé

		Kaolin utilisée (KT3)	
Analyse Chimique	% en poids	SiO ₂	48.50
		Al ₂ O ₃	33.90
		Fe ₂ O ₃	2.25-2.5
		TiO ₂	0.21
		CaO	0.08
		M _g O	0.39
		K ₂ O	2.75-3.10
		Na ₂ O	0.08
		Perte au feu	10.80-11.00
Composition minéralogique	% en poids	kaolinite	65-70
		Matières Micacées	15-22

		Dont argile	10
		quartz	6-10
		feldspath	3-4
Analyse granulométrique	% en poids	>40 μ m	0.02
		<15 μ m	99 \pm 1
		<10 μ m	95 \pm 3
		<5 μ m	74 \pm 3
		< 2 μ m	47 \pm 3
Cohésion En cru	Séché à 110°C	KGF/CM2	24.7
		PSI	-
Propriété de coulage	Concentration de Coulage	% P/solide	44.9
	% en poids de PSI	Poises 5	0.55
	Vitesse de cuisson	Mm2/min	0.9
Propriété de Cuisson NB Blancheur KT3B En cru :82+1 Indice de jaune 5+1	% absorption	1180°C	7.3
		1280°C	1.7
		1410°C	0.0
	% blancheur	1180°C	76.4
		1280°C	84.1
		1410°C	-
	% retrait	1180°C	6.0
		1280°C	8.5
	1410°C	9.5	
Propriétés Physiques	Densité réelle		2.6
	Densité apparente		1
	Surface spécifique		25

III.2.4. Solutions alcalines :

On a utilisé deux solutions NaOH et KOH avec des différentes concentrations (M1=8mol/l et M2=12mol/l).

III.2.4.1. Hydroxyde de sodium (NaOH) :

Egalement appelé soude caustique, est une base forte qui se présente, à température ambiante, sous forme solide. Il est constitué de cations sodium (Na^+) et d'anions hydroxyde (OH^-). Il est très soluble dans l'eau. Sa solution aqueuse est transparente et souvent appelée soude. Concentrée, elle est, tout comme l'hydroxyde de sodium à l'état solide, particulièrement corrosive. (Figure III.5)



Figure III.5: Hydroxyde de sodium (NaOH).

III.2.4.2. Hydroxyde de potassium (KOH) :

Dénoté de façon usuelle la potasse caustique au laboratoire, est un corps composé minéral de formule brute KOH. Ce composé chimique caustique, à la fois corrosif et fortement basique est, à température et pression ambiante, un solide blanc dur et solide, mais très hygroscopique et déliquescent à l'air humide.

Il fond sans se décomposer avant 400°C. Du point toxicologique, cet alcali caustique, très soluble dans l'eau et dans l'alcool, connu de toute antiquité, est un poison énergétique.(Figure III.6)



Figure III.6: Hydroxyde de potassium (KOH).

III.3. Formulation des mortiers :

On a préparé plusieurs mélanges des mortiers (Tableaux III.3 et III.4) avec la variation de certains facteurs :

- Quantité d'eau : (E/C=0.5 et E/C=0.7).
- Pourcentage d'argile calciné : (30%, 40% et 50% du poids totale du ciment).
- Solution alcaline :
 - a)- (NaOH avec deux molarité M1=8mol/l et M2=12mol/l).
 - b)- (KOH avec deux molarité M1=8mol/l et M2=12mol/l).
- La quantité de sable reste constante.

Tableau III.3 : Différents mélanges E/C=0.5

		Mélange	Ciment (g)	Métakaolin (MT) (g)	Eau (g)	Sable (g)	Solution alcaline (g)	
							NaOH	KOH
Témoïn		1	450	/	225	1350	/	/
		2	315 (70%)	135 (30%)	225	1350	/	/
		3	270 (60%)	180 (40%)	225	1350	/	/
		4	225 (50%)	225 (50%)	225	1350	/	/
Molarité	M1 8mol	5	315 (70%)	135 (30%)	225	1350	71.994	/
		6	270 (60%)	180 (40%)	225	1350	71.994	/
		7	225 (50%)	225 (50%)	225	1350	71.994	/
	M2 12mol	8	315 (70%)	135 (30%)	225	1350	107.99	/
		9	270 (60%)	180 (40%)	225	1350	107.99	/
		10	225 (50%)	225 (50%)	225	1350	107.99	/
	M1 8mol	11	315 (70%)	135 (30%)	225	1350	/	100.99
		12	270 (60%)	180 (40%)	225	1350	/	100.99
		13	225 (50%)	225 (50%)	225	1350	/	100.99
	M2 12mol	14	315 (70%)	135 (30%)	225	1350	/	151.48
		15	270 (60%)	180 (40%)	225	1350	/	151.48
		16	225 (50%)	225 (50%)	225	1350	/	151.48

Tableau III.4 : Différents mélanges E/C=0.7

		Mélange	Ciment (g)	Métakaolin (MT) (g)	Eau (g)	Sable (g)	Solution alcalin (g)	
							NaOH	KOH
Molarité	M1 8mol	17	315 (70%)	135 (30%)	315	1350	100.79	/
		18	270 (60%)	180 (40%)	315	1350	100.79	/
		19	225 (50%)	225 (50%)	315	1350	100.79	/
	M2 12mol	20	315 (70%)	135 (30%)	315	1350	151.18	/
		21	270 (60%)	180 (40%)	315	1350	151.18	/
		22	225 (50%)	225 (50%)	315	1350	151.18	/
	M1 8mol	23	315 (70%)	135 (30%)	315	1350	/	141.38
		24	225 (50%)	225 (50%)	315	1350	/	141.38
	M2 12mol	25	315 (70%)	135 (30%)	315	1350	/	212.07
26		225 (50%)	225 (50%)	315	1350	/	212.07	

III.3.1. Méthode de malaxage :

Le mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme (EN196-1) (Tableau III.5) :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur (Figure III.7) : y verser ensuite le ciment : aussitôt après, mettre malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivantes.

Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30 s supplémentaire.

- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. pendant les 15 premières seconde enlever au moyen d'un raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Tableau III.5 : Opérations de malaxage

Opérations	Introduire de l'eau	Introduire de ciment		Introduire de sable		Raclage de la cuve		
Durée			30 s	30 s	30 s	15 s	1 min 30s	60s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lent		Vitesse Rapide	Arrêt		Vitesse Rapide



Figure III.7 : Malaxeur Utilisé (Université de Djelfa).

III.4. Essais réalisés :

III.4.1. Essai de maniabilité :

L'essai au maniabilimètre : est effectuée suivant la norme (NF P 18-452 et NF p 15-437) au laboratoire de l'université de Djelfa.

L'appareille utiliser est appelé Maniabilimètre A de boîtier Parallélépipédique métallique (7.5cm x 7.5cm x 15cm) posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible (Figure III.8). Cette appareille permet de calculer le temps d'écoulement du mortier et par conséquent la quantité d'eau nécessaire pour réaliser un mortier maniable.



Figure III.8 : Appareille de Maniabilimètre (Université de Djelfa).

III.4.2. Mesure des résistances mécaniques :

Les essais sont effectués suivant la norme EN 196-1 sur les différents éprouvettes prismatique (4x4x16)cm (Figure III.9) , à jeune âge (07 jours).

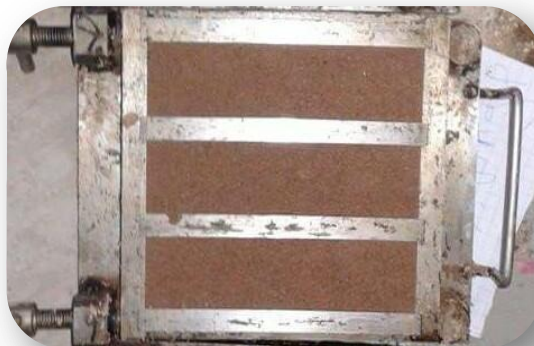


Figure III.9 : Moule a 3 alvéoles pour éprouvettes (4x4x16)cm.

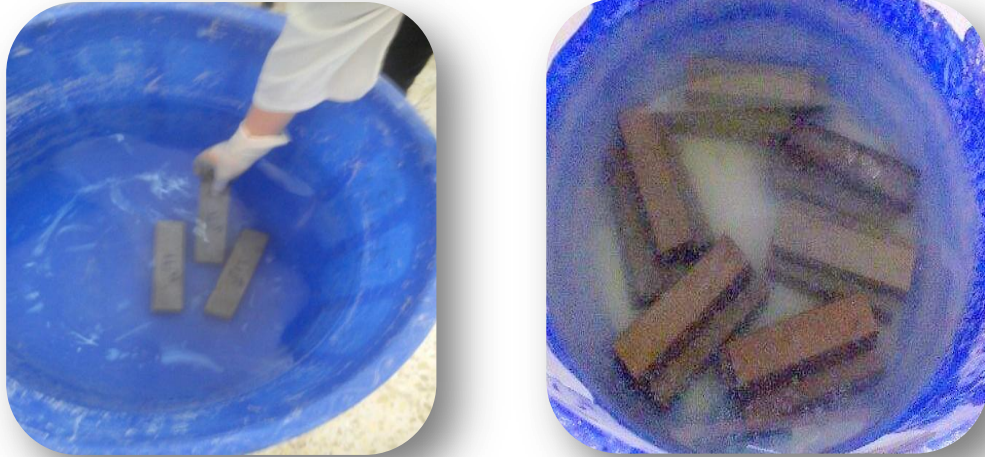


Figure III.10 : Conservation des éprouvettes.

Les essais d'écrasement sont effectués au niveau du laboratoire (LNHC) unité de Djelfa, l'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression des éprouvettes du mortier.

III.4.2.1. Traction par flexion :

L'appareille utilisée : C'est une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de $50 \text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$. (figure III.11)



Figure III.11. Appareille de traction par flexion (LNHC).

III.4.2.2. Compression :

L'appareille utilisé permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de 2mm/min. (figure III.12)



Figure III.12 : Appareille de compression (LNHC).

III.5. conclusion :

Les essais expérimentaux (maniabilité et essais mécaniques) sont effectués sur des mortiers préparés par sable, ciment et métakaolin activé par des solutions alcalines (KOH , NaOH).

Les différents mélanges sont basés sur la variation du taux de métakaolin ajouté (30%, 40% et 50% du poids totale du ciment) et le type de produit alcalins dilué dans l'eau de gâchage.