REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

FORMULATION D'UN MORTIER ECOLOGIQUE CONTENANT DES AJOUTS MINERAUX LOCAUX EN SUBSTITUTION AU CIMENT

Présenté par

METTAI ABDELKADER

AMMAD MOHAMED

Proposé et Dirigé par

Dr BOUKSANI OMAR

Promotion Juin 2025



REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons

adresser ici Nos remerciements à :

Notre créateur (DIEU) pour nous avoir donné de la

force à Accomplir ce travail.

Notre promoteur

BOUKSANI Omar

pour l'implication Qu'il a pu avoir tout au long de ce projet,

son suivi ses Conseils et ses orientations.

Nous remercions tous les professeurs du département

génie civil pour leurs aides.

Tous les membres des jurys, pour l'honneur qu'ils nous font

En acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur Bienveillante attention

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous

Nos proches et amis qui nous ont toujours soutenues

et Encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

- METTAI & AMMAD

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- ***Mes parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien tout au long de mon parcours.***
- ***Ma famille, qui m'a toujours encouragé à persévérer et à croire en mes capacités.***
- ***Mes enseignants, pour leurs conseils avisés et leur engagement à transmettre le savoir.***
- ***Mes amis, pour leur présence, leur patience et leurs encouragements dans les moments de doute.***
- ***Et à toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.***

METTAI & AMMAD

ملخص

تعتبر الإضافات الإسمنتية حاليا من بين أحدث التطورات في إنتاج الإسمنت لأن إستخدامها يوفر تحسينا في الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للمواد الإسمنتية بحيث تهدف إستخداماته إلى تقليل في إستهلاك الكلينكر من خلال المساهمة بطريقة بسيطة و اقتصادية في حل المشاكل المتعلقة بالبيئة ,

أوضحت النتائج التجريبية أن الإستبدال الجزئي للإسمنت بإضافة الطين الخام المحروق عند درجة 800 م° بنسب مختلفة من الخام تتراوح (°10،°20 ’ 30° و 40 °) بالملاط في الحالة الطازجة أدى إلى نتائج ذات خواص مقبولة و في الحالة الصلبة يبدو أن كمية الطين المحروق المضافة بنسب مختلفة هي المعامل الرئيسي الذي يأثر على المقاومة الميكانيكية (السحب بالإنحناء و الضغط) على الملاط

الكلمات المفتاحية :

الملاط ، الإسمنت ، الطين المحروق ، المقاومة

Résumé

Les ajouts cimentaires sont actuellement parmi les développements les plus récents dans la production de ciment, car leur utilisation permet une amélioration des propriétés mécaniques et physiques des matériaux cimentaires. Leur usage vise à réduire la consommation de clinker en contribuant, de manière simple et économique, à la résolution des problèmes environnementaux.

Les résultats expérimentaux ont montré que le remplacement partiel du ciment par de l'argile crue calcinée à 800 °C, avec des proportions variables (10 %, 20 %, 30 % et 40 %) dans le mortier à l'état frais, a conduit à des résultats présentant des propriétés acceptables. À l'état durci, il semble que la quantité d'argile calcinée ajoutée soit le principal facteur influençant la résistance mécanique (flexion et compression) du mortier.

Mots-clés : mortier, ciment, argile calcinée,résistance.

Abstracts

Cementitious additives are currently among the latest developments in cement production, as their use improves the mechanical and physical properties of cement-based materials. Their application aims to reduce clinker consumption by offering a simple and economical solution to environmental issues.

Experimental results showed that the partial replacement of cement with raw clay calcined at 800 °C, in varying proportions (10%, 20%, 30%, and 40%) in fresh mortar, led to acceptable property results. In the hardened state, the amount of calcined clay added appears to be the main factor affecting the mechanical strength (flexural and compressive) of the mortar.

Keywords: mortar, cement, calcined clay, strength.

Sommaire

Introduction Générale

Remerciement

Dédicaces

Résumés

Liste des figures

Liste des Tableaux

Notation et Abréviation

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction Générale ……01

I- CIMENT……02

I.1 Introduction……02

I.2- Définition du ciment……02

I.3- Principe de fabrication des ciments courants……03

I.4- Les constituants du ciment……03

I.4.1-Le clinker……03

I.4.2- Le gypse CaSO4……04

I.5- Classification des ciments courants……06

I.6- Propriété des ciments……06

I.6.1- Caractéristiques physiques……06

I.6.2-Caractéristiques chimiques……08

I.6.3- Caractéristiques mécaniques des ciments courants……09

I.7-L'hydratation du ciment……10

I.7.1-Introduction……10

I.7.2- Hydratation des composants du ciment portland……11

I.8 - l'argile calcinée…… 13

I.8.1-Définitions ……13

I.8.3-Classification des argiles…… 13

I.9.1. Groupe Kaolinite [7.1A°]…… 13

I.9.2. Groupe monmorillonite [9.4 à 15A°]…… 14

I.9.3.Groupe de Chlorites [14A°]……15

I.9.4. La calcination……15

I.9.5. La calcination flash……15

I.9.6. La calcination traditionnelle……...15

I-9-7-2-1-Les fours traditionnels……15

a- Les fours à vis……...16

b- Les fours rotatifs……..17

c- Les fours à lit fluidisé……...17

d- Les fours à multi-foyers ou fours à étages……..17

I.9.8. L'effet de la transformation thermique sur les argiles……18

I.9.9 La valorisation des argiles calcinée dans les matériaux cimentaires……18

Conclusion……...19

CHAPITRE II: MATERIAUX ET ESSAIS

II Introduction……..20

II.1 Caractéristiques des matériaux……..…….20

II.2.1 Ciment ……20

II.2.2 Eau de Gâchage ……21

II.2.3 .Superplastifiant.....……21

II.2.4 Le sable……..21

II.4 .L'Argile Calcinée ……..……....24

II.4.1 L'analyse minéralogique DRX…….....…….……..24

II.4.2 Résultat…….…….…….……..24

I I . 5 Composition du mortier ……..……...……....25

II.5 .1 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais……..…….……...…24

II.5.1 .1. Mortier ordinaire témoins…….……..…….....25

II.5.1 .2. Mortier à base d'argile calcinée ……..……..……....25

II.5.1 .3. Préparation du mortier ……26

II.6 Essais Effectués sur le mortier……..……28

II.6.1 Essais effectués à l'état frais ouvrabilité du mortier…….……28

II.6..1.2 Essais d'étalement au mini-cône…….…… 28

II.6.2 Essais effectués à l'état durcis……..28

II.6.2.1 Essais Mécanique…….……..28

II.6.2.2 Résistance à la traction par flexion……..... 28

II.6.2.3 Résistance à la compression……...……29

II.6.2.5 Essai d'absorption capillaire de l'eau…….29

II.6.2.6 porosité accessible a l'eau ……...…….……30

II.6.2.7 conductivité thermique …….……31

II.6.2.8 Essai ultrasonique……...……31

II.6.2.9 résistance au feu……..32

II.7 Variables Etudiés……..33

II.8 Conclusion ……..35

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Introduction……..……..……...37

III .2 Propriétés à l'état frais …….……..…….37

III.1.1 Essai d'étalement …….……37

III.2.2 Propriétés à l'état durcis……..……...…….38

III.2.3 Résistance mécanique ……...…….38

III.2.1 Résistance à la compression…….…….……..…...38

III.3.1. Resistance à la flexion……..……...39

III.2. Conductivité thermique.…….…….…….40

III.4.1. Vitesse Ultrasonique…….41

III.4.2. Absorption d'eau…….45

III.4.3 Porosité accessible à l'eau…….44

III.4.3 Perte de masse…….44

III.4.5. Résistance à la compression au feu……47

Conclusion Générale…….46

Recommandation ……49

Référence Bibliographique……50

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Poudre de Ciment Courant 02
Figure I.2	Fabrication du ciment. 03
Figure I.3	Microphotographie d'un Clinker…….04
Figure I.4	Structure de la Kaolinite 14
Figure I.5	Structure de montmorillonite..... 14
Figure I.6	Structure du chlorites….. 15
Figure I.7	Argile Calcinée 15
Figure I.8	Four Vertical pour production de ciment.....17
Figure I.9	Principe de fonctionnement de four rotatif 17
Figure II.1	Sac de Ciment MOKAOUEM 21
Figure II.2	Sable Carrière de oued-souf……21
Figure II.3	La Courbe Granulométrique su sable de Oued-Souf..... 22
Figure II.4	Argile Brut..... 23
Figure II.5	Calcination de l'argile.....23
Figure II.6	Le Diffractomètre..... 24
Figure II.7	Le Diffractogramme de l'échantillon calcinée et brut……24
Figure II.8	Matériels Utilisé de Malaxage……26
Figure II.9	Préparation des éprouvettes 4x4x16……..….27
Figure II.10	Éprouvettes Après le moulage ……..……..27
Figure II.11	Éprouvettes Conservés pendant 28 jours……27
Figure II.12	Le Protocole d'essai d'étalement……..……28
Figure II.13	Essais de traction par Flexion sur mortier……...28
Figure II.14	Essais de traction à la compression Sur mortier…….29
Figure II.15	Absorption d'eau par capillarité……..30
Figure II.16	Essai de porosité accessible à l'eau ……..……30
Figure II.17	Conductimètre CT……...31
Figure II.18	Étalonnages et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores……31
Figure II.19	Essais de résistance au feu……...…….32
Figure III.01	Essai d'étalement……...….37
Figure III.02	La résistance à la compression du mortier pour dosage en argile calcinée…….38
Figure III.03	La résistance par flexion du mortier pour dosage en argile calcinée……...…….....39
Figure III.04	Conductivité thermique des Mortier pour dosage en argile calcinée……..40
Figure III.05	Essais Ultrasonique…….41
Figure III.06	Absorption d'eau par capillarité ……..……..42
Figure III.07	Porosité accessible à l'eau……..……....43

Figure III.08	La Perte de masse……...……....44	
Figure III.09	La Résistance à la compression des mortiers en fonction du feu……....45	

Liste des tableaux

Figure I.1	Composition chimique et minéralogique du clinker	04
Figure I.2	Différents types de ciments Poreux	05
Figure I.3	Les Caractéristiques Chimique du ciment	09
Figure I.4	Les Caractéristiques Mécanique du ciment	09
Figure I.5	La Resistance Garanties du ciment	10
Figure I.6	Les anhydes et les hydrates du ciment	11
Figure I.7	La Composition Chimique du ciment CEM I 42.5	20
Figure I.8	Composition Minéralogique et propriétés physiques de Clinker	20
Figure II.1	Caractéristique physique du sable	22
Figure II.2	Les compositions retenus	23
Figure II.3	Les Compositions massiques des mortiers à divers pourcentage d'argile calcinée	23

Notations et Abréviations

Ab	**Absorption**
AC	**Argile calcinée**
Es	**Equivalence de sable**
E/c	**Rapport Eau/ciment**
Cpj	**Ciment Portland Composé**
MK	**Meta Kaolin**
Rc	**Résistance à la compression**
RF	**Résistance à la flexion**
S.P	**Superplastifiant**
CT	**Conductivité thermique**
T	**Temps de viscosité**
MT	**Mortier témoin**
VU	**Vitesse Ultrasonique**
MF	**module de Finesse**

Introduction générale

L'utilisation des ajouts minéraux dans la production des ciments Portland a résolu en grande partie le problème de pollution, ainsi que celui de la baisse du coût énergétique. En faisant varier les pourcentages d'ajouts, on pourrait obtenir en fonction des domaines d'utilisation, différents types de ciments avec les propriétés physico- mécaniques variés.

Les ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du ciment Portland composé (CPJ-CEM I), du moment que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé. Dans cette étude, on a utilisé deux sortes d'ajouts.

L'objectif de l'étude entreprise dans ce mémoire vise à atteindre un objectif principal suivant :

Etude des effets de l'incorporation des ajouts minéraux (argile calcinée) , sable de dune sur les propriétés mécaniques et la durabilité des mortiers confectionnés à base de ciment.

Le 1er chapitre consacré aussi sur la définition du ciment ainsi que les procédures de fabrication suivis par celle des argiles, leur classification, la calcination, et une valorisation d'une argile calcinée dans les matrices cimentaires.

Le 2ème chapitre, il présent le programme expérimental, incluant les essais effectués pour voir l'effet de l'argile sur le comportement du mortier, les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi les procédures de confection des mélanges.

Le 3ème chapitre, pour analyser les résultats de travail expérimental réalisé dans la partie précédente (chapitre 2).

Ce travail se termine par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

synthèse bibliographiques

CHAPITRE I

I.1-Introduction :

L'écossais ‘’Aspdin ‘‘ prit un brevet d'invention en 1824, sur la fabrication d'un liant à partir d'un mélange de chaux et d'argile qu'il appela "ciment Portland" à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de la Presqu'île de Portland. C’est le premier ciment, père d’une longue lignée.

Ainsi, le XXe siècle a ouvert la voie aux ciments artificiels qui prendront progressivement le pas sur les chaux. L’accélération sera plus manifeste à l’issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d’éléments préfabriqués et, n’utilisant plus les chaux C’est l’époque charnière où la chaux est en passe d’abandon.

I.2-Ciment :
I.3-Définition du ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 C° , température de fusion .

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d’eau, et par ce que cette hydratation transforme la pate liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Ce durcicement est du à l'hydratation de certain composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.



Figure (I.1) : Poudre de ciment courant.

I.3-Principe de fabrication des ciments courants :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

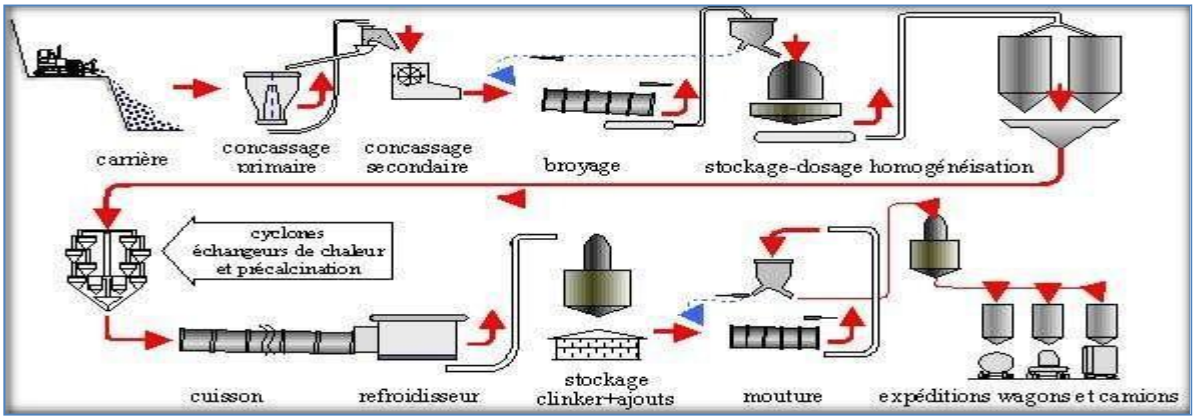


Figure (I.2) : Fabrication du ciment.

I.4-Les Constituants du ciment:

I.4.1-Clinker

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkérisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. **[1]**

Les éléments simples (CaO, $Si0_2$, Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I.2)).

- Silicate tricalcique (C_3S) : $3CaO.SiO_2$ (Alite).
- Silicate dicalcique (C_2S) : $2CaO.SiO_2$ (Belite).
- Aluminate tricalcique (C_3A) : $3CaO.Al_2O_3$.
- Ferroaluminate calcique (C_4AF): $4CaO\ .Al_2O_3\ .Fe_2O_3$ (Célite).

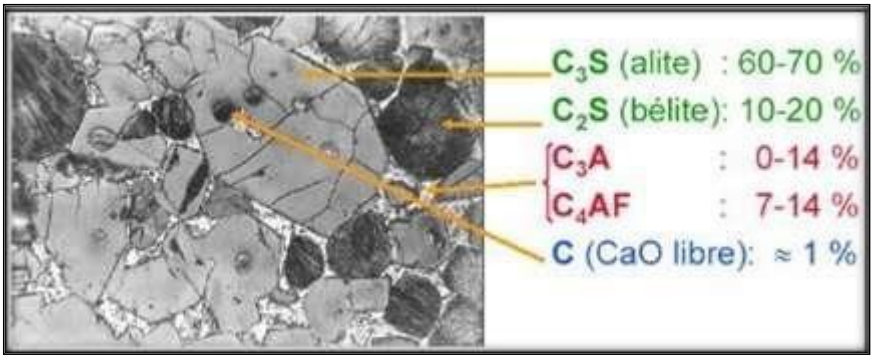


Figure (I.3) : Microphotographie d'un clinker.

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (I.1) ci –dessous :

Le Tableau (I.1): Composition chimique et minéralogique du clinker **[2].**

Composants	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne(%)
Minéralogiques		
C_3S	40-70	60
C_2S	00-30	15
C_3A	02-15	08
C_4AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO_2	18-24	21
AL_2O_3	04-08	06
Fe_2O_3	01-08	03
MgO	< 05	02
K_2O, Na_2O_3	< 02	01
SO_3	< 03	01

I.4.2-Le gypse(CaSO4) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plut tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

Le Tableau (I.2): Différents types de ciments Poreux

Désignation	**Types de ciments**	**Teneur en clinker**	**Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes-cendres- calcaires-schistes-fumées de silice**	**Teneur en constituants secondaires (filler)**
C P A-CEM I	Ciment portland	95à100 %		0 à 5%
C **PJ-CEM II/A CPJ-CEMII/B**	Ciment portland Composé	80à 94% 65 à79%	-de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% le 21à35%avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5% 0à5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEMIII/C	nent de haut-fourneau	35à64 % 20à34 % 5à19%	-35à65% de laitier de haute-fourneau -66à80% de laitier de haut-fourneau -81 à95% de laitier de haut-fourneau	0à5% 0 à5% 0à5%
CPZ-CEMIV/A **CPZ-CEMIV/B**	ciment pouzzolanique	65 à90% 45à64 %	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55%comme ci-dessus	0à5% 0à5%
CLC-CEM V/A **CLC-CEM V/B**	Ciment au laitier et aux cendres	40à64 % 20à39 %	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5% 0à5%

I.5. Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 1971. Le tableau (I.2) ci – dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent. **Tableau (I.2)**:les différents types de ciment courants **[3].**

I.6- Propriétés des ciments :

I.6.1-Caractéristique physiques:

I.6.1.1-Comportement physico –chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C_3S
- Silicate bicalcique : C_2S
- Aluminate tricalcique- : C_3A
- Aluminoferrite tétracalcique: C_4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

I.6.1.2-Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de : 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R. 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52 ,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I.6.1.3-Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevé et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances **[3].**

I.6.1.4-Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C_3A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

I .6.1.5-Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g, représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment

.elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g, certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g **[3]**.

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'éventement du Ciment sont accrus.

I.6.1.6-Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% **[3].**

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800µm/m pour les ciments portland CPA-CEM l ET CPJ-CEMII de classe 32 ,5R.
- 1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- la nature du ciment ;
- la finesse de mouture ;
- le dosage en ciment, dans le béton ;
- le dosage en eau ;
- la propreté et nature des granulats ;

I.6.1.7-Gonflement

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

Caractéristiques chimiques du ciment :

➢ Ciments courants :

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre

d'exigences, résumées dans le tableau (I.3) .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau (I.3) : caractéristique chimique de ciment courante [3].

Propriété	**Type de ciment**	**Classe de résistance**	**Valeur maximale en% de la masse**
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤5
Oxyde de magnésium	CPA-CEM I	toutes classes	≤5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤5
Sulfates SO_3 limite supérieure	CPA-CEM I et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 32,5 R 42,5	≤3,5
	CPZ – CEM IV et CLC – CEM V CHF-CEM III	42,5 52,5 52,5 R toutes classes	≤4 ≤4
Chlorures	tous types de ciment (CHF-CEM III/A et B et les CLK- CEM III/C)	52.5 R s les autres classes	≤0,05 ≤0,10

I.6.3 - caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes:

Tableau (**I.4)**: caractéristique mécanique des ciments courants **[3].**

Classe de ciments	**Résistance à 2 jours (MPa)**	**Résistance minimale à28 jour(MPa)**	**Résistance maximale à28 jours(MPa)**
32,5		≥32,5	≤52,5
32,5R	≥13,5	≥32,5	≤52,5
42 ,5	≥12,5	≥42,5	≤62,5
42,5R	≥20	≥42,5	≤62,5
52,5	≥20	≥52,5	-
52,5R	≥30	≥52,5	-

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvent par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent),la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau (1.5)ci-dessous :

Tableau (I.5) : résistances garanties des ciments courants **[3]**.

Classe des ciments	**Résistances garanties à 2jours(MPa)**	**Résistances garanties à 7jours(MPa)**	**Résistances garanties à 28jours(MPa)**
32,5		17,5	30
32,5R	12	-	30
42,5	10	-	40
42,5R	18	-	40
52,5	18	-	50
52,5R	28	-	50

I.7. L'hydratation du ciment :

I.7.1-Introduction:

L'hydratation du ciment fait intervenir les réactions de ses constituants avec l'eau de gâchage.
Les anhydres du ciment vont réagir avec l'eau du gâchage pour former des hydrates. Ces anhydres se sont principaux minéraux de clinker purs cités auparavant.
Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau (1.6) ci- dessous :

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	dénomination
C_3S	$(CaO)_3$-SiO_2	Silicate tricalcique
C_2S	$(CaO)_2$-SiO_2	Silicate bicalcique
C_3A	$(CaO)_3$-Al_2O_3	Aluminate tricalcique
C_4AF	$(CaO)_4$-Al_2O_3-Fe_2O_3	Aluminoferrite tétracalcique
CH	$Ca(OH)_2$	Portlandite
C-S-H	$(CaO)_x$-SiO_2-$(H_2O)_y$	Silicate de calcium hydraté
$C_3A.(C\bar{S})_3.H_{32}$	$(CaO)_6$-Al_2O_3-$(SO_3)_3$-$(H_2O)_{32}$	Ettringite ou "Aft"
$C_3A.(C\bar{S}).H_{12}$	$(CaO)_6$-Al_2O_3-(SO_3)-$(H_2O)_{12}$	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou "Afm"
C_2AH_8	$(CaO)_2$-Al_2O_3-$(H_2O)_8$	Aluminate dicalcique hydraté
C_3AH_6	$(CaO)_3$-Al_2O_3-$(H_2O)_6$	Aluminate tricalcique hydraté
C_4AH_{13}	$(CaO)_4$-Al_2O_3-$(H_2O)_{13}$	Aluminate tétracalcique hydraté

Tableau (I.6): Les anhydres et les hydrates de ciment **[4]**.

I.7-Hydratation des composants du ciment portland

I.7.2.1- Hydratation des silicates :

Au contact de l'eau, les silicates tricalciques (C_3S) et les silicates bicalciques (C_2S) se dissolvent sous forme d'ions Ca^{2+}, OH^- et $H_2SiO_4^{2}$. qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés (C-S-H) et de la portlandite ($Ca(OH)_2$). Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la

réaction d'hydratation. Dans le cas du C_2S, la cinétique d'hydratation est plus lente et la quantité de Portlandite formée est plus faible **[5]**. À titre indicatif, les équations des réactions d'hydratation des silicates peuvent s'écrire :

Pour le C_3S: $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$.

Pour le C_2S: $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$.

I.7.2.2- Hydratation des aluminates :

L'aluminate tricalcique est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est parce que l'hydratation des aluminates est très rapide que les cimentiers ajoutent du sulfate sous forme du gypse au clinker pour contrôler ces réactions **[5].**

I.7.2.3- Hydratation de l'aluminate tricalcique C3A :

La réaction est donnée par:

$C3A + 3(CaSO4\ 2H2O) + 32H \rightarrow C3A\ 3(CaSO4.\ 2H2O)\ H32$

I.7.2.4- Hydratation de L'aluminoferrite tétracalcique C4AF :

Le C4AF réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de C3A, mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente.

I.8. L'argile Calcinée :

I.8.1.Définitions :

Le terme argile trouve son origine dans le mot grec argilos dérivé d'argos qui signifie blanc, puis sa traduction en latin : argilla. Cette nomination par les anciens est semble-t-il due à la couleur du matériau utilisé en céramique.

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à 2 micromètre (<2μm) qui représente les individus cristallins (phase minérale pure) appelés minéraux argileux responsable de ses propriétés tel que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption. Mais dans les sols, ces particules élémentaires sont en général liées entre elles par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxyde de fer et d'aluminium, quartz felspaths) au sein d'agrégat de tailles beaucoup plus grandes[45].

I.8.3 Classification des argiles :

On différencie les argiles par leur type de combinaison d'empilement des feuillets tétraédriques et octaédriques, le cation de la couche octaédrique, la charge de l'argile et le type de matériel interfoliaire. Les minéraux argileux se répartissent en plusieurs grandes familles[46- 45]

I.9.1. Groupe Kaolinite [7.1A°] :

Cette argile (Kaolinite) blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice. Riche en silice et peu concentrée en sels minéraux, elle est utilisée pour la fabrication de porcelaine et de céramique.

Le feuillet est formé par la juxtaposition d'une couche tétraédrique et une couche octaédrique. Les cristallites des minéraux de type T-O ont leurs feuillets successifs empilés de telle sorte que le plan des atomes d'oxygène d'un feuillet se trouve en face de celui des groupements d'hydroxyles du feuillet voisin. Des liaisons hydrogènes interfeuillets stabilisent alors l'empilement. Cet assemblage peut se faire pour différentes positions des deux plans, ce qui entraine des déplacements relatifs des feuillets et détermine le système cristallin du minéral.

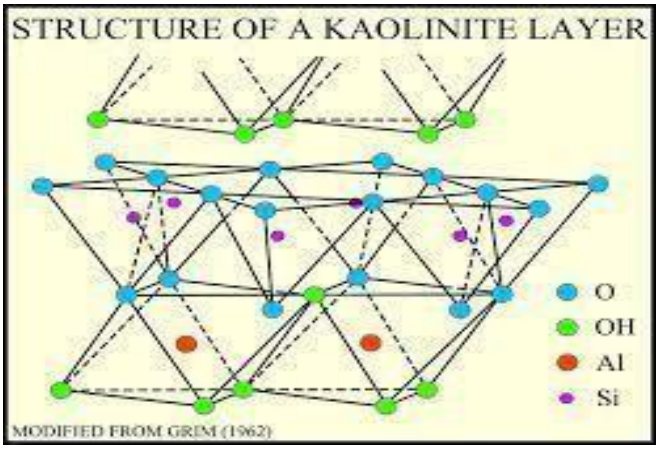


Figure. I.4 : Structure de la kaolinite.

I.9.2 Groupe monmorillonite [9.4 à 15A°] :

La monmorillonite est l'argile la plus communément récoltée, elle est généralement vendue verte mais peut-être trouvée sous d'autres couleurs : gris, blanc, bleuté. Son nom provient de sa ville d'origine, Montmorillon située dans la Vienne. Elle détient une forte concentration en silice, enminéraux, dont de la potasse, des oxydes de magnésium, de fer, de manganèse, d'aluminium, de la soude,… D'une rare pureté, l'argile Montmorillonite présente des qualités et des attraits supérieurs à n'importe quelle autre argile verte. Ceci explique que c'est l'argile la plus commune à la vente.

Ce type de minéraux résulte de la combinaison d'une couche octaédrique placé entre deux couches tétraédrique. Les minéraux présentant cette structure sont très nombreux, car les substitutions sont fréquentes aussi bien dans la couche tétraédrique que dans la couche octaédrique, ce qui entraine la présence de déférents cations nécessaires à la neutralisation électrique. La nature de ces cations et leur liaison plus ou moins intime avec le feuillet qu'ils relient, multiplient les espèces chimiques et modifient les propriétés physicochimique des minéraux.

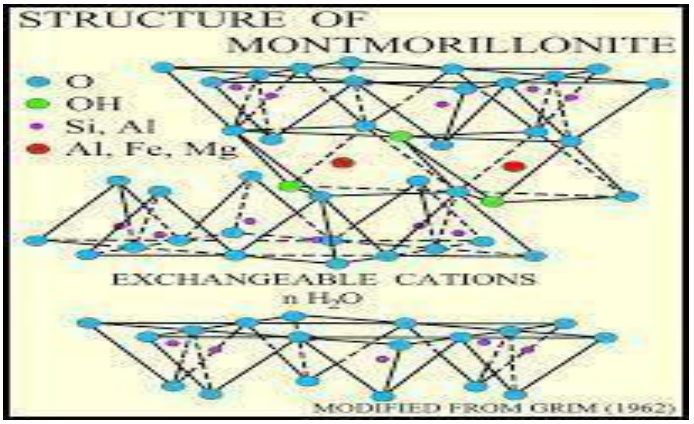


Figure. I.5 : Structure de la monmorillonite.

I.9.3. Groupe de Chlorites [14A°] :

Ce nom leur a été attribué pour leur couleur verdâtre, du grec « chloros ». Des chlorites de couleur jaune, rouge ou blanche sont également retrouvés. De structure similaire aux illites etsmectites, l'espace entre leurs feuillets abrite une couche supplémentaire d'hydroxyde de magnésium, de fer ou d'aluminium,…

Ces minéraux sont issus de la combinaison de deux couches octaédriques avec deux couches tétraédriques. La charge du feuillet est compensée par une couche interfoliaire d'octaèdre contenant des atomes d'aluminium et/ou de magnésium.

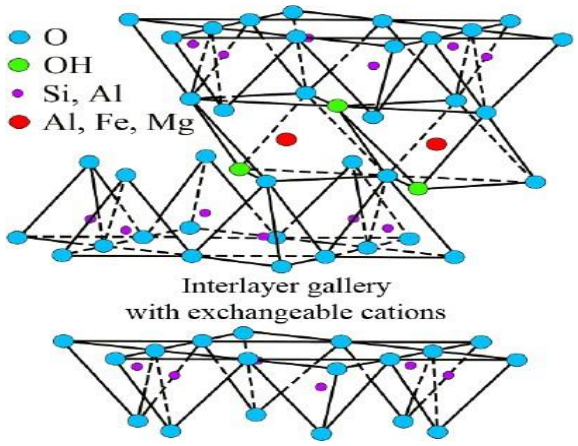


Figure. I.6 : Structure du Chlorites

I.9.4.La calcination :

La calcination est un traitement thermique effectué en présence d'air sur des corps solides. Elle est utilisée en métallurgie pour transformer les métaux en oxydes ou pour la transformation du calcaire en chaux, pour la fabrication du ciment Portland. En distingue deux types de calcination [47].



Figure. I.7 : Argiles calcinée.

I.9.5. La calcination flash :

La calcination flash est une calcination très rapide d'un solide, généralement sous forme fine en suspension dans un gaz. Les valeurs typiques sont des chauffages et refroidissements et des durées d'exposition de l'ordre de quelques dixièmes de secondes jusqu'à quelques secondes.

Bien que la plupart des transformations chimiques et physiques aient une cinétique rapide à haute température, le temps très court de résidence dans le four mène à des transformations qui peuvent partiellement ne pas être terminées.

Les propriétés des solides préparés sous ces procédés de chauffage flash, sont différentes de celles de matériaux traités dans des conditions de calcination où l'équilibre chimique et physique a pu être atteint. La calcination flash, à 800°C, a pour effet la déshydroxylation totale ou partielle de la kaolinite ; d'où l'apparition de métakaolinite et non de mullite.

La rapide élévation de température à l'intérieur des particules, génère une vapeur d'eau qui ne peut pas s'échapper par diffusion : la déshydroxylation a eu lieu plus vite que la

libération d'eau. Devenant déformables sous l'effet de la chaleur, les particules vont, se modifier pour libérer les bulles de vapeur d'eau sous pression. Le refroidissement rapide bloque alors toute évolution et conserve l'aspect bulleux des particules, ou aspect troué.

I.9.6. La calcination traditionnelle :

Ce type dure en général, plusieurs heures. L'objectif de la calcination est la stabilisation des matériaux par déshydroxylation. Elle apparaît à partir de 550 à 600°C pour la kaolinite chauffée à vitesse normale par exemple.

Dans la calcination lente industrielle, la déshydroxylation est complète après avoir mené lentement l'échantillon à une température suffisamment haute (entre 600°C et 1100°C) pendant une durée suffisamment longue (une voire plusieurs heures).

I.9-7-2-1-Les fours traditionnels :

a- Les fours à vis :

Les fours à vis sont généralement utilisés pour le traitement de déchets industriels. Les principaux avantages sont un bon mélange interne du déchet ainsi qu'un coefficient d'échange thermique bien meilleur que les fours verticaux. En revanche, les réfractaires présentent un fort taux d'usure, et des fuites aux joints peuvent apparaître. Ce genre d'équipement est utilisé dans le traitement des boues de stations d'épuration des eaux usées à CAPBRETON (FRANCE).



Figure. I.8 : Four vertical pour production de ciment

b- Les fours rotatifs :

Le premier four rotatif utilisé dans l'industrie cimentière fût construit et exploité par l'anglais Frederick Ransome. C'est l'installation industrielle couramment utilisée pour les ciments, elle nécessite une première opération de broyage des matériaux. Les fours rotatifs sont également utilisés dans la calcination de matériaux minéraux et dans la pyrolyse des déchets.

La rotation et l'inclinaison font que la matière progresse suivant l'axe. Ces fours génèrent des temps de chauffe de nombreuses heures afin de garantir une calcination satisfaisante des matériaux. D'autre part, le tube est porté à haute température.

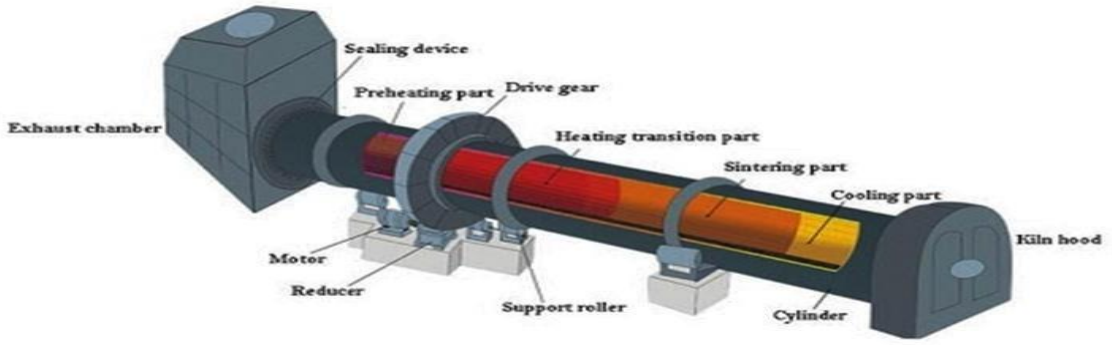


Figure. I.9 : Principe de fonctionnement de four rotatif

c- Les fours à lit fluidisé :

Le lit fluidisé permet, au moyen d'un flux de gaz ascendant, de porter un produit à l'état fluide. Le principal avantage réside dans une bonne homogénéité de la température du lit. Par contre, les inconvénients majeurs sont la nécessité de calibrer les particules ainsi que la création d'un fort taux de poussières dans les affluents gazeux qui nécessite un dépoussiérage intense. Les fours à lit fluidisé sont également utilisés dans la calcination de boues, développant ainsi de bons matériaux pouzzolaniques (DINAMEC-belgium).

d- Les fours à multi-foyers ou fours à étages :

Les fours à étages sont constitués d'une série de plateaux que les matériaux parcourent en descendant. Ces fours travaillent à contre-courant : les matériaux descendent tandis que les gaz montent, il a donc un bon rendement thermique.

C'est une technique assurant une bonne calcination mais qui manque de flexibilité. En effet, elle présente une inertie très grande et exige des temps de séjour assez longs. Ces types de fours (NESA Belgique) ont commencé à se développer avec les techniques d'incinération de boues et de déchets industriels. C'est un procédé qui permet d'obtenir une bonne stabilité des paramètres et un produit calciné très réactif.

I.9.8. L'effet de la transformation thermique sur les argiles :

La première tentative a été élaboré par, Le Chatelier en 1887, lors de ses recherches sur les argiles, il montra qu'on pouvait se baser sur les anomalies thermiques (variant de 150 à 770 °C) qui se présentent en cours d'échauffement pour établir une classification des minéraux, mais cette procédure reposait sur des preuves très minces.

En 1927 à Paris, J. Orcel appliquait la procédure thermique différentielle dans sa forme moderne à l'étude des minéraux argileux. Depuis ce temps cette procédure a été utilisée dans l'étude des argiles par de nombreux chercheurs dans de nombreux pays différents.

En 1945 S. Spiel et al. Ont tracés une courbe thermique différentielle pour la kaolinite. La réaction endothermique entre environ 500 °C et 700 °C correspond évidemment à la déshydratationde la matière minérale [48].

I.9.9 La valorisation des argiles calcinée dans les matériaux cimentaires :

L'introduction de métakaolin (résultat de la calcination du kaolin) semble devenir un avantage. Les réactions chimiques qui se développent lors de la fabrication du ciment, libèrent du dioxyde de carbone (CO_2) contribuant ainsi à l'augmentation de l'effet de serre alors que les transformations minéralogiques régissant la déshydroxylation de kaolin génèrent uniquement de la vapeur d'eau.

De plus, le métakaolin n'entre pas en compétition avec le ciment. Il le complète et l'améliore plus qu'il le remplace. En effet, l'incorporation de métakaolin en substitution d'unepartie du ciment est intéressante car il permet d'améliorer plusieurs propriétés (durabilité, résistance, propriétés de transfert…) des mortiers et bétons. Pour cela, le métakaolin devient un candidat potentiel [106]

I.10 Conclusion :

L'utilisation des additions minérales, comme substitutions au ciment, aussi bien sur les chantiers que dans les bétons prêts à l'emploi est une pratique n'est pas encore bien définit et maitriser, c'est pourquoi, il nous a paru important d'étudier et d'évaluer l'influence de ces additions, comme substitutions au ciment, sur les propriétés des mortiers et des bétons durcis. L'addition minérale utilisée est l'argile brute et l'argile calcinée qui se trouve en quantité considérable dans Algérie et qui nécessite de trouver des utilisations autres que dans la fabrication du ciment.

CHAPITRE II

MATERIAUX ET ESSAIS

Chapitre II MATERIAUX ET ESSAIS

II.1- Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes, pour connaitre l'effet des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEM I/B 42,5). Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires.

II.2-Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs ,la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certains interprétation ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

II.2.1. Ciment

Le ciment utilisé dans les essais est un ciment Portland CEM I 42.5 N-SR3 (commercialisé sous le nom de MOKAOUM de la compagnie **LAFARGE UNITE DE MEFTAH**). Les propriétés chimiques et physiques et minéralogiques du ciment sont résumées dans les Tableaux II.1 à II.2

Tableau II .1: Composition chimique du ciment CEM I 42.5

composition chimique (%)								
CaO	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**SO_3**	**Na_2O**	**K_2O**	**P.Feu**
63.13	20.85	4.18	4.72	1.11	2.63	0.13	0.55	2.8

Tableau II .2 : Composition minéralogique et propriétés physiques de clinker:

Composition minéralogique (%)					
C_3S	**C_2S**	**C_3A**	**C_4AF**		
61.5	18.5	2.7	13.5		
Propriétés physiques					
Masse volumique apparente (kg /m³)	Masse volumique absolue (kg /m³)	SSB (cm^2/g)	Expansion (mm)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
1100	3150	3250	0,2	180	320



Figure. Il 1. Sac de Ciment MOKAOUEM de 50 kg. (CEM I 42.5 N-SR3)

II .2 .2 Eau de gâchage : C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage de argile calcinée de mise en place du mortier.

A travers l'étude que nous faisons, il doit être l'eau que nous utilisons dans le mélange de mortier, pur, propre, exempte de sels et de matières organiques, pour notre cas on utilise eau potable «eau de robinet» fournie au laboratoire.

II.2.3 Super plastifiant

Le super plastifiant utilisé est SIKA-VISCO-TEMPO -10 répond aux exigences de la norme NF EN 934-2, c'est un super plastifiant /haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique [3].

Voir la fiche technique en < annexe B> pour avoir plus de détaille sur cet adjuvant

II.2.4 . -**Le sable :** Le sable utilisé au cours de ce travail est le sable de carrière d'Oued SOUF situé à 500Km au sud est de la capital d'Alger, sa classe granulaire est 0/3. Il s'agit la granulométrie de sable utilisée est présenté sur la figure.II.2



Figure. Il 2. Sable de carrière d'Oued Souf

Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau .2.3.

Tableau II .3 Caractéristiques physiques du sable.

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1
Module de finesse	2.2	NF EN 933-1
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.64	NF EN 1097-6
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.63	NF EN 1097-3
La compacité (%)	62	NF EN 1097-3
La porosité (%)	38	NF EN 1097-3
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 933-8
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6

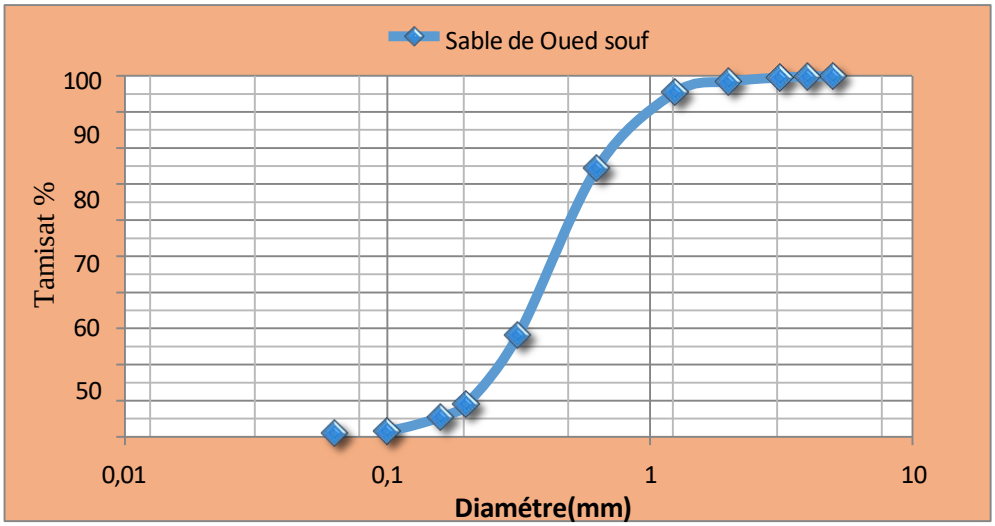


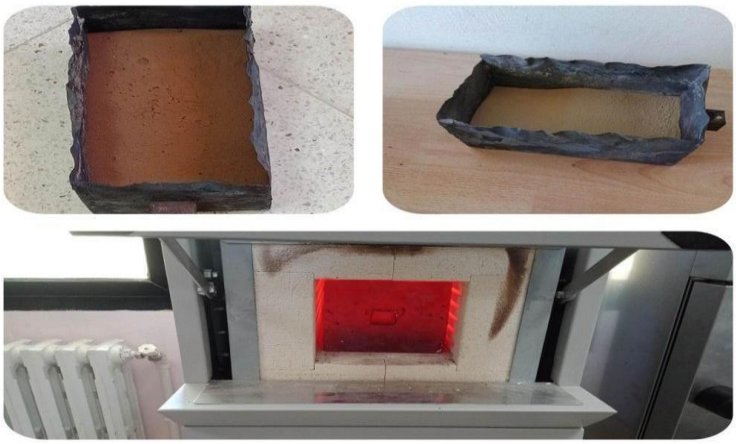
Figure II.3 La courbe granulométrique du sable

II.4 Argile calcinée :

Nous avons traité 1000g d'argile à 800° C à l'aide d'un four à l'Université de « MEDEA » pour obtenir une argile calcinée.



Figure II.4.Argile Brut



. **Figure II.5. La calcination de l'argile**

II.4.1 L'analyse minéralogique DRX :

La diffraction des rayons X est une méthode utilisée pour identifier la nature et la structure des matériaux. Cette méthode permet également de réaliser des analyses quantitatives ou semi-quantitatives.

L'analyse des échantillons a été réalisée au laboratoire de synthèse et catalyse Médéa . L'appareil utilisé est un diffractomètre RIGAKU équipé d'une anticathode au cobalt et d'un monochromateur arrière et couplé à un système informatique qui permet l'exploitation automatique des résultats.

Les analyses minéralogiques ont été menées sur poudres (passant à 80 µm). Pour chaque échantillon, l'analyse était menée sur la face externe, qui était ensuite abrasée sur une épaisseur de quelques dizaines de micromètres. La surface ainsi découverte était alors soumise à l'analyse



Figure II.6. Le Diffractomètre

II.4.2 Résultat

La composition du matériau brute ainsi que celui traité thermiquement à 800°C a été obtenue par analyse par diffraction des rayons X (XRD) (FigureII.8). Les matériaux sont composés de quartz comme phase cristalline majeure et de quelques traces ,d'halloysite, de kaolinite, d'anatase, rutile et de zincite comme impuretés.

Les pics dans le diffractogramme de l'échantillon calciné sont relativement plus nets et plus intenses en raison de la forte cristallisation de la silice. Le quartz étant de la silice cristalline est structurellement stable après le processus de calcination. Des travaux antérieurs ont montré que la silice cristalline est inerte au traitement de calcination même à 1050°C.

(Edomwonyi-Otu, L, et al. 2013 Influence of Thermal Treatment on Kankara Kaolinite. Opticon1826 15: 5, pp. 1-5, DOI: http://dx.doi. org/10.5334/opt.bc).

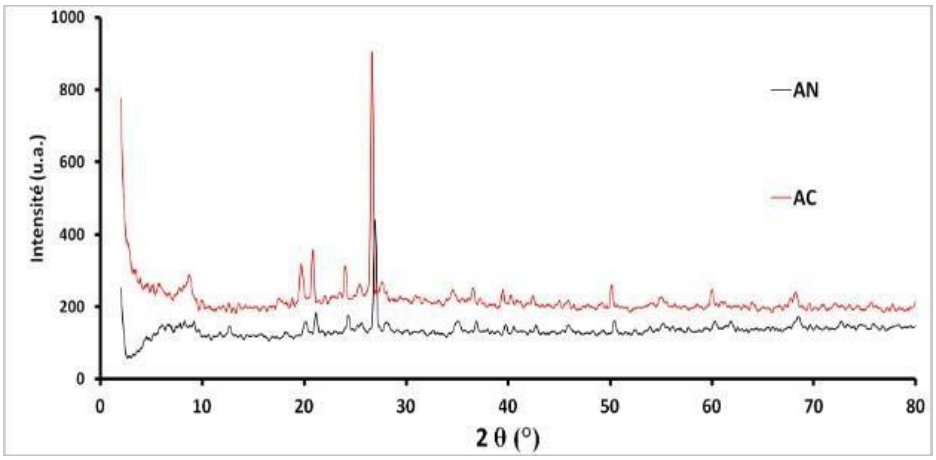


Figure II.7. Le Diffractogramme de l'échantillon calciné et brute

II.5 Composition du mortier :

II.5.1 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais :

II.5.1.1. Mortiers ordinaires témoins :

Nous avons confectionné un mortier de référence (sans additions) dont la composition est inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1.

Tableau II.11. Les compositions retenues sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	E/C	Eau (ml)
MTC	450	1350	/	225

II.5.1.2 Mortiers à base d'argile calcinée (800C°) :

La troisième étape consiste à remplacer une masse de ciment par un mélange d'argile calcinée . Les pourcentages retenus sont les suivants 10%, 20%,30% et 40%) en utilisant le ciment (CEM I 42,5). Les mortiers fabriqués dans cette étape seront nommés par : MC.10%, MC.20%, MC.30% et MC.40%.

Les compositions massiques retenues sont résumées dans les tableaux ci-dessous : La lettre M désigne le mortier et la lettre C

Mortiers	Ciment	Sable	Argile calcinée (g)	E/C	Eau	SP
Mc10%,	405	1350	45	0.4	180	1.2
MC20%	360	1350	90	0.4	180	1.3
MC30%	315	1350	135	0.4	180	1.4
MC40%	270	1350	180	0.4	180	1.4

Tableau II.3. Compositions massiques des mortiers à divers Pourcentages d'argile calcinée

II.5.1.3 Préparation du mortier :

➢ Préparation du mortier :

Ce mortier est réalisé conformément à la norme (EN196-1).

- ❖ Les proportions en masse doivent être les suivantes : une partie de ciment ; trois parties de sable Préparé et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment=0.50).
- ❖ Un gâchage pour trois éprouvettes doit être constituée de (450±2) g de ciment. (1350±5) g de sable et (225±1) g d'eau.

a. Malaxage du mortier

- ❖ On Pèse le ciment et l'eau au moyen de la balance. Lorsque l'eau est mesurée en volume. Elle doit être introduite avec une précision de±1 ml.
- ❖ On malaxe chaque gâchage de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.
- ❖ Le chronométrage des déférentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de lamies en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à ±2s.
- ❖ Le mode opératoire de malaxage doit être le suivant :

1. introduire l'eau et le ciment dans le récipient. En prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.
2. dès que l'eau et le ciment entre en contact. On mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lance le chronométrage des étapes du malaxage de plus.
3. Enregistrer le temps de démarrage a la minute près. Comme étant le temps zéro ; âpres 30s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable pendant les 30 secondes suivant :

Dans le cas de la préparation des trois éprouvettes 4 x 4 x 16, les quantités sont respectivement les suivantes :





Moule de malaxage **Lors du malaxage**

Figure II.8. Matériels utilisé de malaxage

b. Préparation d'éprouvette

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique et mesurer (40x40x160) mm.

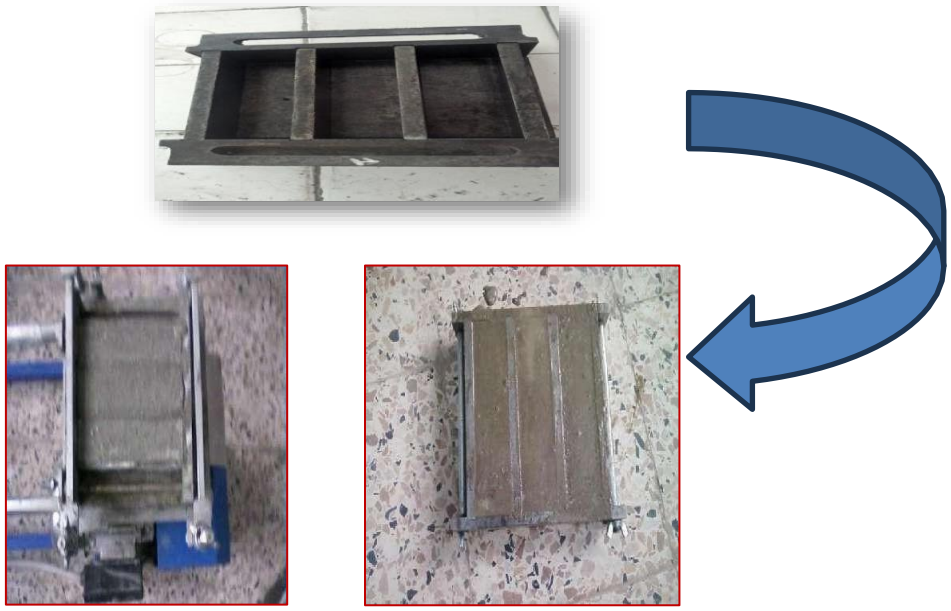


Fig. II.9. Préparation d'éprouvette 4x4x16

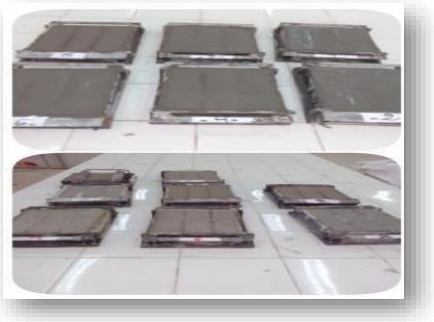


Figure II.10. Éprouvettes après le moulage (4*4*16) cm³



Figure II.11. Éprouvettes conservées pendant 28 jours

II.6. Essais effectués sur le mortier :

II.6.1.1. Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenue. La figure II.12 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône.

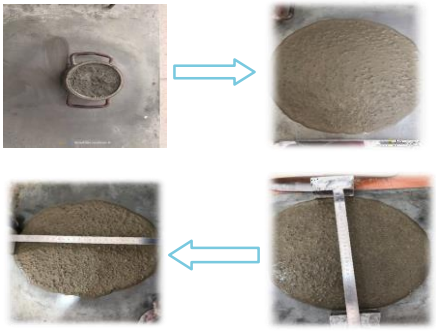


Figure II.12: Protocole de l'essai d'étalement

II.6.2 Essais effectués à l'état durci.

II.6.2.1 Essais Mécaniques :

II.6.2.2 Résistance à la traction par flexion

Les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[104]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points), une éprouvette prismatique de côté 4 cm et de longueur 16cm. (FIGURE II.13)

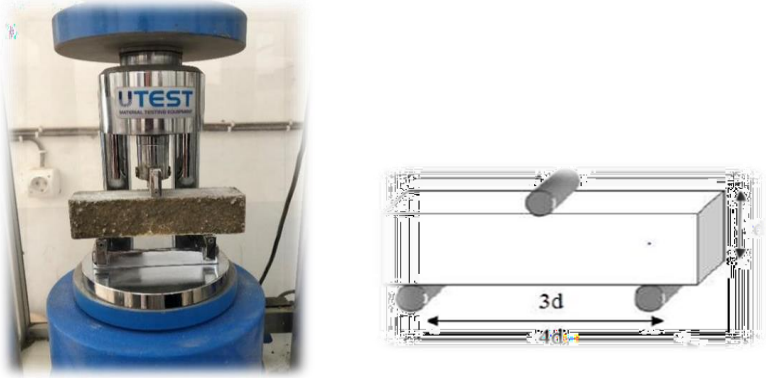


Figure II.13. Essai de traction par flexion sur mortier

II.6.2.3 Résistance à la compression

La résistance à la compression est mesurée selon la norme EN 196-1 (**31**).Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture à la traction seront rompus à la compression. La Contrainte de rupture est calculée comme suit : $Rc=F_c/b^{2.}$



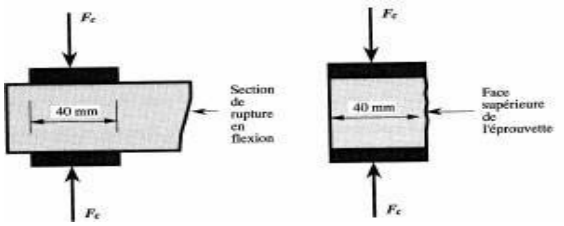


Figure II.14. Essai de résistance à la compression sur mortier

II.6.2.4 Essai d'absorption capillaire de l'eau :

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau par capillaire des éprouvettes de mortier. Avant les mesures de la sportivité, les éprouvettes sont pré conditionnées selon les recommandations de la norme NF P10-502, [25].

L'essai a été réalisé sur des éprouvettes de (4 x 4 x 16 cm). Le protocole de cet essai consiste à sécher des éprouvettes prismatiques à l'étuve à 105±50 °C pendant 72 heures. Les surfaces latérales des éprouvettes sont ensuite imperméabilisées à l'aide d'une résine étanche, et ce pour assurer la remontée unidirectionnelle d'eau par capillarité. Les éprouvettes sont ensuite pesées soit M_0

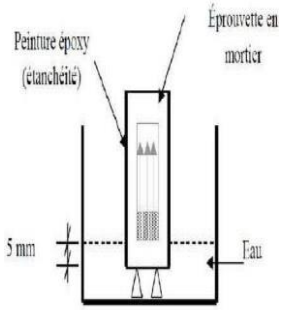
(Figure II.15).Les mêmes éprouvettes sont posées dans un récipient sur leurs faces les plus petites (4 x 4 cm), et sont séparées d'au moins 1 cm de son fond. Le récipient est ensuite rempli en eau jusqu'à ce que les éprouvettes soient partiellement immergées (environ 5 mm). Il faut noter que le niveau d'eau doit rester constant tout au long de l'essai. Les éprouvettes sont retirées et pesées régulièrement. l'essai est terminé après 24 h.

L'absorption d'eau par immersion est calculé en pourcentage selon la formule suivante :

$$A\% = \frac{(\mathrm{Msat} - \mathrm{Msec}) * 100}{Msec}$$

Ou :

Msat : est la masse de l'éprouvette après immersion (en g)
Msec : est la masse de l'éprouvette séche (en g)





A-Principe de l'essai **B -** déroulement de l'essai

Figure II.15 : Absorption d'eau par capillarité.

II.6.2.5 Porosité accessible à l'eau :

La porosité accessible à l'eau du matériau peut être déterminée par pesée hydrostatique

Les essais de porosité accessible à l'eau sont effectuée selon le mode opératoire AFPC-AFREM [AFPC, 1997] sur des éprouvettes de mortier. Les éprouvettes sont placées dans un dessiccateur sous vide pendant 04 Heures puis saturées dans l'eau sous vide pendant une durée de 24 Heures . (Figure.II.16).

Les échantillons sont ensuite soumis à une pesée hydrostatique pour évaluer leur masse (Meau) et à une pesée dans l'air , après avois essuyé leur surface, qui est assimilée à la masse saturée en eau (Mair). Les échantillons sont ensuite placés dans une étuve, et la masse finale obtenue (Msec) correspond à l'état sec des matériaux, selon la norme NF P18-459 La porosité accessible à l'eau calculé par l'équation :

$$\text{Ɛ}\% = \frac{(\text{Mair} - \text{Msec})}{(Mair - Meau)}$$

Ɛ : la porosité accessible à l'eau en %

Mair: la masse de l′éprouvette saturée d′eaupesée dans l′air (en g)

Meau: la masse de l′éprouvette saturée d′eaupesée dans l′eau(en g)

Msec: la masse de l′éprouvette seche pesée dans l′air (en g)





Figure II.16. Essai de porosité accessible à l'eau

II.6.2.6 Conductivité thermiques

Les Propriétés thermiques des déférents mélanges ont été mesuré à l'aide d'un CT Mètre. **Le CT METRE** est un appareil aisément transportable, élaboré pour évaluer les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite.



Figure II.17 : Conductivimètre CT.

II.6.2.7 Essai ultrasonique :

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage pour chaque éprouvette. Les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. La **figure II.18** montre les étapes de l'essai. NF EN 12504-4.



Figure II.18: Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores.

II.6.2.8 Résistance au feu

Les éprouvettes retenues pour cette étude sont de teneurs en grains de liège de 0%,,10% 20 %,30%,40%,. Des demis prisme en MAPL sont préalablement préparées pour le traitement thermique, elles sont étuvées à 80°C pendant 6 jours jusqu'à la stabilisation de leurs masses. Ensuite, elles sont chauffées dans un four à moufle dont les dimensions utiles sont de 25x28x18 cm (figure II.19) à différentes températures 400°C et 600°C avec une vitesse de chauffe égale à 10°C/min, puis maintenues en température dans le four pendant 1 heure conformément à la norme ISO 834(Ramli Sulong, Mustapa, & Abdul Rashid, 2019). Tous les d'éprouvettes sont refroidis à l'air (en dehors du four) pendant 24 heures puis testés.

Pour chaque température deux critères sont évalués, d'abord des mesures de pertes de masse et ensuite les mesures de la résistance à la compression. Le degré de déshydratation (Perte de masse (%)) est évalué par la relation suivante :

Perte de masse (%) = ((M1-M2)/M1)) x 100

Cette perte de masse, permet de quantifier de façon globale, la quantité de matière perdue au cours des cycles de chauffage-refroidissement.

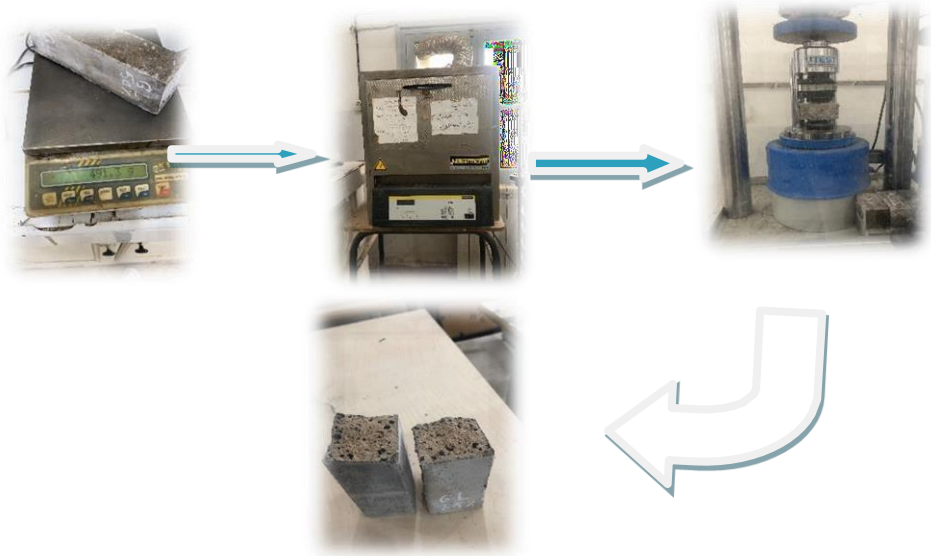
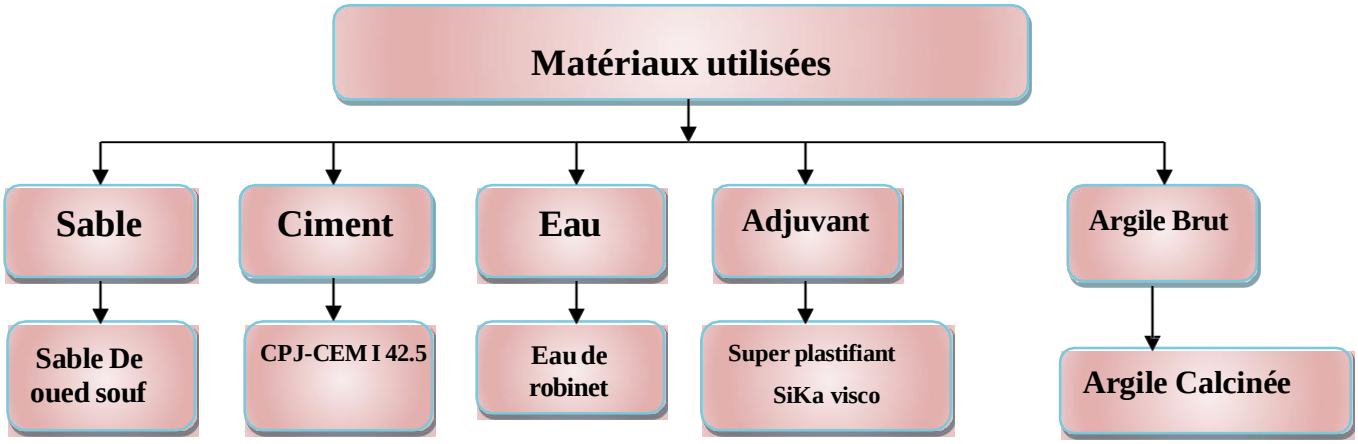
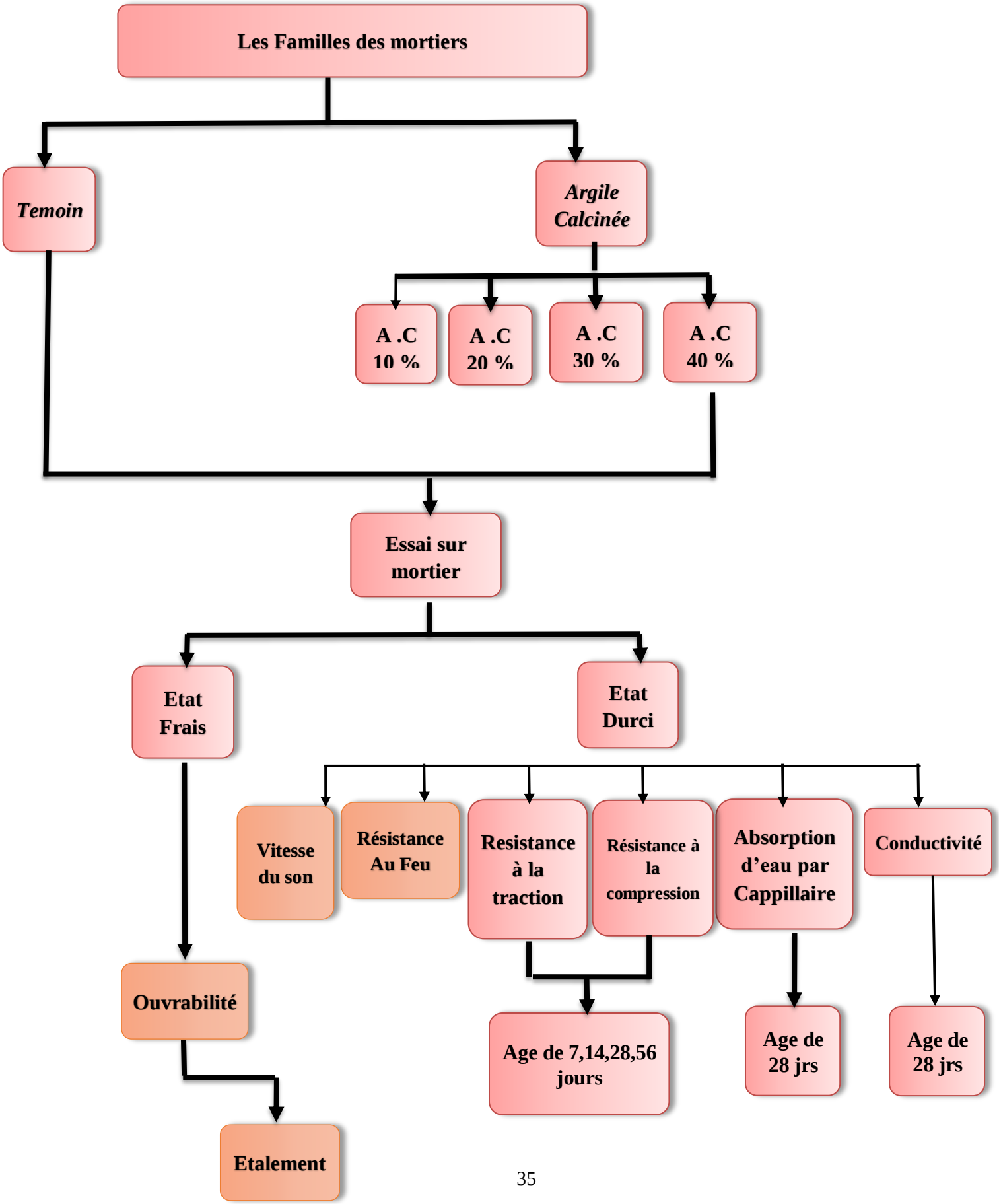


Figure II.19 : Essai de résistance au feu

II.7 Variables étudiées :




Les Familles des mortiers
Temoin
Argile Calcinée
A .C 10 %
A .C 20 %
A .C 30 %
A .C 40 %
Essai sur mortier
Etat Frais
Etat Durci
Vitesse du son
Résistance Au Feu
Resistance à la traction
Résistance à la compression
Absorption d'eau par Cappillaire
Conductivité
Ouvrabilité
Etalement
Age de 7,14,28,56 jours
Age de 28 jrs
Age de 28 jrs

II. 8 Conclusion :

L'usage des additions minérales en tant que substituts partiels du ciment, tant sur les chantiers que dans la fabrication de bétons prêts à l'emploi, demeure une pratique insuffisamment encadrée et maîtrisée. Dans ce contexte, il nous est apparu pertinent de mener une étude visant à analyser et à évaluer l'incidence de ces additions sur les propriétés des mortiers et des bétons à l'état durci. Les additions considérées dans ce travail sont l'argile brute et l'argile calcinée, deux matériaux disponibles en quantités significatives en Algérie, et dont la valorisation dans des applications autres que la production traditionnelle de ciment mérite d'être explorée.

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude, l'analyse et l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus durant le programme expérimental. Les résultats obtenus nous permettrons de savoir et de jugé le comportement des mortiers composés de différents pourcentages d'argile calcinée. Pour donner une meilleure lisibilité aux résultats, ces derniers seront présentés dans des tableaux et par des histogrammes. Une conclusion sera exploitée à la fin de ce chapitre.

III.2. Propriétés à l'état frais

III.2.1 L'Etalement :

¬ La substitution d'une partie du ciment par de l'argile calciné conduit à une perte de maniabilité pour les mortiers chargés. cela est traduit par une diminution de pourcentage d'étalement en fonction de l'augmentation du volume de L'argile calciné.

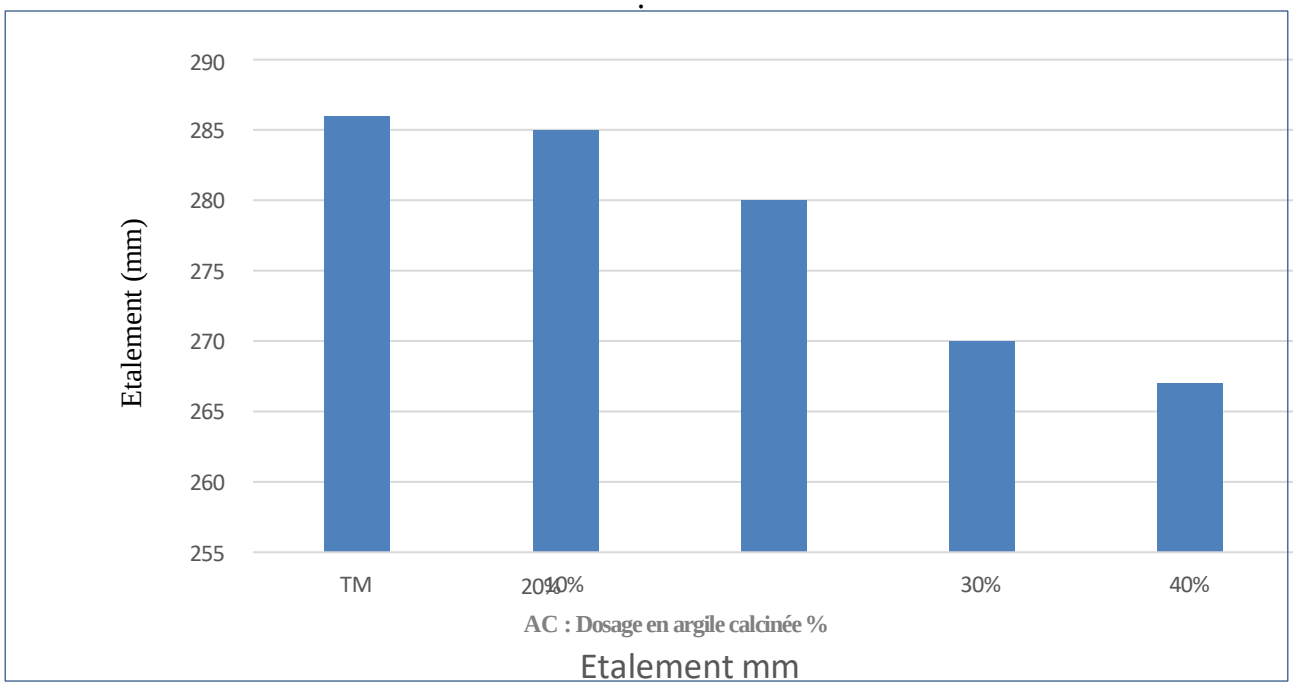


Figure III.1 : Etalement

III.3 Propriétés à l'état durci

III.3.1 Résistance mécanique :

III.3.2 Résistance à la compression

La figure.III.2 présente la résistance à la compression des différents mortiers à base d'argile calciné . en utilisés à 07 jours 14 jours 28 jours et 56 jours.

D'après les résultats obtenus, on remarque que le remplacement partiel du ciment par de l'argile Calciné réduit significativement la résistance à la compression. Cette diminution est due à forte teneur en eau qui augmente avec le dosage en argile Calciné

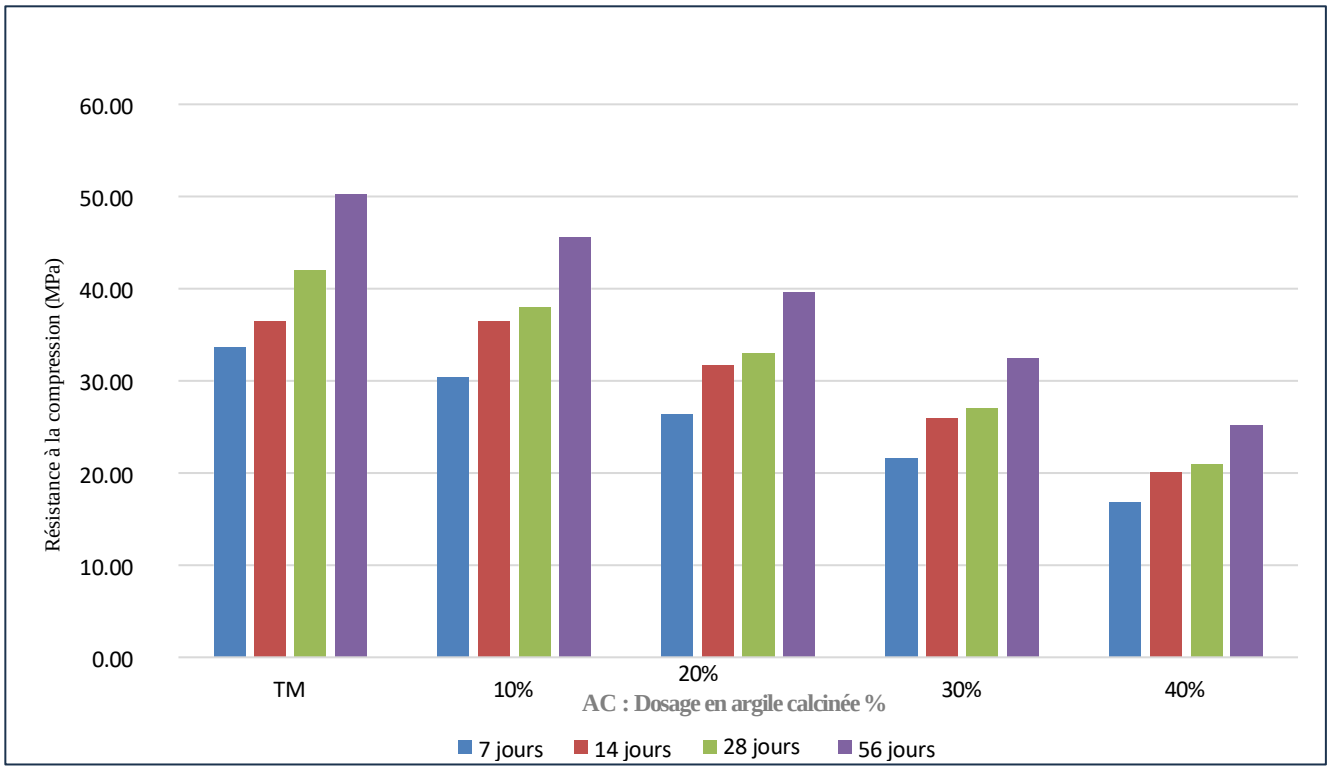


Figure III.2. la résistance à la compression des mortiers pour divers dosage en argile calciné.

III.3.3 Résistance à la flexion

La figure.III.3 présente la résistance à la flexion des différents mortiers à base d'argile calciné en utilisés à 7 jours , 14jours , 28 jours,56 jours.

D'après les résultats obtenus, on remarque que le remplacement partiel du ciment par de l'argile réduit significativement la résistance à la flexion. Cette diminution est due à forte teneur en eau qui augmente avec le dosage en argile calciné

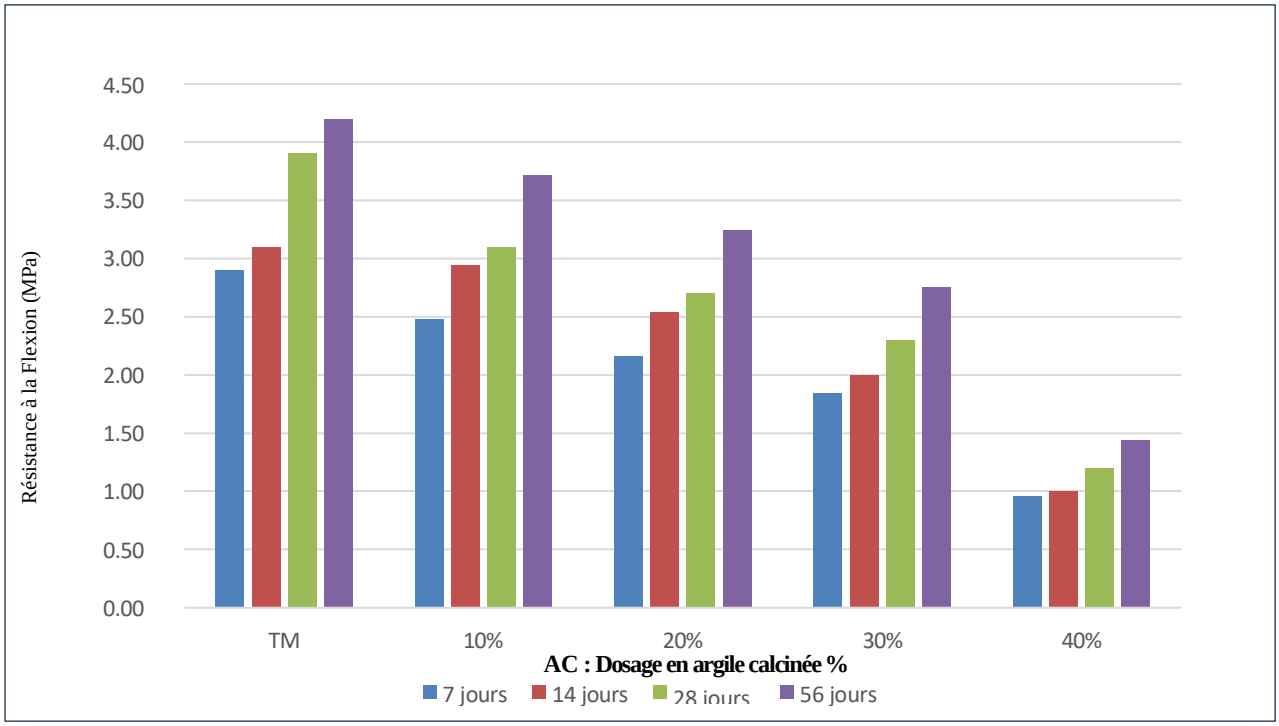


Figure III.3. la résistance à la flexion des mortiers pour divers dosage en argile calciné

III.3.4 Conductivité thermique

Les figures III.4 montre que la conductivité des mortiers contenant plusieurs dosages en argile calciné On observe que la conductivité est affectée légèrement par l'augmentation du dosage en argile calcinée.

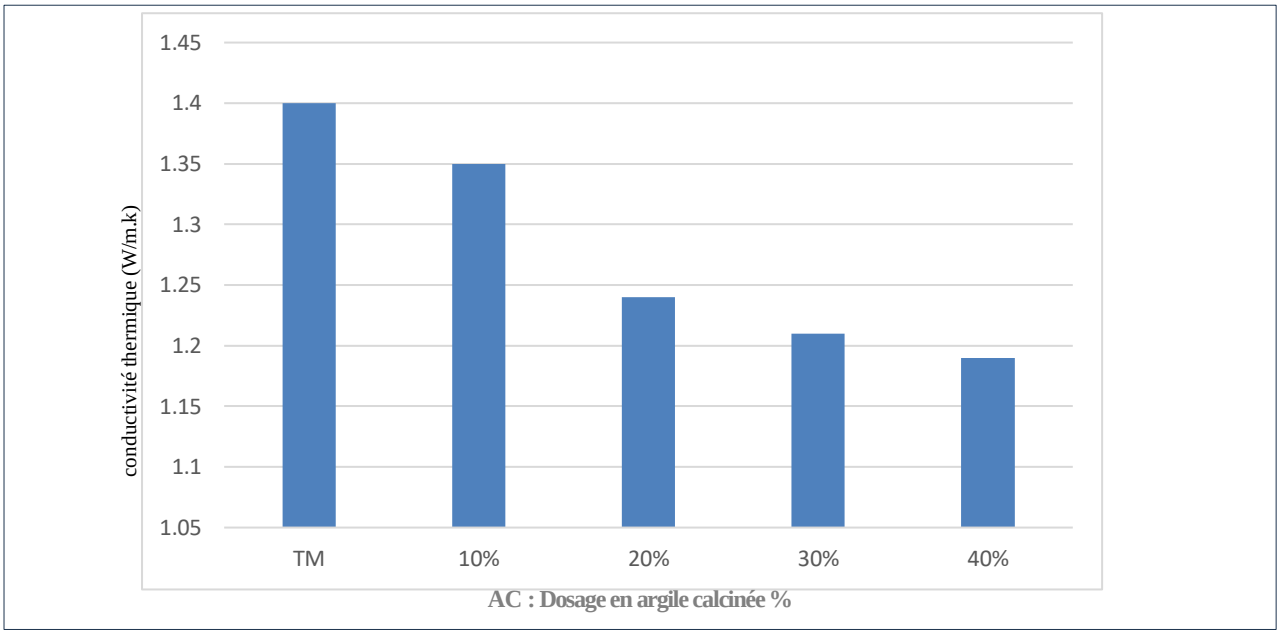


Figure III. 4. Conductivité thermique des mortiers pour divers dosage en argile calciné.

III.3.5 Vitesse Ultrasonique :

Le résultat ultrasonique des différents dosage de l'argile calcinée pour un âge de 28 jours

D'après les résultats de la figure III.5.

On remarque que la vitesse à 10 % ,20 % ,30 % et 40 % sont plus importante par rapport à la valeur du Témoin.

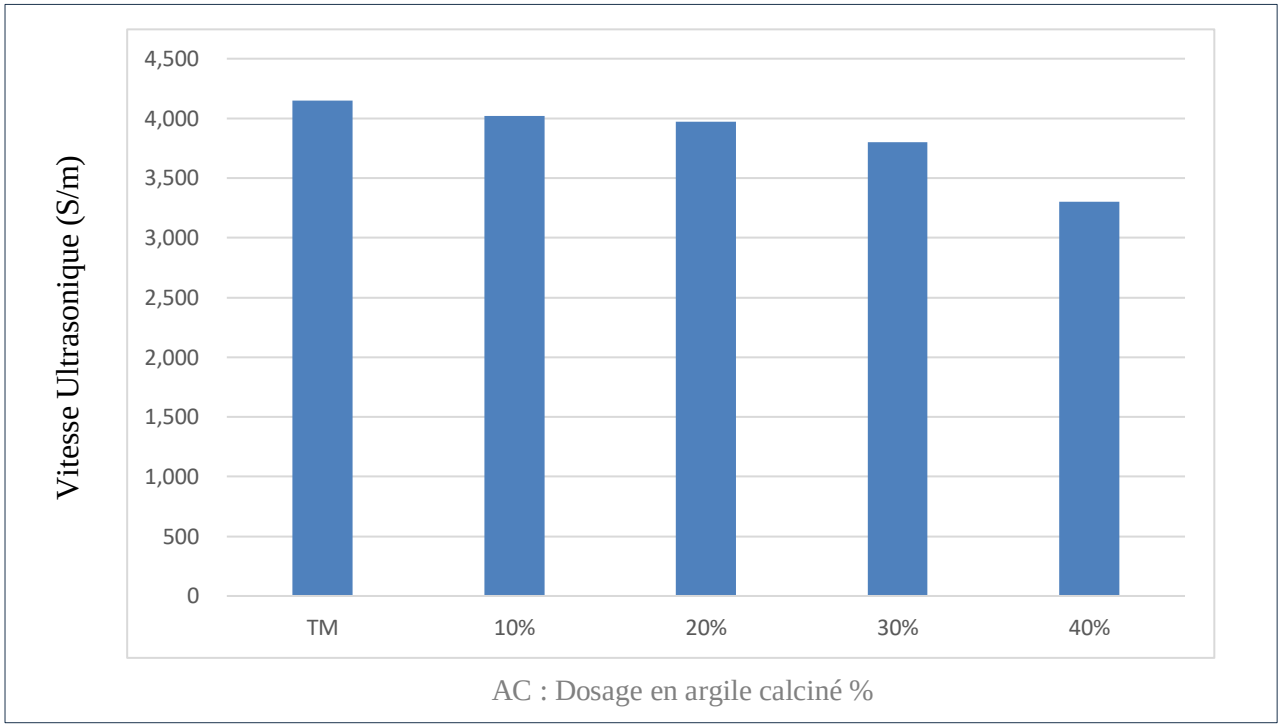


Figure III. 5 . Vitesse Ultrasonique

III.3.6.1 Absorption d'eau par capillarité:

Les résultats de l'essai de porosité à l'eau des différents mortiers réalisés sont résumés dans la figure III.6. D'après la figure III.6 on remarque que le mortier à base d'argile calciné absorbe plus d'eau légèrement par rapport au mortier témoin.

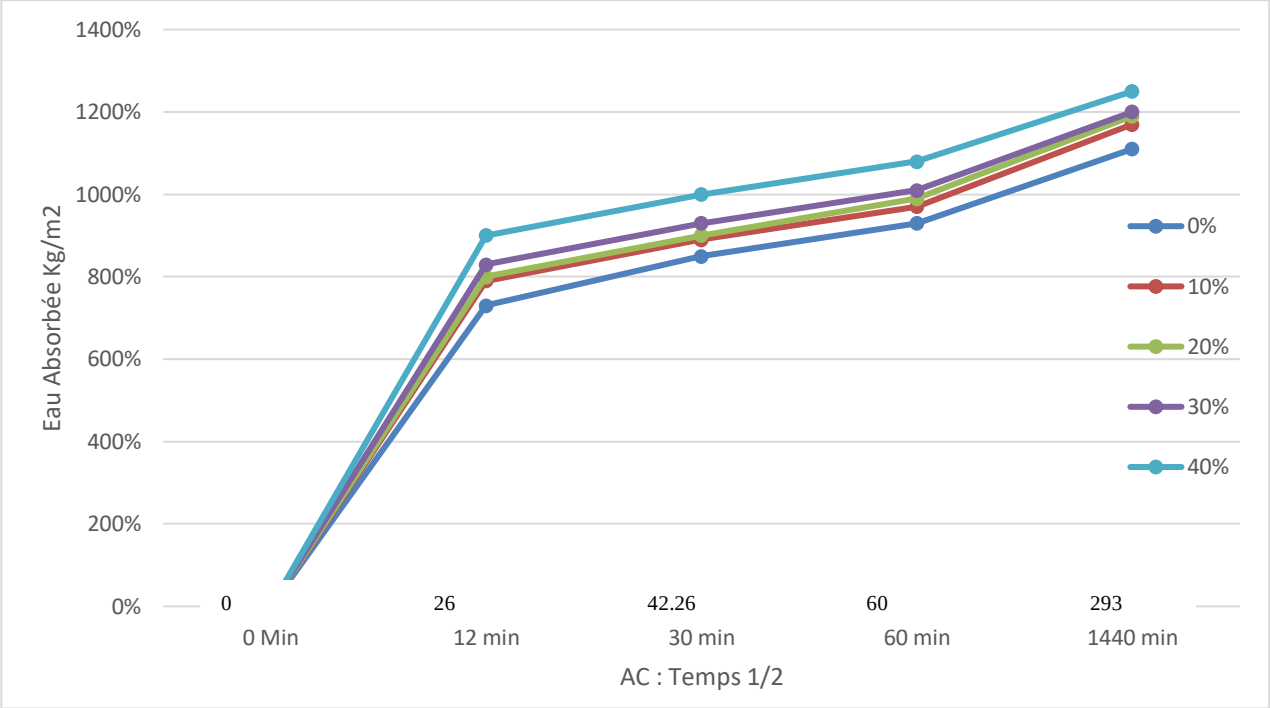


Figure III.6. Absorption de l'eau par Capillarité.

III .3.6.2 porosité accessible à l'eau :

Les résultats de la porosité des différents dosage de l'argile calcinée pour un âge de 28 jours , d'après les résultats de la figure III.7 on remarque que la porosité augmente en fonction de l'augmentation de l'argile calcinée

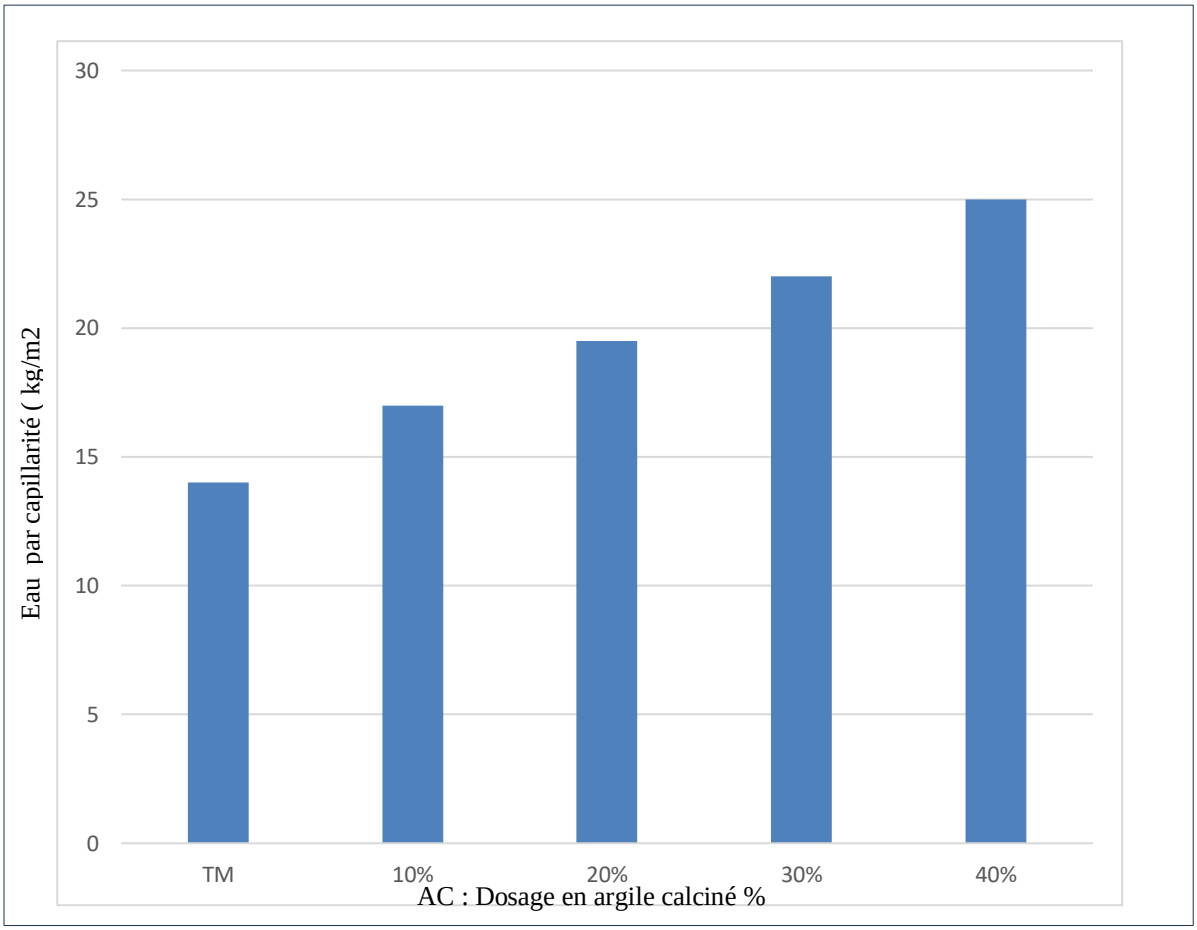


Figure III. 7 . Porosité accessible à l'eau

III.5. Résistance au feu :

III.5.1 La perte de masse :

Les résultats de la perte de masse des éprouvettes, contenant respectivement 0 %, 10 %, 20 %, 30 % et 40 % d'additions, après un chauffage à 400°C et 600°C, sont présentés dans la figure ci-dessous dans la figure III.8:

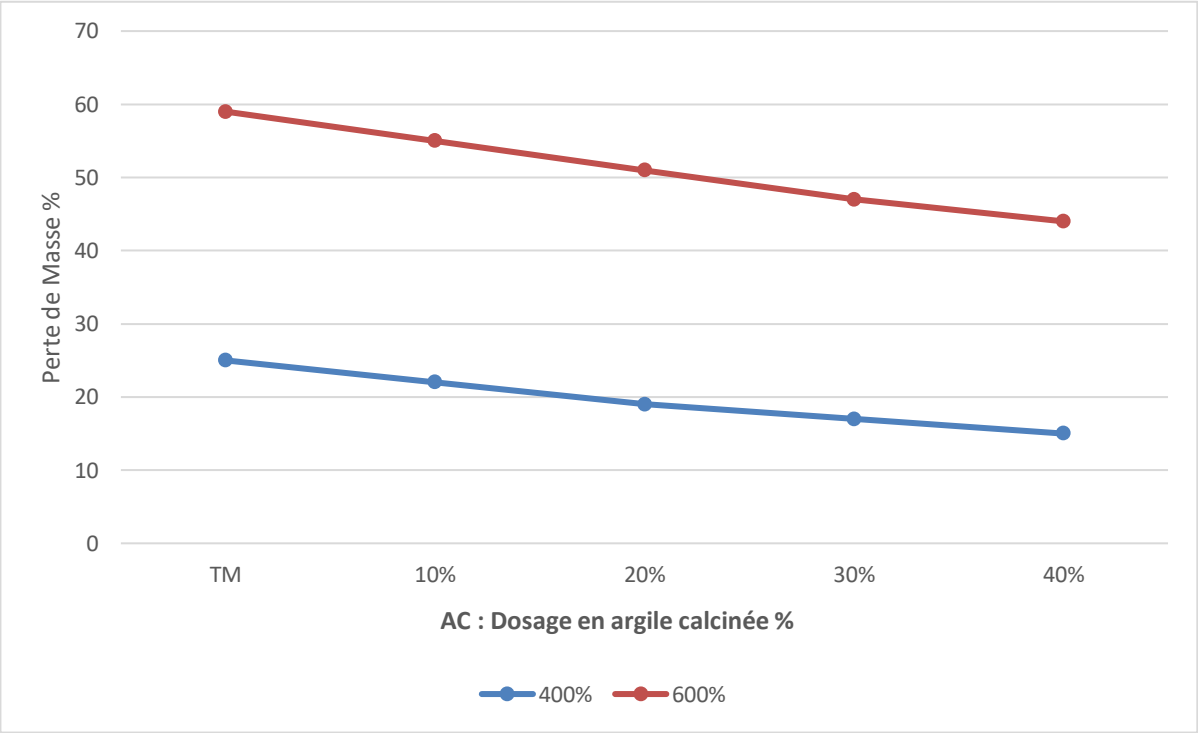


Figure III.8. Perte de masse

III..5.2 Résistance à la compression au feu

Les résultats à la compression au feu des éprouvettes à (0, 10, 20, 30, 40%) après 28 jours chauffées à 400, 600°C sont représentés sur la figure ci-dessous :

D'après la figure III.9 on remarque que les résultat obtenues montrent que pour tous les mortiers à base d'argile calcinée. on enregistre l'augmentation du taux d'argile entraine une diminution de la résistance à la compression .

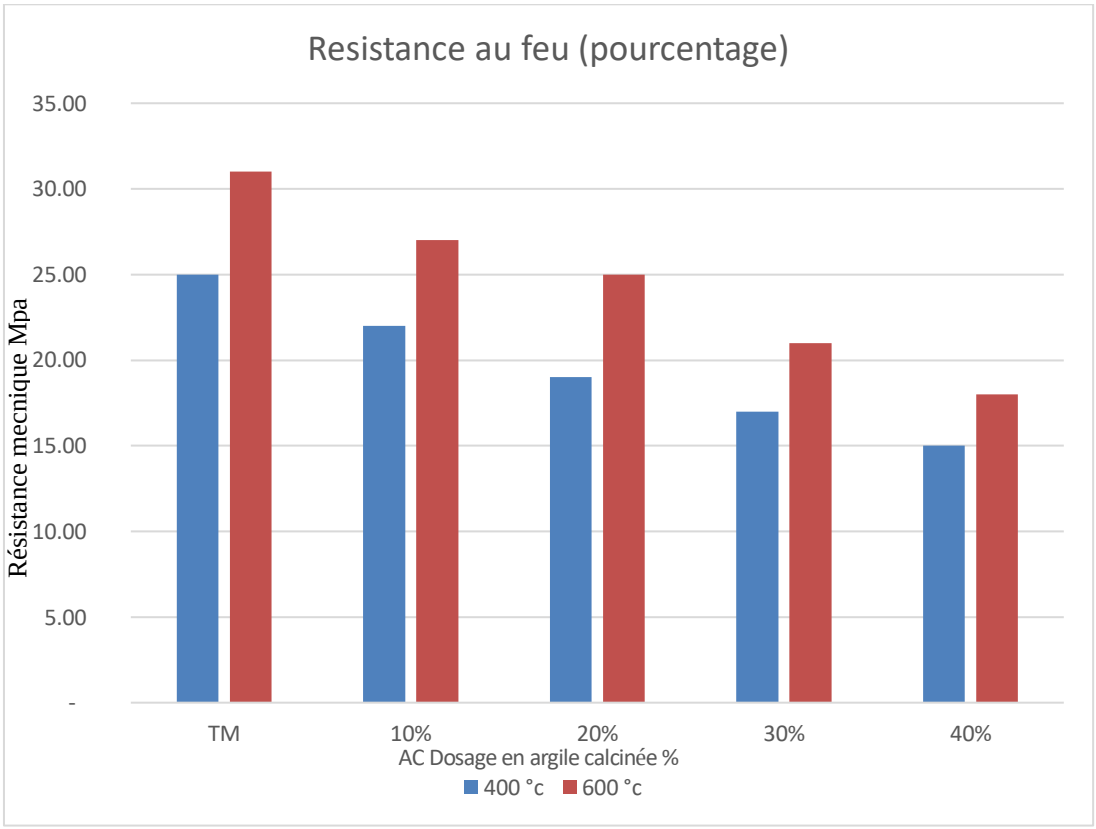


Figure III.9. Résistance à la compression des mortiers en fonction des Températures

.

CONCLUSIONS

ET

RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail principal de cette étude est de trouver la possibilité de remplacer le ciment par un matériau naturel, car l'industrie du ciment provoque l'émission d'énormes quantités de dioxyde de carbone (CO_2). Le matériau de remplacement doit donner un comportement répondant à certaines exigences de construction et doit être un matériau écologique et économique.

Afin de répondre aux objectifs visés pour ce mémoire et évaluer d'une manière plus précise l'effet que peut engendrer l'argile sur les propriétés des mortiers de ciment, nous avons adopté une méthodologie basée sur la substitution massique du ciment par l'argile calciné sous un température de 800C° dans des mortiers.

La quantité d'eau dans les mélanges cimentaires a été variées afin de permettre le maintien de la même ouvrabilité à l'état frais de toute les formulations.

Les principaux résultats obtenus dans cette étude sont cités dans les points suivants :

-Lors de la calcination, un changement de la couleur de nos matériaux, a été observé ce qui traduit un changement d'états de constitution, car l'évaporation d'eau et le changement de certains minéraux détériorent les mailles de ces minéraux

-La substitution d'un ciment par une argile calciné n'a pas amélioré la résistance des mortiers.

Cette dernière est moins par rapport à la résistance d'un mortier ordinaire (100% ciment), néanmoins, les avantages suivants sont retenus :

- Les résistances obtenues sont acceptables a bonnes.
- Les meilleures résistances ont été obtenues avec le pourcentage de substitution de 5% de l'argile calciné par rapport la masse du ciment.
- la calcination de l'argile améliore les résistances mécaniques, en comparent avec le matériau brut.

Enfin, on peut dire que les résultats sont satisfaisants mais cette étude ne manque pas des essais chimique, physique, minéralogique et mécanique afin de voir l'effets de ce nouveau matériau sur les propriétés mécanique des matrices cimentaire.

En perspectives de ce travail de recherche, il pourrait être intéressant d'entamer une étude plus détaillée sur l'évolution et la microstructure des différents hydratés des ciments avec cette ajout (argile calciné). Comme il sera intéressent d'entamer une étude approfondie sur l'effet de la composition chimique de l'argile sur le comportement physico-chimique, microstructural et mécanique des pâtes et des mortiers à base de ces ajouts. Il est souhaité d'étudier le comportement de ce matériau vis-à-vis les conditions d'isolation thermiques ainsi que sa durabilité.

RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus sont encourageants, mais des analyses complémentaires sont nécessaires. Il serait pertinent d'approfondir cette recherche à travers :

- **Des essais chimiques, physiques, minéralogiques et mécaniques** plus poussés afin de mieux caractériser l'effet de l'argile calcinée sur la matrice cimentaire.
- Une **étude microstructurale** détaillée sur les produits d'hydratation formés en présence de cet ajout.
- L'analyse de l'**influence de la composition chimique** de l'argile sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier.
- L'évaluation du **comportement thermique**, de l'**isolation** et de la **durabilité** du matériau à long terme dans des conditions réelles d'utilisation

Références bibliographiques

[1]. M. Venuat – La pratique des ciments, mortiers et bétons – Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers » - édition2 – Collection Moniteur. – 277p-1989.

[2]. J. Baron, J.P. ollivier et J.C. Weiss, « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles,Troisième tirage, 1999, P 3-12.

[3]. G. Dreux "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles- Paris- 1998, P 29-41

[4]. A.TAGNIT et P-C NKINAMUBANZIB .Les ajouts cimentaires et le développement durable.Département de génie civil, Université de Sherbrooke.

[5].R. CHAID. Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux. Thèse de doctorat d'état en génie civil ENP décembre 2006

[6].R. CHAID, R. JAUBERTHIE et A. BOUKHALED. Effet de l'ajout calcaire sur la durab ilité des bétons. Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 1, 2010

[7]. DJOBO YANKWA Jean Noël , effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinéres a base scories volcanique.

[8] Benia M., Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux sur le comportement mécanique du mortier et du béton à base de matériaux locaux, Université Mohamed Boudiaf de M'Sila,

[9] Xu Z., Hland V., (1996) Observation of mesostructure in calcium hydrate Gels of Portland cement, physical review letta 77 952

[10] Bessa A., Jean-Philippe Bigas, Jean-Louis Gallias, (2004) Evaluation de la contribution des additions minérales à la porosité, à la résistance à la compression et la durabilité des mortiers.Société Suisse des ingénieurs et architectes, Norme SIA 215, « liant minéraux », zurich 1978.

[11] Aglietti E.F., Porto Lopez J.M., Pereira E., (1986) Mechanochemical effects in kaolinite grinding I. Textural and physicochemical aspects. International Journal of Mineral Processing 16, pp-125–133.

[12] Naceri A., Chikouche Hamina M.,(2009) Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar. Geomaterials Laboratory, Civil Engineering Department, M‟sila University, P.O. Box 166, Ichbilia, M‟sila 28000, Algerie

[13] Semcha A., (2006) Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug, Université de Reims Champagne-Ardenne.

[14] Murat M., (1982) Activation thermique des argiles en réaction solaire, étude des ciments métakaolins, rapport final de recherche PIRDES-CNRS, Paris Janvier 1982.

[15] Shi C., Day R.L., (1996) Factors affecting early hydration characteristics of alkali–slag cements. Cement and Concrete Research 26 3, pp. 439–448.

[16] Vizcayno R., Castello, R., Ranz, I., Calvo, B., (2005) Some physico-chemical alterations caused by mechanochemical treatments in kaolinites of different structural order. Thermochimica Acta 428, pp-173–183.

[17] Kristof E., Juhasz, Z.A., Vassanyi, I., (1993) The effect of mechanical treatment on the crystal structure and thermal behavior of kaolinite. Clays and Clay Minerals 41, pp-608–612.

[18] McCaffrey R., (2002) Climate change and the cement industry, Global Cement and Lime Magazine, Environmental Special Issu

[19] Khayat, 2004 : Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004). “Comparison of Field-oriented Test Methods to Assess Dynamics Stability of Self-Consolidated Concrete”, ACI Materials Journal, V. 101, No. 2, March –April 2004, pp. 168-176.

[20] Abdelhamid R’MILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants

: Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010

[21] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique ».AFNOR.

[22] Mémoire de master de thème : Valorisation du liege expansé dans la composition des mortiers, dirigé par MAANSER Roumaissa , Université Mohamed KHIDHER-Biskra Faculté des Scie

[23] nces et des la Technologie, Département de Génie civil et d'Hydraulique . 2019-2020

[24] NA 436 ,1992-08-20 « béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement ». Norme algérienne.

[25] EN 1992-1 2005 : Norme NF EN 1992-1, 2005, "Eurocode 2 – Calcul des structures en béton Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments", AFNOR

[26] NF EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances mécaniques - Avril 2006

[27] NF P 18-412, « caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression. 1981.

[28] SEKANDER. ., typé durabilité, Matériaux en Génie Civil, Département Génie Civil, Faculté de technologie, 2022.2023 selon la norme AFREM

[29] ISO 8497, 1994 Isolation thermique : Détermination des propriétés relatives au transfert chaleur en régime stationnaire dans les isolants thermiques pour conduites

[30] Boukhalkal. Djamilla. Cours méthode expérimentale, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Médéa,2016,2017.

[31] la norme [NA 442]

[32] NF EN 1008

[33] **https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/0/sika-viscocrete-tempo-10.pdf**

[34] P.L. Domone, J. Jing, « Properties of Mortar for Self Compacting Concrete », Proceedings of RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, Septembre 1999, RILEM Proceedins PRO 7, Paris pp109-120

[35] EN 196-1 : Norme européenne, « méthodes d'essais des ciments, partie 3 » Août 1995.

[36] NF P 18-440

[37] la norme NF EN 1015-18

[38] AFC –AFREM

[39] A. Mardani-Aghabaglou, M. Tuyan, K. Ramyar, Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates, Materials and Structures 48(8) (2015) 2629-2640

[40] Ziregue Ahmed., Mouldi Khenfer Mohamed., Qu´eneudec-t'Kint Michèle & Montrelay Nicolas. (2016). Developmental potentiality of insulating lightweight concrete based on cork and calcareous sand. Journal of Adhesion Science and Technology, 30 :9, 934-946

[41] Mémoire de master de thème : Valorisation du liège expansé dans la composition des mortiers, dirigé par MAANSER Roumaissa, Université Mohamed KHIDHER-Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie civil et d'Hydraulique. 2019-2020

[42] Boussetoua H., Maalouf C., Lachi M., Belhamri A & Moussa T. (2017) Mechanical and hydrothermal characterisation of cork concrete composite : experimental and modelling study, Européen Journal of Environnemental and Civil Engineering, Taylor & Francis. DOI.

[43] Bràs, A., Leal, M., & Faria, P. (2013). Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance. Construction and Building Materials, 49, 315-327. doi : https ://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006

[44] Hocine BOUSSETOUA, thème de mémoire Étude des transferts de chaleur et de masse dans les matériaux de construction : Caractérisation d'un agro-matériau à base du béton et de liège, de l'Université Mohammed Seddik BENYAHIA – Jijel, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département : Génie des procédés

[45] Jannot Y., Isothermes de sorption : modèles et détermination. http://www.thermique55.com/principal/sorption.pdf ; 2008 (Juin 2008).

[46] IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting Physiosorption data for Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. Pure and Applied Chemistry 1985 ; 57 (4) : 603–619

ALGÉRIE



50kg

Mokaouem Plus مقاوم بلوس

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment Portland

Résistant aux sulfates

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT

- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

MEMBRE DE HOLCIM

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques

FORMULATION CONSEILLÉE

ent collinaire

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)		Eau (litres)
	50kg	0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1	X7	X5	X4	25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire"

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

- **Analyses chimiques**

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

- **Temps de prise à 20° (NA 230)**

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

- **Composition minéralogique**

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

- **Résistance à la compression**

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

- **Propriétés physiques**

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

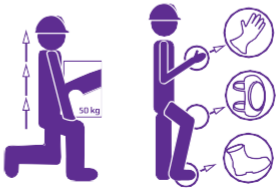
Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

Conditionnement: 50kg 50kg 50kg / 

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



MEMBRE DE HOLCIM

LAFARGE ALGÉRIE
Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE لافارج

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 convient pour la confection de béton en préfabrication, béton sur chantier et béton prêt à l'emploi. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est utilisé pour béton en cas de temps de transport ou délai de mise en oeuvre prolongés.
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 permet la fabrication des:

- Bétons plastiques à très fluides
- Bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice
- Bétons avec réduction d'eau maximale (jusqu'à 30 %)
- Bétons avec air entraîné

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 combine plusieurs mécanismes d'action. Par adsorption à la surface et le cloisonnement des fines pendant le processus d'hydratation les propriétés suivantes sont atteintes:

- Réduction d'eau extrêmement importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc moins de travail pour la mise en oeuvre et le compactage)
- Evolution plus rapide des résistances à court terme
- Etanchéité fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait
- Carbonatation du béton ralentie

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 ne contient ni chlorures ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier, et peut donc être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.

AGRÉMENTS / NORMES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 répond aux exigences de la norme NF EN 934-2 tableaux 1, 3.1 & 3.2.
PV CNERIB: DTEM 251/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	▪ Fût de 200 kg. ▪ Cubi de 1100 kg.
Aspect / Couleur	Liquide brun clair.
Durée de Conservation	12 mois de la date de production si le produit est stocké correctement en emballage intact.
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 peut geler, mais une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1.060 ± 0.010

Notice produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10
Novembre 2021, Version 01.03
021301011000000108

Valeur pH	4.0 ± 1.0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0.1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3% du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel : 0,4% à 1,5% du poids de liant.
Distribution	Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com

Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier

Essais sur Mortier

Entrer data dans cellules en rouge

Valeurs calculées dans cellules en noir

Référence du mélange	Essai N°	CEM I 42,5	Date	######
		0 % de Mg		
		0 % de Poudre de marbre		

MAPPZ

volume de mortier (litres)	1000,00				
sable/mortier vol	**0,45**				
E/P par vol.	1,339	poudre vol :	23,514	Eau volume	31,486

composition Poudre(vol %)	type
ciment portland	100
pz	0
Poudre de Marbre	0

superplast - MEDAFLOW30	**0,35**	% (Sp/P)
Densité relative de la poudre	**3,00**	

teneur en eau du sable

	humidité (%ab)		absorption(	correction (%)
poids humide (g)	200	0,00	1,00	-1,00
poids sec (g)	200			

Materieux	Volume litres	Densité kg/m³	Masse kg	Contenance d'eau %	Contenance d'eau kg	poids mélange kg			
poudre	235,143	3080	724,241			724,241			
Ciment	235,143	3080	724,241			724,241			
Pz	0,000	2670	0,000			0,000			
Poudre de marbre	0,000	2700	0,000			0,000			
Eau	314,857	1000	314,9			322,52	W1	225,762	70% W
							W2	96,755	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		1060	4,16	70	4,309	4,156			
Sable	450,000	2660	1197,000	-1,00	-11,970	1197,000			
Total	#####					2249,915			

E/P poids = 0,435

100ZC			
Volume	**1,4**	**poids mélange** g	
poudre		1013,934	T
Ciment	0,329	1013,94	
--	0,000	0,00	