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

Activation physico-chimique de poudre de céramique : utilisation dans le mortier de ciment

---

Présenté par

Mr. OUARED Mohamed amine
Mr. BABA ALI Mahboub

Proposé et Dirigé par

Dr. SETTARI Chafika

Promotion Septembre 2020

Remerciement

Tout d'abord, Nous tiens à remercier ALLAH, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs, sincères, profonds et nous passons les obscures subtilités de la langue française, le choix de la formule de remerciements est difficile. Nous tiens à remercier :

Notre honorable encadreur d'avoir accepté de nous encadrer, et pour ses conseils précieux pendant la réalisation de ce travail. Pour l'honneur qu'il m'a fait d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour l'aide très précieuse et l'intérêt constant qu'il a bien voulu montrer pour ce travail qu'il a guidé par de judicieux conseils, qui a bien su me communiquer pour mener au mieux cette étude.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travaille en exprimant une profonde gratitude :

A Toute ma famille et Surtout mes parents

A mon binôme Mahboub

A mes amis et ceux qui m'ont encouragé.

Je le dédie aussi à mon encadreur Dr Ilyes IRKI qui m'a aidé à réaliser ce travail et a tous en mis enseignants de puis le primaire jusqu'à mes études supérieures, A toute La promotion Génie Civil de l'année 2020.

Ouared Mohamed amine

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.

A toute la famille baba Ali

Je remercie mon amie et binôme Amine qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tous mes Amis

A toute la promotion de G.C 2020

Baba Ali Mahboub

RESUMES

ملخص

أصبحت إعادة تدوير النفايات الآن الحل الصحيح الذي يمكن أن يقدم موارد جديدة متجددة ومستدامة تساهم في عملية البناء في مجال الهندسة المدنية وبالتالي حماية البيئة.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو فحص إمكانية استخدام مخلفات السيراميك كبديل جزئي للإسمنت في الملاط يتم طحن نفايات السيراميك بدرجات نعومة مختلفة تبلغ 3900 و5200 و 6500 سم^2 /غ لتقييم تأثير حجم الجسيمات على سلوك الملاط كتنشيط ميكانيكي.

يتم إجراء الاختبارات المعملية لتحديد قابلية التشغيل وخصائص مقاومة الشد والضغط والامتصاص الشعري ومسامية الملاط بنسبة 0٪ و10٪ و15٪ و20٪ و30٪ و40٪ من الاستبدال الجزئي للأسمنت بمسحوق السيراميك. هناك تنشيط كيميائي أخر باستعمال بودرة هيدروكسيد الصوديوم بنسب مختلفة (2.4، 6، 8٪) والذي سيطبق على أحسن خليط متحصل عليه من السلسلة الأولى.

الكلمات المفاتيح: مسحوق السيراميك، الملاط ، تنشيط ميكانيكي، تنشيط كيميائي

Résumé

Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine de génie civil et ainsi pour protéger l'environnement.

L'objectif principal de cette étude est d'étudier la possibilité d'utiliser les déchets de céramique en remplacement partiel du ciment dans le mortier. Les déchets de céramique sont broyés à des finesses différentes de 3900, 5200 et 6500 cm^2/g pour évaluer l'effet de la finesse des particules sur le comportement de mortier à l'état frais et durci comme activation mécanique.

Des tests de laboratoire sont à effectués pour déterminer ; l'ouvrabilité, les propriétés de résistance à la traction et à la compression, absorption capillaire, porosité du mortier avec 0%,10%,15%,20%,30% et 40% de taux remplacement du ciment par la poudre de céramique. Une autre activation chimique en utilisant la poudre du NaOH avec diffèrent pourcentages (2,4, 6, et 8%) est utilisée pour Le meilleur mélange obtenue par la première série.

Mots clés : poudre de céramique ; mortier ; activation mécanique ; activation chimique.

Abstract

Waste recycling has now become the right solution that can offer new renewable and sustainable ressources that contribute in the process of construction in the field of civil engineering and thus to protect the environment.

The main objective of this study is to examine the possibility of using ceramic waste as a partial replacement for cement in the mortar. Ceramic waste is ground to different fineness of 3900, 5200 and 6500 cm^2 /g to evaluate the effect of particle size on fresh and hardened state mortar behavior as mechanical activation.

Laboratory tests are carried out to determine, workability, properties of tensile and compressive strength, capillary absorption, and porosity of the mortar with 0%, 10%, 15%, 20%, 30% and 40% of partial replacement of cement by ceramic powder. Another chemical activation process using the NaOH powder with different percentages (2.4, 6, and 8%) is applied to the best formulation obtained from the first series

Key words: ceramic powder; mortar; mechanical activation; chemical activation.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remercîment
Dédicaces
ملخص
Résumé
Abstract
Listes des tableaux
Listes des figures
Liste des abréviations

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I .1. Mortier de construction :.... 4
I .1.1. Composition de mortier 4
I .1.2. La résistance mécanique d'un mortier 6
I .1.3. Rôles dans la construction.... 6
I.2. Céramique.... 7
I.2.1. Différents types de céramiques.... 8
I.2.2. Propriétés des céramiques.... 8
I.2.3. Produits céramiques dans la construction 9
I.3. Déchets.... 9
I.4. Recyclage.... 10
I.4.1 Recyclage dans le génie civil.... 10
I.5. Valorisation des Déchets de la Construction et Démolition 10
I.6. Valorisation des déchets et sous forme des additions.... 12
I.6.1 Poudre de verre 12
I.6.2 Poudre de marbre 14
I.6.3 Poudre de brique 15
I.6.4 Pouzzolane 18
I.6.5 Poudre de céramique.... 21
I.7. Activation mécanique : 25
I.7.1 Définition du finesse Blaine.... 25
I.7.2. Effet de la finesse sur le ciment 25
I.7.3. Effet de la finesse sur les additions.... 26
I.8. Activation chimique.... 32
I.8.1. Types d'activateurs alcalins.... 32
1.8.2. Effet d'activateurs chimiques.... 34

Chapitre II : Matériaux et essais

II.1. Caractérisation des matériaux utilisés 43
II.1.1. Ciment 44
II.1.2. Sable 45
II.1.3. Eau de gâchage : 46
II.1.4 Déchets de céramique : 46
II.2. Formulation des mortiers 49
II.2.1. Mortier Témoin 49
II.2.2. Mortiers à base de déchets recyclés 49
II.3. Séquence de malaxage du mortier 51
II.3.1. Mortier à base de poudre de céramique (PDC) sans activateur alcalin 51
II.3.2. Mortier à base de PDC avec activateur (NaOH) 52
II.4. Préparation et Conservation des Eprouvettes 52
II.5. Les essais sur les mortiers 53
II.5.1 Etat frais 53
II.5.2. Etat durci 56
II.6. Variables étudiées 60
Conclusions Générales et recommandations
Références Bibliographiques
ANNEXE

LISTE

DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- 1 résistance à la traction par flexion des PA et PN..... 18
Tableau I- 2 La résistance de compression en fonction tempe 23
Tableau II- 1 Différents compositions utilisées dans la recherche..... 43
Tableau II- 2 L'analyse chimique du ciment et composition du clinker..... 44
Tableau II- 3 Propriétés physiques d'identification des sables utilisés..... 45
Tableau II- 4 les composantes des mortiers formulés à base des déchets de céramique 50
Tableau II- 5 mode de malaxage du mortier à base de PBR sans activateur alcalin..... 51
Tableau II- 6 mode de malaxage du mortier a base de PBR avec activateur..... 52

LISTE
DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure I- 1 Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pores 7
Figure I- 2 Conductibilité thermique des matériaux en fonction de la température 9
Figure I- 3 Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton 11
Figure I- 4 Affaissement du béton avec remplacement du ciment par de la poudre de 13
Figure I- 5 Résistance a la compression des mortiers incorporant poudre de verre..... 13
Figure I- 6 Étalement des mortiers Figure I- 7 affaissement des mortiers...14
Figure I- 8 Résistance à la compression des différents mortiers à 14, 28 et 56 jours 15
Figure I- 9 Temps d'écoulement des mortiers à base de déchets de brique (MBr)..... 15
Figure I- 10 Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers MBr..... 16
Figure I- 11 Variation de la résistance à la compresion des mortiers MBr..... 16
Figure I- 12 La résistance à la compression en fonction de substitution de PBR à 07 jours 17
Figure I- 13 La résistance à la compression en fonction de substitution de PBR à 28 jours 17
Figure I- 14 Evolution de Rc des PA en fonction de l'âge 18
Figure I- 15 Evolution de Rc des PN en fonction de l'âge 19
Figure I- 16 Evolution de la résistance mécanique des différents mortiers (PA et PN) en fonction de l'âge. 19
Figure I- 17 Variation de la résistance à la flexion En fonction du % de pouzzolane. 20
Figure I- 18 Variation de la résistance à la compression En fonction du % de pouzzolane 21
Figure I- 19 Perte d'affaissement avec le temps 22
Figure I- 20 Effet de l'ajout (DCB) sur la résistande à la taraction 24
Figure I- 21 Effet de l'ajout (DCB) sur la résistance à la compression 25
Figure I- 22 Effet de la finesse du ciment sur la résistance mécanique des mortiers..... 26
Figure I- 23 Le Temps d'écoulement de mortier a base de PBR 27
Figure I- 25 La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F2=4300 cm2 /g 28
Figure I- 26 La résistance à la traction en fonction de substitution en poudre de F3=5200cm2 /g 29
Figure I- 27 La résistance à la compression en fonction de substitution en poudre de brique F3=5200cm2 /g 29
Figure I- 28 La consistance normalisée des ciments en fonction du pourcentage de la poudre de verre..... 30
Figure I- 29 Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction de temps..... 31
Figure I- 30Evolution de la résistance à la flexion des mortiers en fonction de temps. 31
Figure I- 31 Étapes du cycle de vie considérées pour la production de NaOH..... 33
Figure I- 32 Evolution de la résistance en compression à (7,14 et 28 jours) 35
Figure I- 33 Evolution de la résistance en flexion à (7,14 et 28 jours) 35
Figure I- 34 Temps d'écoulement en fonction du pourcentage du NaOH 36
Figure I- 35 La résistance à la traction en fonction de % du NaOH 37
Figure I- 36 La résistance à la compression en fonction de % du NaOH. 37
Figure I- 37 L'évolution de la résistance en compression du béton..... 38
Figure I- 38 Résistance en compression du béton à 28J en fonction des activants utilisés 39

Figure I- 39 Résistance en traction par fendage du béton au laitier activé. 39

Figure II- 1 le ciment utilisé (Annexe A)..... 45
Figure II- 2 Courbe granulométrique de sable utilisé 46
Figure II-3 Protocole de concassage des déchets de brique cuite. 47
Figure II- 4 machine de surface specifique de blaine..... 48
Figure II- 5Séquence de malaxage du mortier ordinaire..... 51
Figure II- 6 Hydroxyde de sodium (NaOH)..... 52
Figure II- 7 Moulage et conservation des d'éprouvettes prismatiques. 53
Figure II- 8 Consistance Vicat 54
Figure II- 9 Détermination du temps de prise 54
Figure II- 10 Principe de fonctionnement du maniabilimétre LCPC..... 55
Figure II- 11 Essai de traction par flexion sur mortier..... 56
Figure II- 12 Essai de compression sur mortier 57
Figure II- 13Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier 57
Figure II- 14 Essai de porosité sur mortier..... 59

LISTE

DES ABREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

GC	génie civile
M	Mortier
MT	Mortier témoin
PDC	Poudre de céramique
PV	Poudre de verre
PBR	Poudre de brique recyclé
MBr	Mortier à base des déchets de brique cuite
PN	Pouzzolane naturelle
PA	Pouzzolane artificielle
DCB	Déchets de céramique broyée
SSB	Surface spécifique Blaine
M-T-X%	Mortier à base de poudre de céramique recyclé
X%	Pourcentages du PDC
N%	Pourcentages du NaOH
E/C	Rapport eau sur ciment
E/L	Rapport eau sur liant
CEMI 42.5	Ciment portland ordinaire de classe 42.5 MPa
G/S	Rapport gravillon/sable
R	Résistance
RC	Résistance à la compression
RT	Résistance à la traction
NaOH	Hydroxyde de sodium
Na2CO3	Oxyde de sodium
KOH	Hydroxyde de potassium

Introduction générale

Introduction générale

1. Contexte

Le ciment est le matériau le plus utilisé dans la construction. La production de ciment nécessite une grande énergie qui conduit à la libération d'une quantité important de CO2. Le CO2 contribue à environ 65% du réchauffement climatique. L'industrie du ciment contribue à environ 7% à effet de serre des émissions de gaz à l'atmosphère de la terre. Vu le développement de notre Pays dans le domaine industriel conduit à une augmentation des déchets industriel.

Les ajouts cimentaires peuvent provenir des matériaux naturels, ou des sous-produits, voir des déchets industriels. Parmi les ajouts les plus répondus dans l'industrie cimentaire, on peut citer les fillers calcaires, la fumée de silice, les cendres volantes, la pouzzolane naturelle, les laitiers granulés de hauts fourneaux, les métakaolins et d'autres encore.

L'accumulation des matériaux à l'état solide résultant de diverses activités humaines dans différents domaines de la même taille et occupant l'espace pour cela devrait toujours travailler sur la recherche d'endroits pour se débarrasser de ces déchets. L'utilisation des résidus industriels récupérés et recyclés tel que le déchet de céramique en substitution au ciment permet de réduire l'accumulation de ces déchets.

Dans notre étude, nous nous allons essayer de valoriser la poudre de céramique en différents pourcentage par substitution avec le ciment vu les propriétés pouzzolaniques de céramique, en plus que ces déchets représentent un défi pour le système des gestions des déchets dans le monde entier en raison du faible taux de recyclage par rapport à la quantité produite chaque année.

2. Objectif et intérêt scientifique du sujet

Pour le but de contribuer à la valorisation de déchets de céramique on a étudié la possibilité d'utilisé ce type de déchets dans la formulation du mortier normalisé, les déchets de céramique sont broyés à des finesses différentes telles que 3900,5200 et 6500 cm2 /g pour évaluer l'effet de la taille des particules sur le comportement de mortier et leur influence sur les caractéristiques physique et mécanique.

Une autre procédure est aussi utilisée pour améliorer les temps de début et de fin de prise, avec l'ajout d'un activateur alcalin NaOH avec différentes pourcentage (2%, 4%, 6% et 8%).

Le mémoire de fin d'étude est donc organisé par la méthode suivante :

On a commencé ce mémoire par une introduction générale qui contenu l'objectif de l'étude et les différents protocoles proposés

Le premier chapitre consiste à présenter une synthèse bibliographique basée sur la valorisation des déchets et leurs utilisations dans le domaine de la construction, plus précisément ; l'utilisation des déchets de céramique**.**

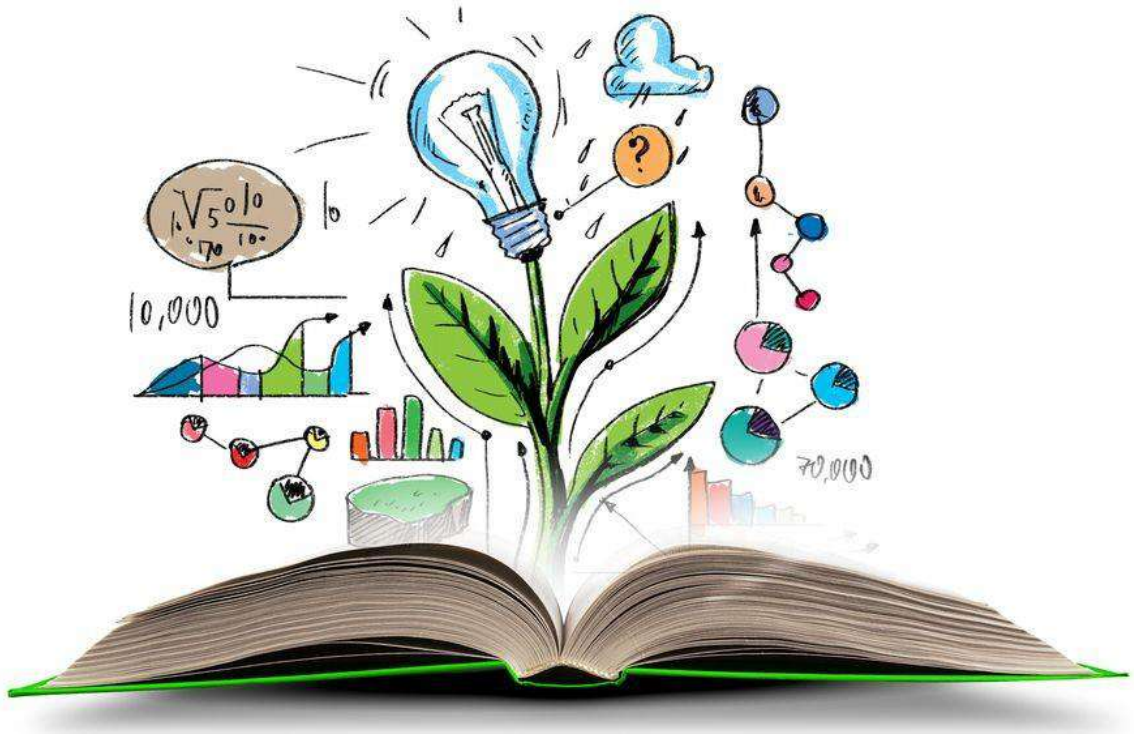
Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale pour donner une idée et une description sur les matériaux utilisés et les essais réalisés. On a expliqué en détail le plan des expériences à mener, la méthodologie et les caractéristiques des matériaux utilisés.

Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats. Malheureusement on n'a pas pu effectuer le protocole expérimental à cause de la pandémie COVID-19

On a terminé ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

Synthèse bibliographique



Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, et pour des raisons économiques, règlementaires, commerciales et environnementales, il est devenu nécessaire d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets notamment dans le domaine de GC.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre la production et la consommation et de protéger l'environnent. Dans ce chapitre nous allons voir la valorisation de déchets dans le domaine de GC

L'objectif de notre travail est d'élaborer et contribuer à la valorisation des déchets de céramique dans le mortier, on va étudier l'influence de l'effet de l'activation mécanique et chimique sur le comportement d'un mortier normalisé.

I .1. Mortier de construction :

On appelle mortier les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de sable avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants. C'est la dimension D du plus gros granulat qui détermine l'appellation : mortier pour
$D \leq 4mm$.
Le sable constitue le squelette granulaire du mortier par contre le ciment, l'eau et l'adjuvant forment la partie liante. Lorsqu'il n'ya pas de squelette granulaire, on parle de coulis de ciment**.[1]**

I .1.1. Composition de mortier

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. **[2]**
Donc Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

- Liant (ciment ou chaux)
- Eau
- Sable
- Adjuvants

A. Liants

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ...)
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes

B. Sables

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu’en volume comme c’est souvent le cas, afin d’éviter les erreurs de dosage, par suite de l’augmentation de volume de sable humide. **[2]**

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ...), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) :
  - Sable de laitier ;
  - Sable d’oxydes de fer, de chromite ;
  - Corindon ;
  - Sable de briques concassés ;
  - Liège torréfié ;
  - Polystyrène expansé ;
  - Vermiculite, perlite.

Certains sables sont à éviter, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu’à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire) ;
- Fins : jusqu’à 1,6 mm ;
- Moyens : jusqu’à 3,15 mm ;

- Gros : jusqu'à 5 mm ;

C. Adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants : **[2]**

- Les plastifiants (réducteurs d'eau) ;
- Les entraîneurs d'air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.

D. Eau

L'eau sert à activer le liant. Bien dosée, l'eau, lors de la fabrication du mortier, est primordiale dans la mesure où un excès d'eau altérera la qualité du mortier. Dans le cas d'un excès, le mortier deviendra poreux, moins résistant, durcira plus lentement et enfin sera sujet au retrait **[3]**.

I .1.2. La résistance mécanique d'un mortier

Après durcissement, la résistance mécanique du mortier dépend de l'activité du liant et du rapport ciment-eau. La formule empirique suivante proposée par le professeur N. Popov **[4]** exprime la résistance des mortiers à ciments portland :

$$RM = 0.25\ RC\ (C/E - 0.4) \qquad \text{EQ I.1}$$

RC : l'activité du ciment en Pa.

C/E : le rapport ciment-eau.

Cette formule est valable pour les mortiers posés sur une base compacte ; si la base est Poreuse, elle aspire l'eau du mortier en le rendant compact ; la résistance croit de 1.5 fois à peu près.

La résistance mécanique des mortiers dépend aussi de la consommation du ciment et de la qualité de sable**.**

I .1.3. Rôles dans la construction

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol :

- Sous forme d'enduits aériens ;
- Sous forme d'écrans étanches ;

➢ Constituer des chapes d'usure, pour dallages en béton.

➢ Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux, et divers éléments moulés.

➢ Être le constituant essentiel du béton.

➢ Consolider certains sols de formations sous forme d'injections. **[5]**

I.2. Céramique

Les céramiques en général sont utilisées depuis plusieurs siècles dont le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, tant dans le domaine traditionnel que dans celui dit industrialisé. **[6]**

Le terme céramique signifie souvent des objets rustiques comme des poteries, des briques et des tuiles mais le terme de céramique signifie plus généralement un solide qui n'est ni un métal ni un polymère. Une céramique est un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration. La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement Thermique (le frittage). La plupart des céramiques sont des matériaux poly cristallins, c'est à dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées (joins de grains) comme illustré en Figure I- 1 **[7]**

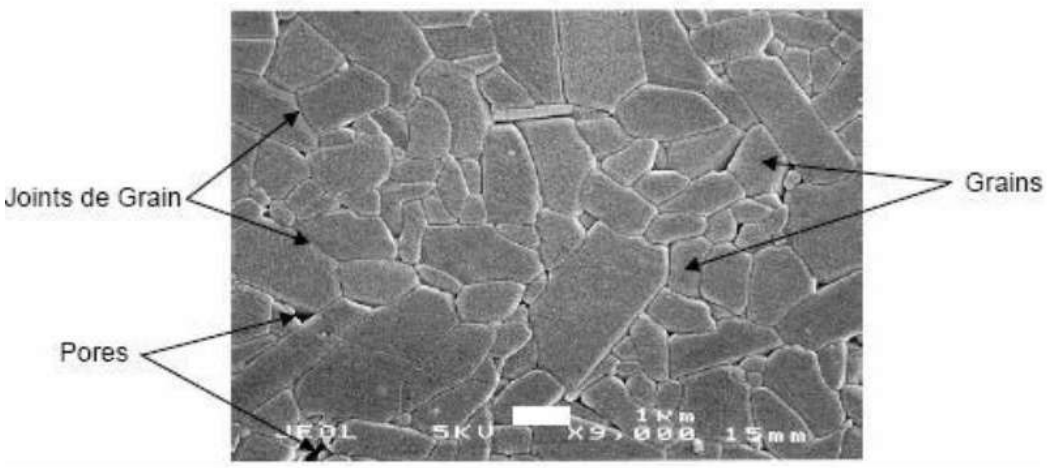


FIGURE I- 1 MICROSTRUCTURE TYPIQUE D'UNE SURFACE CERAMIQUE POLIE QUI ILLUSTRE LES GRAINS MONOCRISTALLINS, JOINTS DE GRAINS ET PORES [7]

I.2.1. Différents types de céramiques

On distingue deux types des céramiques **:**

- **Céramiques traditionnelles**

Les céramiques traditionnelles sont issues de matières premières naturelles (argile, Kaolin, quartz) et généralement mise en œuvre par coulée, exemples : la faïence, terres cuites (Briques de construction), porcelaines (vaisselle, objets décoratifs). **[8]**

- **Céramiques techniques**

Les céramiques techniques regroupent les matériaux développés récemment dans les laboratoires de recherche en raison de leurs propriétés chimiques ou physiques exceptionnelles. Elles sont obtenues le plus souvent par frittage (traitement thermomécanique dans des fours spéciaux, qui provoque la cohésion de granulés de poudre avec un aggloméré préparé à froid) ou par électro fusion (les oxydes sont coulés directement dans un moule).**[8]**

I.2.2. Propriétés des céramiques

A. Propriétés mécaniques

La dureté des céramiques est très élevée ; la limite élastique est très faible leur module de Young à la température ambiante est compris entre 300 et 400 GPa et la résistance à la Compression entre 2.103 et 30.10^3 Pa.**[9]**

B. Propriétés thermiques

Les céramiques sont caractérisées par leur capacité à résister à haute température. La température de fusion des céramiques est très élevée 2050 C°. La chaleur spécifique ; la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique augmentent avec la température. La Figure I- 2 illustre l'évolution de la conductibilité thermique des matériaux en fonction de la température.**[9]**

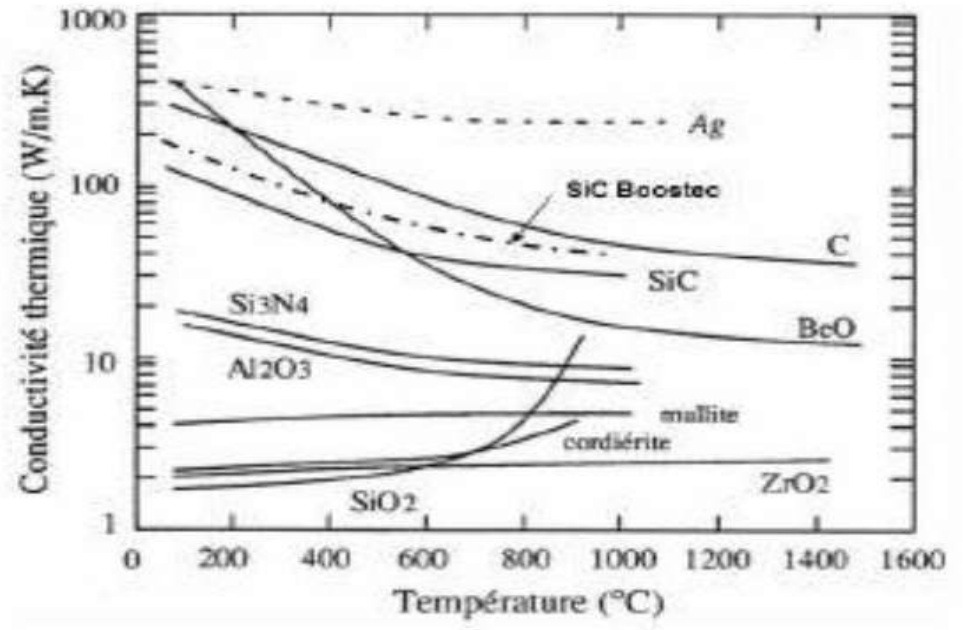


FIGURE I- 2 CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES MATERIAUX EN FONCTION DE LA TEMPERATURE **[9]**

I.2.3. Produits céramiques dans la construction

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine de génie civil, car, suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes des autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc.

I.3. Déchets

La production des déchets ne fait qu'augmenter en Algérie comme partout dans le monde. Les Algériens jettent chaque année 11 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés (DMA). Seulement 10 % de cette énorme quantité sont recyclés. Les transformations socioéconomiques et démographiques qu'a connues le pays durant ces trente dernières années, ont été accompagnées par des modifications notables au niveau des quantités et de la qualité des déchets solides produits **[11].**

La récupération et le recyclage des déchets sont une activité importante de l'économie et une véritable source d'énergie pour beaucoup de pays. Or, en Algérie, ce domaine reste très peut exploiter **[11].**

I.4. Recyclage

Le recyclage consiste à traiter tous types de déchets afin de les réintroduire sur le marché. C'est une opération qui permet de transformer un déchet en matière première prête à l'emploi. Pour pouvoir être recyclé, un matériau doit être collecté, trié puis stocké en bon état dans un conteneur approprié : le tri sélectif contribue à améliorer le processus. Alors, un détritus doit d'abord être collecté et trié, avant de subir un traitement de recyclage ou d'incinération.
À la maison, au bureau, dans les transports, dans son jardin, le recyclage permet d'économiser de l'argent.**[12]**

I.4.1 Recyclage dans le génie civil

Divers types de matériaux recyclables sont actuellement utilisés dans des applications de génie civil. Ceux-ci comprennent les pneus déchiquetés, les pneus usés, les cendres volantes et minérales, les scories de hauts fourneaux, les scories d'acier, les poussières de fours à ciment, les fumées de silice, le verre concassé et les cendres de balles de riz.
La réutilisation de ces matériaux recyclables est particulièrement bénéfique dans les applications de génie civil qui nécessitent de grands volumes de matériaux. Lorsque ces déchets sont utilisés à la place d'autres matériaux conventionnels, les ressources naturelles et l'énergie sont préservées et l'élimination des déchets coûteuse et/ou potentiellement dangereuse est évitée. Des matériaux recyclables peuvent être utilisés dans diverses applications de génie civil axées sur le développement durable **[16].**

I.5. Valorisation des Déchets de la Construction et Démolition

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le

béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.

Zhen H. D. et al **[13],** ont étudié l'effet de l'ajout de trois types de granulats recyclés (10-20 mm) issus des bétons de classe de résistance différentes (30, 45, 60 et 80 MPa) sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton ordinaire. Les résultats expérimentaux de cette étude, en termes de résistances mécaniques (compression et traction), module d'élasticité, retrait de séchage et pénétration des ions chlore ont montré qu'on peut utiliser des granulats recyclés de bonne qualité (présentent une faible couche de mortier à la surface et un faible coefficient d'absorption) pour formuler un béton avec des performances comparables à celles mesurées pour un béton à base de granulats naturelles (Figure I- 3).

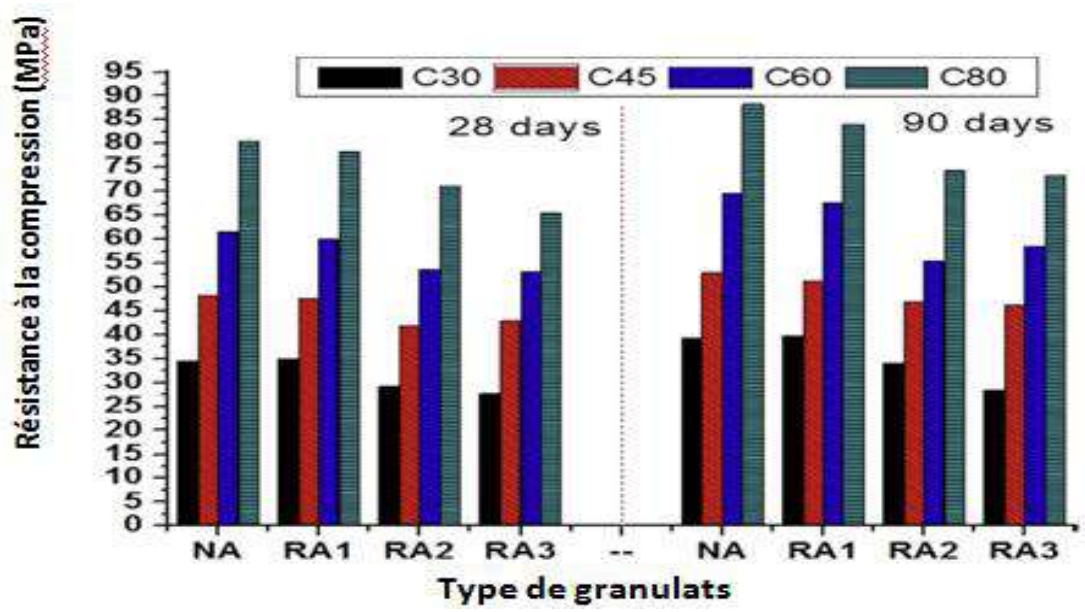


FIGURE I- 3 EFFET DE TYPE DE GRANULATS RECYCLES SUR LA RESISTANCE A LA COMPRESSION D'UN BETON [13]

Kenai S. et Debieb F. **[14]**, ont travaillé sur le béton recyclé en remplaçant partiellement le gravier et le sable naturel (25, 50, 75 et 100%) par de gros, fin, et mélange de gros et fins granulats à base d'ancien béton et de brique cuite concassées. Par comparaison avec un béton hydraulique à base de 100% de granulats naturelles, les résultats de cette étude ont mis en évidence que l'absorption d'eau des bétons recyclés est élevée, la perméabilité à l'eau peut atteindre le double, le retrait est très important. Finalement ils ont trouvé que les propriétés physiques et mécaniques des bétons à base de granulats recyclés peuvent être acceptables.

Dans d'autres travaux de Debieb F. et son équipe de recherche sur l'effet des granulats recyclés contaminés sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton courant **[15]**, les résultats expérimentaux montrent que les granulats recyclés contaminés par les chlorures ont un effet néfaste sur les caractéristiques du béton par rapport aux granulats. Une importante déférence a été observée entre les propriétés des bétons recyclés et ceux des bétons naturels.

I.6. Valorisation des déchets et sous forme des additions

Une addition minérale est une poudre d'une finesse supérieure à celle du ciment. Elle peut être ajoutée et/ou substituée au béton lors de sa fabrication ou ajoutée directement dans le malaxeur lors de la fabrication du béton. Elle permet ainsi d'améliorer certaines propriétés ou conférer aux matériaux des propriétés particulières. On distingue deux types d'additions : les additions inertes et les additions réactives **[16]**.

I.6.1 Poudre de verre

Le verre est un matériau qui est déjà utilisé dans les matériaux de construction. En effet, le verre pilé s'utilise comme agrégat dans le béton, comme matériau de déchets siliceux dans la production de ciment Portland **[17]**et comme remplissage pour améliorer l'hydratation.

DEBABI A et BOULIFA M. **[18],** ont travaillé sur mortier en remplaçant partiellement la poudre de verre (5 10, 15 et 20%) par de ciment, les résultats de cette étude ont mis en évidence que le mélange de poudre de verre et mortier donnait des résultats acceptables dans tous les essais. L'ajout de poudre de verre est donné des résultants acceptables par rapport à la composition témoin, essentiellement la composition contenant de 15 % de poudre de verre amélioré la maniabilité et la résistance mécanique.

BENSAID Sofiane **[52]** a travaillé sur la maniabilité du béton avec remplacement du ciment par de la poudre de verre en différents pourcentages allant de 5% à 40% par incréments de 5% (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25 %, 30%, 35% et 40%).

Il semble que la maniabilité du béton diminue à mesure que la teneur en verre augmente (Figure I- 4)

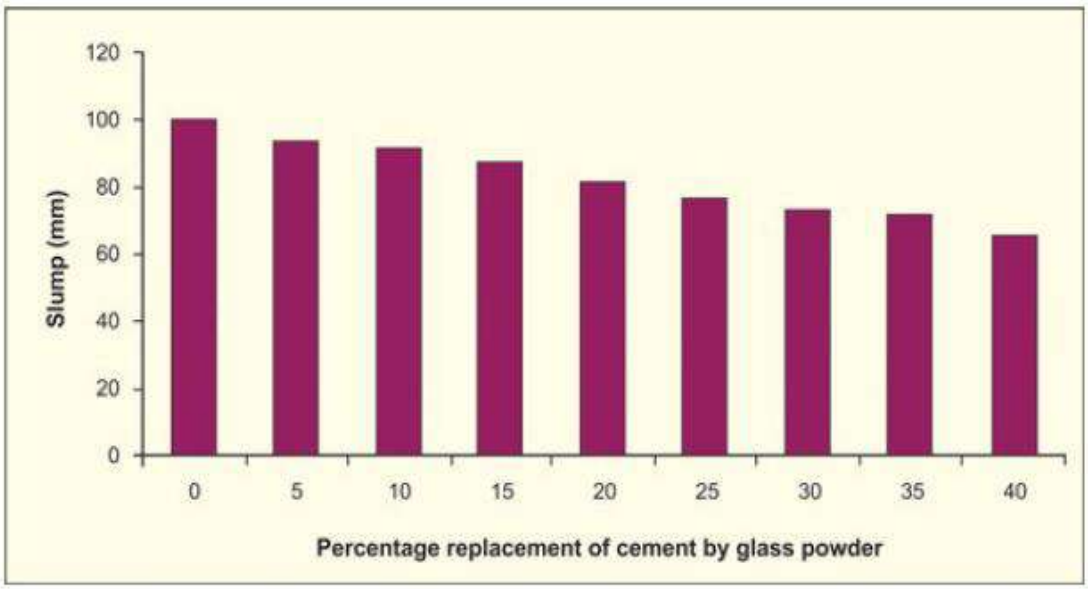


FIGURE I- 4 AFFAISSEMENT DU BETON AVEC REMPLACEMENT DU CIMENT PAR DE LA POUDRE DE VERRE[52]

Shayan et Coll **[19]** ont remarqué que la poudre de verre de finesse de Blaine de 800 m²/kg développe des réactions pouzzolaniques importantes dans le mortier et pourrait remplacer jusqu'à 30 % de ciment dans quelques mélanges de béton. Ils ont étudié l'effet de l'incorporation de la poudre de verre par substitution partielle du ciment portland sur les résistances à la compression des cubes de mortiers. Leurs résultats sont illustrés dans la Figure I- 5.

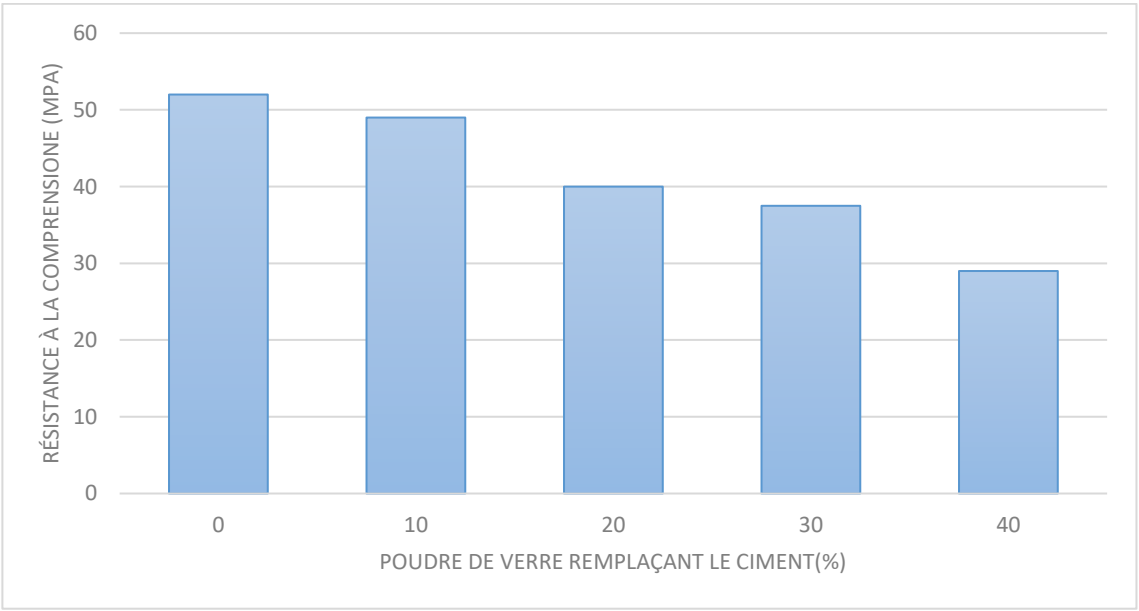


FIGURE I- 5 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES MORTIERS INCORPORANT POUDRE DE VERRE [19]

I.6.2 Poudre de marbre

La poudre de marbre ou farine de marbre est une charge minérale issue du broyage des blocs de marbre, Keddam Lydia et Chahour Kahina **[20]** ont travaillé sur un remplacement partiel le sable par la poudre de marbre.

Les résultats obtenus à travers cette étude pour l'état frais :

Ouvrabilité du mortier avec substitution du sable par de la poudre de marbre dans diverses proportions allant de 10% à 100% (0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 100%). La maniabilité du mortier semble diminuer avec l'augmentation de la teneur en poudre de marbre (Figure I- 6 et Figure I- 7)

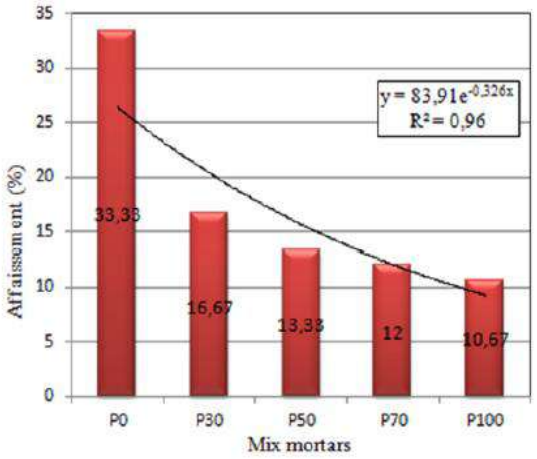


FIGURE I- 6 ÉTALEMENT DES MORTIERS

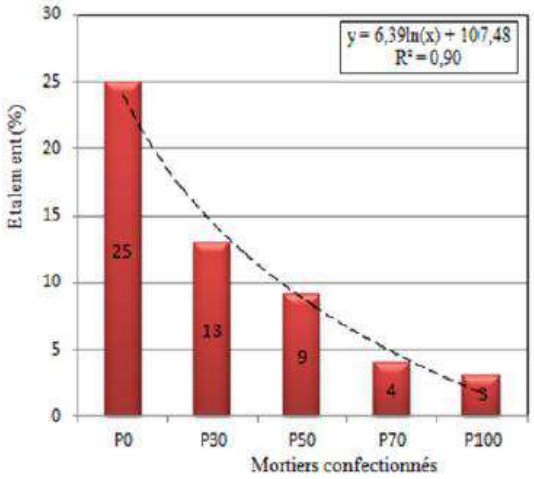


FIGURE I- 7 AFFAISSEMENT DES MORTIERS

A l'Etat durci Toutes les résistances des différents mortiers sont augmentées avec le temps, notamment à 28 et 56 jours, en dit que les mortiers ont atteint des hautes résistances avec le temps comparant à celles obtenues à l'âge de 14 jours.

On constate des résistances considérables à l'âge de 28 jours des mortiers P30 et P50 par rapport aux autres mortiers.

A 14 et 56 jours, c'est le mortier P100 qui a marqué les résistances max, alors qu'au 28ème jour c'est le mortier P50 qui a eu la résistance max.

On peut dire que la résistance des mortiers en compression s'améliore avec son durcissement. Figure I- 8

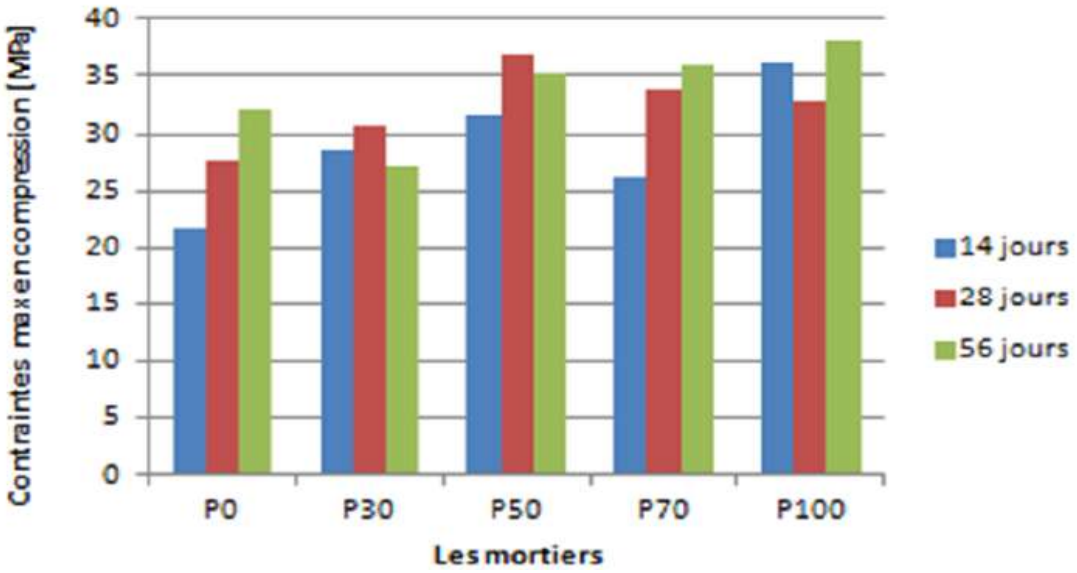


FIGURE I- 8 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES DIFFERENTS MORTIERS A 14, 28 ET 56 JOURS **[20]**

I.6.3 Poudre de brique

Debieb.F, Aouni.M **[21]** ont réalisé un mortier à base des déchets de brique cuite (MBr) en faisant substituer une partie du poids de ciment par une quantité similaire en poudre et comparées au mortier témoin. Les taux de remplacement des poudres recyclées, sont choisis De 0 à 30 % avec une marge de 5%. Ils ont remarqué que les déchets de brique influent Négativement sur l'ouvrabilité du mortier, et également que plus le pourcentage des déchets Augmente, le temps d'écoulement du mortier augment aussi Les résultats d'ouvrabilité sont Présentés sur un histogramme (Figure I- 9)

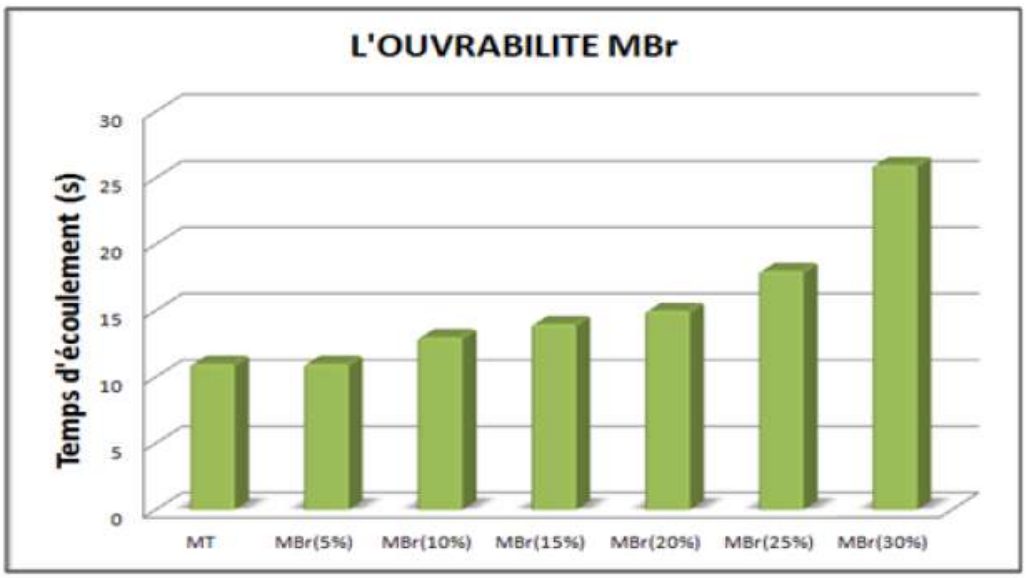


FIGURE I- 9 TEMPS D'ECOULEMENT DES MORTIERS A BASE DE DECHETS DE BRIQUE (MBR) **[21]**

A l'Etat durci les résultats sont présentent sous forme d'histogramme (Figure I- 10),ainsi que les résistances à la traction augmentent en fonction de l'âge quel que soit le type du mortier Les résistances des mortiers MBr 5%, MBr 10% et MBr 15% dépassent celle du mortier témoin pour les trois âgés et il est de l'ordre de 7,51 MPa, 7.21 MPa et 7,23 MPa respectivement à 28 jours, et la plus faible valeur de l'ordre de 3.30 MPa est remarquée pour le mortier MBr 30% La traction par flexion nous donne à peu près une idée sur la résistance à la traction, on constate alors qu'on a un gain de résistance de 11%les résultats sont présenté sous forme d'histogramme donné par la Figure I- 11.

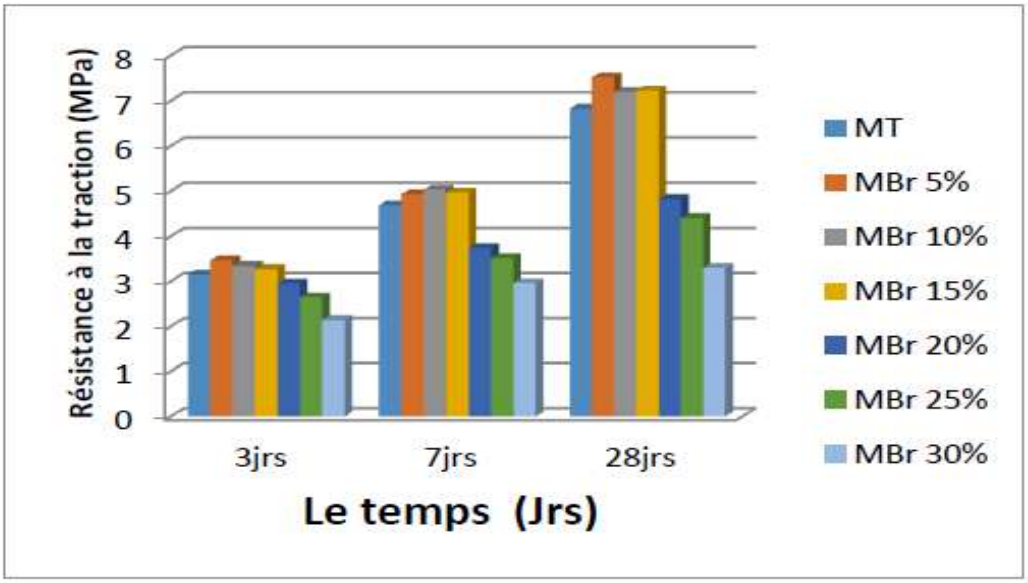


FIGURE I- 10 VARIATION DE LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION DES MORTIERS MBR[21]

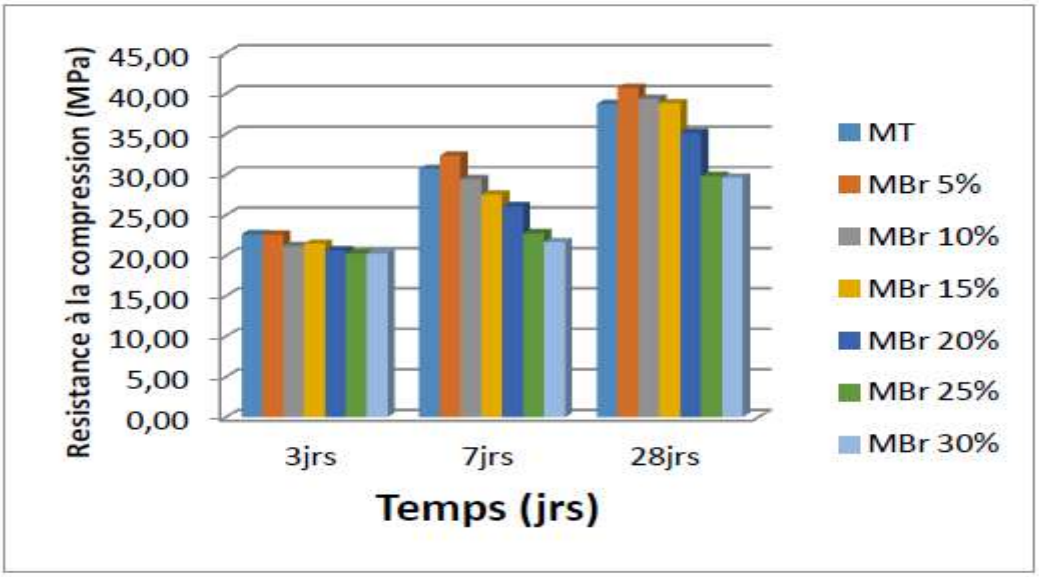


FIGURE I- 11 VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DES MORTIERS MBR[21]

Ouldrouis et hadjersi **[22]** ont travaillé sur mortier à base de déchet de brique remplaçant partiellement le poudre de brique (5 ,10, 15, 20 et 30%) par de ciment, La poudre de brique utilisé est traitée par calcination à 600, 800, 1000 °C et sans calcination, la poudre est broyée jusque une finesse de Blaine 5200g/cm². Les résultats de cette étude montrent que La poudre de brique influent négativement sur la maniabilité des mortiers en fonction de l'augmentation du taux de substitutions pour toutes les familles et La meilleure résistance à la compression observée correspond au mortier à base de poudre de brique non calciné utilisé avec pourcentage de 10% (Figure I- 12 Figure I- 13).

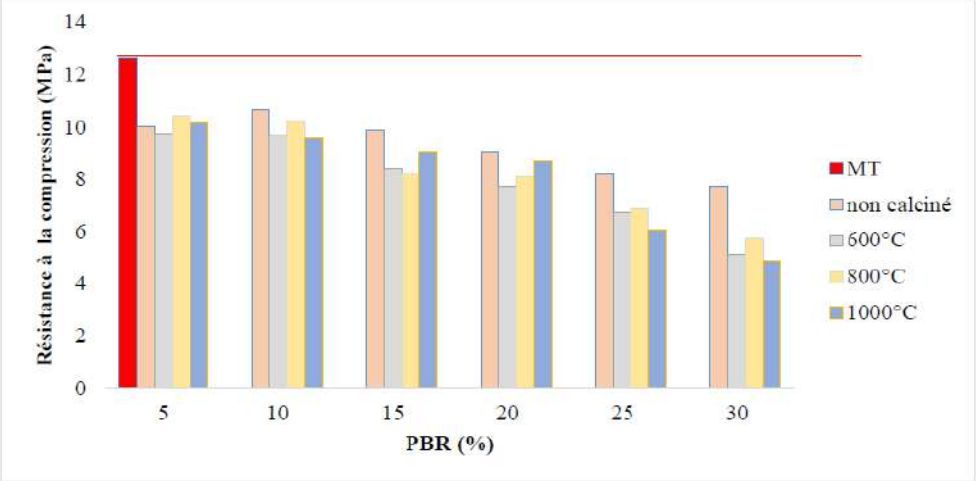


FIGURE I- 12 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE SUBSTITUTION DE PBR A 07 JOURS[22]

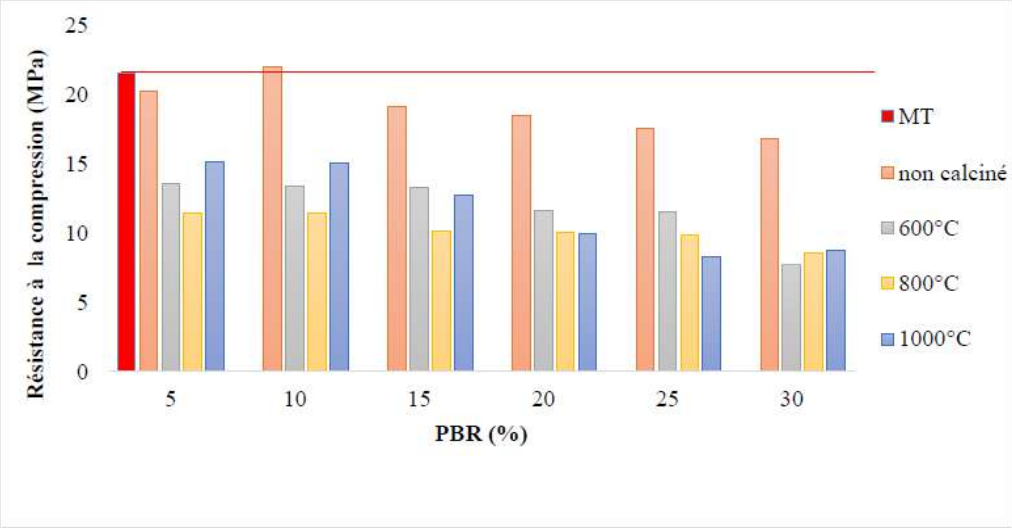


FIGURE I-13 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE SUBSTITUTION DE PBR A 28 JOURS[22]

I.6.4 Pouzzolane

Mokhtaria BENKADDOUR, Fatiha KAZI AOUAL, Abdelaziz SEMCHA **[23],** ont étudié l'effet de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf et la pouzzolane artificielle à base de la vase calcinée a température de 750° de barrage Ferrgoug (Mascara) sur les résistances mécaniques Pour cela, nous avons comparé le comportement des mortiers élaborés à base de ciment seul (CPA 42.5) et celui des mortiers contenant différents dosages de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle, Tableau I- 1 présente les Rf des PA et des PN à différents âges

TABLEAU I- 1 RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION DES PA ET PN [23]

Pourcentage d'ajout (%)	*Résistance à la traction par flexion (MPa)*					
	2j		7j		28j	
	PN	**PA**	**PN**	**PA**	**PN**	**PA**
0	*4,63*	*4,63*	*6,71*	*6,71*	*8,71*	*8,71*
10	*3,83*	*4,03*	*5,72*	*6,05*	*7,14*	*8,02*
20	*3,16*	*3,50*	*5,18*	*6,02*	*6,74*	*6,45*
30	*2,42*	*2,70*	*4,29*	*4,94*	*5,93*	*6,28*

Les résultats sont représentés en Figure I- 14 pour les PA (pouzzolane artificielle), Figure I- 15 pour les PN (pouzzolane naturelle) et l'évolution de la RC de tous les mortiers en Figure I- 16

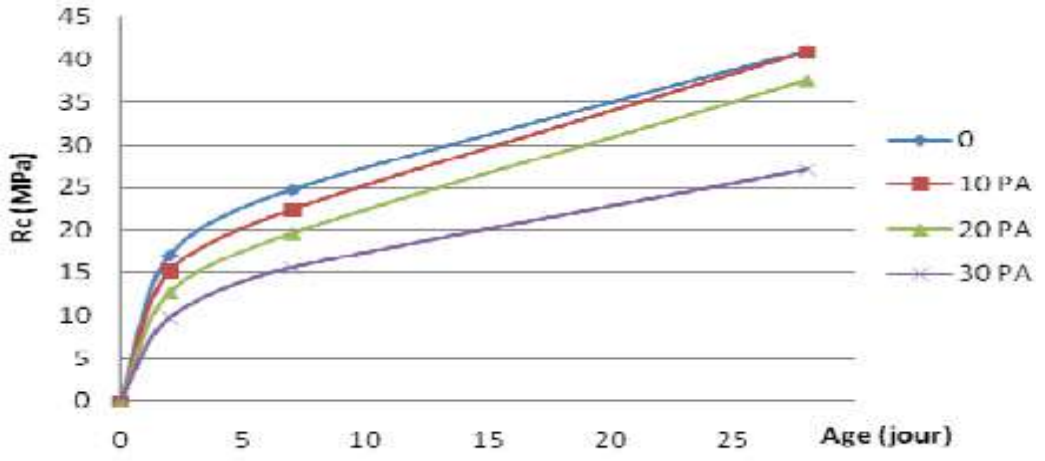


FIGURE I-14 EVOLUTION DE RC DES PA EN FONCTION DE L'AGE [23]

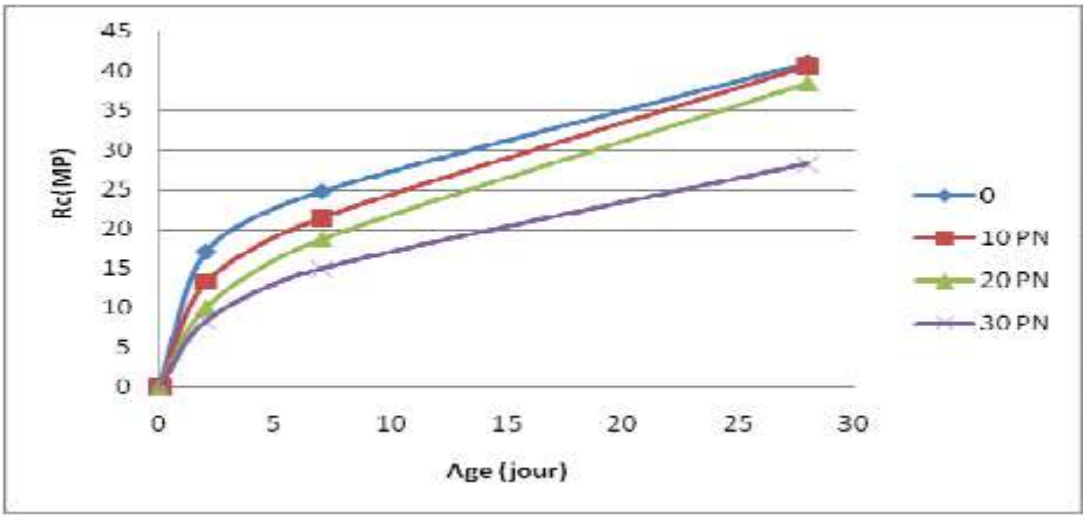


FIGURE I- 15 EVOLUTION DE RC DES PN EN FONCTION DE L'AGE**[23]**

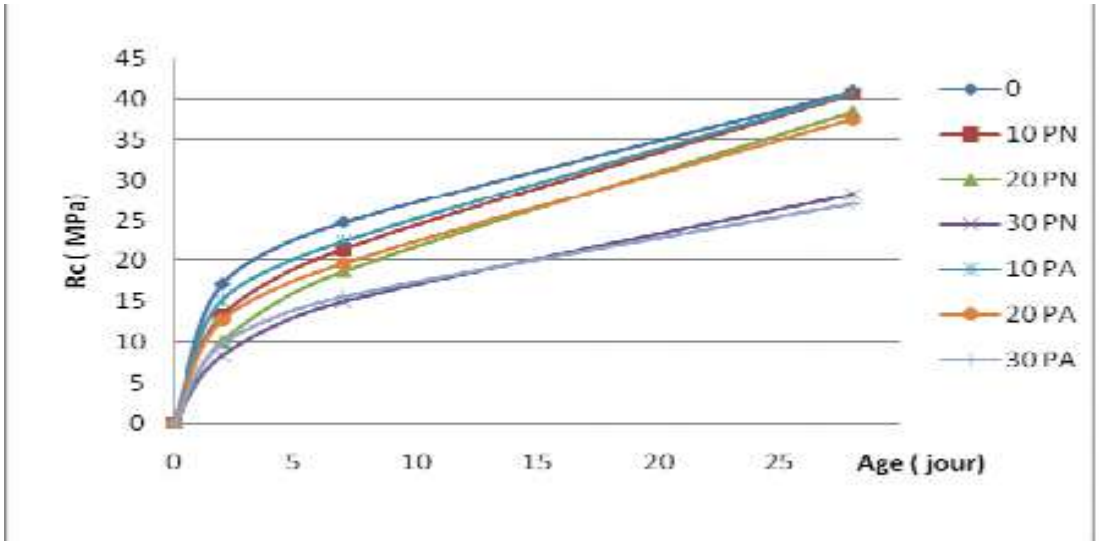


FIGURE I- 16 EVOLUTION DE LA RESISTANCE MECANIQUE DES DIFFERENTS MORTIERS (PA ET PN) EN FONCTION DE L'AGE. **[23]**

Mokhtaria Benkaddour, Fatiha Kazi Aoual, Abdelaziz Semcha, ont remarqué les commentaires suivants ;

1- Les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute.

2-La résistance à la compression diminue considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'ajout au jeune âge surtout à 2j, 7j et 28 jours. A titre d'exemple, un remplacement du ciment par 30% de PA (la vase calcinée) diminue la résistance à la compression de 41.68%, 26.31% et 19.74% à 2j,7j et 28 jours respectivement, aussi la substitution de 30% de PN diminue la résistance à la compression de 36.68%,6.16% et 24.45% à 2j,7j et 28 jours respectivement. Ces résultats sont prouvés par (Ghrici et al ,2005) et (Boumediene, 1999).

− La résistance à la compression de 10PA et de 10PN rejoint celle du T à 28 jours, nous recommandons de comparer leurs comportements à plus long terme.

3- La différence de la résistance à la compression des mortiers qui contiennent de 10% à 30% de la pouzzolane naturelle et ceux qui contiennent de 10% à 30% de la vase calcinée ne dépasse pas 5% quel que soit l'âge

Cette diminution de la résistance est attribuée principalement à l'activité lente de la pouzzolane naturelle et pouzzolane artificielle (la vase calcinée). Ce phénomène s'explique par l'interaction entre la silice réactive qui se situe dans la partie vitreuse de la pouzzolane naturelle et artificielle et le ça (OH) 2 libérés par l'hydratation du CPA ce qui donne à la pouzzolane naturelle et artificielle la propriété de fixer la chaux. La réaction pouzzolanique n'est pas prédominante au jeune âge, ceci mène à une hydratation moins intense aux jeunes âges en induisant de faibles résistances (effet de retardateur de prise).

MOURAH Mohamed El Amine a étudié aussi L'effet de pouzzolane sur les comportements mécaniques de mortier, remplaçant partiellement le poudre de pouzzolane (5 ,10, 15 et 20 %) par de ciment, ils ont obtenu les résultats suivants :

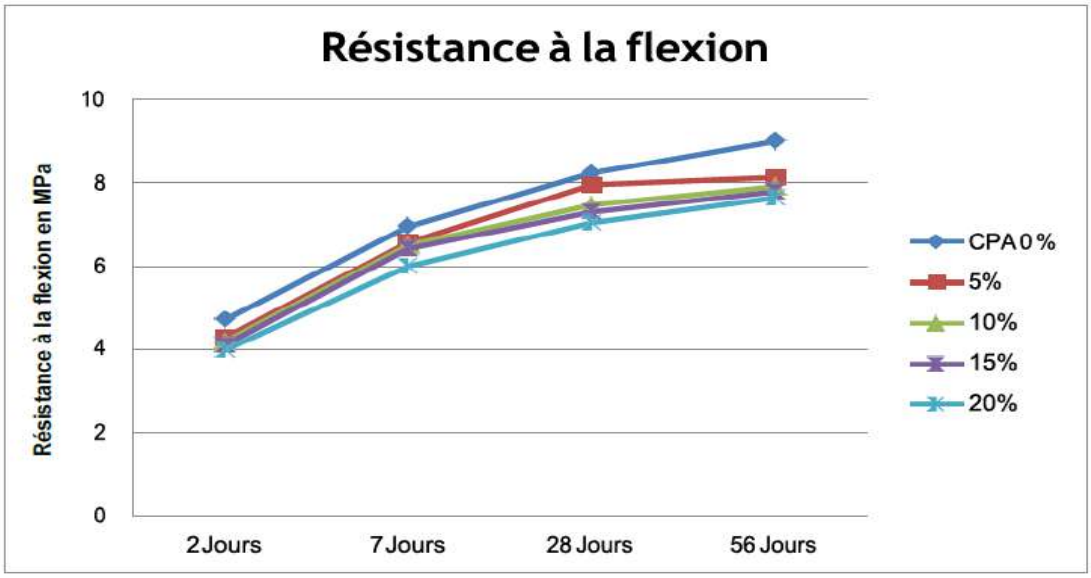


FIGURE I- 17 VARIATION DE LA RESISTANCE A LA FLEXION EN FONCTION DU % DE POUZZOLANE. [23]

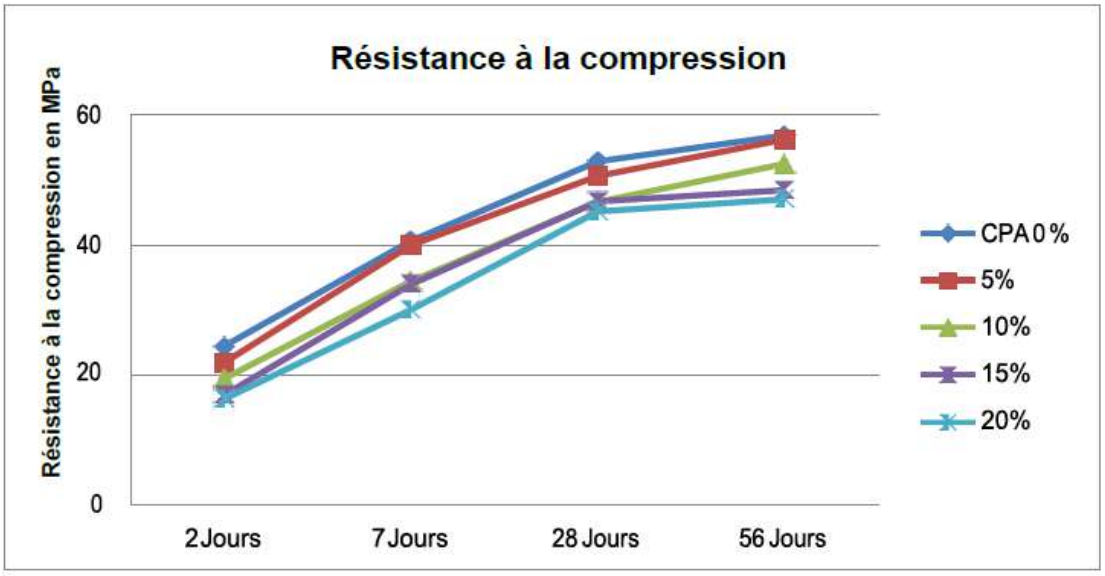


FIGURE I- 18 VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU % DE POUZZOLANE. [23]

L'examen de ces courbes montre que, les résistances mécaniques augmentent avec L'âge,

Un mortier confectionné à partir d'un ciment composé de 20 % en pouzzolane peut atteindre des résistances à la compression satisfaisant les normes ; on a trouvé une résistance de 45,16 MPa qui est bien supérieure à celle (42,5 MPa) de la norme. (Figure I- 17 et Figure I-18)

I.6.5 Poudre de céramique

Amr s. El-dieb et dima M. Kanaan **[24]** ont étudié la céramique dans le ciment le but est Évaluer l'aptitude de la poudre de céramique à être utilisé dans le béton comme ingrédient alternatif. La poudre de céramique sera utilisée comme remplacement de ciment dans des mélanges de béton à différents dosages pour évaluer son effet sur les propriétés du béton à état frais et durci. (A), la poudre de déchets en céramique sera utilisée comme remplacement de ciment avec un remplacement de masse différente (0, 10, 20, 30 et 40%)

La poudre de déchets de céramique a été obtenue à partir du processus de polissage des produits céramiques finaux d'une usine de céramique à Abu Dhabi, aux EAU. La poudre céramique a été livrée sous forme de poudre humide telle que produite en usine. La poudre de céramique livrée a été séchée dans un four à 110 ° C pendant 24 heures.

A. A l'état frais

1) D'affaissement

Les valeurs initiales d'affaissement avec le temps sont illustrées à la Figure I- 19. Le mélange de Témoin a atteint une valeur d'affaissement de 110 mm À mesure que le niveau de remplacement de la poudre de céramique augmentait, la valeur de l'étalement initial diminuait, à l'exception du niveau de remplacement de 10%. Cela pourrait être attribué à la surface spécifique élevée de la poudre céramique par rapport à celle du ciment qui est environ 1,5 fois celle du ciment. Les valeurs d'affaissement ont diminué avec le temps en raison de l'hydratation du ciment. Pour le mélange témoin, l'affaissement a atteint « zéro » après 45 minutes. Il a été observé que pour les mélanges contenant de la poudre de céramique, la perte d'affaissement a diminué (c'est-à-dire que la rétention d'affaissement a augmenté), les valeurs d'affaissement ont atteint « zéro » à environ 90 minutes, ce qui indique une bonne rétention d'affaissement. Cela pourrait être attribué au fait que la poudre de céramique a peu de réaction hydraulique en raison de sa très faible teneur en CaO et sa réaction est principalement pouzzolanique, par conséquent, ne consommera pas d'eau au début du mélange, mais sa réaction sera à un âge plus avancé. **[24]**

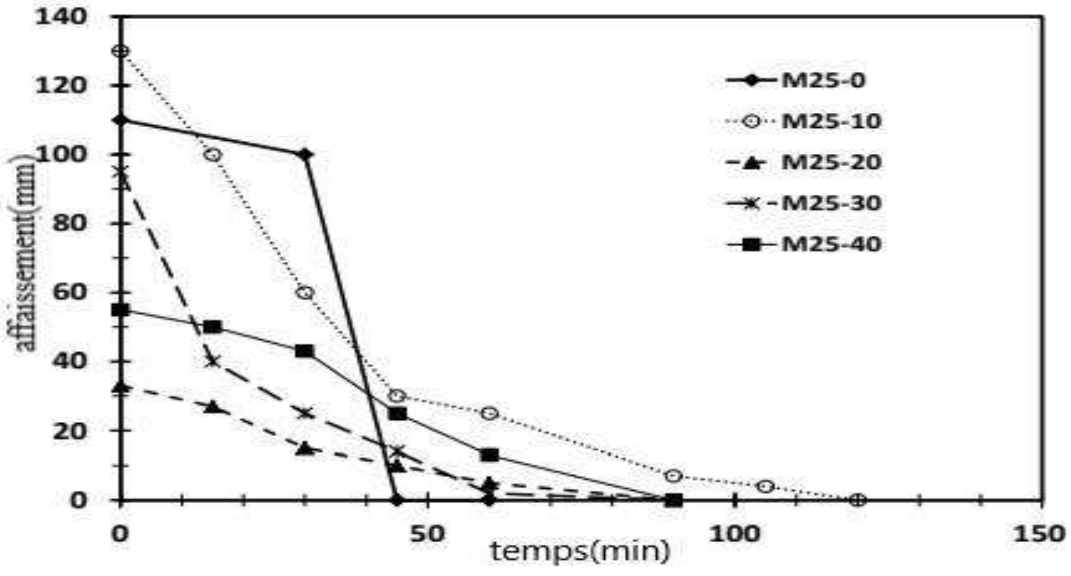


FIGURE I- 19 PERTE D'AFFAISSEMENT AVEC LE TEMPS.**[24]**

2) Temps de prise :

L'utilisation de poudre de céramique comme remplacement partiel de ciment a influencé le temps de prise du béton du mélange de béton en montrant un retard modéré. L'influence sur le temps de prise initial n'était pas significative car elle l'était sur le temps de prise final. Les mélanges avec poudre de céramique jusqu'à 30% de remplacement ont montré un retard de prise final de 20 à 30 minutes par rapport au mélange témoin, tandis que le mélange avec 40% de poudre de céramique a montré un retard de 78 minutes du réglage final, Il convient de le souligner que l'ajout de poudre de céramique a augmenté la quantité de matières fines dans les mélanges, de sorte que la teneur et le taux de purge de ces mélanges ont été réduits. Avec la réduction des saignements et la prise retardée, des fissures de retrait plastique modérées ont été observées. **[24]**

B. A l'état durci

1) Résistance à la compression :

Les propriétés du béton durci sont données dans le tableau 1-2. L'ajout de poudre de céramique a augmenté la résistance à la compression de 28 jours par rapport au mélange témoin. Les résultats à une force de 7 jours pour un pourcentage de poudre de céramiques élevé étaient inférieurs à ceux du mélange témoin, ce qui pourrait être dû au fait que le poudre de céramique n'a pas de réaction hydraulique pour contribuer à la force du jeune âge, plutôt que sa réaction pouzzolanique contribue à la force de 28 jours. **[24]** les résultats sont représenté dans le Tableau I- 2

TABLEAU I- 2 LA RESISTANCE DE COMPRESSION EN FONCTION TEMPE [24]

	PDC %	Résistance 7 j (mpa)	Résistance 28 j (mpa)
M25-0	0%	19.6	22.7
M25-10	10%	20.4	27.8
M25-20	20%	19.6	26.8
M25-30	30%	17.2	25.5
M25-40	40%	15.6	25.0

Dans d'autres travaux Fellah Fatma Zohra et Louifi Fatima Zahra **[25]** on utilise les déchets de céramique broyés sous frome poudre comme ajout l'addition de déchet de céramique broyés (DCB) est varié de 0 à 25 % avec un pas de 5 % le résultat de cette étude montre que L'augmentation du pourcentage de déchet de céramique broyé ajouté conduit à une augmentation de la résistance en traction au court terme et à long terme. Ceci indique que l'ajout de déchet de céramique participe l'amélioration de la résistance en traction au jeune âge et à long terme. Pour 25% de déchet céramique l'amélioration est de l'ordre de 30% à 90 jours, ce qui montre l'efficacité de cet ajout à l'amélioration de cette caractéristique. Figure I- 20

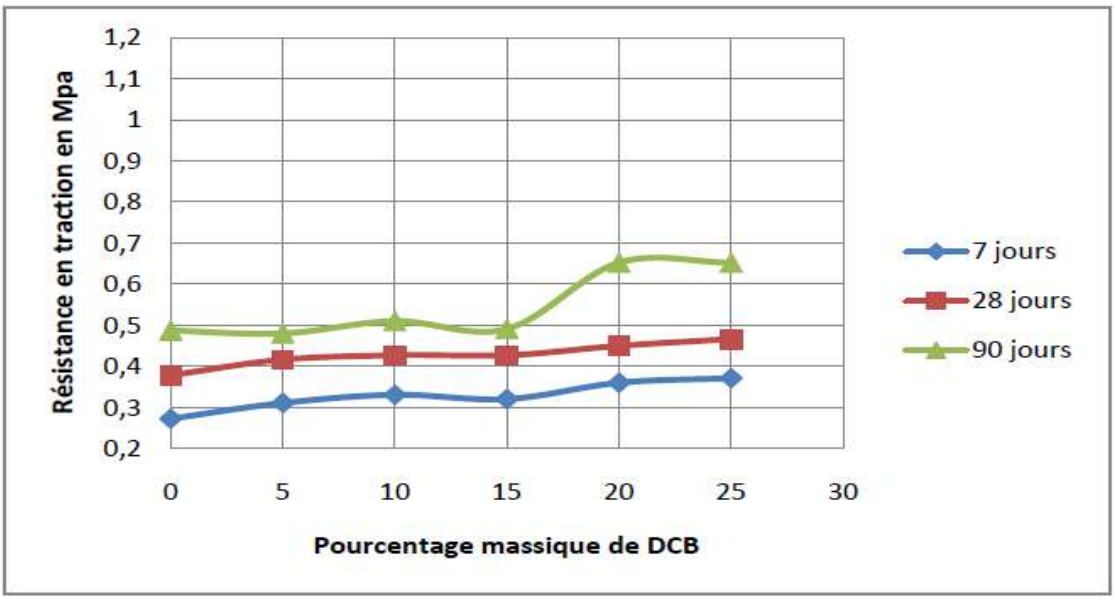


FIGURE I- 20 EFFET DE L'AJOUT (DCB) SUR LA RESISTANCE A LA TRACTION.[25]

Pour la résistance de compression On note les mêmes remarques qui ont été enregistré dans le cas de la traction on constate que, l'augmentation du pourcentage de déchet de céramique broyé ajouté conduit à une augmentation de la résistance en compression à 28 jours et à 90 jours, à 7 jours l'évolution de la résistance en compression n'est pas significative. Ceci indique que l'ajout de déchet de céramique participe à l'amélioration de la résistance en compression à long terme. Pour 25% de déchet céramique l'amélioration est supérieure à 50%, ce qui montre l'efficacité de cet ajout à l'amélioration de cette caractéristique (Figure I- 21).

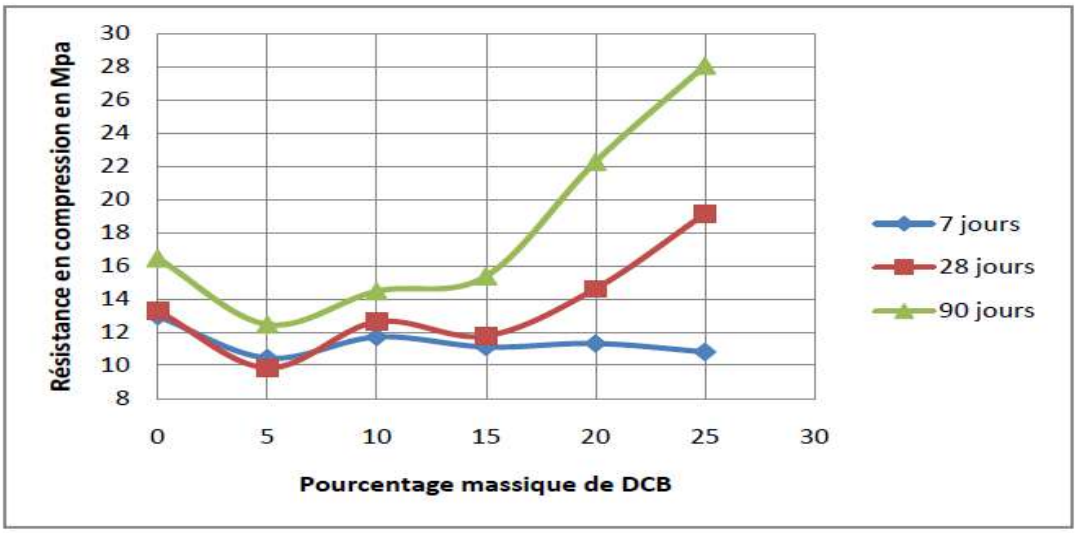


FIGURE I- 21 EFFET DE L'AJOUT (DCB) SUR LA RESISTANCE A LA COMPRESSION.**[25]**

I.7. Activation mécanique :

I.7.1 Définition du finesse Blaine

La surface spécifique (finesse Blaine) permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment. Elle est caractérisée par la surface spécifique ou surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment (norme NF EN 196-6). Elle s'exprime en cm2/g.

I.7.2. Effet de la finesse sur le ciment

L'activation mécanique consiste à augmenter la finesse (surface spécifique) du ciment par broyage. Le broyage a pour but de réduire les éléments en une poudre suffisamment fine afin de rendre la matière plus réactive (plus la surface spécifique est élevée, plus la réactivité chimique est importante). **[26]**

A. Etat frais

A l'état frais, la présence des additions minérales modifie la structure du squelette granulaire et les frictions entre les composants solides dans la phase liquide. Certaines additions peuvent réagir chimiquement en milieu cimentaires pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire**.[27]**

La petite taille des particules du filler calcaire comble les vides interstitiels et augmente la densité de la matière. Par conséquent, l`eau attrapée dans les pores granulaires est libérée ce qui augmente la compacité de la pâte, améliore l`ouvrabilité et diminue la demande en eau **[28]**. D'autre part une augmentation de la finesse offre une ouvrabilité satisfaisante car le clincker adhère mieux au calcaire et la demande en eau diminue par rapport à celle d'un ciment portland pure **[29]**. Aussi la composition chimique d'un ciment est le facteur le plus important

qui influence l'hydratation **[30]** L`utilisation des fillers augmente le taux d`hydratation **[31]**. Le calcaire favorise la cristallisation des monocarbonates plus que les monosulfates et stabilise indirectement l`ettringite **[32]**. Il intervient lors de l`hydratation des C3A pour former carboaluminate et retarde la transformation d'ettringite en monosulfoaluminate, il constitue des sites de nucléation pour les cristaux de l`hydroxyde de calcium au jeune âge de l`hydratation **[33].**

B. Etat durci

Des études réalisées par Didouche zahia1, El-Hadj Kadri, Ezziane Karim[34] ont montré que le broyage a un effet bénéfique sur l'amélioration des propriétés mécaniques du ciment. L'augmentation de la finesse améliore la réactivité du clincker par conséquent une meilleure résistance à la compression est obtenue. (Figure I- 22)

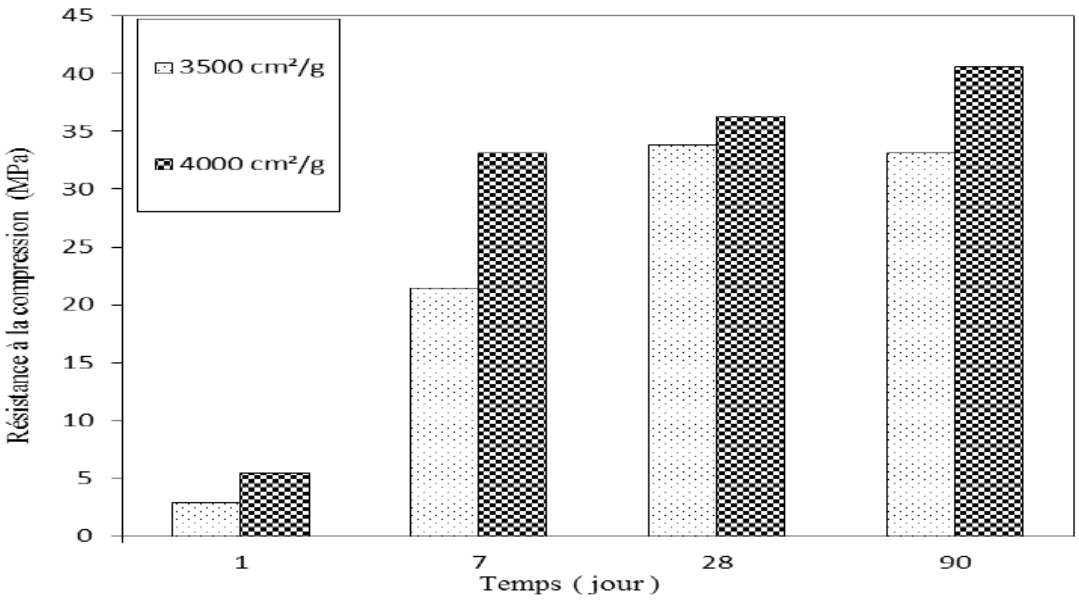


FIGURE I- 22 EFFET DE LA FINESSE DU CIMENT SUR LA RESISTANCE MECANIQUE DES MORTIERS [34]

I.7.3. Effet de la finesse sur les additions

A. Poudre de brique

Ouzadid.S et al .**[35]** Ont valorisé les déchets de la brique cuite dans le mortier autoplaçant ,Le ciment a été remplacé par le recyclage de la poudre de brique dans différentes proportions (0, 5, 10, 15 et 20%) en poids de ciment. Trois finesses Blaine (SSB) ont été utilisées dans cette étude (3900, 4300 et 5200 cm² / g)

Ouzadid.S et al **[35]** ont observé que le temps d'écoulement augmente avec l'augmentation du dosage d'ajout de PBR. (Figure I- 23).

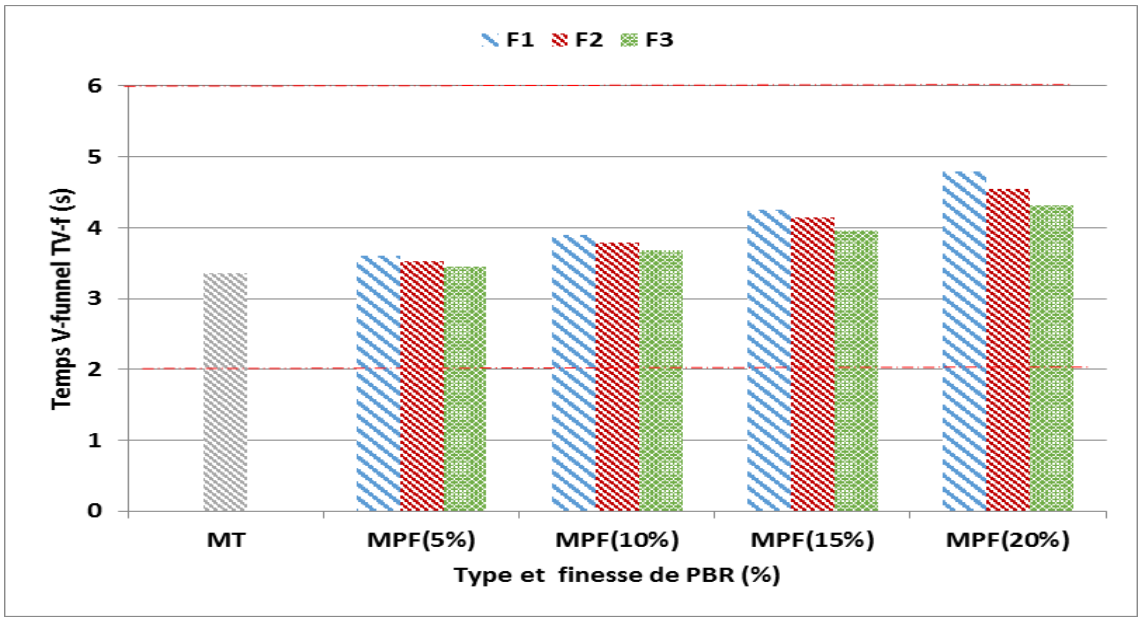


FIGURE I- 23 LE TEMPS D'ECOULEMENT DE MORTIER A BASE DE PBR **[34]**

La variation de la résistance à la compression des mortiers à base de poudre de brique PBR de 3900g/cm^2 comme surface spécifique (SSB) et ont trouvé que l'évolution de la résistance suit la même cinétique ; pour les différents âges optimums de résistance pour le mélange qui contient 5% de substitution qui donne une amélioration de la résistance de 2% à court terme et environ 4%à long terme, au-delà de cette valeur ont constaté une diminution environ 25% à court terme et 14% à long terme. Donc à partir de ces résultats ont dit que le déchet de brique de cette finesse a une faible réaction pouzzolaniques**.[35] (**Figure I- 24).

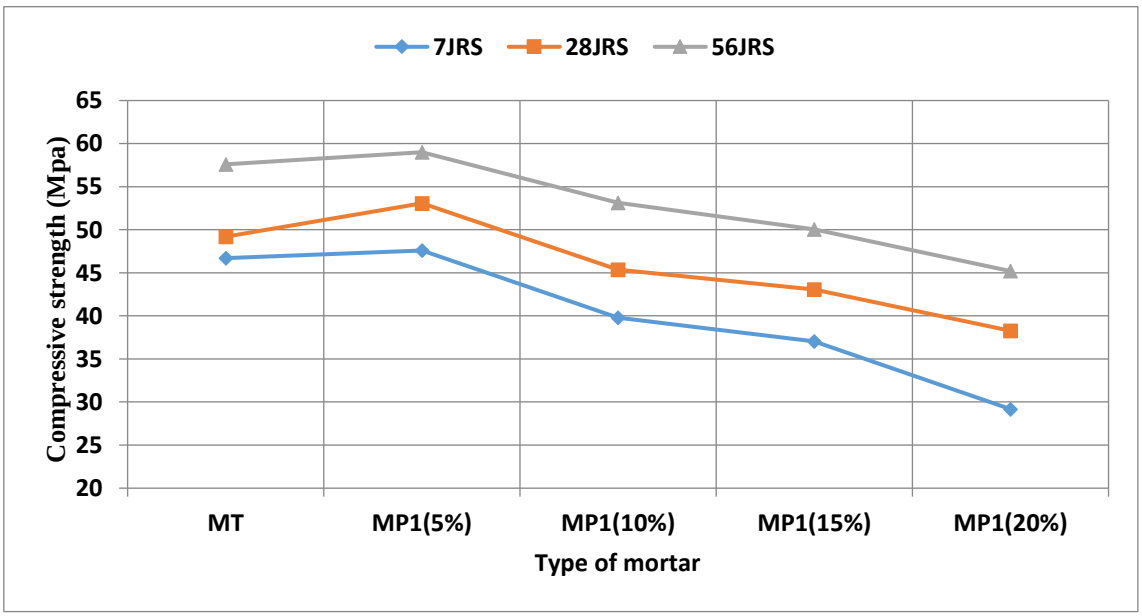


FIGURE I- 24 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE SUBSTITUTION EN POUDRE DE BRIQUE F1=3900CM2/G**[35]**

Le même constat a été enregistré pour les mélanges à base de 4300g/cm^{2,} sauf qu'à long terme la résistance a été meilleure que le mortier témoin par les dosages de 5,10 et 15%. À cette étape ont dit que la réaction pouzzolaniques est améliorée en fonction de l'augmentation de la surface spécifique. Ils ont obtenu des améliorations de la résistance de l'ordre de 7%. (Figure I- 25). **[35]**

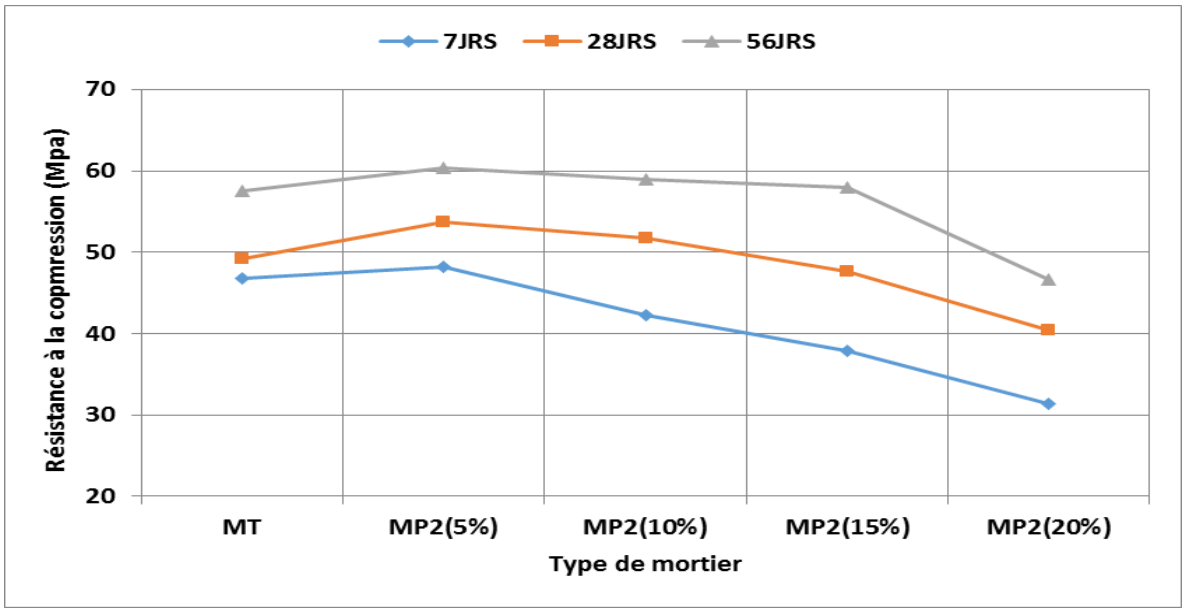


FIGURE I- 25 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE SUBSTITUTION EN POUDRE DE BRIQUE F2=4300 CM2 /G[35]

Concernent la troisième finesse la même cinétique a été enregistré ; obtenu des améliorations de l'ordre de 13% à long terme cela confirme que plus la finesse augmente plus la résistance augmente, cette augmentation est due probablement à l'augmentation de la réaction pouzzolaniques et l'amélioration de la compacité en fonction de l'amélioration de SSB. Ont remarqué que la résistance augmente en fonction de l'augmentation de finesse et présente la même cinétique au cours du temps. Sur la base, plus la finesse augmente plus la résistance à la compression augmente. Figure I- 27 **[35]**

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence Ciment-Granulats. Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers autoplaçant avec l'âge et fonction du taux de substitution de PBR, et permettre la comparaison avec les MT.(Figure I- 26) **[35]**

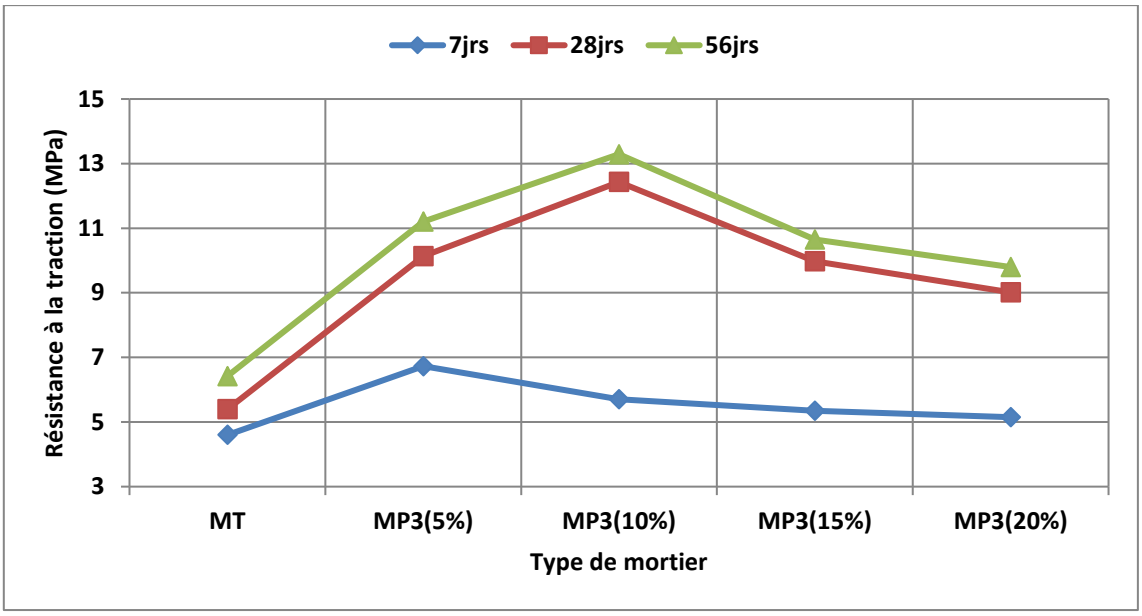


FIGURE I- 26 LA RESISTANCE A LA TRACTION EN FONCTION DE SUBSTITUTION EN POUDRE DE F3=5200CM2 /G **[34]**

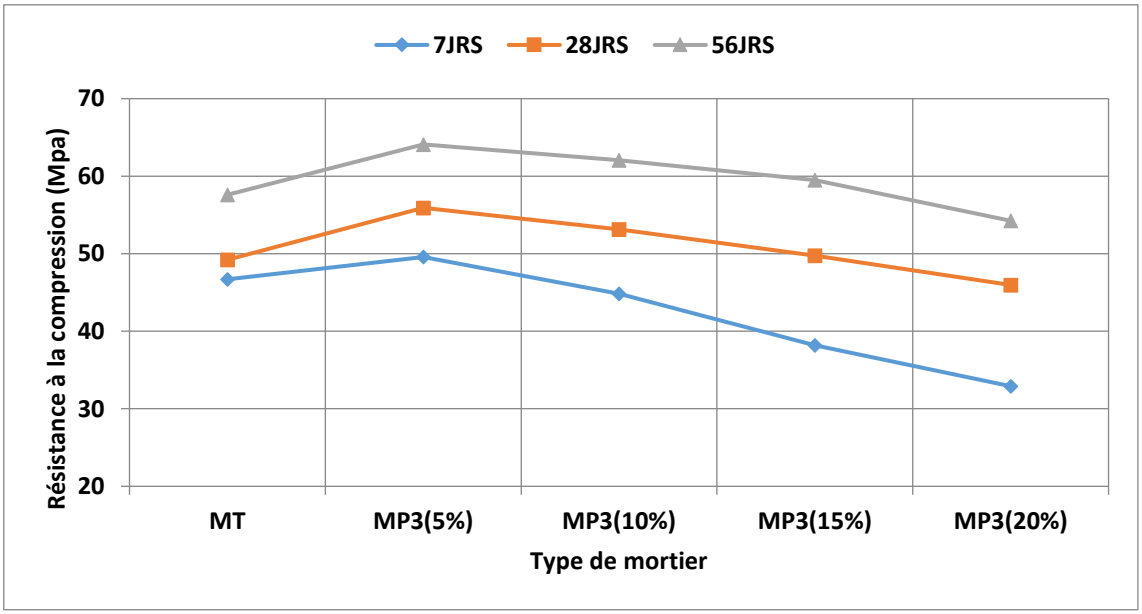


FIGURE I- 27 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE SUBSTITUTION EN POUDRE DE BRIQUE F3=5200CM2 /G**[35]**

B. Poudre de verre

Nara.Y et Guenchouba.D **[36]** ont travaillé l'influence de la finesse de poudre de verre avec trois surfaces spécifiques différentes (PV30, PV45 et PV70) sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers à base des ciments dans cette travaille en remplaçant une quantité de ciment portland (CEM) par un ajout de poudre de verre.

Dans cette étude utilisé une poudre de verre provient du broyage des déchets de verre. Avec trois surfaces spécifiques (SSB) : 3000 cm2/g (PV30), 4500 cm2/g (PV45) et 7000 cm2/g (PV70) comme un remplaçant de ciment à différents pourcentages (10% et 20%).

A l'état frais On remarque que l'augmentation de la teneur en verre dans les ciments augmente la demande en eau.

Lorsque la finesse de la poudre de verre augmente, la consistance diminue et la demande en eau augmente (Figure I- 28).

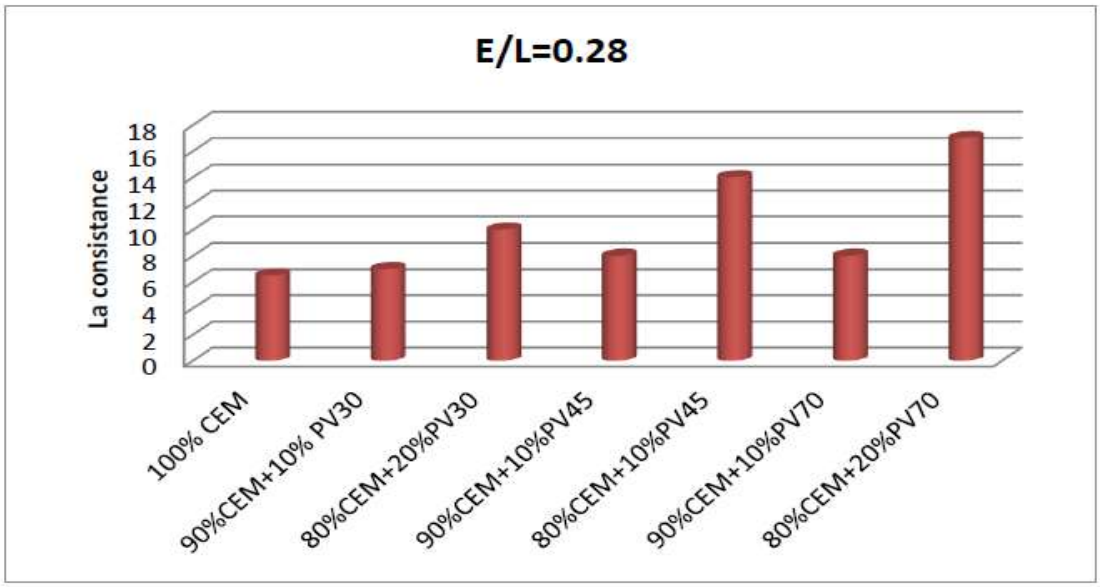


FIGURE I- 28 LA CONSISTANCE NORMALISEE DES CIMENTS EN FONCTION DU POURCENTAGE DE LA POUDRE DE VERRE[36]

A l'Etat durci Les résultats des essais mécaniques obtenus pour les différentes éprouvettes des mortiers après 2 et 28 jours de durcissement sont présentés dans la Figure I- 29.

Ces résultats montrent que l'addition progressive de la poudre de verre dans le ciment jusqu'à 20%, a entrainé une légère diminution des résistances mécaniques par rapport à celle du témoin au jeune âge et à long terme. Ces résistances sont comparables avec celle du mortier témoin.

Les mortiers élaborés avec 10% de poudre de verre développent des résistances légèrement supérieures par rapport à celle du mortier témoin au jeune âge et à long terme.

Cette augmentation est en fonction de la finesse de la poudre de verre, et l'optimum s'obtient Pour 10% de (PV70). **[36]**

Cette amélioration de la résistance peut être expliquée par l'effet physique et chimique de la poudre de verre. La poudre de verre ajuste la granulométrie du ciment, ainsi elle augmente la compacité de la pâte (effet physique).

Elle présente une réaction pouzzolanique avec les produits d'hydratation du clinker Pour former des CS-H denses responsables de la résistance. (Effet chimique) **[36]**

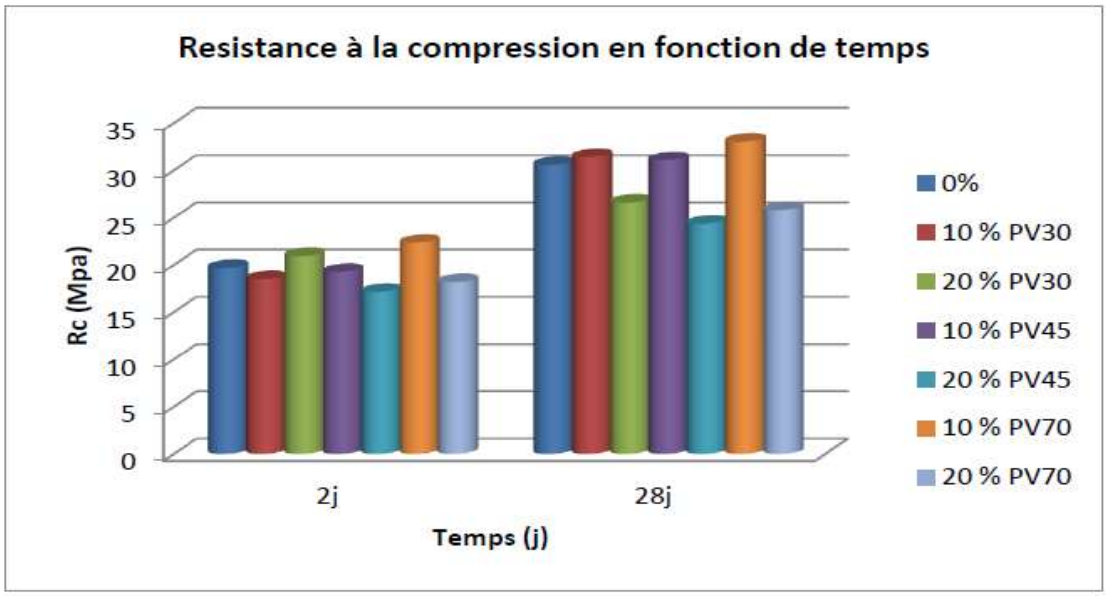


FIGURE I- 29 EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DES MORTIERS EN FONCTION DE TEMPS. [36]

L'évolution de la résistance à la flexion des mortiers confectionnés selon les différentes Combinaisons CPA / PV est présentée à Figure I- 30

Ils ont remarqué que, à 28 jours, l'incorporation de la poudre de verre à des taux de 10 % augmente nettement la résistance à la flexion des mortiers, ceci est du probablement à la finesse de la poudre de verre qui a augmenté la réaction pouzzolanique pour former des C-S-H supplémentaires et la combinaison (90% CPA/10% PV70) semble la plus efficace. **[36]**

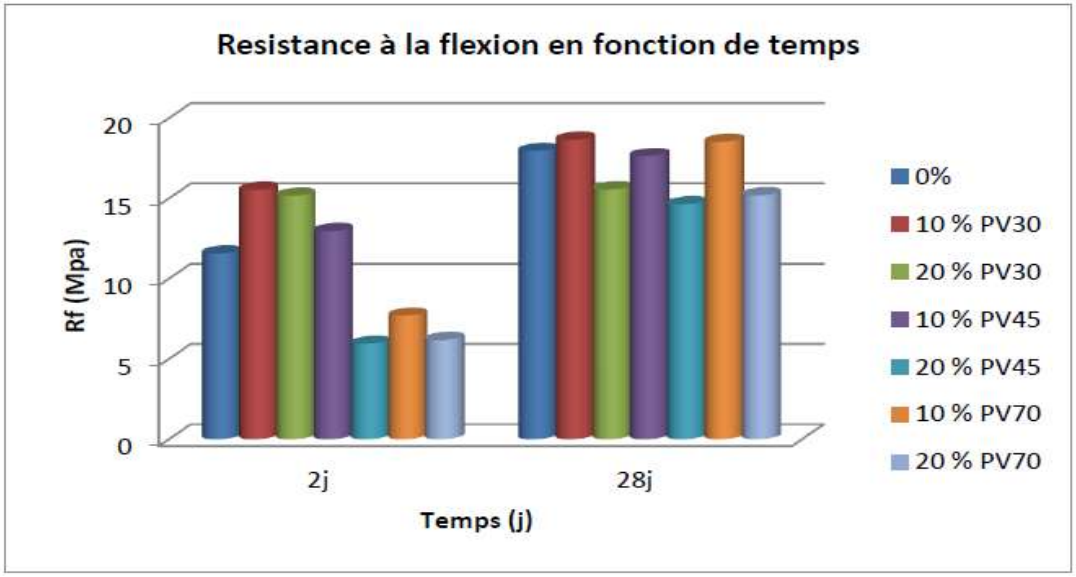


FIGURE I- 30 EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA FLEXION DES MORTIERS EN FONCTION DE TEMPS. [36]

I.8. Activation chimique

L'activation chimique consiste à incorporer des produits spécifiques dans le mélange cimentaire a l'état frais afin de favoriser la dissolution de l'addition minérale, généralement le liant hydraulique (C.P.J. ciment portland composé) est activé par différentes solutions alcalines, telles que. L'hydroxyde de sodium (NaOH) et l'hydroxyde de potassium (KOH) à différents pourcentages en faisant varier la molarité de la solution basique. **[37]**

Les activant chimiques (accélérateurs de prise et de durcissement) utilisés sont des produits solubles dans l'eau. Ils agissent chimiquement en modifiant les vitesses de dissolution des constituants anhydres et en accélérant l'hydratation des grains de ciment. La prise est alors plus rapide et s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus important.

Ce sont surtout :

- Des alcalis (soude. NaOH, potasse. KOH) pour la prise,
- Des chlorures de calcium ($CaCl_2$) pour le durcissement.

La prise du ciment est généralement lente, l'ajout des activant chimiques et le broyage plus poussé du ciment présentent des solutions à ce phénomène. **[37]**

I.8.1. Types d'activateurs alcalins

A. Soude (L'hydroxyde de sodium)

L'hydroxyde de sodium, appelé également soude ou soude caustique, est un solide ionique de formule chimique NaOH. Il se présente généralement sous forme de pastilles, de paillettes ou de billes blanches, corrosives et hygroscopiques. Il est très soluble dans l'eau. Il s'agit d'un produit chimique extrêmement courant.

Aujourd'hui, 99 % de la soude produite est d'origine électrochimique. La soude est obtenue par électrolyse du chlorure de sodium NaCl. Elle s'obtient pour le moment majoritairement par une électrolyse avec cathode de mercure. Cette opération produit en même temps du chlore, de la soude et de l'hydrogène. **[38]**

Lorsque l'hydroxyde de sodium sous forme solide est mélangé avec de l'eau, la température du mélange augmente jusqu'à atteindre une température proche de celle du point d'ébullition de l'eau, risquant ainsi de provoquer des éclaboussures dangereuses.

La soude caustique est irritante et corrosive pour la peau, les yeux, les voies respiratoires et digestives. Elle doit être manipulée avec des gants, des lunettes de protection et une protection

du visage (visagière) et une protection des voies respiratoires si présence de poussière ou d'aérosol**.[38]**

Ainsi, l'utilisation de soude implique de fortes contraintes industrielles en termes de sécurité et de protection de l'environnement.**[38]**

Du point de vue environnemental, la production de NaOH contribue aussi au réchauffement climatique. Selon P. Duxson et al **[39]**, une tonne de NaOH produite, émet environ une tonne de CO2. Quant à [Turner et Collins, 2013], ils estiment à 1,9 tonne la quantité de CO2émis par une tonne de NaOH produite. Cependant, en raison de la très faible quantité de NaOH nécessaire pour activer les matériaux, son impact environnemental est négligeable par rapport à la quantité de ciment nécessaire pour élaborer des bétons à base de ciment Portland ordinaire. Dans la Figure I-31 on montre les étapes du cycle de vie pour la production de NaOH.**[39]**



FIGURE I- 31 *ÉTAPES DU CYCLE DE VIE CONSIDEREES POUR LA PRODUCTION DE NAOH* [40]

B. Carbonate de sodium

Le carbonate de sodium est un composé chimique ayant pour formule Na2CO3. Il s'agit d'un sel de sodium de l'acide carbonique. Il peut être sous forme de poudre blanche anhydride avec environ 99% de carbonate de sodium (Na2CO3). Le carbonate de sodium peut être obtenu à partir de sources naturelles ou selon le procédé industriel Solvay (pour environ 74% de la production mondiale) à partir de chlorure de sodium et de craie (calcaire). Il peut, en effet, être obtenu à partir de gisements de natron ou dans les cendres d'algues ou de plantes et peut également être synthétisé en chauffant du bicarbonate de sodium à une température de 100°C. Il a une densité de 2,5 g/cm et sa solubilité dans l'eau est de 300 g/l à 20°C. Le carbonate de sodium peut aussi être sous forme hydraté : (1) le carbonate de sodium monohydrate (Na2CO3·H2O), (2) le carbonate de sodium heptahydrate (Na2CO3·7H2O) et le (3) carbonate de sodium décahydrate (Na2CO3·10H2O). La formation de chaque hydrate dépend de la concentration de la solution du carbonate de sodium et de la température. La solubilité augmente lorsque la température augmente jusqu'à 35,4 °C, puis diminue graduellement.

Lorsque les carbonates de sodium anhydride et hydraté sont dissouts dans l'eau, ils ont des propriétés thermiques différentes. Le carbonate de sodium anhydride et le carbonate de sodium monohydrate dégagent de la chaleur tandis que le carbonate de sodium heptahydrate et le décahydrate absorbe de la chaleur.**[40]**

Le carbonate de sodium est utilisé dans plusieurs domaines d'application, notamment dans la fabrication du verre, d'émail pour la céramique, pour la fabrication de détergents… En raison de ses propriétés basiques, il est aussi utilisé pour l'activation alcaline du laitier**[41, 42]**. Cependant, son utilisation comme activateur de cendres volantes est moins efficace. **[43]**

1.8.2. Effet d'activateurs chimiques

La présence d'activateurs fortement alcalins est indispensable pour que la réaction de géo polymérisation ait lieu. Les activateurs alcalins ont pour fonction d'accélérer la dissolution de la source d'aluminosilicate favorisant la formation d'hydrates stables à faible solubilité et la formation d'une structure compacte avec ces hydrates. Les propriétés physiques et chimiques des activateurs jouent un rôle important dans le comportement du matériau activé. **[44]**

. Les activateurs généralement utilisés sont des hydroxydes ou des sels alcalins, dont les plus utilisés, et économiquement avantageux sont le NaOH, le Na2CO3, Na2OnSiO2 et le Na2SO4. Certains composants du potassium (KOH, K2OnSiO2…) ont été utilisés dans certaines études de laboratoire. Cependant, leur application au niveau industriel est très limitée, en raison de la disponibilité et des coûts.**[44]**

A. Effet de NAOH sur le ciment

Maanane Nafissa **[45]** a étudié Effet de l'activation chimique et mécanique sur les ciments cette partie, elle a pris en considération 2 facteur qui sont le type et le pourcentage d'activant le deuxième facteur est la finesse de ciment.

Deux réponses ont été étudiées dans cette partie afin de bien comprendre le comportement mécanique de mortier après activation chimique et mécanique de ciment, ces réponses sont l'évolution de la résistance mécanique à la compression et à la flexion,

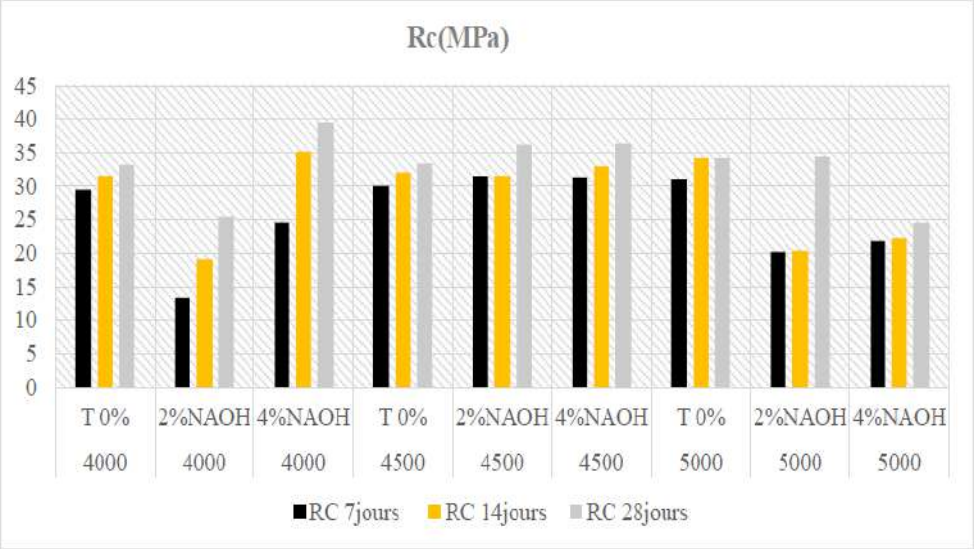


FIGURE I- 32 EVOLUTION DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION A (7,14 ET 28 JOURS) [45]

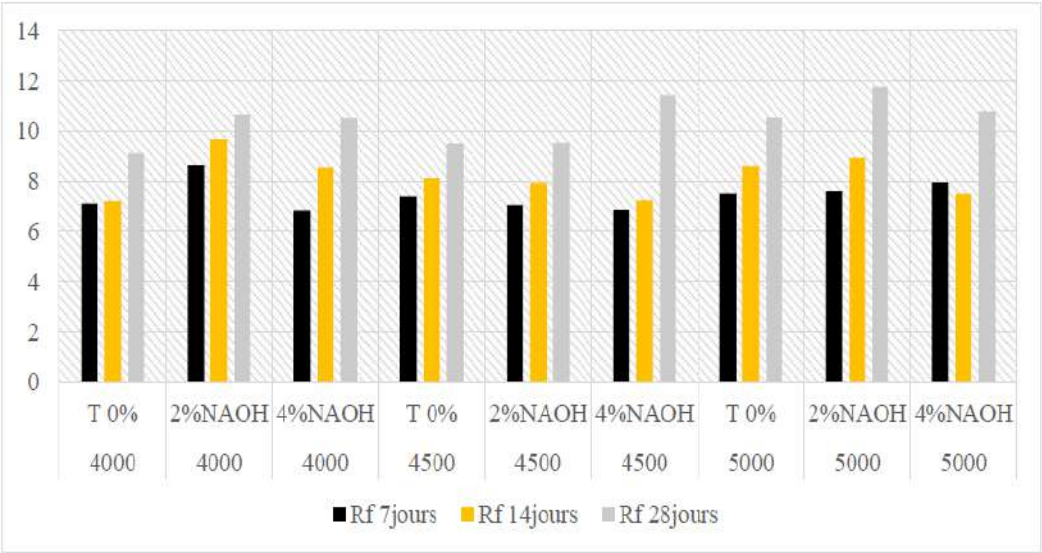


FIGURE I- 33 EVOLUTION DE LA RESISTANCE EN FLEXION A (7,14 ET 28 JOURS).[45]

Les Figure I- 32, I-33 regroupent les résistances à la compression et à la flexion obtenue à 7, 14 et 28 jours pour l'ensemble des mortiers testés.

D'après ces figures, on peut remarquer une augmentation différente de la résistance à la compression et flexion entre 7,14 et 28 jours pour tous les mélanges. Cela peut montrer que la cinétique d'hydratation des mélanges étudié influencé fortement par le dosage activant d'une part et la finesse de ciment d'autre part**. [45]**

Aussi L'activation chimique influe directement sur la résistance mécanique et le délai de prise du liant, cela est due à la présence d'un pH supérieur ou égale à 12 qui favorise la dissolution des constituants du ciment (la présence d'un activeur basique influe directement sur la solubilité des composants du liant), en permettant la formation des hydrates stables et la formation de la structure de la pâte.**[45]**

B. Effet des activateurs alcalins sur les additions

- **Effet de NAOH sur le déchet de brique**

Dans les études de oulde rouise. L et hadjersi. F **[22]** sur le mortier à base de déchet de brique calciné utiles l'activation alcaline (NaOH) améliorer les temps de début et de fin de prise, l'ajout d'un activateur alcalin NaOH avec différentes pourcentage (2%, 4%, 6%, 8%).

A l'Etat frais remarque que l'introduction du NaOH affecte la maniabilité des mortiers frais. Ces résultats confirment que la PBR calcinée absorbe plus d'eau que le PBR (NC) témoin. Aussi, un pourcentage plus élevé du NaOH présente un temps plus augment, ce qui confirme que le NaOH est un activateur de prise (Figure I- 34) **[22]**

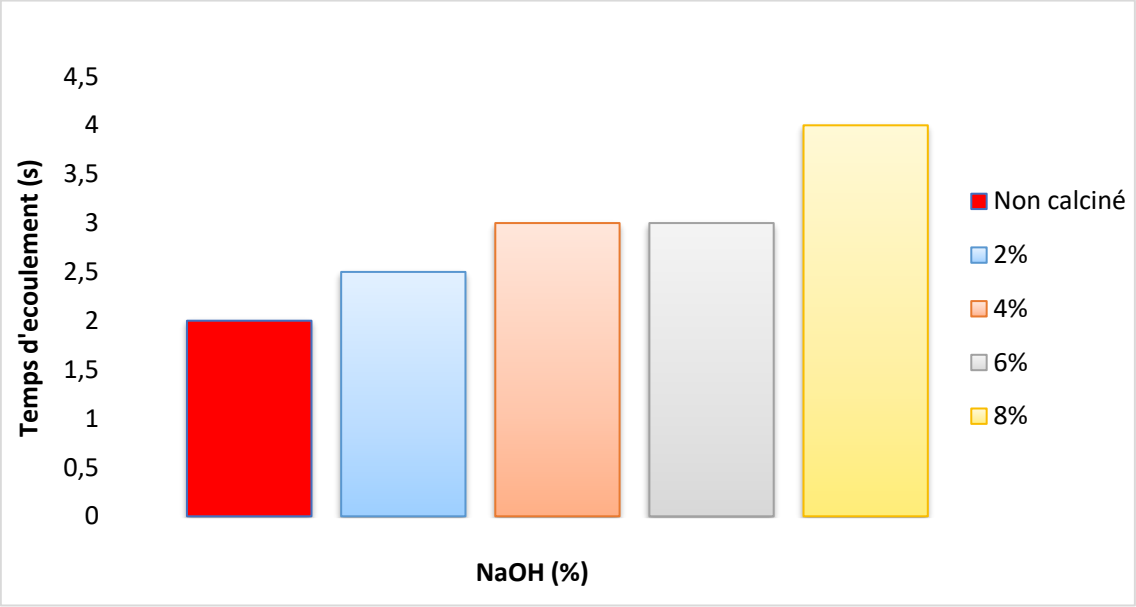


FIGURE I- 34 TEMPS D'ECOULEMENT EN FONCTION DU POURCENTAGE DU NAOH**[22]**

A l'état durci la Figure I- 35 représente les résultats de la traction par flexion des mortiers non calcinés en ajoutant de l'activant alcalin avec des pourcentages de2%,4%,6% et 8%. On constate que plus on augmente le pourcentage du NaOH, la résistance diminue cette variation varie de 7 à 39% à l'Age de 7 jours et de 20% à 45% à l'Age de 28 jours. La réduction de la compacité causée par la formation du sel Na-CH est la principale cause de cette réduction.**[22]**

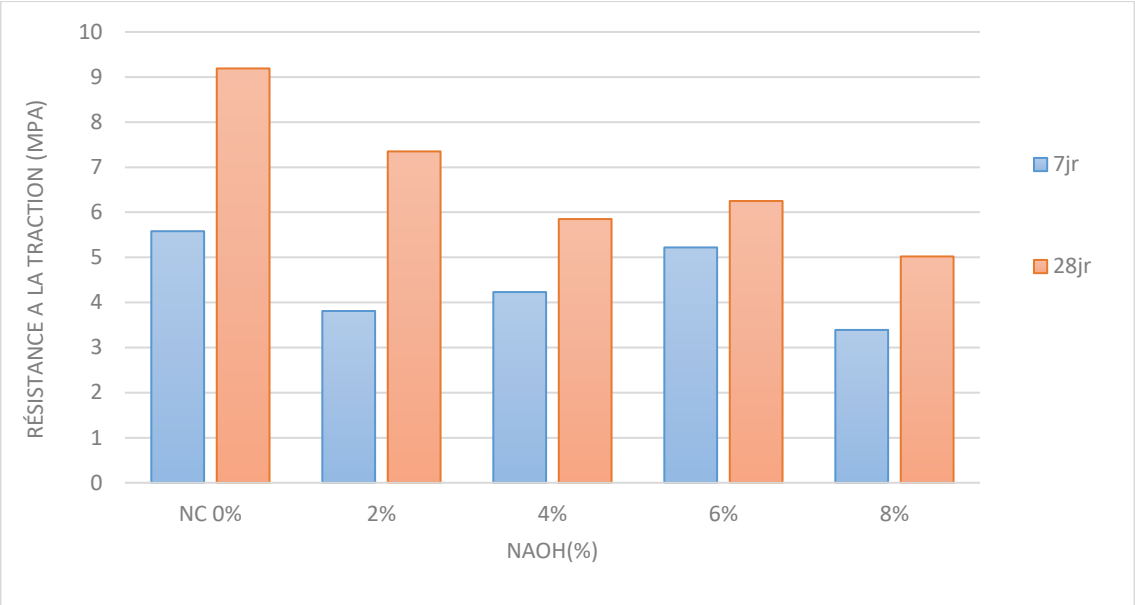


FIGURE I- 35 LA RESISTANCE A LA TRACTION EN FONCTION DE % DU NAOH [22]

Les résultats de la compression de mortier non calciné en ajoutant de l'activant chimique avec des pourcentages de2%,4%,6% et 8%. On constate que si on utilise le NaOH avec un pourcentage de 2%, la résistance est améliorée de 29% à 7 jours et de 09 % à 28 jours, Le NaOH joue donc le rôle d'un catalyseur à jeun âge et développe une résistance importante par rapport au mortier sans NaOH. Après 28 jours l'effet du NaOH. (Figure I- 36) **[22].**

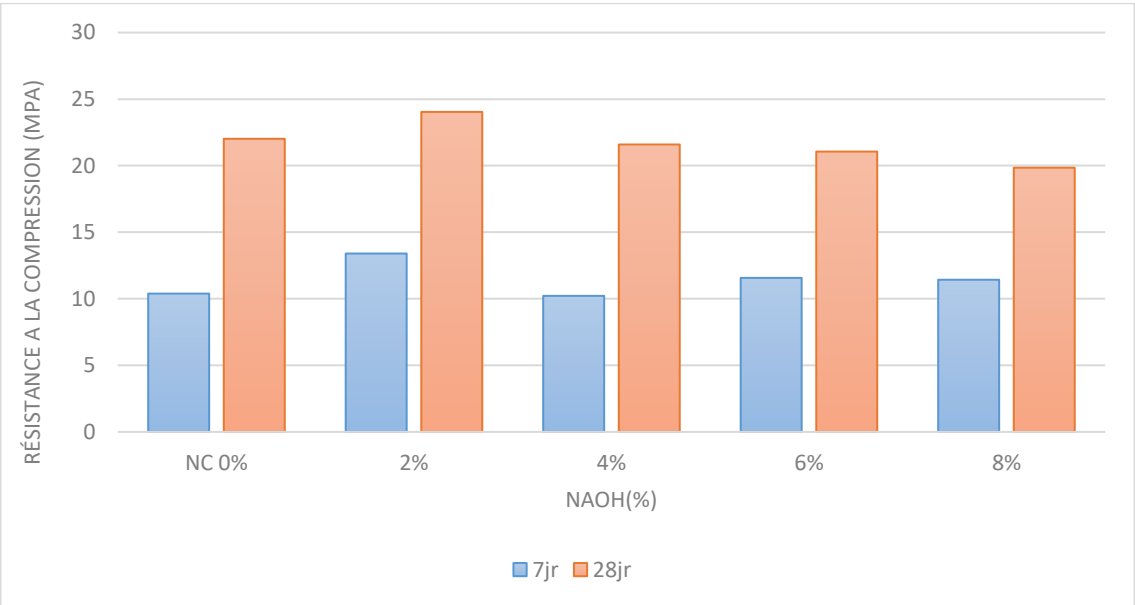


FIGURE I- 36 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE % DU NAOH.[22]

- **Effet de NAOH et NA2CO3 sur laitier**

L. Zeghichi, B. Mezghiche1, A. Merzougui **[46]** ont étudié l'influence de l'activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons, Dans cette partie le composant alcalin utilisé est le carbonate de sodium (Na2CO3) et la soude (NaOH) en tant qu'activant du laitier avec une densité de 1,25g/cm3.

La Figure I- 37 représente l'évolution de la résistance en compression du béton activé par Na2CO3 aux différents âges de durcissement naturel.

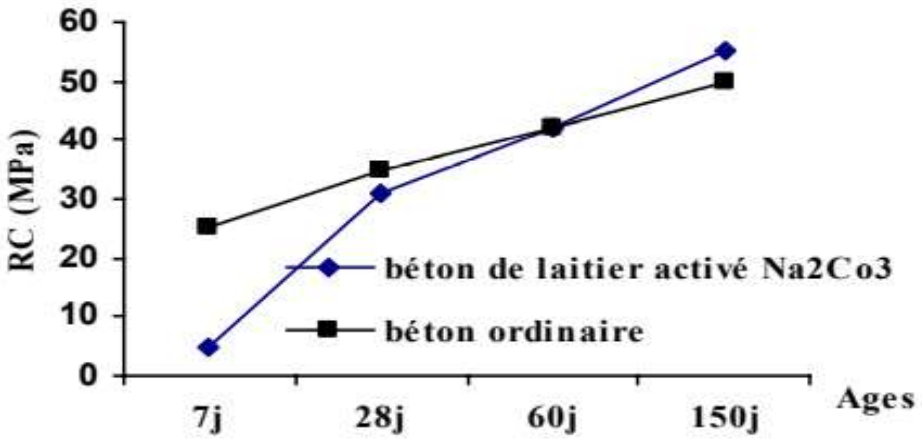


FIGURE I- 37 L'EVOLUTION DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION DU BETON.**[46]**

D'après Figure I- 2, l'activation alcaline du laitier améliore nettement la résistance à long terme. Les résistances obtenues par activation alcaline sont équivalentes à celles obtenues à partir d'une activation par le CPA de 70%.**[46]**

L'augmentation de la résistance est due à la formation des silicates de calcium en grande quantité, ce qui conduit à la réduction de la taille des pores dans la pâte de ciment.**[46]**

La Figure I- 38 exprime l'évolution de la résistance mécanique en compression à 28 jours de durcissement suivant la nature de l'activant utiliser.**[46]**

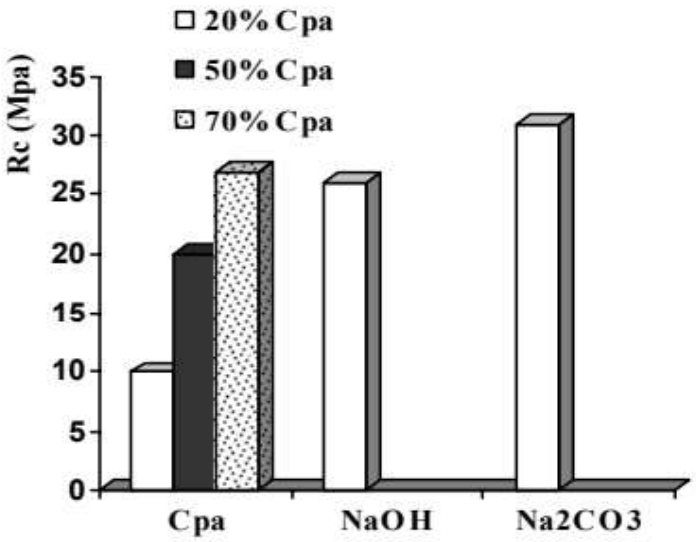


FIGURE I- 38 RESISTANCE EN COMPRESSION DU BETON A 28J EN FONCTION DES ACTIVANT UTILISES.**[46]**

De la même manière on a présenté la résistance mécanique en traction par fendage à la Figure I- 39, afin d'estimer la qualité du béton à base du laitier activé.

A partir de cette figure on remarque que les bétons à base de laitier activé présentent une résistance en traction meilleure par rapport à celle du béton ordinaire ; cela est dû à la bonne adhérence entre le granulat et la matrice du ciment.

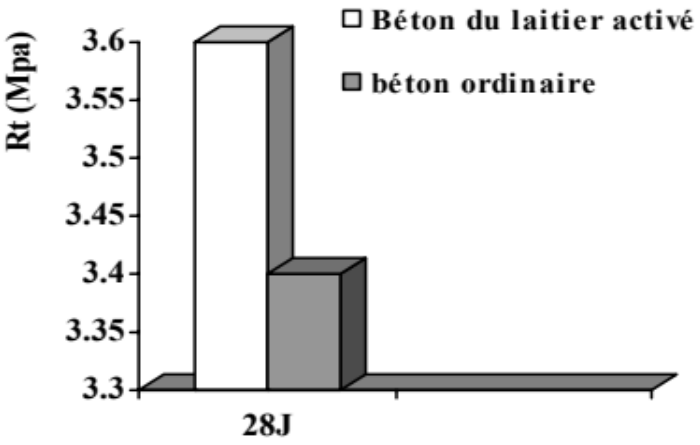


FIGURE I- 39 RESISTANCE EN TRACTION PAR FENDAGE DU BETON AU LAITIER ACTIVE.**[46]**

A travers de la synthèse bibliographique on a étudié l'effet de l'activation mécanique et chimique de la poudre de céramique ; le protocole expérimental proposé sera détaillé dans chapitre II matériaux et essais.

Chapitre II

Matériaux et essais





Dans cette partie expérimentale, nous proposons une nouvelle démarche pour formuler le Mortier ordinaire (MO) à base des déchets de céramique, nous étions obligés de réalisé un certain nombre d'essais pour la détermination des caractéristiques des matériaux utilisés et leurs propriétés, d'autre part la détermination de la formulation doit être définie avec le plus grand soin possible à travers la détermination des différents paramètres agissant sur la formulation d'un mortier à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- Les dosages en sable, ciment, eau et déchets de céramique.
- Le rapport Eau/liant (E/L).

Pour répondre aux différentes questions de cette étude, quatre familles de mortier ont été réalisés. La nomenclature choisis est représentée dans le tableau suivant (Tableau II-1) :

TABLEAU II- 1 DIFFERENTS COMPOSITIONS UTILISEES DANS LA RECHERCHE

Notation	Désignation
MT	M Témoin
MT-PDC-X%	Mortier à base de poudre de céramique recyclé (PDC) avec trois finesses • SSB= 3900, 5200, 6500 (cm^2/g) • PDC% : différents pourcentages utilisés. (10, 15,20, 30, et 30%)
MT-PDC-N %	Mortier ordinaire à base de poudre de céramique • N% : Le pourcentage du NaOH (2,4 ,6 et 8%)

II.1. Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection des mortiers, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

II.1.1. Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) **(**Figure II.1), est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA 442] **[47].** Le tableau II- 2 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment.

TABLEAU II- 2 L'ANALYSE CHIMIQUE DU CIMENT ET COMPOSITION DU CLINKER

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Hypothétique du Clinker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

Voir la fiche technique en <annexe A > pour avoir plus de détaille sur ce ciment



FIGURE II. 1 LE CIMENT UTILISE (ANNEXE A)

II.1.2. Sable

Pour cette étude nous avons utilisé un sable de (oued Souf) avec module de finesse environ 2.35 dont leurs caractéristiques sont représentées dans le TableauII-3. La Figure II.2 représente la courbe granulométrique du sable utilisé.

TABLEAU II- 3 PROPRIETES PHYSIQUES D'IDENTIFICATION DES SABLES UTILISES

Caractéristiques			**Normes**
Provenance	Oued souf		
Classe granulaire	0/3		NF EN 933-1[**53**]
Module de finesse De sable	2.36		
Masse volumique Absolue (g/cm3)	2.65		NF EN 1097-6[**54]**
Masse volumique Apparent (g/cm3)	1.58		NF EN 1097-3 [**55**]
Equivalent de sable (%)	A vue=83.96%	A piston =70.37%	NF EN 933-8[**56]**
Taux d'absorption total d'eau (%)	0.5%		

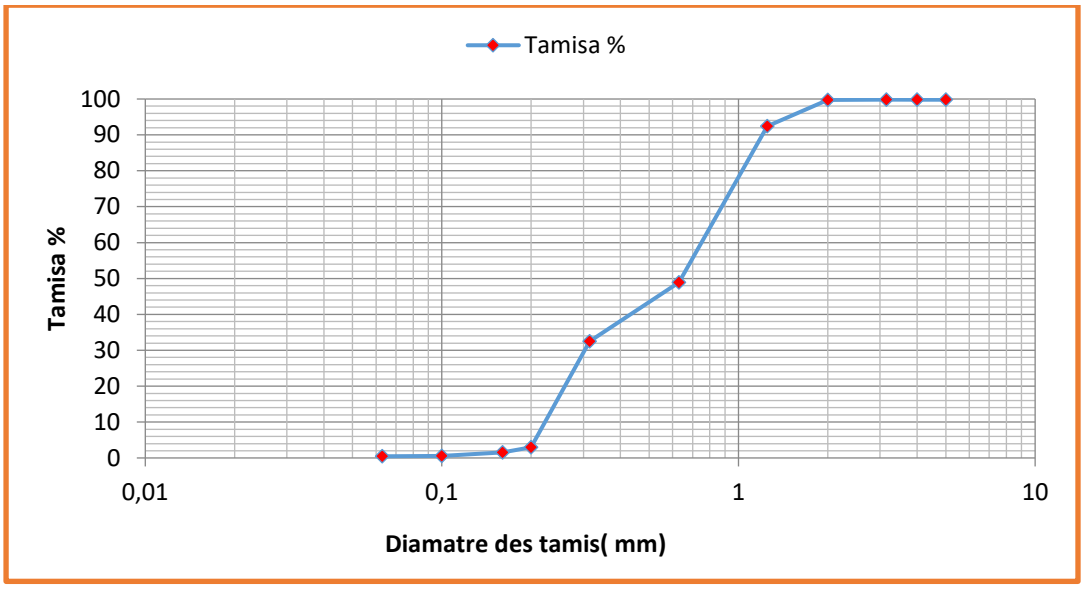


FIGURE II. 2 COURBE GRANULOMETRIQUE DE SABLE UTILISE

II.1.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des mortiers est celle du robinet considéré comme potable, exempte de toute impureté nuisible au mortier et conforme à la norme [NF EN 1008]. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.1.4 Déchets de céramique :

Le déchet de céramique utilisé dans le travail est obtenu à partir de déchet de construction (lavabo).

II.1.4.1 Recyclage et caractérisation des déchets de céramiques

Notre travail consiste une méthode pour le recyclage des déchets de céramique qui est résumé comme suit :

A- Poudre de céramique recycle (PDC)

1. Concassage :

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figureII.3) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm

La figure II.3montre les étapes précédentes



FIGURE II. 3 PROTOCOLE DE CONCASSAGE DES DECHETS DE CERAMIQUE.

2. Broyage :

Dans ce travaille nous avons fixé 3 une finesse selon la norme [NFP15-476] suivant un protocole de broyage indiqué par la suite :

- **PDC 3900(cm^2/g)** : Cette finesse est obtenue à travers un broyage dans la machine de los Angeles avec 600 tour et tamisage dans le tamis 80µm
- **PDC 5200(cm^2/g)** : Cette finesse est obtenue à travers un broyage des fines brutes avec une vitesse de 800 tr/min pendant 10 min.
- **PDC 6500(cm^2/g)** : Cette finesse est obtenue à travers un broyage des fines brutes avec une vitesse de 800 tr/min pendant 20 min.

B- Surface spécifique de céramique broyée

Les céramiques utilisées se présentent sous forme de poudre finement broyées. La finesse d'un ciment est généralement exprimée par sa surface massique : C'est la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre.

La surface massique est généralement exprimée en cm^2 de surface des grains de céramique par gramme de poudre. L'objectif de l'essai est d'apprécier cette surface.

❖ **Principe de l'essai**

L'essai a pour but de calculer le débit d'air susceptible de passer à travers la poudre. Plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps t mais par l'air pour Traverser la poudre est longue ; dans les conditions normalisées décrites, la surface est Proportionnelle à √t.

L'appareille utilisée pour déterminer la finesse de poudre est appelée rméabilimètre de Blaine à mesure de temps automatique selon EN 196-6 et ASTM C204
Détection des niveaux par des cellules photo-électriques. Figure II. 4



FIGURE II. 4 MACHINE DE SURFACE SPECIFIQUE DE BLAINE

Après la mise en place de la cellule remplie de son échantillon de ciment, il suffit de presser le bouton départ pour que la pompe électrique d'aspiration se mette en marche et que l'essai commence.

A la fin automatique de l'essai, le temps de passage s'affiche et restera maintenu jusqu'au nouvel essai. Appareil monobloc constitué d'un ensemble manométrique, avec tube en « U » et cellule de Ø 12,7 mm, fixé sur un boîtier de commande électronique avec son compteur LCD au 1/100 -ème de seconde.

Et après afficher la tempe de passage de l'Aire En déduire la surface spécifique par la formule suivante :

$$S = \frac{K}{\rho}\frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)}\frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0{,}1\eta}} \quad (cm^2/g)$$

Les déférant surface spécifique de poudre utilisé :

SSB (1) = 3900 cm2/g

SSB (2) = 5200 cm2/g

SSB (3) = 6500 cm2/g.

II.2. Formulation des mortiers

II.2.1. Mortier Témoin

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériau du gâchée, afin d'obtenir un mortier avec des propriétés souhaitées.
Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des déchets de céramique issues du forme (PDC) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un mortier.
Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment et eau, nous nous sommes basés la méthode normalisée de formulation d'un mortier normal (S/C = 3 et E/C = 0,5), les différentes compositions sont présentées dans le tableau II-4

II.2.2. Mortiers à base de déchets recyclés

Pour l'ensemble des mortiers à base de déchets recyclés, les rapports S/C et E/C sont fixés à 3 et 0,5 respectivement et correspond au mortier témoin.

Le mortier à base de déchet est fabriqué (MT-PDC-X**%**), en faisant substituer une partie du poids de ciment par une quantité similaire en poudre de céramique comparé au mortier témoin. Les taux de remplacement des poudres recyclées, sont choisis de 10% à 40 % .(tableau II-4**)**

TABLEAU II- 4 LES COMPOSANTES DES MORTIERS FORMULES A BASE DES DECHETS DE CERAMIQUE

Type de mortier	Substitution (%)	Ciment (Kg)	Sable0/3 (Kg)	Eau (Kg)	Déchets de céramique(kg)
MT	**0**	0,450	1,350	0.270	0
SSB (1)	**10**	0,405	1,350	0.270	0,04286
	15	0,3825	1,350	0.270	0,06428
	20	0,360	1,350	0.270	0,08571
	30	0,315	1,350	0.270	0,12857
	40	0,270	1,350	0.270	0,1714
SSB (2)	**10**	0,450	1,350	0.270	0,04286
	15	0,405	1,350	0.270	0,06428
	20	0,3825	1,350	0.270	0,08571
	30	0,360	1,350	0.270	0,12857
	40	0,315	1,350	0.270	0,1714
SSB (3)	**10**	0,450	1,350	0.270	0,04286
	15	0,405	1,350	0.270	0,06428
	20	0,3825	1,350	0.270	0,08571
	30	0,360	1,350	0.270	0,12857
	40	0,315	1,350	0.270	0,1714

II.3. Séquence de malaxage du mortier

Pour la confection des mortiers, nous avons utilisé un malaxeur de 5 litres de capacité (Figure II. 5). Le mortier normalisé est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme en vigueur NF EN 196-1.



FIGURE II. 5 SEQUENCE DE MALAXAGE DU MORTIER ORDINAIRE

II.3.1. Mortier à base de poudre de céramique (PDC) sans activateur alcalin

Les mortiers ont été préparés suivant la norme NF EN 196-1. Avec une gâchée qui comporte : 450± 2 g de ciment, 1350 ± 5 g de sable et 225± 1g d'eau. Le rapport E/C est égal à 0.5.

TABLEAU II- 5 MODE DE MALAXAGE DU MORTIER A BASE DE PBR SANS ACTIVATEUR ALCALIN

Tableau II.4 :	**Durée**	**Etat du malaxeur**
Introduction du ciment + PDC	15 s	Arrêt
Malaxage	30s	Vitesse lente
Introduction d'eau	15s	Vitesse lente
Malaxage	30s	
Introduction du sable	30s	Vitesse lente
Malaxage	30s	Vitesse rapide
Raclage de la cuve +Repos	1 min 30 s	
Malaxage	60s	Vitesse rapide

II.3.2. Mortier à base de PDC avec activateur (NaOH)

L'optimisation du pourcentage du NaOH consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour assurer des performances meilleures à l'état durci. On a varié le pourcentage du NaOH de 4% à 8 %, avec un pas de 2%, en fixant le rapport E/C= 0,50.

La séquence de malaxage suit les étapes suivantes **:**

TABLEAU II- 6 MODE DE MALAXAGE DU MORTIER A BASE DE PBR AVEC ACTIVATEUR

Opérations	**Durée**	**Etat du malaxeur**
Broyage (PDC+NaOH)	4min	
Introduction du ciment + PDC+NaOH	15s	Arrêt
Malaxage	30s	Vitesse lente
Introduction d'eau	15s	
Malaxage	30s	Vitesse lente
Introduction du sable	30s	
Malaxage	30s	Vitesse rapide
Raclage de la cuve +Repos	1 min 30 s	
Malaxage	60s	Vitesse rapide



FIGURE II. 6 HYDROXYDE DE SODIUM (NAOH)

II.4. Préparation et Conservation des Eprouvettes

La préparation des éprouvettes (40X40X160 mm^3) du mortier normal effectuée selon la norme EN 196-1**[48].**

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (40X40X160 mm^3). Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier. Le moule

métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveaupar60chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.



FIGURE II. 7 MOULAGE ET CONSERVATION DES D'EPROUVETTES PRISMATIQUES.

Après le démoulage d'échantillons ont laissé pendant 24 heures pour sécher relativement, après cette période, nous mettons les échantillons, dans le bac d'eau à une température de 20±2°C.

II.5. Les essais sur les mortiers

II.5.1 Etat frais

II.5.1.1. Consistance normale (EN 196-3) :

La pâte de ciment est essentiellement constituée d'eau et de ciment, vis-à-vis de ces deux éléments sa composition est définie par le rapport E/C. Dans ce rapport E et C représentent les concentrations d'eau et de ciment exprimées en masse pour un volume unité de pâte. La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Un essai normalisé permet d'apprécier cette consistance.

L'essais de consistance est effectué avec l'appareil de Vicat conformément à la norme EN196-3, la consistance est évaluée ici en mesurant L'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide.la consistance évaluée de cette manière sera appelée « consistance Vicat ».



FIGURE II. 8 CONSISTANCE VICAT

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée. - Si (d) = 6mm ± 1mm, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée). - Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d. d > 7 mm ou d < 5mm), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance

II.5.1.2. Essai de prise (NF P15-473)

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser. Figure II. 9

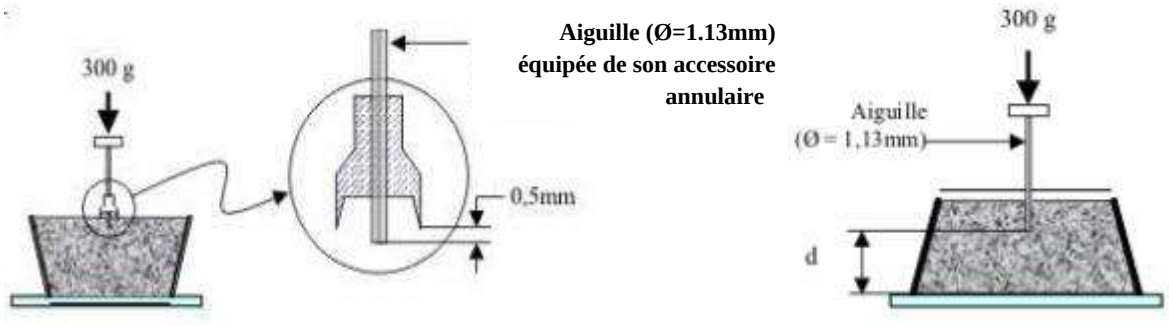


FIGURE II. 9 DETERMINATION DU TEMPS DE PRISE

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance (d = 4 mm ±1 mm) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment selon la norme NF P15-473. De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus que de0, 5mm dans l'anneau. Figure II. 4

II.5.1.3. Maniabilité (NF P18-452et NF P18-437)

❖ **Essais de temps d'écoulement**

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilité LCL, il consiste en un boitier parallélépipédique métallique a des dimension connus, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible. Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place 4 couche, chaque couche étant soumise à6coups au moyen de la tige de piquage,4minute après la fin du malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre, sous l'effet de la vibration le mortier S'écoule, le chronomètre est arrête quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boitier, le temps « t »mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance (Figure II. 10)

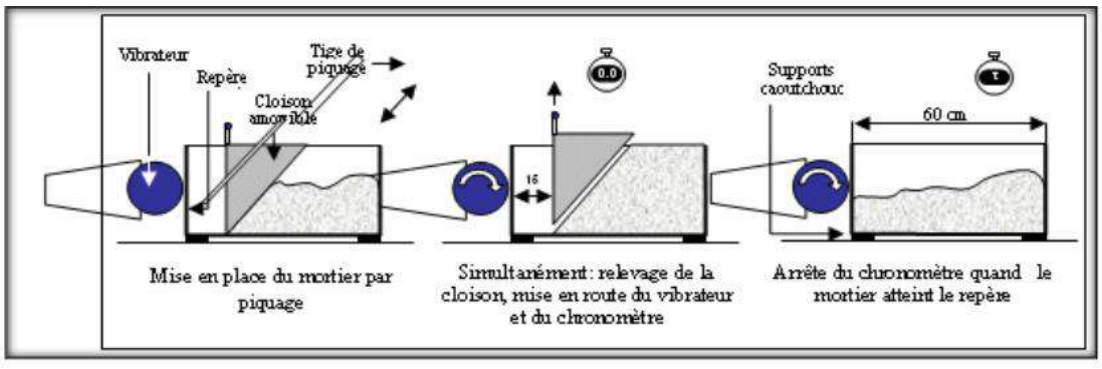


FIGURE II. 10 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MANIABILIMETRE LCPC

II.5.2. Etat durci

II.5.2.1. Résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] [**49**]. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure II.11), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L.

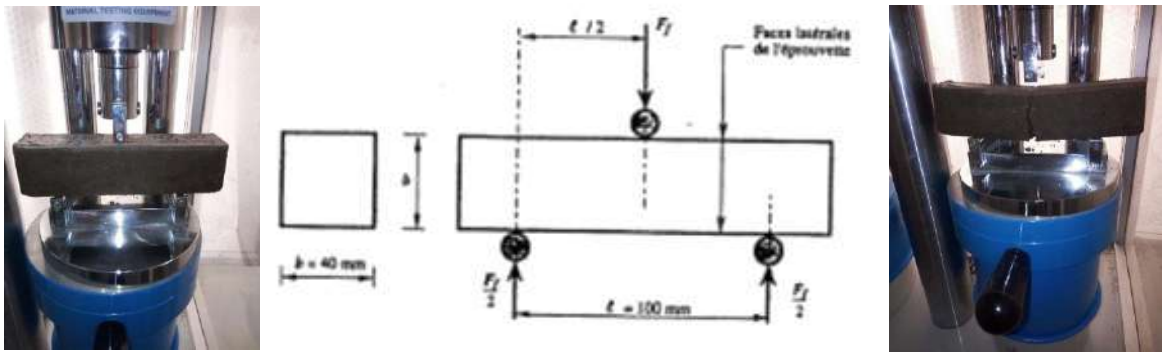


FIGURE II. 11 ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION SUR MORTIER

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $M = \frac{F_f L}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $I = \frac{a^4}{12}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $v = \frac{a}{2}$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{1.5 F_f L}{a^3}$$

II.5.2.2 Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques après rompre en flexion à l'âge de 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (Figure II.12). La

résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (03) demi-prismes des trois éprouvettes.

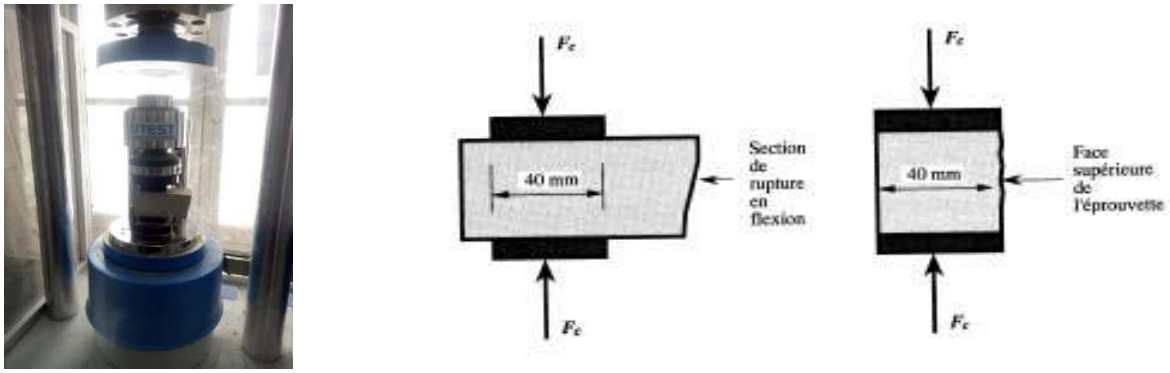


FIGURE II. 12 ESSAI DE COMPRESSION SUR MORTIER

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra : $\sigma_c = \frac{F_c}{a^2}$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$f_{c28}\,(\text{MPa}) = \frac{F_c\,(\text{N})}{1600}$$

II.5.2.3. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18[**50**], dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse(m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5 mm d'eau) (figureII.13)et pendant chaque intervalle de temps(15min,30min,1h,2h,4h,24h)on ressort les morceaux du bac et on les pèse(m_1).Le différent de poids entre $m_1$et $m_0$est le poids de l'eau absorbée(m_1-m_0).

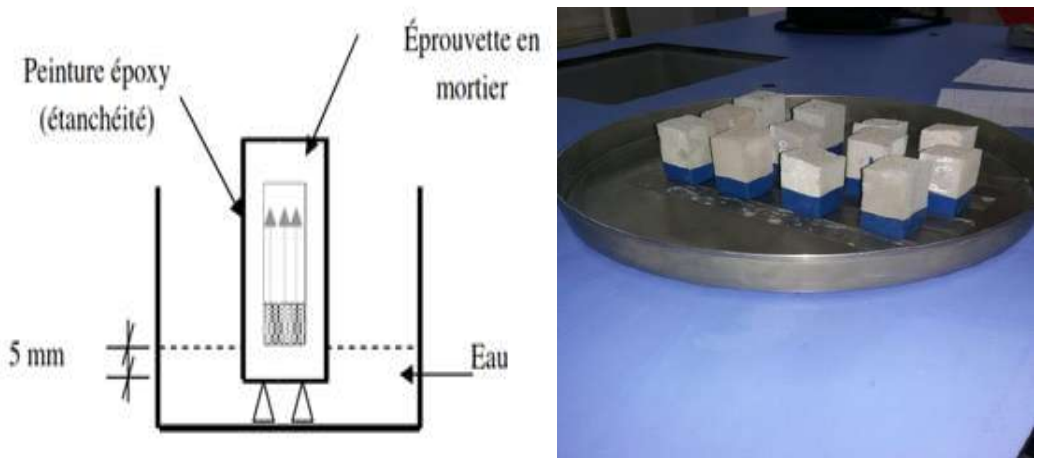


FIGURE II. 13 ESSAI D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE SUR MORTIER

II.5.2.4. Porosité accessible à l'eau

a. Imbibition du corps d'épreuve :

Placer le corps d'épreuve dans un récipient étanche. Une fois le récipient fermé, faire le vide jusqu'à ce que l'on atteigne une pression constante de 25 mbars ; maintenir ce vide pendant au moins 4h. Pour s'assurer que le dégazage des corps d'épreuve est terminé, déconnecter le récipient de la pompe à vide et vérifier à l'aide d'un manomètre que la pression ne remonte pas dans le corps d'épreuve.

Reconnecter le récipient à la lampe à vide et introduire progressivement l'eau d'immersion de façon qu'après 15minutes, le corps d'épreuve soit recouvert d'environ 20 mm d'eau. Maintenir cette pression réduite pendant 20h $\pm$ 1h à 20C°, puis déconnecter la pompe et ouvrir le récipient.

b. Détermination de la masse du corps d'épreuve immergé :

Suspendre le corps d'épreuve à l'aide d'un fil à partir du système de suspension de la balance hydrostatique et le peser complètement immerger dans une certaine quantité d'eau d'immersion contenue dans un bêcher. Mettre le point s'il est utilisé. On obtient ainsi la masse M_{eau} du corps d'épreuve immergé. La pesée doit être effectuée à 0,01 g prés. Déterminer la température de l'eau d'immersion.

c. Détermination de la masse du corps d'épreuve imbibé pesé dans l'air :

Extraire le corps d'épreuve de l'eau et l'essuyer rapidement et rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'une ligne humide, afin de débarrasser des gouttelettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores.

Peser immédiatement le corps d'épreuve dans l'air à 0,01 g prés. S'assurer que l'évaporation de l'eau d'imbibition ne provoque pas de perte de masse appréciable pendant les opérations de l'eau de pesées. On obtient, de cette manière, la masse M_{air} du corps d'épreuve imbibé.

d. Détermination de la masse du corps d'épreuve sec :

Sécher le corps d'épreuve à 105 ± 5C° jusqu'à masse constante, c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées successives, avant et après un séjour de 24 h à l'étuve, ne différent pas de plus de 0,05 %.

Avant chaque pesée, placer l'éprouvette dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'elle atteigne la température ambiante. Les pesées doivent être effectuées à 0,05 g prés.

La masse ainsi déterminée est la masse de l'éprouvette sèche (M_{sec})

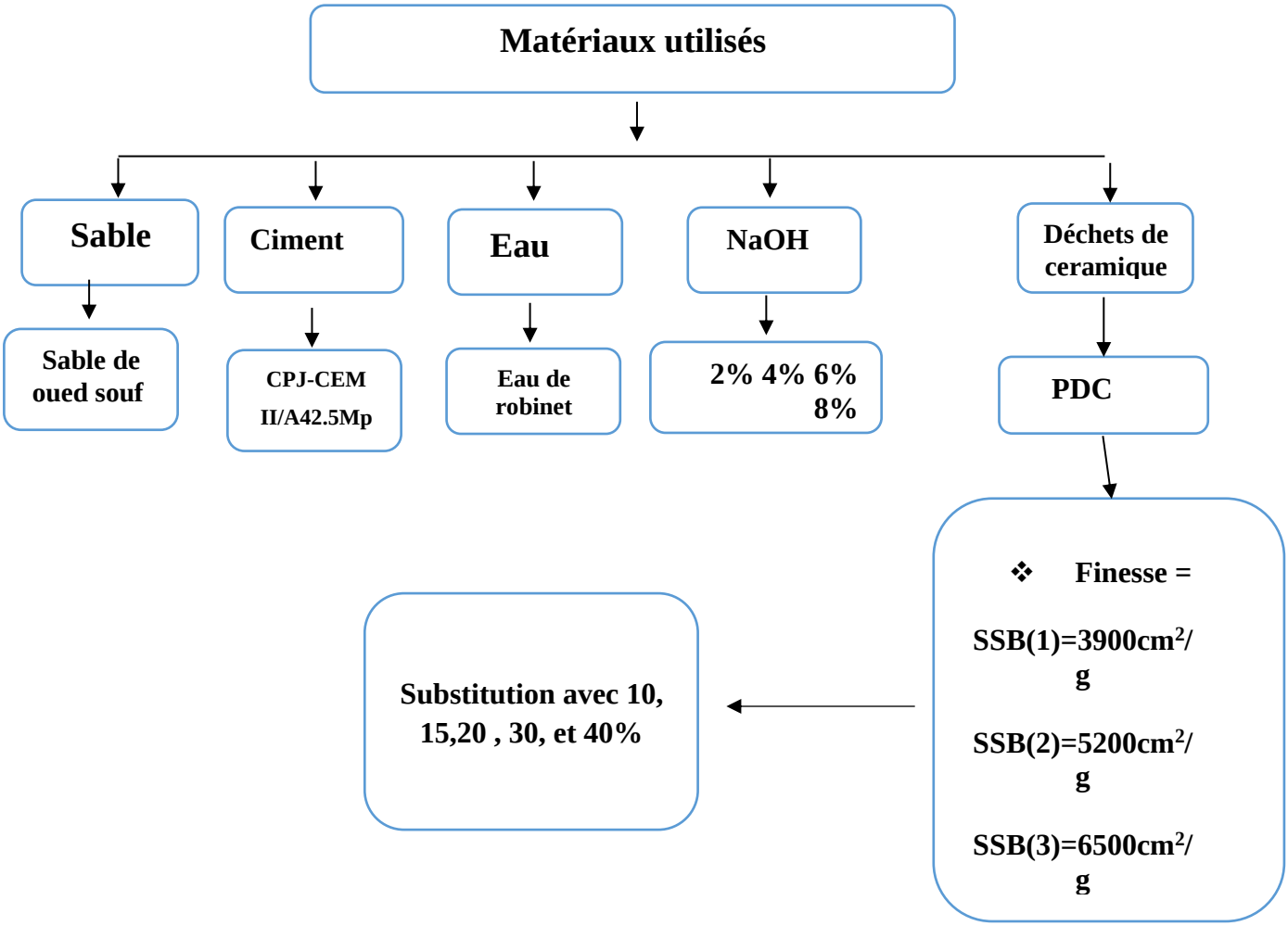
La porosité accessible à l'eau, ε,exprimée en pourcentage en volume, est donnée par l'équation**[51]** :

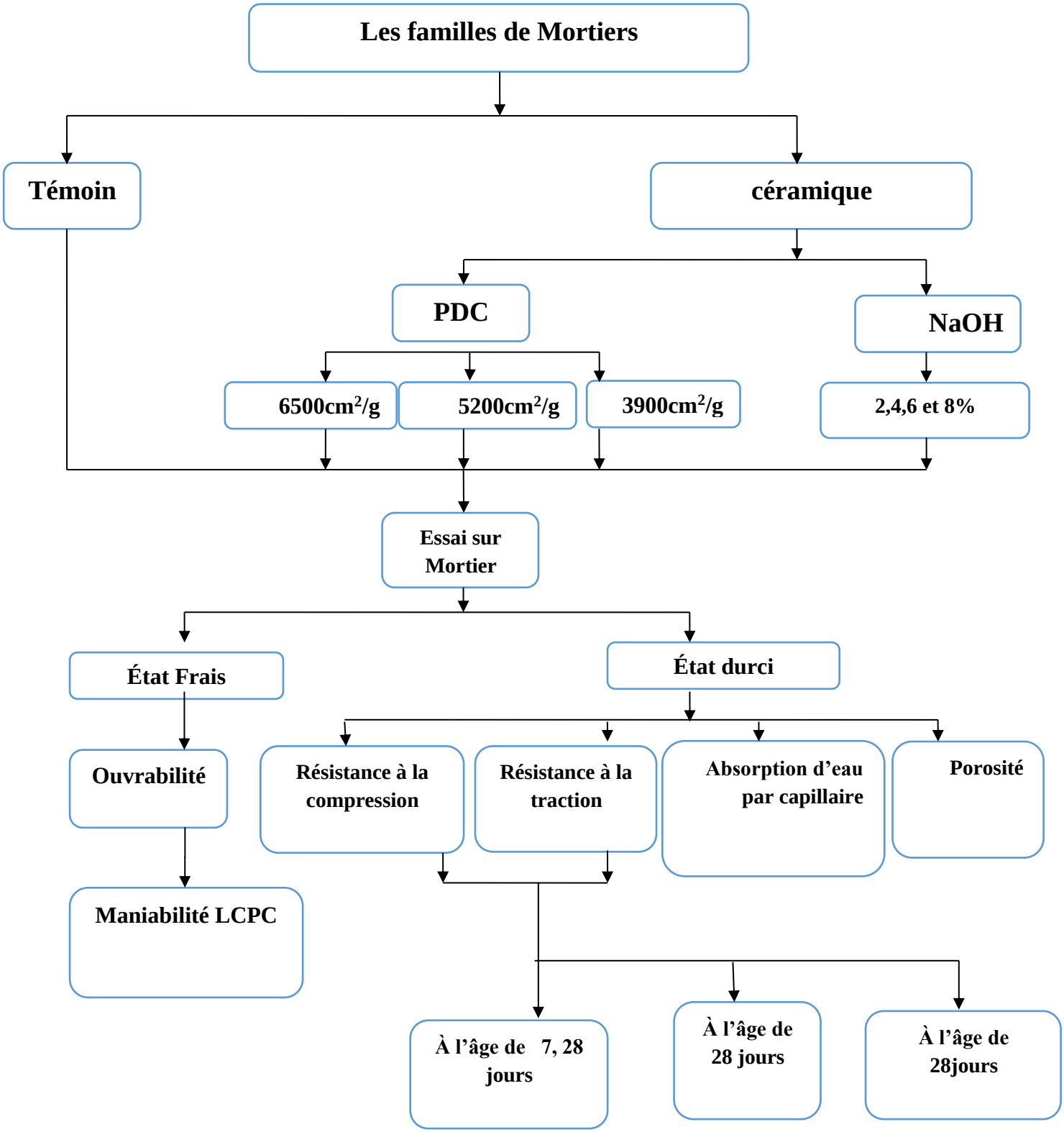
$$\varepsilon\% = \frac{\text{Mair} - \text{Msec}}{\text{Mair} - \text{Meau}} \text{X100}$$



FIGURE II. 14 ESSAI DE POROSITE SUR MORTIER

II.6. Variables étudiées




Les familles de Mortiers
Témoin
céramique
PDC
NaOH
6500cm²/g
5200cm²/g
3900cm²/g
2,4,6 et 8%
Essai sur Mortier
État Frais
État durci
Ouvrabilité
Maniabilité LCPC
Résistance à la compression
Résistance à la traction
Absorption d'eau par capillaire
Porosité
À l'âge de 7, 28 jours
À l'âge de 28 jours
À l'âge de 28jours

Dans notre travail on a réalisé des essais importants pour déterminer les caractéristiques rhéologiques et mécaniques. Tout dans le but de connaitre l'effet de broyage des déchets de céramiques sur le Mortier ordinaire.

Conclusions Générales

Et Recommandations

Conclusion générale et recommandation

Le but de ce travail est de déterminer l'influence de l'activation mécanique et chimique de la poudre de céramique sur le comportement des mortiers à l'état frais et durci.

Malheureusement, on n'a pas pu réaliser le protocole expérimental à cause de la situation sanitaire due à la pandémie du COVI-19. A ct effet on a focalisé sur les points suivants :

- le premier objectif c'est Apprenez à préparer une mémoire sur tout la synthèse bibliographique, et à partir de les travaille de recherche :
    1. Aperçu sur l'effet de l'addition sur le comportement des mortiers.
    2. Effet de la finesse des ciments et des additions sur le comportement des mortiers à bases des ciments recyclés.
    3. L'effet de l'activation chimique des poudres pouzzolanique.

Recommandations

On recommande les étudiants de la prochaine promotion de finaliser ce travail et d'exploiter le maximum les résultats antérieurs pour bien interpréter les résultats.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

1. KERMEZLI A, ‘’Etude comparative entre deux types de mortier : Bâtard et Ordinaire’’, mémoire master Université Dr. Yahia Fares – Médéa, 2015.

2. NOUR Linda « Etude de comportement d’un mortier adjuvante à base de sable préparé ». Mémoire master université msila.2019.

3. R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN≪Granulat, sols, ciment et béton≫ Edition CASTEILLA-PARIS,2004

4. A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, Editions MIR. MOSCU,540, 1978.

5. Emile O, "Technologie des matériaux de construction", entreprise moderne, paris, 1978

6. CHERFAOUI Saadi, SAMARA anas issam fayiz ‹‹Béton avec des granulats céramique recyclés (Recyclage des céramiques sanitaires par concassage) » mémoire master Université du M'SILA, 2017.

7. Levin David Brandon ‹‹Metastable Alumina Polymorphs: Crystal Structures and Transition Séquences», Journal of the American Ceramic Society,2012.

8. Kourat Djedjiga ‹‹Modélisation de la rupture diélectrique dans les céramiques à haute teneur en alumine soumises à des contraintes électriques», mémoire de magister université de Tizi-Ouzou,2012.

9.W. Kingery, « Introduction to ceramics », John Wiley and Sons éd, New York, 1960.

11. Imene A « Recyclage des déchets : L’Algérie sollicite l’expérience italienne », journal ALGERIE-ECO,2017.

12. Mezaouri Sarra, Drai Kaouter « Valorisation de la poudre de verre dans des mortiers à base des matériaux locaux »mémoire master université d’Ain-Temouchent,2018

13. Duan, Z.H. and C.S. Poon, «Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars». Materials & Design, 2014.

14. Kenai, S. and F. Debieb, «Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés ». Materials and structures, 2011.

15. Mahdi, F., H. Abbas, and A. Khan, « Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles». Construction and Building Materials, 2010.

16. T.Ali.Boucetta, « contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d’écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances», thèse de doctorat, Matériaux, Département Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2014.

17. Xie, Z. and Y. Xi, « Use of recycled glass as a raw material in the manufacture of Portland cement ». Materials and Structures, 2002.

18. DEBABI Adel,BOULIFA Marwa « Utilisation de poudre de verre dans le mortier» mémoire master Université du OUARGLA ,2017

19. Shayan , Coll Value-added « utilisation of waste glass in concrete». Cement and Concrete Research,2004.

Références bibliographiques

20. keddam Lydia , chahour kahina «Caractérisation expérimentale des mortiers à base de poudre de marbre» mémoire master Université du Tizi-Ouzou , 2017.

21. Aouni M, «valorisation de la poudre recyclée dans le mortier de ciment », Mémoire de master , Université de Médéa, 2014.

22. Ouldrouis et hadjersi «Activation chimique de la poudre de brique cuite: Utilisation dans un mortier normalisé» mémoire master Université du Médéa, 2019.

23. M.BENKADDOUR, F.KAZI AOUAL, A. SEMCHA «Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et artificielle», Revue Nature et Technologie. Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET Oran) ,2009.

24. AMR S. EL-DIEB ,DIMA M. KANAAN «Ceramic waste powder an alternative cement replacement –Characterization and evaluation» Sustainable Materials and Technologies,United Arab Emirates University,2018.

25. Fellah Fatma Zohra et Louifi Fatima Zahra « L'étude de l'influence de l'ajout de déchet de céramique broyé sur les performances physiques et mécaniques de mortier à base de sable de dune », mémoire master Université du Djelfa ,2014.

26. Sekulic, Z., Petrov M., Zivanovic D, «Mechanical activation of various cements», International Journal of Mineral Processing 74(SUPPL.), 2004,

27. Didouche Zahia, Ezziane Karim, « Effect of cement fineness and polycarboxylate dosage on the rheological and mechanical behavior of a mortar »,Hassiba Benbouali University, Civil Engineering Department, Chlef, Algeria ,2017.

28. Yahia A., Tanimura M., Shimoyama Y. , « Réological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and w/c ratio» ,cement and concrete research, ,2005.

29. Tsivilis S., Chaniotakis E., Badogiannis E., Pahoulasa G., Ilias A. , « A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements», Cement and Concrete Composites,1999

30. Lin F., Meyer C., «Hydration kinetics modeling of Portland cement considering the effects of curing temperature and applied pressure», cement and concrete research,2009.

31. Rahhal V. F, Irassar E. F, Trezza M. A, Bonavetti V. L, «Calorimetric characterization of Portland limestone cement produced by intergrading», J Therm Anal Calorim, 2011,

32. Lothenbach B., Le Saout G., Gallucci E., Scrivener K., « Influence of limestone on the hydration of Portland cements», Cement and Concrete Research, 2008,

33. Mounanga P. , Irfan M. , Khokhar A. , Elhachem Rana loukili A. , «Improvement of the early-age reactivity of fly ash and blast furnace slag cementations systems using limestone filler» ,materials and structures ,2011,.

34. Didouche zahia, El-Hadj Kadri, Ezziane Karim, « Effet du broyage sur l'amélioration des Propriétés mécaniques des mortiers», academic journal of civil engineering,2018

Références bibliographiques

35. Ouzadid, S. et H. Larouci Dilmi, «Effect of Blaine fineness of recycling brick powder replacing cementitious materials in self compacting mortar», Journal of Adhesion Science and Technology ,2017.

36. NARA YOUCEF et GUENCHOUBA DJAMEL EDDINE, « Etude de l'effet de la finesse de la poudre de verre sur les caractéristiques physique et mécanique des mortiers », mémoire master université du djelfa ,2017

37. HAMIDI Nesrine, L'effet combiné de la substitution partielle de ciment par un ajout et la température de cure sur les propriétés physico-mécanique du mortier », mémoire master université Msila, 2018.

38. François Jacquemot, « Accélération du durcissement des liants à base de laitier de haut fourneau pour les produits en béton » thèse de doctorat l'université de Lille 1,2014.

39. Duxson, P., et al., «Geopolymer technology: the current state of the art ». Journal of materials science, 2007.

40. McLellan, B.C., et al., «Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement». Journal of cleaner production, 2011.

41. Chen, C.-J., et al., «MyD88-dependent IL-1 receptor signaling is essential for gouty inflammation stimulated by monosodium urate crystals». The Journal of clinical investigation, 2006.

42. Murgier, S., H. Zanni, and D. « Gouvenot, Blast furnace slag cement: a 29Si and 27Al NMR study»,Comptes Rendus Chimie, 2004.

43. Shi, C., et al., « Alkali-Activated Cements and Concretes», 2006.

44. Pascual, A.B., A. Yahia, and P.-C. Nkinamubanzi, Élaboration de Nouveaux Liants Minéraux Pour la Formulation de Bétons Écologiques Et Durables, Université de Sherbrooke, 2014.

45. MAANANE NAFISSA, «Effet de l'activation chimique et mécanique sur les ciments fabriqués en Algérie»,mémoire master université msila, ,2018

46. L. Zeghichi, B. Mezghiche, A. Merzougui, «l'influence de l'activation du laitiersur le comportement mecanique desbetons», Lebanese Science Journal, 2007

47. EN, N., 933-1: Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 1: détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage. AFNOR, 1997.

48. EN, N., 196-1, Méthodes d'essais des ciments-Partie 1: détermination des résistances mécaniques. French Standard, 2006.

49. EN EN 196-1 Nome française CENEN 196-1 ≪ Méthode d'essais des ciments, partie I : ≪ Détermination des résistances mécanique ≫ AFRON, Paris. Aout 1995.

50. NF EN 1015-18, Méthodes d'essais sur mortier de maçonnerie, Partie 18 : Absorption d'eau par capillarité du mortier durci. 2002.

51. Hornain, H., GranDuBé « grandeurs associées à la durabilité des bétons». Association française de génie civil ,2007

52. Bensaid sofiane, « l'utilisation de la poudre de verre dansla composition du béton »,mémoire master université de Tizi-Ouzou,2015.

Références bibliographiques

53. EN, N., 933-1: Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 1: détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage. AFNOR, 1997.

54. NF EN 1097-6; « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR. 2001

55. E NF EN 1097-3: « essais pour déterminer la masse volumique apparente » AFNOR,2001

56. NF EN 933-8 « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable, Paris, Association Française de Normalisation» AFNOR, 1999

ANNEXE



Annexe

Fiche technique du ciment MATINE



Ciment

MATINE

Ciment pour bétons soignés

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression fc 28= 27 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des ouvrages d'arts, tunnels, barrages et pieux



Annexe

LAFARGE
لافارج

MATINE Ciment pour béton exigeant CEM I/A 42,5 R NA 442	**FICHE TECHNIQUE**

MATINE 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 (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à 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 microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71