République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Universitaire Yahia FARES de Médéa
Faculté De Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option:Matériaux en génie civil

Thème :
Etude du comportement d'un composite cimentaire à l'Etat frais et durci

Etudié par :

M elle BENILLES Manel
M elle NEGAB Rabab

Encadré par :

Mr. BOUKSANI OMAR

2017/2018

REMERCIMENTS

Avant tout, nous remercions **Allah** le tout puissant qui nous a donné la force d'aller jusqu'au bout de cette thèse.

Nous remercions aussi nos familles, en particulier **nos parents**, pour toute leur aide et leur soutien, moral et financier, qu'ils nous ont apporté tout au long de nos études. Nous espérons être à la hauteur de leurs espérances et nous montrer dignes de leurs confiances et de leurs encouragements.

Nous remercions notre professeur et promoteur Monsieur **BOUKSANI Omar** pour la confiance et le soutien qu'il nous a accordé durant tous les années ainsi que pour les conseils qu'il nous a prodigués tout le long de ce mémoire. Nous lui sommes reconnaissants de nous avoir fait partager son enthousiasme et son intérêt pour la recherche. Nous lui sommes reconnaissants de nous avoir fait partager son enthousiasme et son intérêt pour la recherche.

Nous remercions aussi :

-Mr **MEZAAD Aissa**

-Mr **Bouafiya Noureddine**.

-**EPTRC (** Berrouaghia)

-Mr **Abd Elrahman Rabah**

-Mr **Makhlouf Moussa**

-Mr **Lassri Ahmed**

Nous remercions aussi nos collègues Qui nous ont aidés dans ce travail.

Enfin, nos vifs remerciements aux membres de jury et à son président avec qui nous allons soutenir ce mémoire et juger de sa qualité.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a :

Mon père et ma mère, que dieu les garde et protège

A mes chères sœurs Imane et Bouchra

A mes cher frères Slimane, Yasser et Ismail

A ma cousine et ma tante Wiam et Rabia

A mon neveu Anes

A tous mes amies intimes et mes collègues

NEGAB Rabab

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a :

Mon père et ma mère, que dieu les garde et protège

A mes chères sœurs Meriem et Mounira

A mon cher frère Mohamed

A toute mes cousines

A tous mes amies intimes et mes collègues

BENILLES Manel

Résumé :

Ce travail présent les résultats d'une étude menée pour démontrer les effets des additions et des fibres sur les propriétés des composites cimentaires d'ingénierie (CCE) a l'état frais et l'état durci.

Cette étude expose plusieurs paramètres tels que la résistance a la compression et a la flexion, le retrait et gonflement, l'absorption capillaire ; en outre cette thèse a fournis l'occasion de comparer les propriétés des additions cimentaires avec et sans fibres a l'état frais et durci.

Les résultats obtenus confirme que les additions cimentaire et les fibres utilisé dans ce travail affectent les propriétés des mortiers a l'état frais et durcis positivement en manière générales car ils augmentent les résistances mécanique a cours et longs terme.

Mots clés : CCE, propriétés de CCE à l'état frais et durci, les additions cimentaires, les fibres.

ملخص :

يقدم هذا العمل نتائج دراسة أجريت لإيضاح آثار الإضافات الأسمنتية والألياف على الحالة الصلبة و الحالة اللينة للمركبات الإسمنتية للخرسانة .

تعرض هذه الدراسة عدة عوامل مثل مقاومة الانضغاط والانثناء ، التقلص والتورم ، الامتصاص الشعري حيث قدمت هذه الأطروحة فرصة لمقارنة خصائص الإضافات الأسمنتية مع وبدون الألياف في الحالة اللينة والمتصلبة للخرسانة .

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن الاضافات الأسمنتية والألياف المستخدمة في هذا العمل تؤثر على خصائص المورتر في الحالة اللينة والصلبة بشكل إيجابي بطريقة عامة لأنها تزيد من القوة الميكانيكية على المدى القصير الطويل.

.

الكلمات المفتاحية : آثار الإضافات الأسمنتية, الألياف, الحالة الصلبة و الحالة اللينة, ألمركبات الإسمنتية للخرسانة.

Abstract :

This work presents the results of a study conducted to demonstrate the effects of admixtures and fibers on the properties of ECCs in the fresh and hardened state.

This study exposes several parameters such as compressive strength and flexural strength, shrinkage and swelling, capillary absorption; in addition, this thesis provided an opportunity to compare the properties of cement admixtures with and without fibers in the fresh and hardened state.

The results obtained confirm that the cementitious additives and the fibers used in this work affect the properties of the mortars in the fresh state and positively hardened in a general way because they increase the mechanical strengths during and long term.

Key words: ECC, properties of ECC in the fresh and hardened state, cemetitious admixtures, fibers.

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale

Partie I : étude bibliographique

Chapitre I : historique et domaine d'utilisation

I.1 Historique ……...…1

I.2. Applications De composite cimentaire ……2

I.3. Domaine d'utilisation ……...6

I.3. 1. composite cimentaire en tant que matériau de réparation ……. .6

I.3. 2. Réparations du pont à Michigan et les États-Unis ……..7

I.3 3. Réparation de surface du mur de soutènement au Japon ……....8

Chapitre II : Propriétés de la composite cimentaire

II.1 Introduction ……11

II.2 Matériaux composites ……12

II.3 propriétés de composite cimentaire …… ..12

II.3.1 Etat frais ……...……13

II.3.1.1 Ouvrabilité et maniabilité ……..……13

II.3.1.1.a Fumée de silice :……..…….....……..13

II.3.1.1.b pouzzolane…….……...14

II.3.1.1.c Laitier ……..…..15

II.3.1.1.d Cendres volantes ……..……17

II.3.1.1.e Fibre synthétique …….…..18

II.3.1.1.f Super plastifiant ……18

II.3.1.2. Temps de prise ……19

II.3.1.2 .a Fumée de silice ……19

II.3.1.2 .b pouzzolane …….…..19

II.3.1.2 .c Laitier …….20

II.3.1.2. d .Superplastifiant……..……..…….21

II.3.1 Etat durci ……..22

II.3.1.1 résistance à la compression et à la flexion ……22

II.3.1.a Fumée de silice …….…….22

II.3.1.b Pouzzolane ……23

II.3.1.c Laitier …….……..24

II.3.1.d Cendres volantes ……25

II.3.1.e Fibre synthétique ……..…25

II .4 : L'intérêt de l'utilisation des ajouts dans le génie civil …….……26

II .4 .1 Intérêt du point de vue technique …….26

II .4 .2 Intérêt du point de vue économique ……..26

II .4 .3 Intérêt du point de vue environnemental ……..…….26

II .4 .5 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons ……...27

II .4 .5.1 Amélioration de l'ouvrabilité……..27

II .4 .5. 2 Chaleur d'hydratation ……27

II .4 .5 .3 Durabilité ……..……27

II .4 .6 Développement des bétons à haute résistance ……28

II.5 L'utilisation des ajouts en Algérie …….……..29

Partie II : étude expérimentale

Chapitre III : matériaux et essais

III.1 Introduction ……32

III.2 Les matériaux utilisés ……32

III. 2. 1 Ciment ……..32

III. 2. 1. a Le type de ciment utilisé ……33

III. 2. 1. b Analyses chimiques de ciments ……...33

III. 2. 1. c Analyses minéralogiques de ciments …….....323

III. 2. 1. d Analyses physiques de ciments ……33

III. 2. 1. e TEMPS DE PRISE ……33

III. 2. 1. f Résistance mécanique ……34

III. 2. 2 Sable ……35

III. 2. 2. a Analyse granulométrique des Sables ……..……..36

III. 2. 2. b Masse volumique absolue ……..……..37

III. 2. 2. c La masse volumique apparente ……38

III. 2. 2. d Résultat des essais sur le sable ……39

III. 2. 3 Pouzzolane :……40

III. 2. 3 a Masse volumique de pouzzolane ……..40

III. 2. 3 b Surface spécifique de Blaine de pouzzolane …….....……41

III. 2. 4 Laitier ……..……42

III. 2. 4. a Masse volumique de laitier ……..…….….42

III. 2. 4. b Surface spécifique de Blaine de laitier ……..……....43

III. 2. 5 La fumée de silice ……44

III. 2. 5. a Masse volumique de fumée de silice …….….44

III. 2. 5. b Surface spécifique de Blaine de fumée de silice …….……45

III. 2. 6 Eau de gâchage ……46

III. 2. 7 Super plastifiants ……46

III. 2. 7. b Caractères généraux de VISCOCRETE TEMPO 12 ……47

III. 2. 8 Fibres synthétiques ……48

III. 2. 8 a Fibre polypropylènes courts ……48

III. 2. 8 b Fibres polypropylènes longs ……...50

III. 2. 8 c Fibres de verre en mat ……52

III.3 Formulation des mortiers ……53

III. 4 Le malaxage ……56

III.5 Les essais à l'état frais ……..60

III.5. 1. Essai au maniabilimètre B [33] ……..60

III.5. 2. Essai d'ouvrabilité : Mesure d'ouvrabilité ……61

III.5. 3. Temps de prise ……61

III. 5. 4 Air occlus ……62

III. 5. 5 Préparation des éprouvettes ……63

III. 5. 6 Conservation des éprouvettes ……63

III.6. Essais à l'état durcis ……64

III. 6. 1. Essais de résistances mécaniques ……..64

III.6. 1.a. Résistance à la flexion par trois points ……64

III.6. 1. b Résistance à la compression ……65

III.7. Essais de durabilité ……66

III.7 .1. Mesure de l'absorption capillaire :……66

III.7 .2. Retrait ……67

III.7 .3. Gonflement ……67

Chapitre IV :résultats et discussion

IV.1 Introduction ……..70
IV.2. Résultats des essais et propriété de composite cimentaire ……..70
IV.2. 1. Etat frais ……..70
IV.2. 1. a. Ouvrabilité et maniabilité :……70
IV.2. 1. b. densité des mortiers:……71
IV.2. 2.Etat durci ……72
IV.2. 2.1. Résultats de l'essai mécaniques ……..72
IV.2. 1. a. Résistance à la flexion par 3 points :……72
IV.2. 1. b. Résistance à la compression ……76
IV.2. 3. Durabilité ……..77
IV.2. 3 .a. l'absorption capillaire……..77
IV.2. 3 .b .Retrait:……78
IV.2. 3 .c. gonflement ……79

Liste des figures :

		page
Figure I.1:	Essais d'élongation du film libre (Rokugo et al, 2005)	6
Figure I.2:	Réparation du tablier du pont	7
Figure I.3:	la performance de la réparation par ECC par rapport à la réparation par béton ordinaire	8
FigureI.4:	Réparation par application d'une couche de matériaux composites cimentaire (Kunieda et Rokugo, 2006)	9
Figure II.1 :	béton fibré	11
Figure II.2 :	La fumée de silice	13
Figure II.3 :	test d'ouvrabilité d'un mortier à base de fumée de silice et cendres volantes	14
Figure II.4 :	La pouzzolane	14
Figure II.5 :	variation du rapport E/C (consistance normale) en fonction du taux d'ajout (pouzzolane)	15
Figure II.6 :	laitier	15
Figure II.7 :	effet de la nature de l'activateur sur l'affaissement en fonction du temps	16
Figure II.8 :	Cendres volants	17
Figure II.9 :	fibres polypropylènes	18
Figure II.10 :	action moléculaires de SP	19
Figure II.11 :	variation des temps de début de prise en fonction de la teneur de pouzzolane	20
Figure II. 12 :	effet de l'activateur et de la finesse du laitier sur le temps de prise	21
Figure II.13 :	résistance de la fumée de silice et laitier durant le temps	22
Figure II. 14 :	effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la flexion	23
Figure II.15:	développements des résistances en compression de mortiers au laitier	24
Figure III.1 :	ciment Chamil	31
Figure III 2 :	sable Sidi Bazid (Djelfa)	32
Figure III.3 :	Essais équivalent de sable	37
Figure III.4 :	Essais masse volumique absolu de sable par un pycnomètre de 1000ml	38
Figure III.5 :	Essais masse volumique apparente de sable	38
Figure III. 6 :	pouzzolane naturelle broyée	40
Figure III.8 :	détermination de masse volumique de pouzzolane par un pycnomètre de 25ml	40
Figure III.9 :	laitier (ecocem)	40
Figure III.10 :	essais de détermination de la masse volumique du laitier par un pycnomètre de 25ml	42
Figure III.11 :	la fumée de silice	42
Figure III.12 :	détermination de la masse volumique de la fumée de silice	44
Figure III.13 :	super plastifiant viskocrete tempo 12	46
Figure III.14 :	fibres polypropylènes courts sikacrackstop	48
Figure III.15 :	fibres polypropylènes longs sika anti fissure	50
Figure III.16 :	fibre de verre en mat	52
Figure III.17 :	essai de maniabilité par le maniabilimetre	60
Figure III.18 :	essais d'ouvrabilité sur le mortier	61
Figure III.19 :	essai temps de prise sur le mortier	62
Figure III.20 :	essai de l'air occlus sur le mortier	63

Figure III.20 :	les moules utilisés	63
Figure III. 21:	la cure des éprouvettes	64
Figure III.22 :	Essai de flexion	64
Figure III.24 :	Essai de compression	66
Figure III.25 :	essai absorption capillaire	67
Figure III.26 :	Essai de Retrait et gonflement	68
Figure IV. 1 :	les densités des mortiers	71
FigureIV.2 :	disposition de flexion par trois points	72
Figure IV.3 :	les résultats de flexion par 3 points aux mortiers témoins et mortiers CCE en (14 21 28 jours)	72
Figure IV.4 :	les résultats de flexion par 3 points aux mortiers témoins (28 jours)	73
Figure IV.5 :	les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de fumée de silice témoin	74
Figure IV.6 :	les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de laitier témo	75
Figure IV.7 :	les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de pouzzolane témoin	75
Figure IV.8 :	les résultats compression aux mortiers témoins et mortiers CCE en (14 21 28 jours)	76
Figure IV.9 :	les résultats de l'absorption capillaire des mortiers	77
Figure IV.10 :	les résultats de retrait des mortiers	78
Figure IV.11 :	les résultats de gonflement des mortiers	79

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : utilisation des composites cimentaires à travers le monde…….2

Tableau II.1:principales propriétés physique de composite cimentaire…….12

Table II.2 : utilisation des ajouts dans la cimenterie algérienne…….29

Table III.1: Caractéristique chimique de ciment CPA utilisé (Lafarge ALGER)……..33

Table III.2:Caractéristiques minéralogiques de ciment utilisé……...33

Table III.3: Caractéristiques physiques du ciment…….……34

Table III.4: Temps de prise de ciment……34

Table III.5 : Résistance à la compression de ciment……..……34

Figure III.3 : série des tamis……...35

Tableau III.6 : les caractéristiques physique du sable de Sidi Bazid……..37

Tableau III.7 : les analyses chimique du sable de Sidi Bazid……39

Tableau III.8: compositions chimiques et caractéristique physiques de la pouzzolane…….41

Tableau III .9 : Les caractéristiques physique de la pouzzolane……....41

Tableau III.10: compositions chimiques du laitier…….43

Tableau III.11 : Les caractéristiques physiques du laitier……..……43

Tableau III.12 : Les compositions chimiques de fumée de silice……..45

Tableau III.13 : Les caractéristiques physique de la fumée de silice……..……..45

Tableau III.14 : les analyses chimique de super plastifiant viskocrete……..……47

Tableau III .15 : caracteristiques des fibres polypropylènes courts…….……..49

Tableau III. 16 : caractéristiques des fibres polypropylènes longs…….51

Tableau III.17 : caractéristiques des fibres de verre mat……52

Tableau III.16 : dosage en fumée de silice…….....53

Tableau III.19 : dosage en fumée de silice et fibres polypropylènes longs……54

Tableau III.20 : dosage en fumée de silice et fibres polypropylènes courts……...54

Tableau III.21: dosage en fumée de silice et fibres de verre mat……...54

Tableau III.21 : Séquence de malaxage de fumée de silice avec les fibres polypropylénes……..…56

Tableau III.22 : Séquence de malaxage de fumée de silice témoin……56

Table IV.1 : la maniabilité des mortiers (temps de vibration en (seconde))……70

LISTE des abréviations :

CCE	Composite cimentaire d'ingénieries
CEMII 32.5N	Ciment portland normal de classe 32 ,5 MPa
ELU	Etats limites ultimes.
ELS	Etats limites de services.
ERCE	Entreprise régionale des Ciments d'est
ERCC	Entreprise des Ciments et Dérivés de centre
ECDE	Entreprise des Ciments et Dérivés d'ech -chlef
ERCO	Entreprise des Ciments et Dérivés d'ouest
ESv	Equivalent de sable a piston
Esp	Equivalent de sable a vue
FPC	Fibre polypropylène court.
FPL	Fibre polypropylène long.
FP	Fibre polypropylène
FT	Fibre de verre en mat
FS	Fumée de silice
LAI	Laitier.
MF	Module de finesse.
POUZ	Pouzzolane.
SP	Super plastifiant
SSB	Surface spécifique de Blaine.

Introduction générale :

Le mortier est largement utilisé dans la construction de génie civil. Bien que le mortier soit pratique et peu coûteux à fabriquer, son comportement fragile en cas de charge de traction et flexion. Le comportement fragile du mortier est dû à la croissance rapide d'une seule fissure qui conduit à la rupture incontrôlable dans la section. Afin d'améliorer le comportement du mortier ,on ajoutant des fibres et des additions discrets dans la matrice de mortier. C'est ce qu'on appelle des composites cimentaire.

L'idée de l'utilisation de composite cimentaire dans le domaine de construction est née dans le but d'augmenter la résistance de mortier à la flexion, que plusieurs pays développés ont procédé à des strictes recommandations. Afin de trouver des solutions pour améliorer les caractéristiques mécaniques du béton, aux états unis et au japon ont utilisé la composite cimentaire pour construire les chaussé de route les poutres des ponts et comme un mortier pour les linteaux, réparation des barrages. Cependant, le développement des bétons innovant ou ce genre de béton qui permet de diminuer la section d'acier et amélioré les performances de béton, les additions, le superplastifiant et surtout les fibres ont contribué dans l'amélioration de mortier à l'état frais et durci. .

Contexte générale de l'étude :

L'utilisation des additions et des fibres dans la production de composite cimentaire a résolu en grande partie le problème de ductilité des matériaux. En faisant introduire des fibres et des ajouts dans la composition de mortier. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du béton d'où la composite cimentaire peut éviter d'utiliser les armatures dans la construction.

Objectif de l'étude :

L'étude entreprise dans ce mémoire vise à atteindre un objectif principal suivant :
Etude des propriétés de la composite cimentaire a l'état frais et l'état durci.

Plan de travail :

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

- Le premier chapitre : Une revue bibliographique sur le mortier de composite cimentaire et ces applications et utilisation.
- Le deuxième chapitre : est consacré aux propriétés des matériaux cimentaire a l'état frais et l'état durci ou on présente l'ouvrabilité, la maniabilité, temps de prise, résistance à la compression et flexion ; effets des additions sur les propriétés des bétons, les intérêts d'utilisation des ajouts, les inconvénients des ajouts.
- Le troisième chapitre : présente les éléments principaux du mortier de composites cimentaire (fumée de silice, pouzzolane, laitier, les fibres, super plastifiants, des fibres synthétiques) et les essais sur le mortier a l'état frais et l'état durcis servant à leur identification ainsi que les différentes méthodes et techniques utilisées dans cette étude.
- Le quatrième chapitre : exprime les résultats trouvés et les explications des essais à l'état frais et l'état durcis.

À la fin de notre travail on présente une conclusion générale portant des recommandations ainsi que d'éventuelles perspectives.

I.1 Historique :

Le développement de matériaux en béton renforcé de fibres est utilisé pour améliorer les propriétés structurelles, à travers l'amélioration progressive de leurs comportements en traction. Afin de contrôler l'apparition des fissures, plusieurs études ont été recensées sur les axes des chercheurs :

-En 1960, les recherches menées par ROMAULDI et COLL [1]. ont montré l'efficacité des fibres d'acier courtes dans la réduction de la fragilité du béton. Ce développement a continué avec l'expansion d'autres variétés de fibres telles que les fibres de verre, carbone, synthétiques, et naturelles.

-En 1971, ALLEN [1] a abouti à des matériaux composites de béton qui atteignent une résistance à la traction plus élevée de 30% que le béton normal et ductile.

-En 1980, l'intérêt de créer un matériau en béton renforcé de fibres avec la flexibilité de traction a gagné du terrain d'AVESTON et AL [1] ; la ténacité du matériau est augmentée, mais aucun changement de ductilité n'est atteint. Les tentatives pour obtenir une ductilité à la traction dans le béton sont exemplifiées par les premiers efforts des chercheurs.

-En 1989, KRENCHEL et STANG [1] ont démontré qu'avec des fibres alignées continues, une ductilité élevée à la traction, égale à des centaines de fois qui peuvent normalement être atteintes.

-En 2003, NAAMAN et REINHARDT [2] a classé le béton de fibre comme étant renforcé par des fibres de haute performance dans un Composite cimentaire.

-En 2006, MOBASHER et AL [2] ont été à l'origine de la recherche d'un béton fibré par des fibres continues et développé en parallèle, l'utilisation de fibres discontinues à haute dose .

-En 2010, QIAN et AL [2] ont montré un nouveau rôle bénéfique des composites cimentaires ; En effet, un auto-colmatage été constaté, lorsqu'il a utilisé des conditions de cure spécifique.

-En2012, Victor C Li et AL [2] ont fabriqué un béton de très grande ductilité, par une distribution rationnelle des fibres tout en ajustant les séquences de mélange.

-En 2013, MUSTAFA SAHMARAN et AL [2] ont évalué les effets combinés de rapport E/C sur la maniabilité E/L, S/L, SP/b etD_{max}des granulats sur des bétons de composite cimentaire.

-En 2014, TAHIR KEMAL ERDEM [2] a réalisé un travail expérimental pour étudier l'effet de la taille des ajouts sur les propriétés résiduelles de CCE et étudié les spécimens exposés à haute températures jusqu'à 800 ° C.

Actuellement les recherches se concentre sur l'amélioration de comportement adoucissant de béton par l'utilisation des bétons a composite cimentaire et l'introduction des fibres synthétique dans une matrice compacte par des ajouts (fumée de silice, pouzzolane , laitier ……) qui possède une tension de ramollissement quasi-fragile. [3]

Pays	Japon	Michigan	inde	Sud Afrique
Année	2003	2005	2006	2015

Tableau I.1 : utilisation des composites cimentaires à travers le monde.

I.2. Applications De composite cimentaire :

Les caractéristiques de composite cimentaire en tant que matériau de construction suggèrent trois grandes applications. Ceux-ci comprennent des structures qui sont résistantes aux dommages, même si elles sont sujettes à une forte contrainte de l'ELS. De plus, ceux-ci sont capables de fournir les normes de durabilité adéquates dans des conditions d'environnement sévères.

-La première application consiste à fournir des infrastructures pouvant accueillir des charges mécaniques élevées. Cela met l'accent sur les éléments structuraux résilients sismiques qui sont testés sous des charges cycliques. Les études sur la composite cimentaire montrent une grande

résistance sismique et réduit les réparations post-séisme qui sont nécessaires pour maintenir la sécurité structurelle. La composite cimentaire a la capacité d'absorber des niveaux élevés d'énergie et cela le rend utile pour des endroits profonds tels que les structures souterraines, où il existe un besoin de résistance. Cette propriété d'absorption d'énergie élevée est principalement liée au phénomène de déformation compatible. [4].

-La deuxième application d'un composite cimentaire implique la construction d'infrastructure. L'utilisation de le CCE renforce la construction des bâtiments et contribuer à maximiser l'efficacité du bâtiment. Par exemple, le renforcement du cisaillement peut être minimisé et, par conséquent, le processus de renforcement nécessiterait moins de main-d'œuvre. Le CCE est compatible avec la plupart de la technologie utilisée pour l'application du béton conventionnel dans l'industrie de construction d'aujourd'hui. Par exemple, il peut être combiné avec le béton projeté pour une application plus efficace dans les doublures de tunnel. L'auto-compactage de CCE peut également être utilisé dans certains projets difficiles. [5].

-La troisième application de composite cimentaire comprend une infrastructure durable qui est en mesure de répondre aux conditions d'environnement et de chargement. Cela met l'accent sur l'application de CCE en tant que mortier de réparation pour les structures vieillies en raison de l'usure (revêtir). Ceux-ci peuvent inclure des barrages, des ponts, des canalisations d'égout et des doublures de tunnel. La microfissuration et les propriétés anti-écaillage de CCE, sont très appropriées comme un mortier de réparation à ces structures en détresse. De plus, la composite cimentaire a une bonne résistance au gel-dégel et au rétrécissement, ce qui le rend idéal pour les applications en conditions environnementales et climatiques agressives. De plus, il donne une très petite largeur de fissure (microns) sous des charges élevées. Par conséquent, une meilleure prévention des fuites est réalisée dans les barrages car la taille de la fissure serrée minimise les pertes d'eau supplémentaires dues aux effets de l'usure ou de la température. [6].

Le composite cimentaire peut être utilisé comme couverture pour les structures soumis à des milieux marins où de nombreuses structures de béton armé ont été gravement endommagées. La petite largeur de fissure et la microfissuration associée peuvent empêcher ou retarder l'intrusion de substances corrosives dans la matrice de béton et, par conséquent, limiter les dommages au renfort

d'acier. Cela contribue en fin de compte à prolonger la phase d'exploitation du cycle de vie du projet et abaisser les coûts d'entretien à long terme.

I.3. Domaine d'utilisation :

I.3. 1.composite cimentaire en tant que matériau de réparation :

Le matériau de patch doit posséder des propriétés physiques adéquates telles que la résistance, la durabilité, la viscosité, la stabilité de la liaison et la ténacité à la rupture. Les propriétés decomposite cimentaire, en fait un matériau approprié pour être utilisé comme mortier de réparation pour les structures en béton endommagées. Par exemple, le matériau CCE présente des attributs de durcissement par contrainte, anti-écaillage et de microfissuration. Ceux-ci offrent des avantages significatifs par rapport aux mortiers de réparation haut de gamme actuellement utilisés par l'industrie de la construction.

Les performances de composite cimentaire et d'autres matériaux ductiles sont généralement évaluées sur des essais de traction et de flexion avec une totale liberté de mouvement. Ceci est connu comme le test d'élongation de film libre. Cependant, dans l'application comme mortier de réparation, l'évaluation de l'aptitude ne devrait pas être basée uniquement sur les essais d'élongation de film libre. Par exemple, dans une structure de béton endommagée, la déformation de l'élément affecté augmente avec l'élargissement de la largeur de la fissure. Cela entraîne une fissure locale sur la surface du patch de réparation près des fissures dans le matériau du substrat. Par conséquent, les mortiers de réparation doivent être capables de résister au mouvement d'élargissement des fissures dans le cadre de l'essai d'allongement à portée nulle. [7].

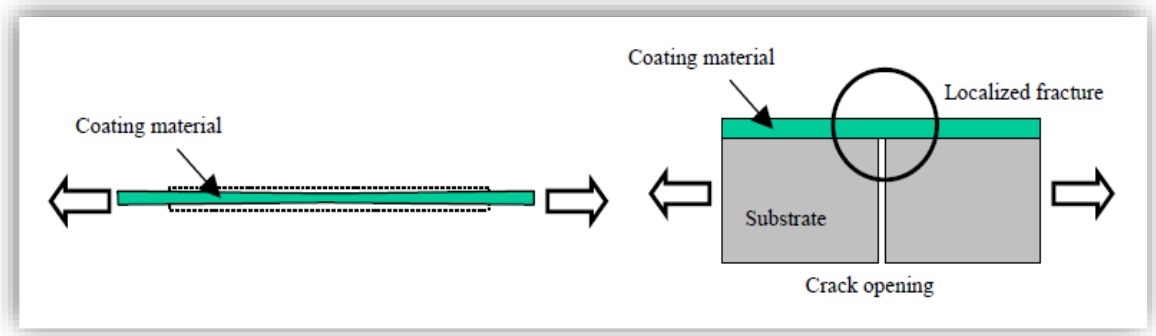


Figure I.1: Essais d'élongation du film libre (Rokugo et al, 2005).

I.3. 2.Réparations du pont à Michigan et les États-Unis :

L'utilisation de composite cimentaire par rapport aux pansements de réparation est actuellement limitée mais plusieurs applications expérimentales ont été réalisées ces dernières années. Cela a permis de comparer et d'évaluer les performances du béton ordinaire et des bétons en composite cimentaire en tant que matériau de ragréage. Afin d'évaluer la durabilité et le potentiel de CCE en tant que matériau de réparation, un segment d'un tablier de pont endommagé dans le Michigan a été fixé à l'aide d'un mortier CCE. De plus, une partie de la section détériorée a également été réparée à l'aide de matériel de réparation normal et disponible dans le commerce à des fins de comparaison. [8].



Figure I.2 : Réparation du tablier du pont.

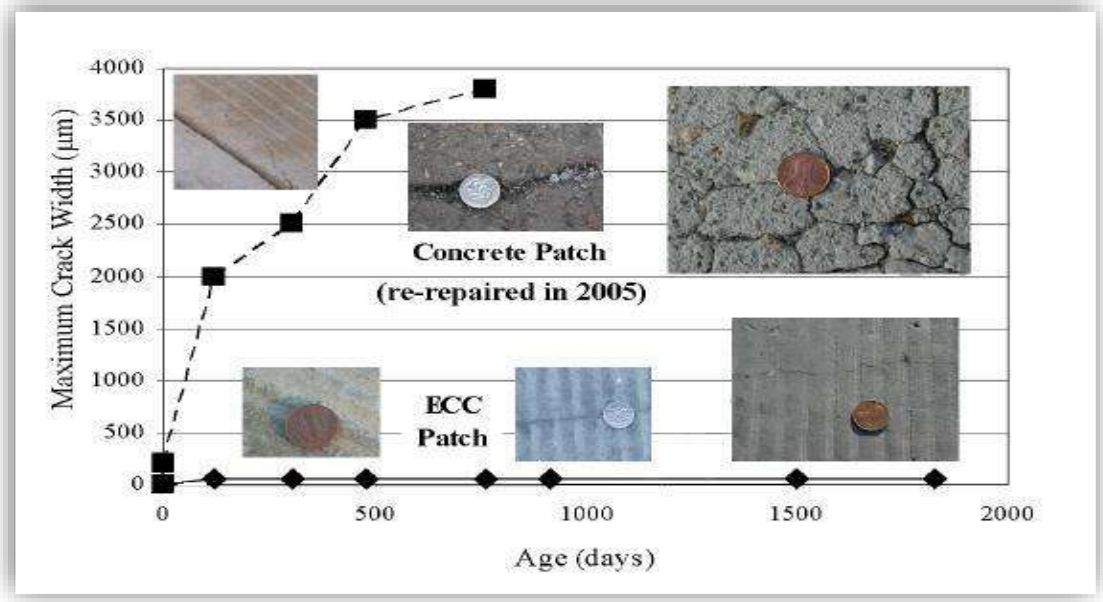


Figure I.3 : la performance de la réparation par ECC par rapport à la réparation par béton ordinaire.

La figure I.3 montre le développement de la taille de la fissure sur une période de 5 ans d'exposition aux conditions météorologiques naturelles, y compris les cycles hivernaux sévères consistant en des processus de congélation et de fusion et diverses charges de véhicules (vivantes). Il a été conclu que la largeur de la fissure du patch CCE était limitée à environ 50 μm sans dommage apparent à l'abrasion. En revanche, la fissure s'étendait jusqu'à 2 mm dans la zone de réparation conventionnelle du crustacé dans les 2 ans et devait par conséquent être restaurée. [9]. [10].

I.3 3.Réparation de surface du mur de soutènement au Japon :

Un deuxième exemple pour illustrer la polyvalence et la performance de CCE dans des applications réelle est la réparation du barrage de Mitaka dans la préfecture au Japon, en avril 2003 [11]. Cette structure de retenue d'eau particulière avait plus de 60 ans et présentait une surface de béton endommagée importante. Les principales raisons de l'utilisation d'un revêtement CCE imperméable étaient les fissures, l'écaillage et les fuites d'eau. Par conséquent, une couche de 20 mm a été appliquée en pulvérisant le matériau CCE directement sur une surface d'environ 600 m^2 de la surface du barrage en amont. [12].



FigureI.4: Réparation par application d'une couche de matériaux composites cimentaire(Kunieda et Rokugo, 2006)

Les matériaux composites cimentaire sont également utilisés pour la réparation d'un mur de soutènement en béton (18 m de large et 5 m de haut) endommagé par la fissuration [13]. Une couche de réparation CCE de 50-70 mm d'épaisseur a été utilisée afin d'empêcher la propagation des fissures du substrat de béton à travers le chevauchement [14]. Une fissuration réfléchissante était attendue si un matériau de réparation conventionnel était utilisé. Cependant, une certaine section du mur en détresse a été réparée en utilisant du béton normal et utilisée comme témoin. Les performances du mur de soutènement ont été soigneusement surveillées 10 et 24 mois après la réparation. Il a été conclu que les largeurs de microfissures dans la couche de réparation CCE étaient respectivement comprises entre 50 et 120 μm. La taille maximale de la fissure dans la section témoin était de0, 3mm [15].



Figure. I 5: Réparation d'un mur de soutènement en béton à l'aide de matériaux composites cimentaire, avant (gauche) et après (droite) (Rokugo et al, 2005)

II.1 Introduction :

Un composite cimentaire peut être défini d'une manière générale comme un mélange de deux ou plusieurs matériaux, le mélange final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. On appelle maintenant de façon courante "matériaux composites" des arrangements de fibres, les renforts qui sont noyés dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus élevée. La matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces. Les matériaux ainsi obtenus sont très hétérogènes et anisotropes.

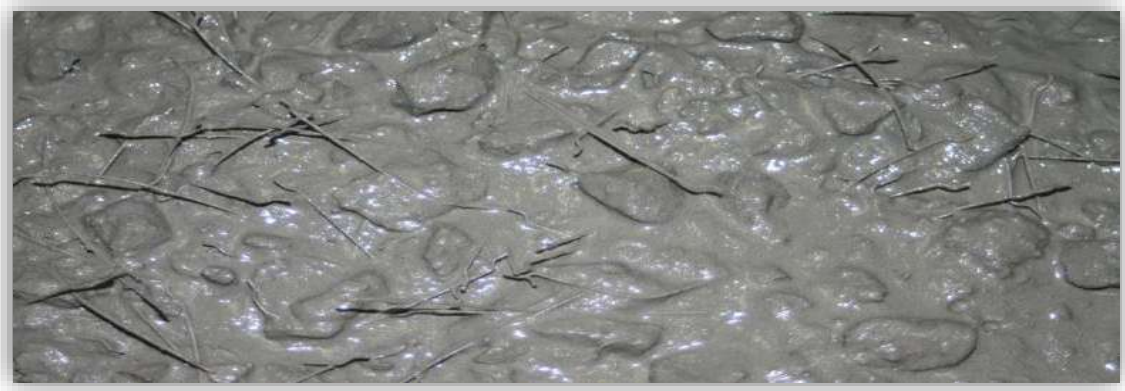


Figure II.1:béton fibré.

Les propriétés mécaniques desmatériaux composites sont liées à celles de leurs constituants: la fibre, la matrice, ainsi que l'interphase. La résistance et la rigidité d'un matériau composite sont assurées principalement par les fibres qui possèdent des caractéristiques mécaniques beaucoup plus élevées que la matrice. Cette dernière sert également à transférer les efforts mécaniques entre les fibres et les protéger contre les environnements. L'interphase est la zone créée par l'adhérence et la réaction entre les fibres et la matrice. Elle possède des caractéristiques chimiques et mécaniques différentes de celles des fibres et de la matrice. La disponibilité d'un grand choix de fibres et de matrices permet de réaliser des composites ayant diverses propriétés.

II.2 Matériaux composites :

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants ordinaire. L'appellation "matériau composite" ou "composite" qui sera précisée dans le cadre de cette thèse est: un matériau contient une phase discontinue de renfort plus rigide et plus résistante que la phase continue de la matrice. Par conséquent, ses propriétés mécaniques résultent essentiellement de:

- La nature des constituants et leurs propriétés.
- La géométrie du renfort (forme, élancement), sa distribution (répartition, orientation), ainsi que sa concentration (taux volumique ou massique).

Le tableau suivant représente les propriétés physiques d'un composite cimentaire [17] :

Résistanceà la compression (MPa)	Résistanceà la première fissure (MPa)	Force élastique ultime (MPa)	ultime élastique Souche (%)	Module de Young (MPa)	Résistanceà la flexion (MPa)	densité (G / cc)
20 – 95	3 – 7	4 – 12	1 – 8	18 – 34	10 – 30	0.95 – 2.3

Tableau II.1:principales propriétés physique de composite cimentaire.

:

II.3 Propriétés de composite cimentaire :

II.3 Etat frais :

II.3.1.1 Ouvrabilité et maniabilité :

II.3.1.1.a Fumée de silice :

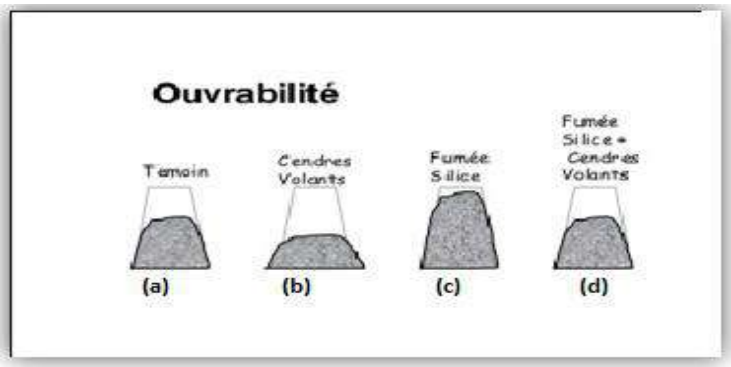


Figure II.2 : La fumée de silice.

La fumée de silice améliore l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration.

- Les particules fines de fumée de silice agissent par leur effet filler en remplissant les microspores, ce qui conduit à une granulométrie plus étalée et une structure plus dense. Ceci libère l'eau qui a été emprisonnée dans les pores et permet une réduction de la demande en eau pour une consistance fixe.
- Sa surface spécifique élevée, peut y avoir une adsorption d'eau par contre une augmentation de la demande en eau dépendant du rapport E/L, et de la concentration en fumée de silice.
- amélioration de la viscosité plastique. Ceci est attribué à l'amélioration du dosage supérieurs inversent le phénomène par augmentation des frictions entre les fines.
- Le béton devient très riche, très collant et très cohésif.
- réduise tous les phénomènes de ressuage et de ségrégation, ce qui accélère la finition des surfaces.

- L'ajout de fumée de silice en remplacement partiel du ciment se traduit par un accroissement de la résistance en compression par rapport à un béton de référence pendant le premier mois d'hydratation. A plus long terme, le gain de résistance tend à s'annuler. La fumée de silice joue un rôle bénéfique jusqu'à des teneurs de 20% environ avec un effet optimum pour des pourcentages de l'ordre de 10 à 15% quel que soit le rapport eau sur liant (ciment / fumée de silice). Un modèle de prévision de la résistance en compression de bétons avec fumée de silice est présenté. Ce modèle est validé avec une précision « meilleure que 5% » sur 282 données expérimentales concernant des bétons avec ou sans entraineurs d'air dont les valeurs sont extraites de la littérature ou du travail des auteurs. [18].



a) : mortier témoin.

(b) : Mortier à base de cendres volantes.

(c) : mortier à base de fumée de silice.

(d) : différences entre (b) et (c).

Figure II.3 : test d'ouvrabilité d'un mortier a base de fumée de silice et cendres volantes [18] .

II.3.1.1.b Pouzzolane :



Figure II.4 : La pouzzolane.

La pouzzolane améliore l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration [19].

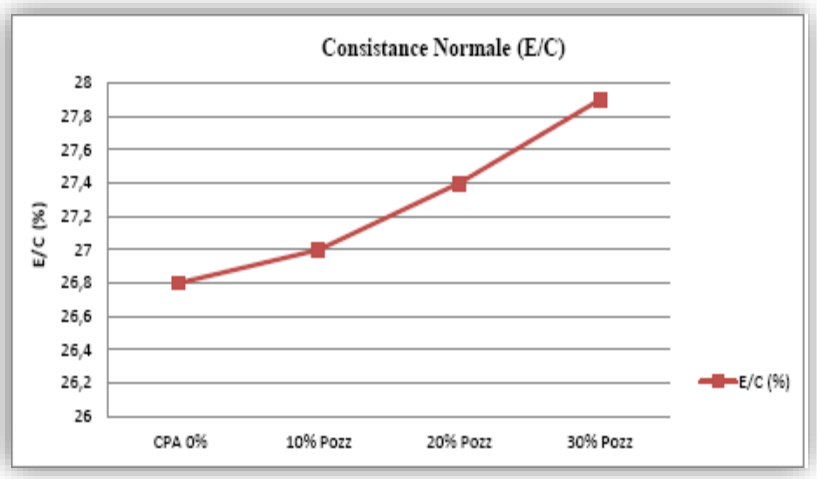


Figure II. 5 : variation du rapport E/C (consistance normale) en fonction du taux d'ajout (pouzzolane) [19].

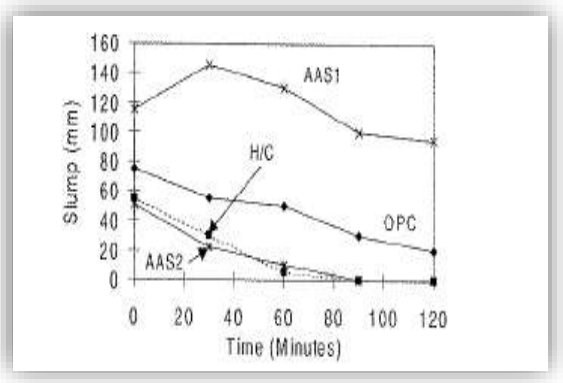
II.3.1.1.c Laitier :



Figure II.6: laitier.

L'utilisation du laitier dans le béton permet d'améliorer l'ouvrabilité par rapport à un béton Ordinaire. Manai. [20] explique ce phénomène par les caractéristiques des surfaces des grains delaitiers qui permettent un meilleur glissement inter- granulaire dans la pâte. Il souligne aussi untrès faible taux d'adsorption d'eau par les grains de laitiers au début du malaxage.

Des études ont été faites par des chercheurs sur l'ouvrabilité et la maniabilité d'un béton à base de laitier incorporé par des activateurs selon BAK00 et COL99 . [20].: laitier activé par du silicate de sodium en poudre, du silicate de sodium liquide et un mélange de soude et carbonate de sodium (H/C). Pour avoir les effets de ces activateurs sur l'ouvrabilité et par rapport de l'Eau/Liant. Ils ont observés que le béton activé par du silicate de sodium en poudre présente un affaissement initial supérieur à la référence à base de ciment Portlandite (OPC) et une faible perte d'ouvrabilité. Par rapport à la référence, le béton activé par un mélange de soude et carbonate de sodium présente un étalement initial plus faible d'environ 20 mm ainsi qu'une perte d'ouvrabilité un peu plus rapide. L'ouvrabilité d'un laitier activé par du silicate de sodium peut être améliorée par un adjuvant à base de lignosulfonate. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un agent entraineur d'air [21].



AAS1 : laitier activé par silicate de sodium en poudre.

AAS2 : laitier activé par silicate de sodium en liquide.

OPC : ciment portlandite.

H /C : carbonate de sodium

Figure II.7 : effet de la nature de l'activateur sur l'affaissement en fonction du temps.

II.3.1.1.d Cendres volantes :



Figure II.8 : Cendres volants.

- Les cendres volantes agissent par leur finesse, leur forme, leur état de surface et leur faible masse volumique qui améliorent l'ouvrabilité des mortiers et des bétons.
- la cendre volante permet de diminuer la quantité d'eau pour une même ouvrabilité, et d'augmenter l'homogénéité et la compacité du béton et d'améliorer sa mise en place.
- La nature vitreuse des particules empêche l'adsorption d'eau sur leurs surfaces, et ainsi l'eau retenue entre les particules sert à la lubrification. [22].

II.3.1.1.e Fibre synthétique :



Figure II9 : fibres polypropylènes.

- L'amélioration de la cohésion à l'état frais.
- Une réduction des risques de ségrégation et de ressuage.
- La limitation du faïençage et des fissurations dues au retrait plastique.

II.3.1.1.f Super plastifiant :

Le super plastifiant consiste à :

- La production de béton de haute ouvrabilité sans réduire la teneur en ciment et la valeur de la résistance.
- La production d'un béton contenant moins de ciment, mais ayant une résistance et une ouvrabilité normale.

Mécanisme d'action :

Sur la figure II.8 on constate une agglomération des particules de ciment dans une suspension d'eau. Ces particules portent à leurs surfaces des charges positives et négatives. L'addition d'un superplastifiant cause la dispersion des particules qui s'éloignent les unes des autres. On pense que les superplastifiants sont adsorbés par les particules de ciment causant leur répulsion électrostatique.

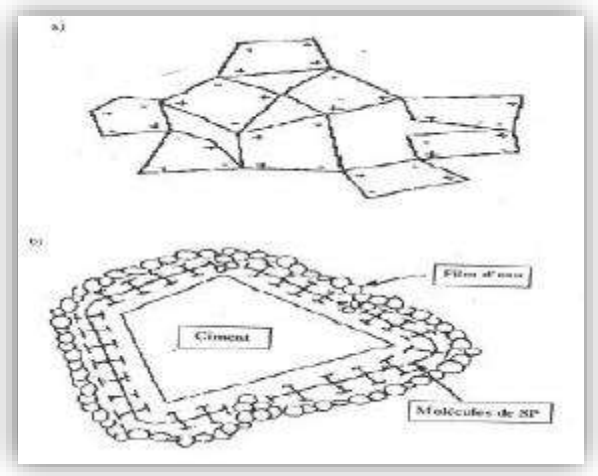


Figure II.10 .action moléculaires de SP.

II.3.1.2. Temps de prise :

II.3.1.2 .a Fumée de silice :

Le temps de prise est prolongé en présence de la fumée de silice à cause de la réduction de l'énergie libérée durant les premières heures qui suivent la confection du béton.

II.3.1.2 .b pouzzolane :

- Propriétés hydrauliques :

La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.

- Propriétés physiques de remplissage :

En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité

On note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout de pouzzolane incorporé dans le ciment diminue les temps de début de prise.

Ceci peut être dû à la porosité de l'ajout pouzzolanique et donc un fort appel aux molécules d'eau afin de mouiller toute la surface. Cette diminution peut être aussi due probablement à l'augmentation de l'oxyde d'aluminium (Al2O3) et la diminution de la chaux (CaO).

Le temps de fin de prise pour 10%, 20 % et 30 % varie de 240 à 250 minutes, et 0% de pouzzolane

sans (ajout) égale à 200 minutes.

L'augmentation de la finesse de la pouzzolane décroît le temps de prise pour toutes les pâtes étudiées. Cette décroissance est due à l'accélération des réactions de l'hydratation du ciment.

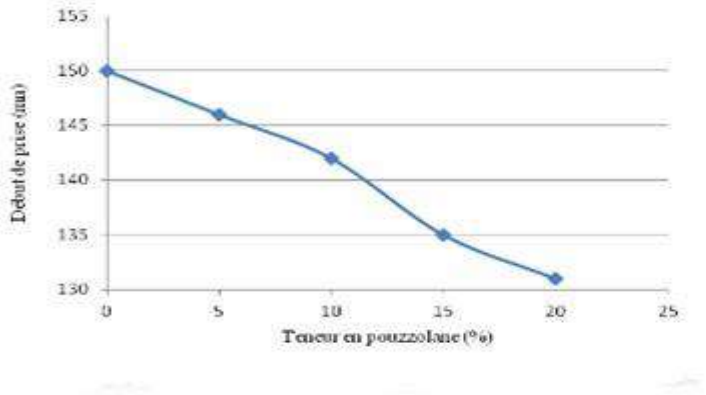


Figure II.11 : variation des temps de début de prise en fonction de la teneur de pouzzolane.

II.3.1.2 .c Laitier :

- Plusieurs facteurs tels que la nature, la finesse du laitier, le dosage et le moment d'incorporation de l'activateur ainsi que l'adjuvantation éventuelle peuvent influer sur les propriétés rhéologiques des mortiers et bétons.
- Venuat [23] explique que les bétons contenant du laitier ont des temps de prise un peu plus longs que les bétons ordinaires, surtout dans le cas de bétonnage par temps froid.
- Ainsi les chercheurs trouvent que l'addition du laitier favorise l'augmentation de la quantité totale et le taux de ressuage dans le béton, quel que soit le type du laitier. Ceci peut être expliqué par la faible absorptivité des particules de laitier et le retard de prise dans le béton.
- D'après SHI06 [24] le temps de prise de pâtes de laitier activé par Na2CO3, NaOH et du silicate de sodium ; Le temps de prise de ces pâtes ne semble pas être affecté jusqu'à une finesse Blaine du laitier de 530 m^2/kg. L'activation par Na2CO3 permet d'obtenir un temps de prise d'environ 100 minutes, soit plus que l'activation par NaOH et le silicate de sodium de module.

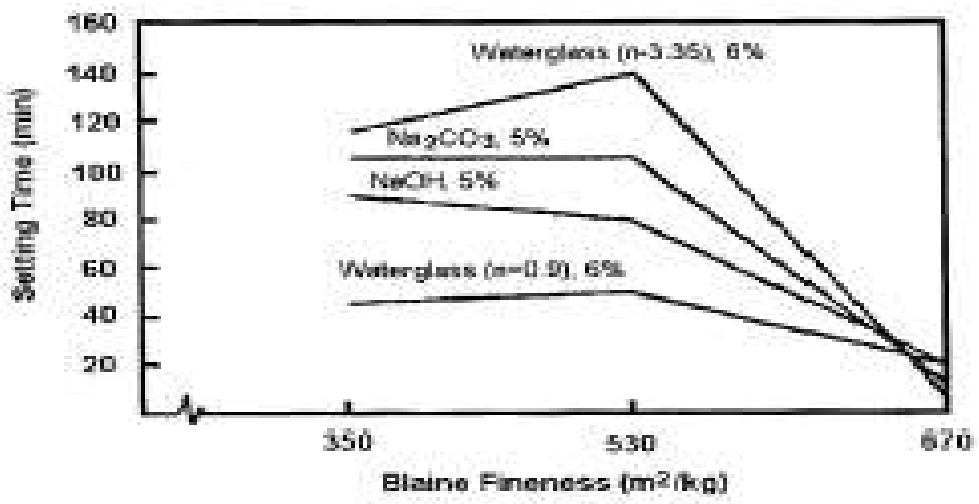


Figure II. 12 : effet de l'activateur et de la finesse du laitier sur le temps de prise.

II.3.1.2. d .Superplastifiant :

Les superplastifiants contenus dans le béton peuvent ou non affecter de façon significative la prise initiale et la prise finale. Le type et la quantité de superplastifiant déterminent si le temps de prise sera retardé, accéléré ou non affecté.Généralement pour des dosages normaux, un léger retard peut avoir lieu (l'effet surL'accroissement de la maniabilité est de courte durée : 30 à 80 min). Avec des dosages de 0,5 à 3%, un retard peut aussi être la conséquence de la quantité de superplastifiant utilisée ; plus le dosage est fort et plus le retard est prolongé. Les superplastifiant peuvent contenir des additifs chimiques qui peuvent modifiés les caractéristiques de prises initiale et finale, c'est pourquoi il est recommandé qu'un examen préliminaire du superplastifiant soit fait en s'intéressant à l'effet retard avant son utilisation courante.

II.3.1 Etat durci :

II.3.1.1 résistance à la compression et à la flexion :

II.3.1.a Fumée de silice :

- Les fumées de silice contribuent au développement des résistances à la compression avec un pouvoir liant de 3 à 4 fois supérieur à celui du ciment
- améliorent l'adhérence entre le béton et les armatures d'acier par diminution du ressuage interne au niveau de l'interface béton-armature pour des additions de fumée de silice supérieures à 20%
- pour un rapport E/L donné avec l'utilisation de la fumée de silice Il trouve qu'une addition de plus de 7% de fumée de silice réduit les déformations par fluage durant les 4 premiers mois de l'âge du béton.
- Le retrait par séchage des bétons avec fumée de silice varie suivant la teneur de l'ajout. les déformations par retrait peuvent être plus élevées dans le cas des bétons avec fumée de silice, à cause du raffinement des pores.
- la fumée de silice consiste à réduire la perméabilité du béton à l'eau et aux sels et augmenter la résistivité électrique. Ceci contribue à réduire le risque de corrosion des armatures.
- Les fumées de silice peuvent aussi neutraliser les réactions alcalis-granulats en augmentant le degré de polymérisation des CSH, ce qui réduit la mobilité des alcalis et des hydroxydes dans les solutions des pores.

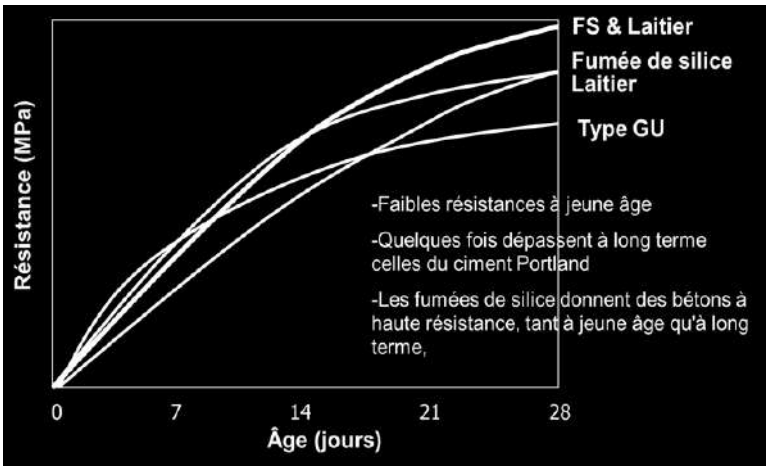


Figure II.13 : résistance de la fumée de silice et laitier durant le temps.

II.3.1.b Pouzzolane :

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables :

- Accroissement de la résistance finale.
- Légère diminution du retrait et du fluage.
- Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
- Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
- Protection des armatures contre la corrosion.
- Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques.
- Une réduction notable du risque d'apparition d'efflorescences de chaux sur les faces Exposées du béton.
- Une très nette amélioration de la résistance du béton aux eaux douces.

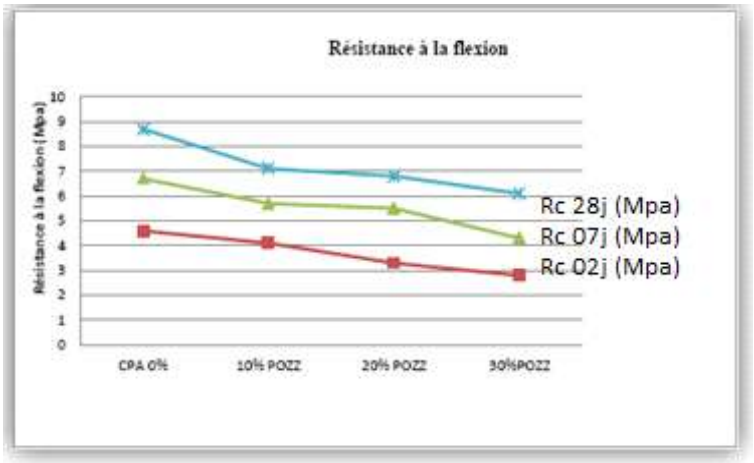


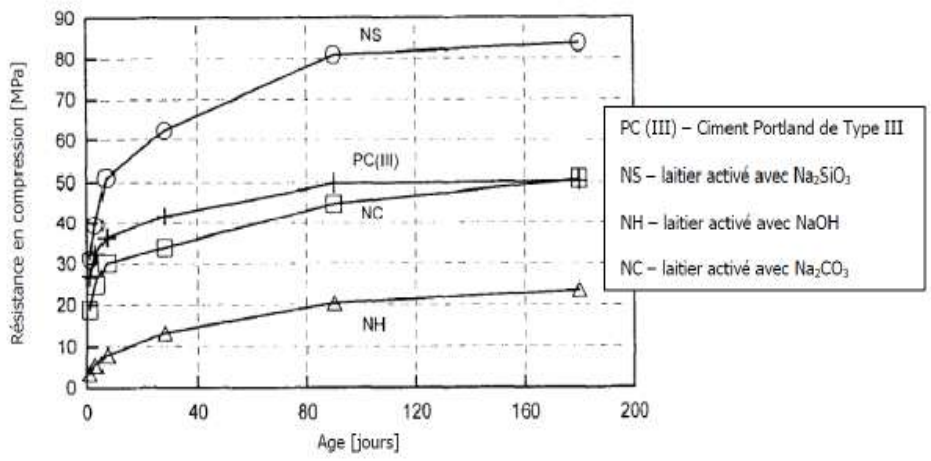
Figure II. 14 : effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la flexion.

II.3.1.c Laitier :

D'après Venuat [23] , les bétons avec le laitier ont des résistances moins élevées que les bétons ordinaires durant les premiers jours. Ces bétons commencent à se rattraper au bout de sept jours à 200C. Venuat [23] rapporte aussi que les laitiers permettent de réaliser des bétons résistant à l'action des eaux agressives, surtout en immersion complète.

Les réactions alcalis-silice décroissent avec l'augmentation de la teneur en laitier due à la fixation par ce dernier des ions sodium. Quant à la résistance aux cycles de gel-dégel, presque tous les auteurs sont d'accord que les bétons avec et sans laitier se comportent de la même façon. Et Selon MIC09, SHIb96, FER99 [25] [26] [27] ; La résistance mécanique est la caractéristique des liants et bétons qui sont la plus étudiée. Pour les bétons à base de laitier activé par les alcalins, les paramètres suivants sont ceux qui ont le plus d'influence :

- Nature du laitier et de l'activateur.
- Dosage en activateur.
- Rapport eau/laitier.
- Température de cure.
- Finesse du laitier.



FigureII.15: développements des résistances en compression de mortiers au laitier.

II.3.1.d Cendres volantes :

- les cendres volantes provoquent une baisse des résistances des bétons au jeune âge (3 jours), mais avec des résistances supérieures à long terme.
- augmentation relative des résistances mécaniques du béton à partir de l'âge de 7 jours.
- les perméabilités à l'eau et à l'air augmentent surtout si le béton est mûri à l'air au jeune âge
- explique que la résistance au gel est légèrement diminuée dans le cas d'une addition de cendres volantes.
- les bétons avec cendres volantes procurent de bonnes résistances au gel même pour des taux de remplacement élevées.
- mentionne que le retrait hydraulique après prise n'est jamais augmenté par l'addition de cendres volantes. Il explique ce phénomène par l'absorption des alcalis solubles (source de retrait) par les cendres pour former des silico-aluminates stables et insolubles.

II.3.1.e Fibre synthétique :

Les fibres polypropylènes sont conçues pour être utilisées dans les bétons pour réduire les fissures de retrait au jeune âge et les fissures dues au dessèchement du béton. Les Fibres polypropylène sont présentées en sachet plastique ou soluble pré dosé pour béton ou mortier. Son utilisation est pour :

Les bétons de dallages, chaussées de voirie, parkings, pistes, dans lesquels les Fibres jouent un rôle d'anti-fissurant.

II.3.1.f.Superplastifiant :

Des études faites avec des bétons contenant des superplastifiants ont montré que ces bétons présentent généralement des résistances à la compression supérieures à celles des bétons témoins.
L'accroissement de la résistance peut être dû au bon malaxage et à la meilleure compaction du mortier en présence d'un superplastifiant. Les études ont montré aussi qu'au-dessus de certains dosages, il n'y a plus d'amélioration de la résistance à la compression. D'une façon générale les informations concernant les résistances à la compression à long terme des bétons avec superplastifiant sont plutôt rares.

- Les résistances à la traction et à la flexion sont en général comparables à celles des bétons témoins, de même que pour le module d'Young.
- Le fluage des bétons contenant des superlastifiants ne présente pas de différences

significatives avec les bétons témoins. Toutefois plusieurs études relèvent que le retrait par séchage augmente avec l'ajout de superplastifiant.

A la durabilité (gel-dégel, attaque chimiques, écaillage, etc.) les résultats montrent une amélioration de la résistance à la pénétration des ions chlores (réduction de la porosité et discontinuité des pores), une réduction de la résistance au gel-dégel pour les bétons sans air entraîné (diminution des bulles d'air et augmentation du facteur d'espacement) et une réduction de la résistance au réactions alcalis-granulats (changement de la viscosité et de la tension de surface du gel silico-alcalin).

II .4 : L'intérêt de l'utilisation des ajouts dans le génie civil:

L'utilisation d'ajouts dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques tels que :

II .4 .1 Intérêt du point de vue technique:

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments, et améliorent la résistance à la fissuration [28].

II .4 .2 Intérêt du point de vue économique:

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des ajouts ont remplacé le ciment et cela nécessite moins d'énergies et moins chère.

II .4 .3 Intérêt du point de vue environnemental:

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO_2). En effet, la substitution d'un ajout permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO_2. Le taux de substitution d'ajout est du même ordre que la diminution de rejet de CO_2 [28].

II .4 .5 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons :

II .4 .5.1 Amélioration de l'ouvrabilité:

L'incorporation d'une quantité fine de poudre à un béton, diminue le ressuage et la ségrégation dans ce béton, et même le volume des vides. L'utilisation des cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance. Pour cette consistance l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts dépend de leur forme et de la granulométrie des particules [29].

II .4 .5. 2 Chaleur d'hydratation:

Le remplacement du ciment par une pouzzolane diminue de façon significative la chaleur d'hydratation du ciment, et par conséquent la fissuration d'origine thermique du béton diminue.
La chaleur d'hydratation des ajouts pouzzolaniques est égale à environ la moitié de celle du ciment Portland.

II .4 .5 .3 Durabilité :

La durabilité est l'une des propriétés les plus importantes pour les bétons. Le béton est par nature un matériau durable. Cependant, le béton est susceptible d'être dégradé dans différentes conditions d'exposition si les précautions nécessaires ne sont pas mises en œuvre.
La plupart des études en lien avec la durabilité porte sur l'activation par le silicate de sodium. Il est généralement admis que les liants et bétons à base de laitier activé par des alcalins présentent une meilleure résistance aux agressions chimiques mais un retrait plus grand que les liants et bétons à base de ciment Portland. Voici une synthèse de l'état de la connaissance sur les propriétés de durabilité :

- La performance des liants et bétons à base de laitier activé par des alcalins est contrôlée par la nature du laitier, la nature et le dosage de l'activateur utilisé et du ratio eau sur laitier.
- Dans des conditions humides, les liants à base de laitier activé peuvent présenter une perméabilité à l'eau et aux chlorures plus faible, et une meilleure résistance aux environnements corrosifs (acide, sulfate, chlorures) que le ciment Portland.
- Dans des conditions humides ou modérément humides, les bétons de laitier activé peuvent être carbonatés plus vite que les bétons de ciment Portland.
- Quand des granulats alcali réactifs sont employés, les bétons de laitier activé peuvent

présenter un gonflement élevé. Cependant, le gonflement dépend des paramètres de formulation du béton. La réaction alcali granulat peut être réduite ou éliminée par l'introduction de pouzzolanes telles que les cendres volantes, la fumée de silice ou le méta kaolin.

- Les agents entraineurs d'air pour les bétons à base de ciment Portland peuvent ne pas fonctionner dans les bétons de laitier activé. Pour une teneur et une distribution en air équivalente, les bétons de laitier activé ont une résistance au gel/dégel équivalente voire meilleure que les bétons de ciment Portland.
- Les bétons de laitier activé présenteraient une meilleure résistance au feu que ceux à base de ciment Portland.

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolaniques ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH. Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive. Les conditions pour que cette réaction se passe sont : La perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange à cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien aux attaques des sulfates, malgré la quantité importante de C3A dans le ciment. Les ajouts pouzzolaniques tels que le laitier, diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout. [30].

II .4 .6 Développement des bétons à haute résistance :

L'utilisation des ajouts, pour des raisons d'ordre économique ainsi que pour améliorer la durabilité des bétons, en remplacement d'une partie du ciment, tend à diminuer les résistances initiales et à augmenter les résistances finales .Les pouzzolanes très réactives ,comme les fumées de silice, sont capables de donner des bétons à haute résistance, tant à jeune âge d'eau. Tous les ajouts utilisés qu'à long terme, surtout si la quantité d'eau est diminuée par l'addition d'un agent réducteur en remplacement partiel des granulats fins augmentent les résistances à tous les âges. Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment, tandis que celles à long terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement de CH par C-S-H. [31]

II.5 L'utilisation des ajouts en Algérie :

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni –Saf.

Le tableau suivant cite l'emplacement des cimenteries algériennes qui utilisent les ajouts [31] :

Entreprise	Cimenterie	Ajouts utilisé
ERCE	Ain Touta (Batna)	Pouzzolane
	Ain El Kebira(Setif)	
	Hamma Bouziane (Constantine)	
	H'djarEssaoud (Skikda)	Laitier
	Tébessa	
ERCC	Meftah (Blida)	Tuf/Calcaire
	Sour El Gouzlane (Bouira)	
	Raïs Hamidou (Alger)	Poussière
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf (Ain timouchent)	Pouzzolane
	Zahana (Oran)	
	Saida	

Table II.2 : utilisation des ajouts dans la cimenterie algérienne.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux utilisés pour la formulation des composites cimentaire ainsi les caractéristiques et les essais faites aux laboratoires à l'état frais et durci.

Les essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoiressuivants :

- Hall technologique Yahia Fares.
- Laboratoire Abd El Rahmane Rabah Médéa.
- Centre nucléaire Berine Djelfa.
- Entreprise public des travaux routières du centre EPTRC (Berouaguia).

III.2 Les matériaux utilisés :

III. 2. 1 Ciment :

III. 2. 1. A Le type de ciment utilisé :

Ciment Portlandite au calcaire NA442 CEM II/B-L 32.5N nommé Chamil (Lafarge Alger) ; la fiche technique du ciment est présenter dans l'annexe.



Figure III.1.ciment Chamil.

III. 2. 1. b Analyses chimiques de ciments :

La composition chimique élémentaire du ciment est donnée dans le tableau suivant :

Analyse chimique	Valeurs (%)
Perte au feu ($NaSO_4$)	13±2
Teneur en sulfate (SO_3)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium(MgO)	1.7±0.5
Teneur en chlorure($NaSO_4$)	0.02±0.04

Table III.1: Caractéristique chimique de ciment CPA utilisé (Lafarge ALGER).

III. 2. 1. c Analyses minéralogiques de ciments :

L'analyse minéralogique du ciment sont données dans le tableau suivant :

Composition minéralogiques du clinker	Valeurs (%)
$\mathbf{C_3}$S	60±3
$\mathbf{C_3}$A	7.5±1

Table III.2:Caractéristiques minéralogiques de ciment utilisé.

III. 2. 1. d Analyses physiques de ciments:

Les caractéristiques physiques de ciment sont dans le tableau suivant :

Propriétés physique	Valeurs
Consistance normale (%)	27± 2.0
Finesse (SSB) (cm^2/g)	4300±5500
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	≤ 3

Table III.3: Caractéristiques physiques du ciment

III. 2. 1. e Temps De Prise :

Les temps de prise à une température de 20° :

Temps de prise (NA230)	Valeurs (min)
Début de prise	150 ±30
Fin de prise	250 ±50

Table III.4: Temps de prise de ciment.

III. 2. 1. f Résistance mécanique :

Les valeurs de la résistance à la compression de ciment:

Résistance à la compression	Valeurs (MPa)
7 jours	≥16
28jours	≥32.5

Table III.5 : Résistance à la compression de ciment.

III. 2. 2 Sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier**.** Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, Il doit être propre et contient pas des éléments nocifs.

III. 2. 2. A Analyse granulométrique des Sables :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage, c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon la grosseur des éléments constituant, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

- Dans notre cas on a utilisé un sable fin de Sidi Baizid.



Figure III. 2 : sable Sidi Baizid (Djelfa).

- **Matériel nécessaire :**

la figure ci-dessous présente le tamisage de sable de Sidi Baizid



Figure III.3 : séries des tamis (tamisage de sable)

- **Module de finesse(Mf) et l'équivalent de sable :**

Il est défini par la norme NFP 18-598 [32].; cet essai, permettant de mesurer la propreté d'un sable, effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm.



Figure III.2 : Essais équivalent de sable.

III. 2. 2. b. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue **ρs** est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans les grains. Il ne faut pas confondre **ρs** avec la masse volumique **ρ** qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m3, en kg/dm3, ou en g/cm3.

- La Figure III.4 représente l' Essai de masse volumique absolu de sable utilisé :



Figure III.3 : Essais masse volumique absolu de sable par un pycnomètre de 1000ml.

III. 2. 2. C La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.



Figure III.4 : Essais masse volumique apparente de sable.

III. 2. 2. D Résultat des essais sur le sable :

Les tableaux suivants représentent les résultats des différents essais sur le sable :

Masse volumique apparente	1.464 g /cm^3
Masse volumique absolue	2.85g /cm^3
ESV	83%
ESP	80%
Module de finesse	1.46

Tableau III.6 : les caractéristiques physique du sable de Sidi Baizid.

Le tableau suivant représente las analyses chimique sur le sable :

INSOLUBLES NFP15-461	SULFATE BS 1377		ARBONATES NFP 15-461	CHLORURES Méthode de Mohr	
%insolubles	SO3	CaSO4, 2H2O	CaCO3	Cl-	NaCl
6.28	0	0	0.05	0.009	0.014

Tableau III.7 : les analyses chimique du sable de Sidi Baizid.

III. 2. 3 Pouzzolane :

La pouzzolane utilisée dans notre projet est une pouzzolane naturelle issu d'une roche volcanique de type phonolithe constitué de zéolithe et d'alumino –silicate hydraté. Elle est fournie sous forme des roches concassées. Pour pouvoir la substituer au ciment, nous avons d'abord procédé à son étuvage à 105 °C afin d'éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage.



Figure III. 5 : pouzzolane naturelle broyée.

III. 2. 3 a .Masse volumique de pouzzolane :



Figure III.9 : détermination de masse volumique de pouzzolane par un pycnomètre de 25ml.

III. 2. 3 b Surface spécifique de Blaine de pouzzolane :

La surface spécifique de Blaine de pouzzolane(SSB) utilisé est effectuée au niveau de laboratoire.

SSB (pouzz) =13800 cm2/g.

Les compositions chimiques de pouzzolane naturelle présentée dans le tableau suivant :

Composition chimique	Valeurs %
Sulfates	≤ 1
Chlorures	≤ 0,1
Perte au feu	9,0
Alcalins solubles	≥0,1 (Na20eq)

Tableau III.8: compositions chimiques et caractéristique physiques de la pouzzolane.

Les caractéristiques physiques de la pouzzolane présentée dans le tableau :

Données technique	Valeurs
densité	apparente 0,6
	réelle 2,5 – 2,6
PH	10,5 (déterminé en incorporant 100g/litre d'eau)
Surface spécifique Blaine	14 000 +/- 500 cm²/g

Tableau III .9 : Les caractéristiques physique de la pouzzolane.

III. 2. 4 Laitier :

Le laitier qu'on a utilisé est laitier ECOCEM granulé de haut fourneau moulu, conforme à la norme NF EN 15167-1, 2006.



Figure III. 10 : laitier (ECOCEM).

III.2.4.a Masse volumique de laitier :



Figure III.10 : essais de détermination de la masse volumique du laitier par un pycnomètre de 25ml.

III. 2. 4. b Surface spécifique de Blaine de laitier :

La surface spécifique de Blaine de laitier(SSB) utilisé est effectuée au niveau de laboratoire : SSB (laitier)=3930,5 cm2/g.

Les compositions chimiques laitières de haut fourneau présenté dans le Tableau (2.6) suivant :

Données technique	Valeurs %
CaO	43
SiO_2	37
Al_2O_3	11
MgO	9

Tableau III.10: compositions chimiques du laitier.

Les caractéristiques physiques du laitier présenté dans le tableau suivant :

Données technique	valeurs
Masse volumique	2.9 t/m^3
Densité apparente	0.8t/m^3
PH	10.89
Surface spécifique de Blaine	$\leq$ 4200 cm^2/g

Tableau III.11 : Les caractéristiques physiques du laitier.

III. 2. 5 La fumée de silice :

Dans ce projet on a utilisé la fumée de silice SIKA S95 DM ultra fine issu de l'industrie de la fabrication de silicium ou des alliages à base de silicium conforme a la norme NF P 18 et pr NF EN 13263-1.



Figure III.11 : la fumée de silice.

III. 2. 5. aMasse volumique de fumée de silice :



Figure III.12 : détermination de la masse volumique de la fumée de silice.

III. 2. 5. bSurface spécifique de Blaine de fumée de silice :

SSB (fumée de silice)= 23000 cm2/g.

Les compositions chimiques de fumée de silice présentées dans le Tableau suivant :

Données technique	Valeurs (%)
SiO2	95 (≥9 2)
Na2O	0,60± (≤1,0)
SiC	1,50± (≤3,0)
C libre	1,50± (≤3,0)
S total	0,10± (≤0 , 2 0)
Oxydes (Fe, Al, Mg, Ca)	1,00 ± (≤1,50)
Cl^-	0,06 ± (≤0 , 2 0)

TableauIII.12 : Les compositions chimiques de fumée de silice.

Les caractéristiques physiques de la fumée de silice présentée dans le tableau suivant :

Données technique	Valeurs [%]
Densité apparente	0.40 à 0.45
Densité réelle	2.24
Surface spécifique BET (cm^2/g)	20000 à 26000

TableauIII.13 :Les caractéristiques physique de la fumée de silice.

III. 2. 6 Eau de gâchage :

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec du mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier.

A travers l'étude que nous faisons, l'eau doit être pur, propre, exempte de sels et de matières organiques, pour notre cas on a utilisé eau potable «eau de robinet» fournie au laboratoire du hall technologique.

III. 2. 7 Super plastifiants :

On a utilisé le SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 un super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.



Figure III.13 : super plastifiant viskocrete tempo 12.

III. 2. 7. a. Domaines d'application de VISCOCRETE TEMPO 12 :

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.

Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

III. 2. 7.bCaractères généraux de VISCOCRETE TEMPO 12 :

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un super plastifiant puissant qui confèrent aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h).
- robustesse à la ségrégation.
- qualité de parement.

Les analyses chimiques sont présentées dans le tableau suivant :

Données technique	Valeurs %
densité	1,06 ± 0,01
PH	6 ± 1
Teneur en Na2O	≤1
Extrait sec	30,2 ± 1,3
Teneur en ions Cl-	≤0,1

Tableau III.14 : les analyses chimique de super plastifiant viskocrete.

III. 2. 8 Fibres synthétiques :

III. 2. 8 aFibre polypropylènes courts :

SIKA CRACKSTOP est une fibre micro-synthétique polypropylène mono-filament. Permet d'améliorer la résistance à la fissuration par retrait plastique du béton et ainsi de réduire le risque de fissuration précoce, et peut se substituer, selon le dosage, au treillis anti-fissuration (PAF) et aussi permet également d'améliorer la tenue au feu des bétons.



Figure III. 14 : fibres polypropylènes courts sikacrackstop.

- **Domaines d'application :**

Résistance à la fissuration par retrait plastique: on l'utilise comme :

Chapes et concepts SIKA VISCOCHAPE® et SIKA LEVELCHAPE®

- Bétons de dallages, planchers,…
- Eléments de voirie (chaussée, trottoirs, rampes d'accès, parkings, pistes, …)
- Mortiers
- Enduits

Tenue au feu des bétons :

- Ouvrages et structures soumis à des exigences de résistance au feu

Autres applications :

- Bétons nécessitant une forte cohésion à l'état frais (extrudés, à forte déclivité).

Caractères généraux :

Grâce à leur finesse, les fibres SIKA CRACKSTOP® se dispersent très facilement et créent un réseau fibré très haute densité, qui a pour principales conséquences :

- la limitation du faïençage et des fissurations dues au retrait plastique.
- l'amélioration de la cohésion à l'état frais, en limitant les risques de ségrégation et de ressuage.
- une amélioration de la tenue au feu des bétons.

Les caractéristiques des fibres polypropylènes courts crackstop :

Données technique	Caractéristiques
Coloris	Blanc.
Conditionnement	6 mm : Carton de 30 doses de 600 g en sacs papier soluble, carton de 2 sacs (non solubles) de 10 Kg.
Conservation	A l'abri de l'humidité, le produit se conserve 3 ans.
densité	0,91.
Nature	Polypropylène avec agent de surface.
Longueur	6 mm.
Diamètre équivalent	19,5 µm.
Densité linéaire	2 ,72 dtex.
Ténacité	46 cN/tex.
Nombre de fibres	Pour une dose de 600g de SIKA CRACKSTOP : 6 mm > 367 millions.

TableauIII .15 : caracteristiques des fibres polypropylènes courts.

III. 2. 8 b Fibres polypropylènes longs :

SIKAFIBRE ANTIFISSURE est une fibre micro-synthétique polypropylène mono-filament. Permet d'améliorer la résistance à la fissuration par retrait plastique du béton et ainsi de réduire le risque de fissuration précoce, et peut se substituer, selon le dosage, au treillis anti-fissuration (PAF). Et également d'améliorer la tenue au feu des bétons.



Figure III. 15 : fibres polypropylènes longs sika anti fissure.

- **Domaines d'application :**

Résistance à la fissuration par retrait plastique:

- Bétons de dallages, planchers,…
- Eléments de voirie (chaussée, trottoirs, rampes d'accès, parkings, pistes, …)
- Mortiers.
- Enduits.

- **Caractères généraux :**

Grâce à leur finesse, les fibres SIKAFIBRE ANTIFISSURE se dispersent très facilement et créent un réseau fibré très haute densité, qui a pour principales conséquences :

- la limitation du faïençage et des fissurations dues au retrait plastique.
- l'amélioration de la cohésion à l'état frais, en limitant les risques de ségrégation et de ressuageune amélioration de la tenue au feu des bétons.

Les caractéristiques des fibres polypropylènes longs :

Données techniques	Caractéristiques
Coloris	Blanc.
Conditionnement	12 mm : Carton de 40 doses de 600 g en sacs papier soluble, carton de 2 sacs (non solubles) de 10 Kg. Palettes de 3 Big-Bag de 225Kg.
Conservation	A l'abri de l'humidité, le produit se conserve 3 ans.
densité	0,91.
Nature	Polypropylène.
Longueur	12 mm.
Diamètre équivalent	34 µm.
Densité linéaire	7,7 dtex.
Nombre de fibres	Pour une dose de 600g de SIKAFIBRE ANTIFISSURE : 12 mm > 60 millions.
Ténacité	34 cN/tex.

Tableau III. 16 : caractéristiques des fibres polypropylènes longs.

III. 2. 8 c Fibres de verre en mat :

On a utilisé Le Sikagard®-Armature MAT un mat de verre en fibre de verre à fils coupés.



Figure III.16 : fibre de verre en mat.

- **Utilisation des Fibres de verre en mat :**

Réalisation de revêtements composites en association avec des résines époxydiques, vinyl esters et phénoliques.

Il sera utilisé notamment dans les domaines suivants :

- Cuvettes de rétention.
- Réservoirs.

Caractéristiques et Conditionnement :	Rouleau d'environ 100 m² (largeur 1,25 m).
Conditions de stockage :	Stocker à l'abri de l'humidité entre + 5°C et +30°C.
Conservation :	24 mois dans l'emballage d'origine, non ouvert.

Tableau III.17 : caractéristiques des fibres de verre mat.

- **Conditions d'application :**

Appliquer la première couche de liant de stratification au rouleau, après mise en place d'un Sikagard® Armature, maroufler celui-ci dans le liant de stratification à l'aide du rouleau d'ébulleur à mat de verre, puis appliquer la couche suivante de liant de stratification. Il est impératif de prévoir un recouvrement de 5 à 10 cm entre chaque lés de SIKAGARD Armature.

En cas d'application d'un second Sikagard® Armature, appliquer une nouvelle couche de liant de stratification (dans un délai de 12 à 24 heures) puis procéder comme la première opération.

Après saupoudrage de sable de quartz et réticulation, les défauts (picots) seront éliminés par ponçage. L'étanchéité sera contrôlée à l'aide d'un détecteur de porosité.

III.3 Formulations des mortiers :

Dans notre étude on a utilisé plusieurs formulations de mortiers avec trois ajouts et trois différents types de fibres:

- Mortier avec fumée de silice.
- Mortier avec pouzzolane.
- Mortier avec laitier.
- Mortier avec fumée de silice et fibre polypropylènes longs.
- Mortier avec fumée de silice et fibre polypropylènes courts.
- Mortier avec fumée de silice et fibre de verre en mat.
- Mortier avec pouzzolane et fibre de verre en mat.
- Mortier avec laitier et fibre de verre en mat.

Note : Les taux et le malaxage des additions et des fibres sont choisis sur la base d'une recherche bibliographique des études précédentes [35], [36]. Pour une quantité de moule en (4*7*28).

Les dosages sont présentés dans des tableaux suivants :

Matériaux	Dosage [g]
Sable	470.7
Fumée de silice	363.0
Ciment	303.1
L'eau	266.0
Super plastifiant	13

Tableau III.16 : dosage en fumée de silice.

Note : même dosage pour le mortier a base de la pouzzolane et le laitier.







Les matériaux utilisés :

Sable



Ciment



L’eau



SP



FS



Lai



pouzz



Fibre de verre en mat



Fibre polypropylène c



Fibre polypropylène l



➢ III. 4.Le malaxage :

Les séquences de malaxage sont présentées dans les tableaux suivant :

Matériaux	Temps de malaxage (min)
Tout le sable	2
De 65 % à 75% d'eau	2
Fumée de silice	2
Ciment	2
Super plastifiant + le reste d'eau	2
Mélange à haute régime	4
fibres	2
Mélange à haute régime	4
totale	20

Tableau III.21 : Séquence de malaxage de fumée de silice avec les fibres polypropylénes.

Note : même séquence de malaxage pour les fibres longs et fibres de verre en mat.

Matériaux	Temps de malaxage (min)
Tout le sable	2
De 65 % à 75% d'eau	2
Fumée de silice	2
Ciment	2
Super plastifiant + le reste d'eau	2
Mélange à haute régime	4
totale	14

Tableau III.22 : Séquence de malaxage de fumée de silice témoin.

Note : même séquence de malaxage pour la pouzzolane et laitier.

- Pour les fibres de verre en mat on a posé une tranche de (7*28) entre le 1/3 de la pâte dans l'éprouvette de (4*7*28).
- la procédure de malaxage pour tous les types de mortiers est présentée par des étapes :

1ere etape

- **mettre tous le sable pendant 2 min**



2eme etape

- **verser la moitier de la quantité d'eau pendant 2 min**



3eme etape

- **mettre la fumée de silice pendant 2 min.**



3eme etape

- **mettre le ciment pendant 2 min.**



4eme etape

- **Super plastifiant + le reste d'eau 2 min.**



5eme etape

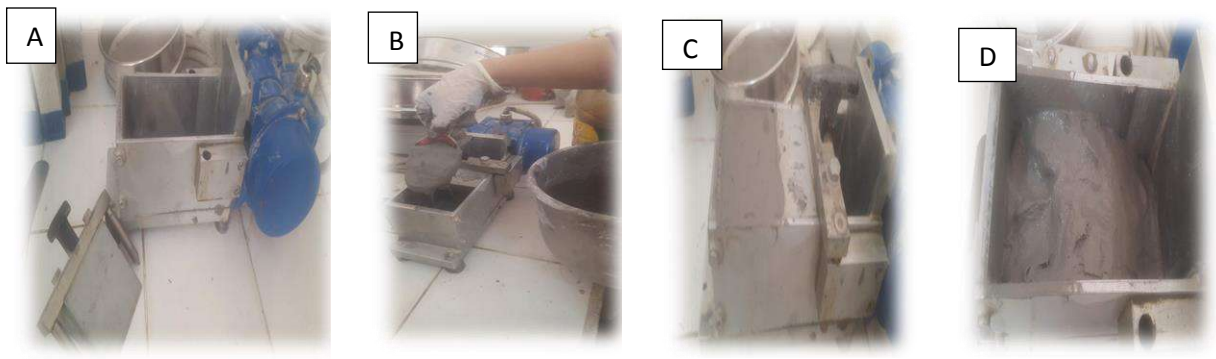
- **Mélange à haute régime 4 min.**



III.5 Les essais à l'état frais :

III.5. 1. Essai au maniabilimètre B :

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilimétreB, il consiste en un boitier parallélépipédique métallique à des dimensions connus, posé surdes supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible. [33]



(A) : préparation de maniabilimètre.
(B) : mettre la pâte dans l'espace désiré.
(C) : allume l'appareil et le chronomètre.
(D) : Eteigne l'appareil et noté le temps.

Figure III.17 essai de maniabilité par le maniabilimetre.

III.5. 2. Essai d'ouvrabilité :

Une des grandeurs définissant l'ouvrabilité est la consistance. Elle peut être mesurée en utilisant le cône d'Abrams. Du nom de son inventeur ou "Slumptest".

En mesurant la hauteur d'affaissement après le démoulage du cône, on obtient une indication sur l'ouvrabilité du béton, plus la hauteur d'affaissement est importante, plus le béton est fluide.



Figure III.18 : essai d'ouvrabilité sur les mortiers

III.5. 3. Temps de prise :

L'essai de prise doit être réalisé à une température de 20°C et à une hygrométrie supérieure à 90%. Objectif de l'essai de prise permet de déterminer le temps de prise, ce qui correspond au temps écoulé du moment de gâchage du mortier jusqu'au début de prise.

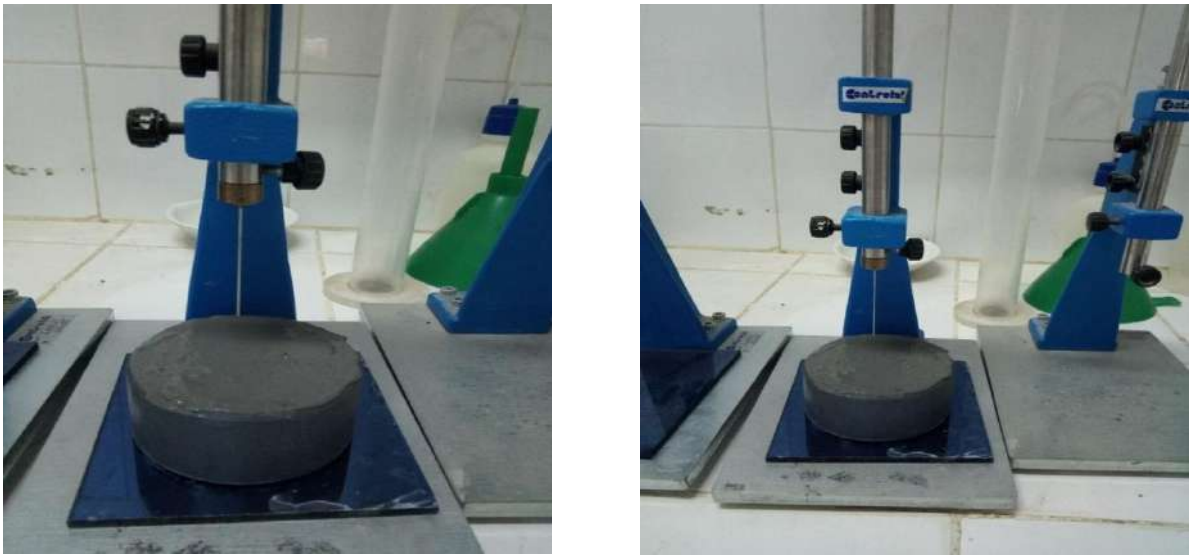


Figure III.19 : essai temps de prise sur le mortier.

III. 5. 4 Air occlus :

Avec un appareillage spécifique, l'aéromètre, on peut déterminer la teneur en air des mortiers selon la norme NF P18-353. Le principe est de remplir un volume déterminé de mortier. On met en pression le récipient hermétiquement. On met en contact les deux récipients et on accède directement à la valeur de la teneur en air occlus. La masse de l'air occlus s'effectuait juste après la fin du malaxage.



Figure III.20 : essai de l'air occlus sur le mortier.

III. 5. 5 Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (40 x 40 x 160) mm, et (70x70x280) mm. 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 nouveau par 60 chocs.

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.

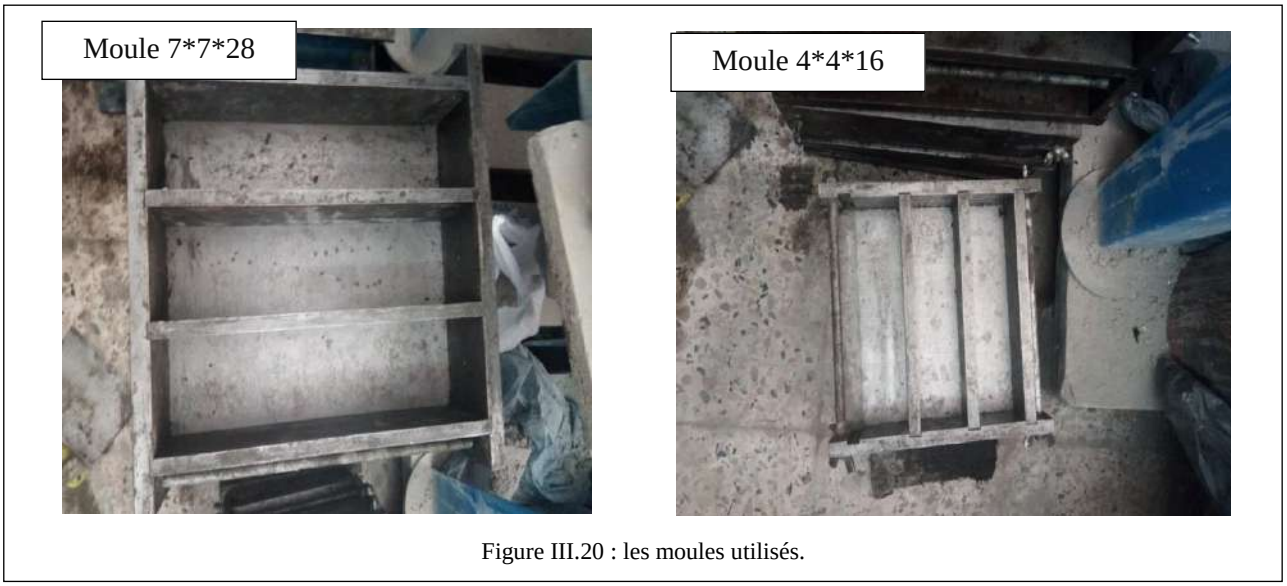


Figure III.20 : les moules utilisés.

III. 5. 6 Conservation des éprouvettes :

Après le démoulage d'échantillons onsèche les éprouvettes pendant 24heures avant les mettre en cure dans l'eau durant 7, 14,28 jours.



Figure III. 21: la cure des éprouvettes.

III.6. les Essais à l'état durcis :

III.6.1. Essais des résistances mécaniques :

III.6. 1.a. Résistance à la flexion par trois points :

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s ± 10 N/s, jusqu'à rupture. Conserver les demi-prismes jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm2) est calculée au moyen de la formule :



Figure III.22 : Essai de flexion.

III.6. 1. b .Résistance à la compression :

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ±0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm. Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).





Figure III.24 : Essai de compression.

III.7. Essais de durabilité :

III.7 .1. Mesure de l'absorption capillaire :

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau par succions capillaire des éprouvettes de mortier non saturées, mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique. Avant les mesures de la sportivité, les éprouvettes seront prés conditionnés dans l'étuve à environ 105°C jusqu'à une masse constante. L'essai de Sportivité détermine le taux ou la vitesse d'absorption par remontée capillaire d'un demi-prisme d éprouvette placé dans un bac contenant de l'eau, de sorte que l'eau ne touche l'éprouvette que d'une hauteur presque de 5mm de la profondeur du bac, le reste de l'éprouvette est préalablement imperméabilisée par la paraffine sur toutes les autres faces.





Figure III.25 : essai absorption capillaire.

III.7 .2. Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.
On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% [34].

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

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

III.7 .3. Gonflement :

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



Figure III.26 : Essai de Retrait et gonflement.

IV.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur notre composite cimentaire confectionnées selon les différentes combinaisons d'ajouts (Pouzzolane,
Laitier, Fumée de silice, fibre polypropylène long, court et fibre de verre en mat).
On a utilisé les abréviations suivantes :

- Mortiera base de fumée de silice(témoin) → FST.
- Mortier a base de pouzzolane → POUZT.
- Mortier a base de laitier → LAIT.
- Mortier a base de fumée de silice et 2% fibre polypropylène long → FS+FPL.
- Mortier a base de fumée de silice et 2% fibre polypropylène court → FS+FPC.
- Mortier a base de fumée de silice et fibre de verre en mat → FS+FT.

Note: Les taux des ajouts et de fibres sont choisis sur la base d'une recherche bibliographique des études précédentes. [35]. [36].

IV.2. Résultats des essais et propriété de composite cimentaire :

IV.2. 1. Etat frais :

IV.2. 1. A. Ouvrabilité et maniabilité :

- les résultats d'essai de maniabilité sont présentés dans le tableau suivant (Table IV.1) :

Nomination	Rapport $\frac{E}{L}$	Temps de maniabilité (s)
FST	0.4	27
POUZZ	0.35	23
LAI	0.3	22
FS+FPL.	0.4	29
FS+FPC.	0.4	28

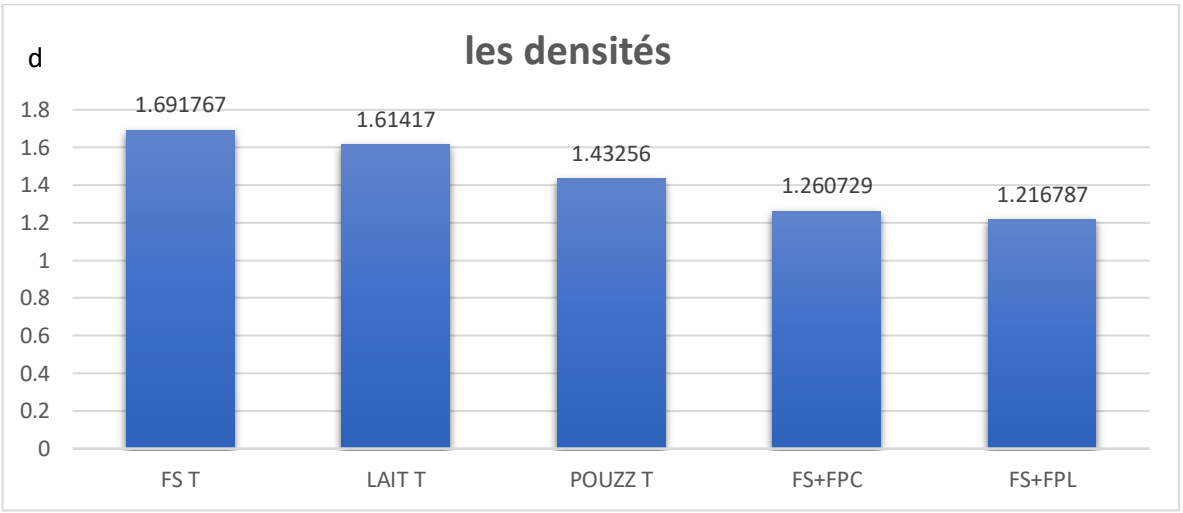
Table IV.1 : la maniabilité des mortiers (temps de vibration en (seconde)).

D'après les résultats expérimentaux présentés (Table IV.1), lesajouts affecte la maniabilité des mortiers frais. En effet, tous les ajouts (la pouzzolane, la fumée de silice et le laitier) ont diminué le temps de vibration de maniabilimètre c'est-à-dire augmentent la maniabilité du mortier, néanmoins

les mortiers CCE (à base des fibres) diminue la maniabilité, on remarque que le mortier à base del laitier est plus fluide que les autres. Ce qui peut être expliqué par la composition particulière du laitier.

IV.2. 1. C. densité des mortiers:

- Les densités de différents mortiers réalisés sont résumées dans l'histogramme suivant (Graphe IV.2) :



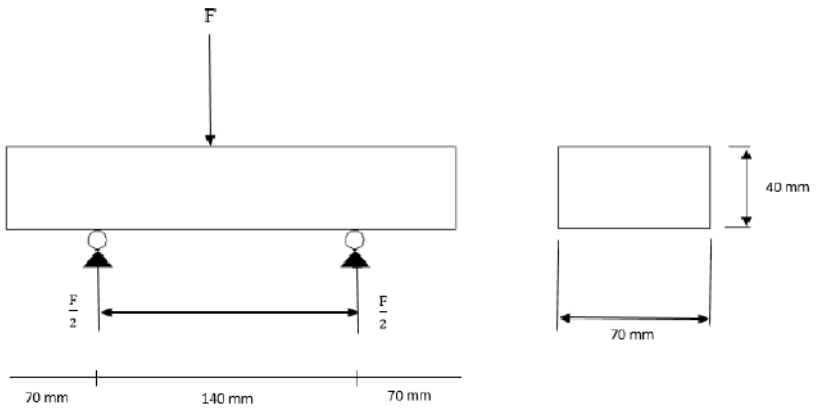
Graphe IV.2 : les densités des mortiers.

D'après le graphe IV.2 on constate que le mortier à base de fumée de silice est le plus dense par rapport aux autres mortiers, à cause de l'effet physique de la fumée de silice qui rend la composite plus dense. Et on observe que les mortiers à base de fibre sont moins denses que les mortiers témoins, Ce qui confirme les résultats trouvés dans la littérature. [41].

IV.2. 2.Etat durci :

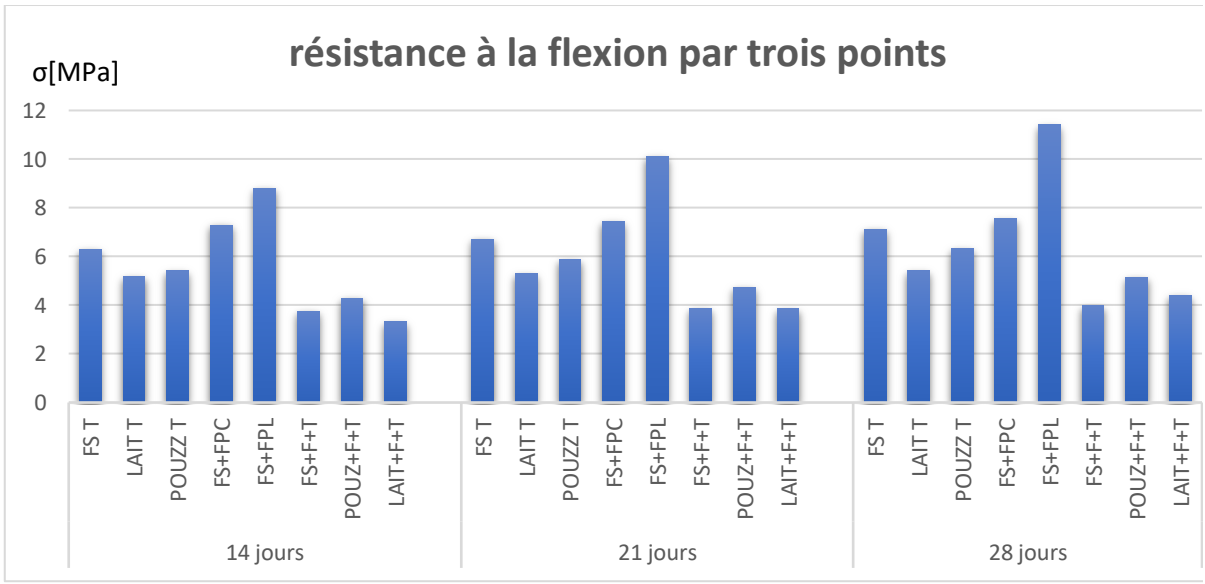
IV.2. 2.1. Résultats de l'essai mécaniques :

IV.2. 1. A. Résistance à la flexion par 3 points :



figureIV.2 : disposition de flexion par trois points.

- L'histogramme (Graphe IV.3) présente l'évolution des résistances a la flexion des mortiers à base de CCE et mortiers témoins au 14 21 28 jours :

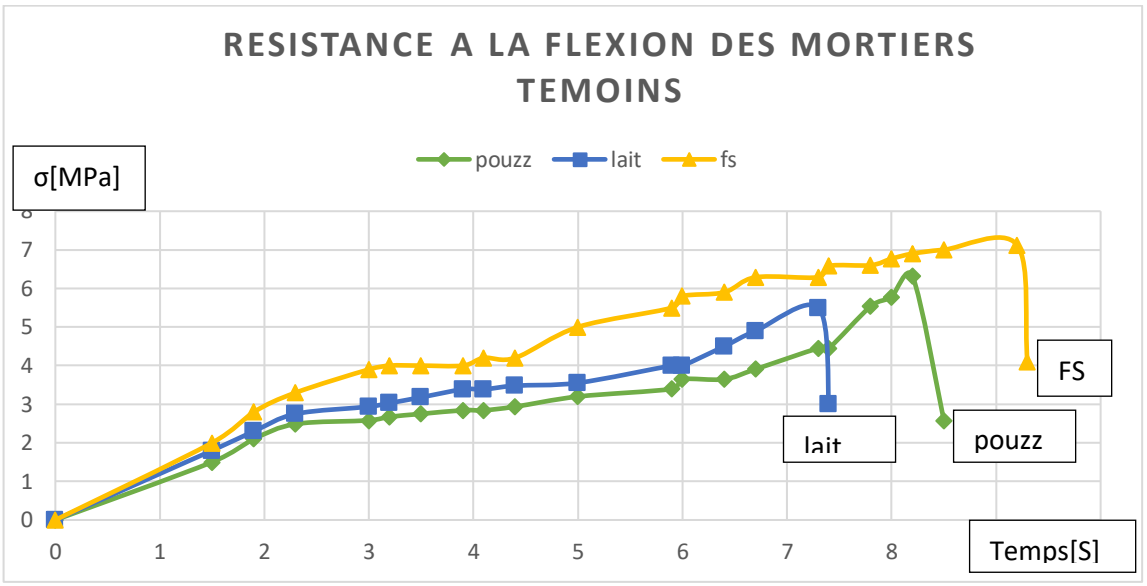


Graphe IV.3 : les résultats de flexion par 3 points aux mortiers témoins et mortiers CCE en (14 21 28 jours).

- Mortier CCE : d'après le grapheIV.3 on observe que les mortiers à base des fibres ont donnés des valeurs plus élevées par rapport au mortier témoins, néanmoins les mortiers à

base de fibres polypropylènes longs et fumée de silice augmentent la résistance à la flexion par rapport aux autres mortiers fibrés et c'est à cause de la capacité de contrainte élevée et les propriétés d'allongement. ce qui est approuvé en littérature. [42].

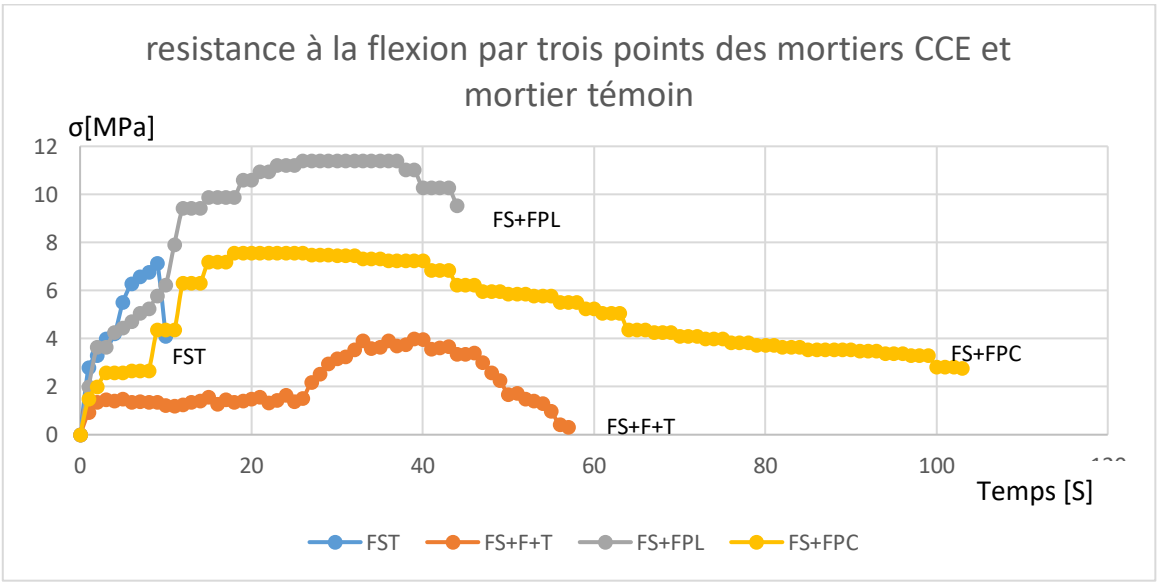
- Les résultats de la résistance à la flexion par 3 point des mortiers témoins sont représentés dans le graphe suivant (IV.4) :



Graphe IV.4 : les résultats de flexion par 3 points aux mortiers témoins (28 jours).

Mortier a base des ajouts sans fibres (témoins) : d'après les graphes on constate que le mortier à base de fumée de silice résiste à la flexion plus que les mortiers à base de pouzzolane et laitier car la fumée de silice S95_ DM_PDS est une pouzzolane qui réagit chimiquement avec le mortier pour augmenter la quantité de gel hydraté de silice de calcium, ce qui permet d'améliorer la résistance du mortier tout en réduisant sa perméabilité. Ainsi que, lemortier est extrêmement durable et résistant.

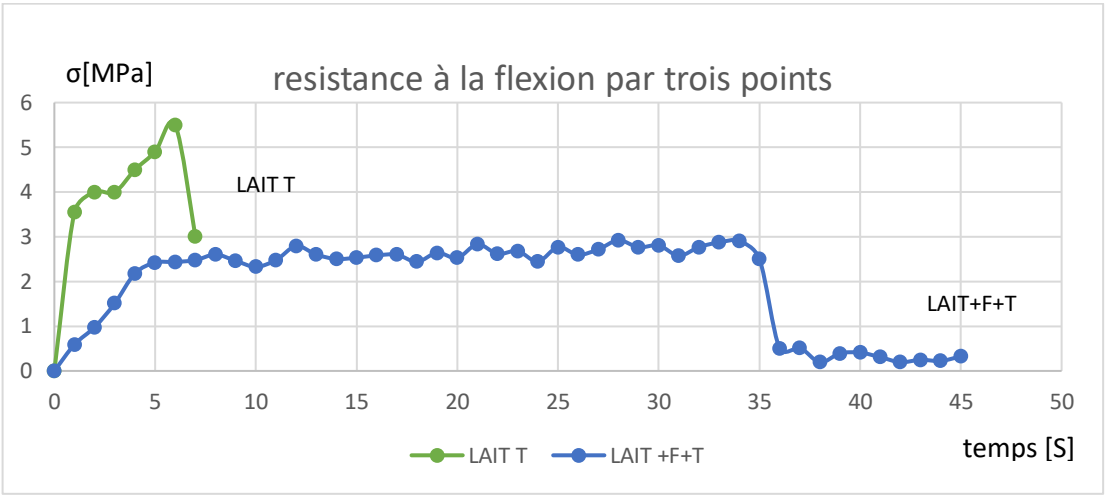
- La mesure de la résistanceà la flexion par trois points est importante pour comparer le mortier à base de fumée de silice et mortier à base de fibre. Les résultats sont résumés dans le graphe suivant (IV.5) :



Graphe IV.5 : les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de fumée de silice témoin.

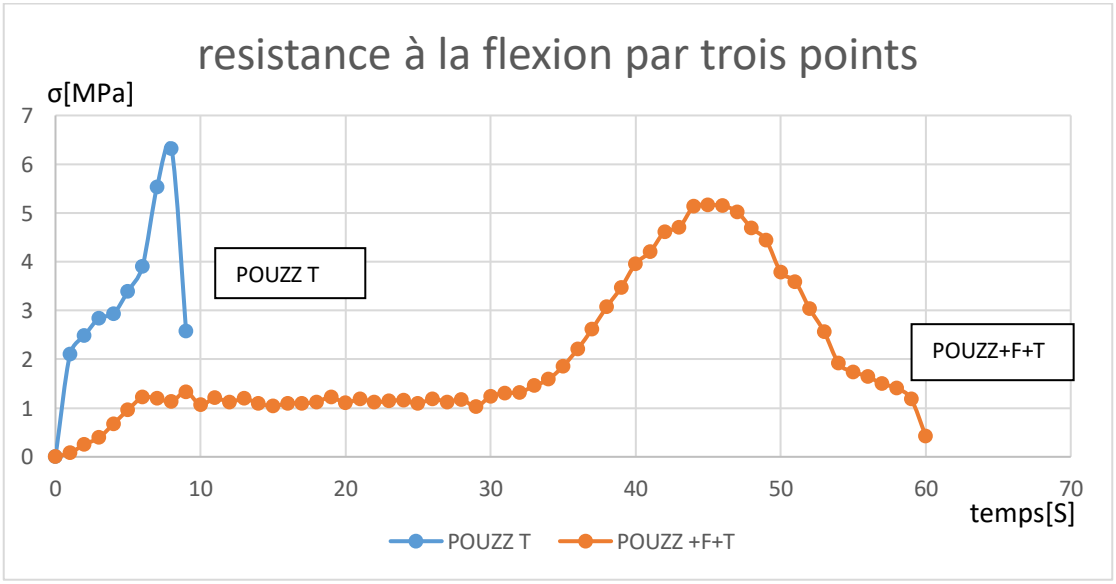
D'après le graphe IV.5 on constate que la fumée de silice joue un rôle bénéfique a la résistance en flexion car le mortier a base de fumée de silice et fibre (CCE) ou mortier témoin (FST) les valeur de la résistance a la flexion est élevée par rapport aux autre mortiers.

- Les résultats des (Graphe IV.6) et (Graphe IV.6)sont présentés ci-dessous montre La comparaison entre le mortier témoins de laitier et pouzzolane et mortiers fibreux en fibre de verre en mat.



Graphe IV.6 : les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de laitier témoin.

- Résultat de résistance a la flexion d'un mortier a base de pouzzolane et pouzzolane avec fibre de verre en matte (Graphe IV.6) :

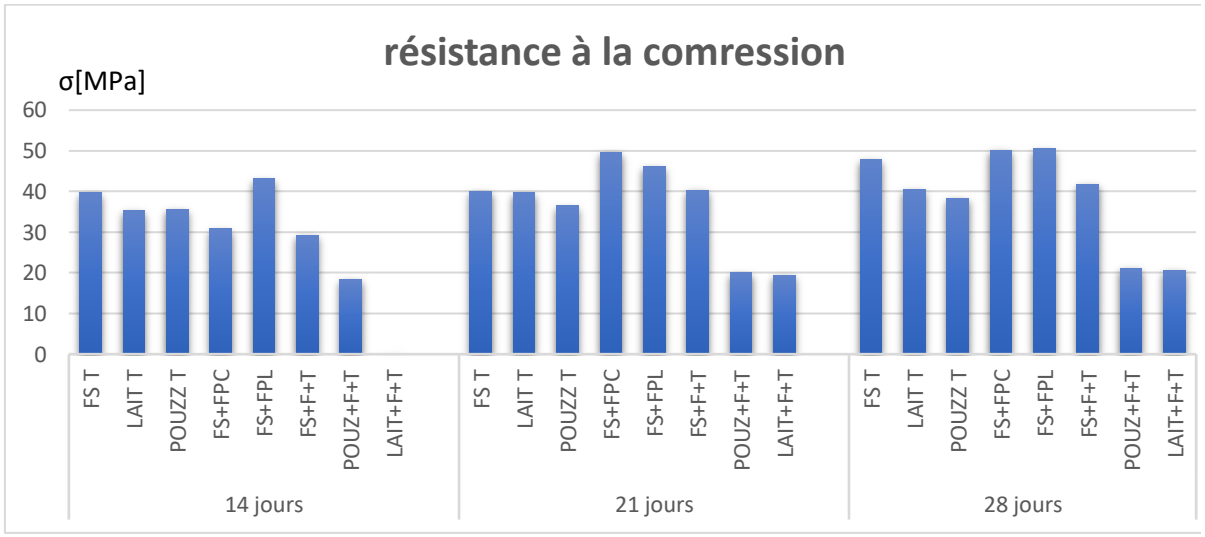


Graphe IV.6 : les résultats de flexion par 3 points aux mortiers CCE et mortier à base de pouzzolane témoin.

Les résultats présentés dans (Graphe IV.6et Graphe IV.5) montrent que le mortier a base de laitier et pouzzolane présentent un comportement fragile car on observe une chute brusque de la résistance, ainsi que le mortier CCE (pouzzolane et laitier plus les fibres de verre en mat) affichent un palier horizontal due a l'emmagasinement de l'énergie de déformation.

IV.2. 1. B. Résistance à la compression :

Les résultats de la résistanceà la compression aux mortierstémoins et mortiers CCE en 14 21 28 jours sont présentes dans l'histogramme suivant (Graphe IV.7) :



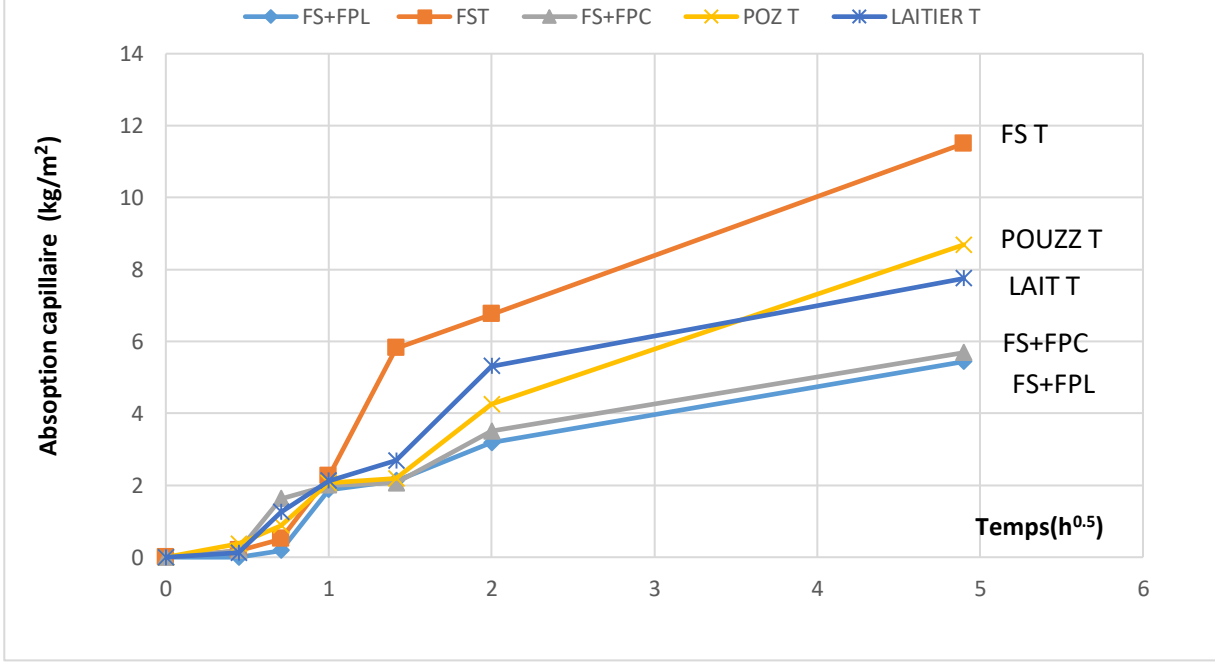
Graphe IV.7 : les résultats de compression aux mortiers témoins et mortiers CCE en (14, 21, 28 jours).

Le graphe (IV.7) montre que la résistance à la compression de mortier à base de fumée de silice est plus élevée par rapport à la pouzzolane et laitier ; et pour le mortier à base de composite cimentaire on observe une augmentation a la compression par rapport aux autres mortiers et cela ce qui témoigne l'effet positif de la fumée de silice sur la cinétique de l'hydratation du ciment. . Ce qui confirme les résultats trouvés dans la littérature. [43].

IV.2. 3. Durabilité:

IV.2. 3 .A. l'absorption capillaire:

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers sont résumés dans le graphe suivant (Graphe IV.7) :

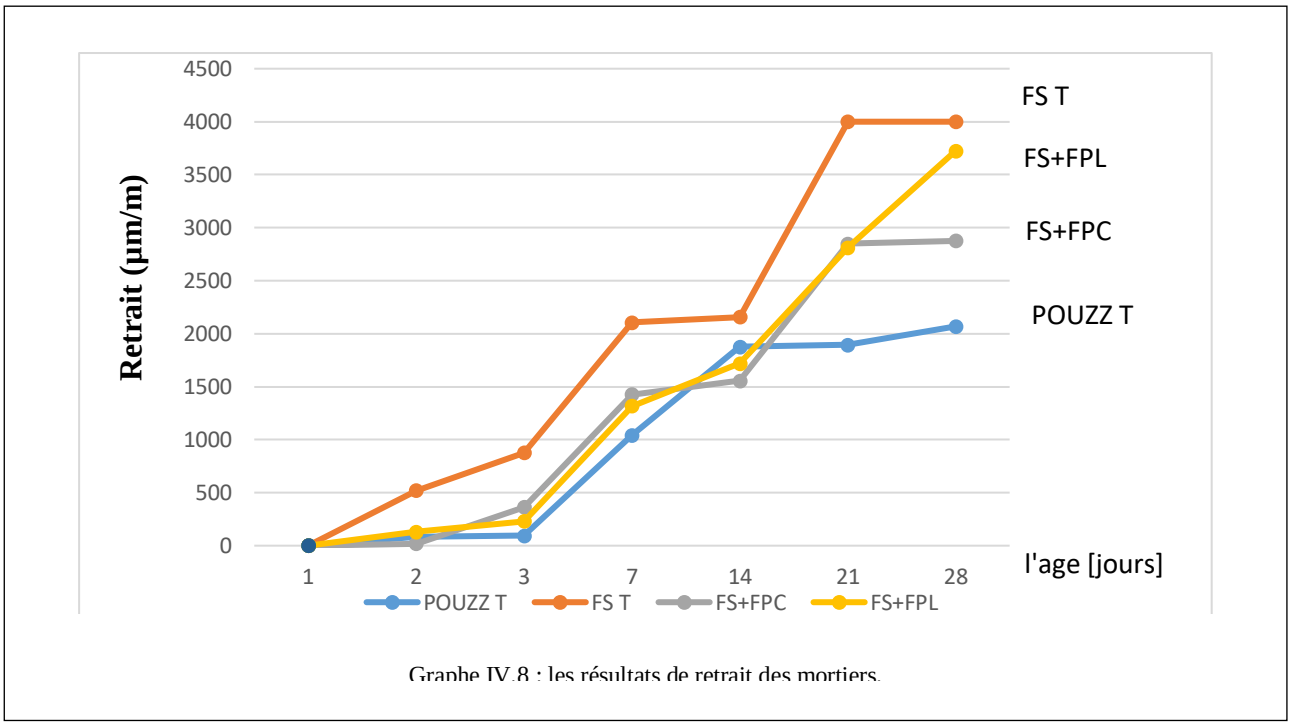


Graphe IV.7 : les résultats de l'absorption capillaire des mortiers.

Le graphe IV.7 montre que les mortiers à base des composites cimentaire fibrés (polypropylènes courts et longs) absorbent moins d'eau que les mortiers a base des ajouts ; ceci peut être dus aux finesses des fibres polypropylènes qui se dispersent très facilement et créent un réseau fibré qui occupe certains volumes des pores.

IV.2. 3 .B .Retrait:

Les résultats des essais de retrait et gonflement sont illustrés dans les graphes (IV.8 et IV.9) suivantes :

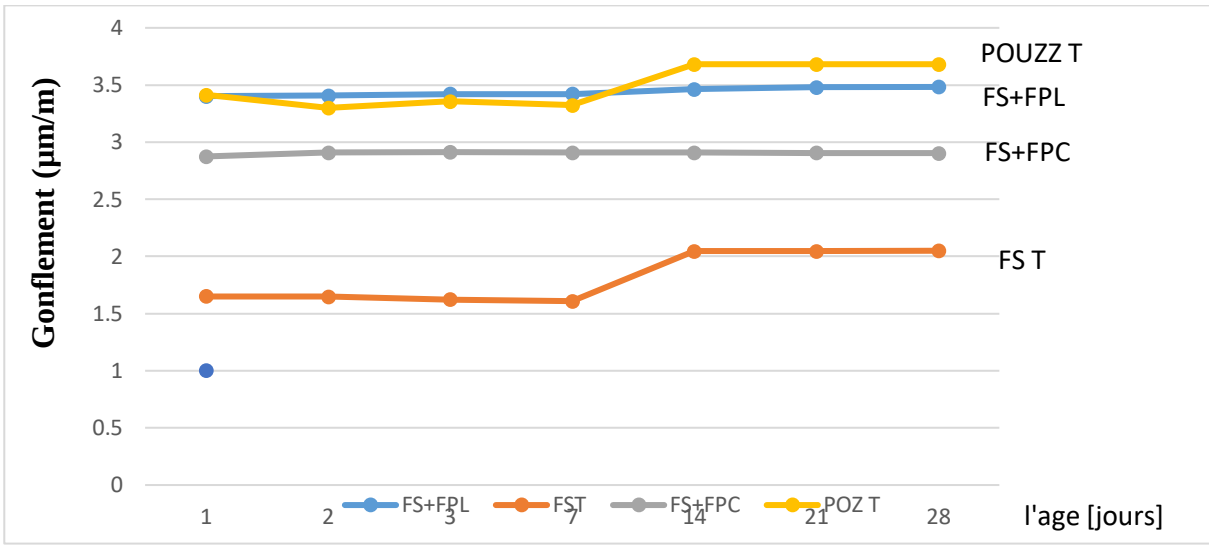


Graphe IV.8 : les résultats de retrait des mortiers.

D'après la figure on remarque que les valeurs du retrait de mortier témoins à base de fumée de siliceélevéplus que les mortiers fibrés ; d'où on constate que la plus faible valeur dans l'essai de retrait est le mortier (fumée de silice +fibres polypropylènes courts) par rapport à la pouzzolane.

Le mortier à la fumée de silice possèdent une structure des pores plus fins et par conséquent, retiennent plus d'eau condensée au niveau capillaire à une humidité relative donnée et à cause du raffinement des pores. Ce qui confirme les résultats trouvés dans la littérature [44] [45]

IV.2. 3 .c. gonflement :



Graphe IV.9 : les résultats de gonflement des mortiers.

Au début de 7 jours on observe aucun gonflement dans différents mortiers, néanmoins au-delà de 7^{éme} jours on observe une légère augmentation de gonflement pour (FS T, POUZZ T) qui est de l'ordre 1 ,8 et 3,7 µm respectivement. Cela peut être dû au début de la réaction pouzzolanique qui débite généralement au-delà de la 1^{ére} semaine. Ce qui confirme les résultats trouvés dans la littérature. [44].

Conclusion générale et recommandations

Le présent travail avait pour principal objectif, l'étude des propriétés d'un composite cimentaire a l'état frais et durci. A cet effet l'étude est basée sur la comparaison entre les ajouts cimentaires (fumée de silice , laitier , pouzzolane) et les fibres (polypropylènes courts , longs , et fibres de verre en mat) pour atteindre une meilleur flexibilité de mortier . Les analyses des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

- A l'état frais :
  - L'essai d'ouvrabilité et de maniabilité montre que l'ajout de fumée de silice produit un mortier qui s'affaisse moins avec le temps, en raison de la très grande surface développée de ces nano billes de silice introduits dans le mortier. l'incorporation de super plastifiant et fibres polypropylènes améliorent la texture de la pate ; et lui donne un aspect mousseux et c'est a cause de la finesse de fibre. d'autre part la pouzzolane et le laitier augmente l'ouvrabilité par rapport à la fumée de silice ; néanmoins l'ouvrabilité de laitier est très élevée.

  - Pour les densités on conclus que le mortier a base de fumée de silice est le plus dense que les autre alors que le mélange de ciment avec la fumée de silice rend la microstructure de la matrice cimentaire plus dense.

- A l'état durci :
  - Resistance a la Compression et flexion : on conclus que les ajouts cimentaires améliorent les résistances a la compression cela est apparent en laitier dont les résultats affiche une résistance élevée ; néanmoins la fumée de silice améliore les performances mécaniques en flexion et traction et les fibres augmentes a profusion la résistance a la flexion a cause de raffinement des pores associés à la réaction pouzzolanique ; elle joue un rôle important dans l'amélioration de la résistance et de la durabilité.

  - retrait et gonflement : l'incorporation des ajouts dans la composition du mortier entraîne une demande en eau, un volume de pâte plus important et une formation supplémentaire de produits CSH, ce qui engendre un retrait plus important , l'ajout de fumée de silice réduit et raffine la porosité de la matrice cimentaire ; ce qui augmente le retrait des pâtes de ciment en fonction de leur

teneur en fumée de silice pour des rapports E/C élevés. Par contre la pouzzolane influe positivement au retrait et gonflement à cause de ces propriétés chimique et l'hydratation avec le ciment.

- Absorption capillaire : les mortiers de composite cimentaire absorbent moins d'eau que les mortiers sans fibre et cela montre que les fibres empêches l'accès d'eau aux mortiers ou les fibres se dispersent très facilement et créent un réseau fibré très haute densité au niveau de mortier.

Recommandations :

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener a des développements futurs dans le domaine de construction ; pour cela on recommande les étudiants d'approfondir dans ces recherches et surtout d'étudier :

- Les processus de l'auto-colmatage des mortiers de CCE
- L'incorporation des fibres en PVA et les cendres volantes et leurs effets au niveau de mortier
- Utilisation des types de ciments et de sable plus résistants que nous avons utilisé dans notre étude

Effectuer des autres essais comme la résistance au feu, le microscope électronique a balayage(MEB), essais thermique et ultrasonique.

Réference:

[1] V .C.LI ‘large volume, high performance application of fibers in civil engineering ‘journal of applied polymer science vol 83, no83, no3,pp 2002

[2] Li, V.C., “Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance,” in Concrete Construction Engineering Handbook, Chapter 24, Ed. E. Nawy, published by CRC Press, 2008.

[3] Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures - High Performance, Fiber Reinforced Concrete, Special Loadings and Structural Applications- B. H. Oh, et al. (eds) 2010 Korea Concrete Institute, ISBN 978-89-5708-182-2

[4] Li, V.C. 2003. On engineered cementitious composites (ECC). Journal of Advanced Concrete Technology. 1(3):215-230.

[5] Li, V.C. 2003. On engineered cementitious composites (ECC). Journal of Advanced Concrete Technology. 1(3):215-230.

[6] Rokugo, K., Kunieda, M. & Lim, S. 2005. Patching repair with ECC on cracked concrete surface. Proc.of ConMat05, Vancouver, Canada [CD-ROM].

[7] Li, M. & Li, V.C. 2006. Behaviour of ECC/concrete layer repair system under drying shrinkage conditions. Proceedings of ConMat. 5:22-24.

[8] Li, V.C. and Lepech, M. (2005). Engineered cementitious composites: Design, performance and applications, in Ultra-ductile Concrete with Short Fibres – Development, Testing, Applica-tions, V. Mechtcherine (Ed.), ibidemVerlag, Stuttgart, Germany, pp. 99–120.

[9] Li, V., Lepech, M. and Li, M., 2005. Field Demonstration of Durable Link Slabs for Jointless Bridge Decks Based on Strain-Hardening Cementitious Composites, s.l.: Michigan DOT re-port.

[10] Rokugo, K., Kunieda, M. &Miyazato, S. 2006. Structural applications of HPFRCC in Japan. In Measuring, monitoring and modeling concrete properties. Springer. 17-23.

[11] Mavani, M.B. 2012. Fresh/Mechanical/Durability Properties and Structural Performance of Engi-neeredCementitious Composite (ECC).

[12] Rokugo, K., Kunieda, M. & Lim, S. 2005. Patching repair with ECC on cracked concrete surface. Proc.of ConMat05, Vancouver, Canada [CD-ROM].

[13] Li, V.C. &Lepech, M. 2004. Crack resistant concrete material for transportation construction. Transportation Research Board 83rd Annual Meeting, Washington, DC, Compendium of Pa-pers CD ROM, Paper. Citeseer. 04.

[14] [15] Rokugo, K., Kunieda, M. &Miyazato, S. 2006. Structural applications of HPFRCC in Japan. In Measuring, monitoring and modeling concrete properties. Springer. 17-23.

[17]: [16]: J. Zhou, S. Quian& K. van Breugel Delft University of Technology, Delft, the Netherlands G. Ye Ghent University, Gent, Belgium

[18] Manai K., Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants, Mémoire de maîtrise ès sciencesappliquées, Sherbrooke, Canada, 1995.

[19] Etude de l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico-chimiques des ciments par Nabila BOUALLA Université des sciences et de la technologie d'Oran - Licence 2011

[20] Manai K., Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants, Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Sherbrooke, Canada, 1995.

[20] T. Bakharev, J. Sanjayan, Y.B Cheng - Effect of admixtures on properties of alkali-activated slagconcrete - Cement and Concrete Research 30 (2000) 1367–1374

[21] COL99 F. Collins, J.G. Sanjayan- Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete -Cement and Concrete Research 29 (1999) 455-458

[22] Venuat M., La pratique des ciments et des bétons, Edition du Moniteur, Paris, p. 75-224, 1976.

[23] Venuat M., La pratique des ciments et des bétons, Edition du Moniteur, Paris, p. 75 224, 1976.

[24] SHI06 C. Shi, P.V. Krivenko, D. Roy - Alkali-Activated Cements and Concretes - Edition Taylor & Francis (2006)

[25] MIC09 M. Michel - Accélération de ciment au laitier par du ciment sulfo-alumineux - Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (2009)

[26] [SHIb96] C. Shi - Strength, pore structure and permeability of alkali-activated slag mortars - Cement and Concrete Research 26 (1996) 1789-1799

[27] FER99 A. Fernandez-Jiménez, J.G. Palomo, F. Puertas- Alkali-activated slag mortars: Mechanical Strength behavior - Cement and Concrete Research 29 (1999) 1313-1321

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

[29] Bouglada Mohamed Salah, «Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier», Mémoire de Magister, Université de M'sila, Année 2007 / 2008.

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

[31] A Kerbouche, M. Mouli, L. Laoufi, Y. Senhadji, S. Benosmane(Faculté des sciences, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran, Es-sénia, Oran)(Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers).

[32] Prof .J.P.Delisle,F.Alou, «Matériaux de construction1»,Lausanne ,Octobre1978

[33] NF P18-452 et NF P18-437 « Maniabilité (ouvrabilité) » AFNOR – Paris – 1996.

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

[35] Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance Victor C. Li University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109

[36] Engineered cementitious composites with low volume of cementitious materials J. Zhou, S. Quian& K. van Breugel Delft University of Technology, Delft, the Netherlands G. Ye Ghent University, Gent, Belgium

[37] BOOK CHAPTER 3 Fly Ash, Slag, Silica Fume, and Natural Pozzolans

[38] SB-OA 2011-3 Solutions béton - Hors série

[39] bureau de recherche giologique et miniere MADAGASCAR Tan64 /037 etude sommaire de l'utilisation de la pouzzolane

[40] Le ciment de laitier activé : liant prometteurCHAPITRE 2LE CIMENT DE LAITIER ACTIVE : LIANT PROMETTEUR

[41] Matte,V (1999) durabilité des beton a ultra hautes performances ; role de la matrice cimentaire (doctoral dissertation)

[42] International Journal of Scientific Engineering and Technology ISSN:2277-1581Volume No.6 Issue No.4, pp: 132-134 01 April.2017DOI : 10.5958/2277-1581.2017.00002.X Page 132Study on New Hydrid Engineered Cementitious Composites for StructuralApplicationKrishnaraja.A.R, Gunasekaran.A, HariPrasath.T, Meianbesh.S,Department Of Civil Engineering, Kongu Engineering College, Perundurai,Erode.

[43] Université KASDI Merbah – Ouargla Faculté des Sciences Appliquées Département de Génie Civil et d'Hydraulique Mémoire de fin d'étude Génie Civil BELHOCINE AIDA NAGOUDI NADJAT Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux 2013/2014

[44] ETUDE DES DEFORMATIONS DE RETRAIT D'UN MORTIER CONTENANT DIFFERENTES ADDITIONS MINERALES Itim Ahmed.*, Ezziane Karim.*, Kadri El Hadj** Laboratoire de Geomateriaux, Université HassibaBenboualiChlef, Algérie, Laboratoire L2MGC, Université de Cergy Pontoise, France.

[45] THESE de Doctorat en science en Génie Civil Présentée par : AMOURI ChahinezDirecteur de thèse 2009 l'étude de l'influence des différents ajoutssur les propriétés des matrices cimentaires(Caractérisation, Performances, Durabilité)