REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civil
Spécialité : matériaux en génie civil

L'effet du traitement thermique sur les mortiers à faible impact environnemental

---

Présenté par

Aissa Bourahla

Mohamed Benthaya

Proposé et Dirigé par

Pr : Boukendakdji Othman

Mme : Bachen Sarah

Promotion 2019

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté et la patience afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Pr. BOUKENDAKHDJI OTHMANE pour l'encadrement et à la Co-promoteur Mme : BACHENE SARAH pour l'encadrement de ce mémoire, pour son aide, sa confiance et sa patience.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nous remercions également les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et les ingénieurs de hall de technologie qui ont participé à notre formation et à tous nos maitres sur toute notre trajectoire scolaire.

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

Dédicace

Je dédie avec grand plaisir, ce modeste travail à :

À moi-même tout d'abord.

À mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

À mes très chers frères et sœurs.

À toute ma famille sans exception.

À tous mes amis sans exception.

En fin je dédie à tous mes collègues et tous ce que je connais.

AISSA

Dédicace

Je dédie avec grand plaisir, ce modeste travail à :

À mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

À mes très chers frères et sœurs.

À toute la famille ***« Benthaya »*** *sans exception.*

À tous mes amis sans exception.

À Tous mes collègues de 2ème année master Matériaux en génie civil, géotechnique et structure.

Mohamed

ملخّص:

تم إجراء بحوث حول إعداد ملاط ذات تأثير ضعيف على البيئة، وللبحث في استعمالات أفضل لها وخاصة في مجال الصناعات التحضيرية، تم إجراء هذه الدراسة حول سلوك الملاط المائع وهذا ب:

- ✓ معالجته حراريا في 40° و60° مئوية بالنسبة ل 20°
- ✓ استبدال نسبة من الإسمنت بأحد المضافات المعدنية المتواجدة بكثرة وهو (L.H.F) بإضافة 20% منه لحجمه
- ✓ إضافة (25, 50, 75, 100%) من الرمل المعاد تدويره إلى الحجم الكلي للملاط

أظهرت الدراسة أن المعالجة الحرارية كانت مفيدة لتسريع الإعداد أو تحسين خواص الخرسانة بدقة عند40 درجة، إن استعمال خبث الأفران العالية في حالة المعالجة الحرارية يحسن سلوك الملاط المعالج حراريا..

الكلمات المفتاحية: معالجة حرارية، رمل مرسكل، ملاط مائع، خبث الأفران العالية.

Résumé :

Une orientation des recherches vers l'élaboration des mortiers à faible impact environnemental, une meilleure utilisation de ces types de mortier dans la préfabrication, une étude du comportement des mortiers fluides par :

- ✓ Traitement thermique à 40 et 60°C comparons à celui qui subit une cure à 20°C.
- ✓ Substitue le ciment par l'un des additifs minéraux les plus abondants (le Laitier de Haut Fourneau) avec un taux de 20%.
- ✓ Sable naturelle par un sable recyclé de béton de démolition avec un taux qui varie de 25, 50, 75 et 100%.

L'étude a montré que le traitement thermique était bénéfique concernant l'accélération de prise et l'amélioration des propriétés du mortier, précisément pour une température de 40°C, l'utilisation des laitiers dans le cas des traitements thermiques améliore le comportement des mortiers traité thermiquement.

Mot clé : traitement thermique, sable recyclé, laitier des hauts fourneaux, mortiers fluide

Abstract:

Orientation of research towards the development of mortars and concretes with low environmental impact, a better use of these types of mortar in the prefabrication, a study of the behavior of the fluid mortar by:

- ✓ application of heat treatment at 40 and 60 ° C compared to that undergoing a cure at 20 ° C.
- ✓ substitution cement by one of the most abundant mineral additives (the Blast Furnace) with a rate of 20%
- ✓ Natural sand from recycled demolition concrete sand with rates ranging from 25, 50, 75 and 100%.

The study showed that the heat treatment was beneficial for the setting acceleration or the improvement of concrete properties precisely for a temperature of 40 ° C, the use of slag in the case of heat treatments improves the behavior of mortars heat treated.

Keyword: heat treatment, recycled sand, blast furnace slag, fluid mortars.

SOMMAIRE

Dédicaces
Remerciement
Résumés
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Notation et Abréviation
Introduction Générale

CHAPITRE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE PAGE

I.1. Introduction..... 3
I.2. Le laitier de haut fourneau 3
I.2.1. Introduction 3
I.2.2. Les avantages d'utilisation du laitier de haut fourneau..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.2.1. Avantages Économiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.2.2. Avantages Écologiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.2.3. Avantages Techniques..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.3. Les types de laitier des hauts fourneaux ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.3.1. Le laitier cristallisé ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.3.2. Le laitier granulé..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.4. Les méthodes d'activation de laitier des hauts fourneaux . **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.4.1. L'activation chimique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.4.2. L'activation mécanique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.4.3. L'activation thermique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.5. Hydratation du mélange de laitier et ciment Portland..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.2.6. Les effets de laitier de haut fourneau sur le comportement de béton ... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3. Granulats recyclés (sable recyclé) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.1. Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2. Les impacts d'exploitation des carrières ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2.1. Impact socio-économique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2.2. Impact hydrogéologique..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2.3. Impact hydrologique et biologique..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2.4. Impact sur l'atmosphère..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.2.5. Impact sur le paysage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.3.3. Les enjeux de recyclage des granulats ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.4. La situation des déchets de déconstruction en Algérie et au monde .... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.5. Les différentes sources des granulats recyclés ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.5.1. Les matériaux de déconstruction de bâtiments et ouvrages d'art ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.5.2. Les matériaux de déconstruction de chaussées ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.5.3. Les mélanges hétérogènes du même type mais avec des teneurs en matériaux indésirables supérieures à 10% ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.6. Les caractéristiques de sable recyclé ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.6.1. Caractéristiques physiques et mécaniques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.6.2. Caractéristiques chimiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.7. L'effet des granulats recyclés sur le comportement de béton et de mortier..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.7. 1. L'état frais ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.7.2. À l'état durci ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.4. Le traitement thermique ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1. Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.4.2. L'effet de traitement thermique sur l'activation de laitier . **Erreur ! Signet non défini.**

I.4.3. L'effet de traitement thermique sur les bétons à base des granulats recyclés... **Erreur ! Signet non défini.**

I.5. Conclusion 30

CHAPITRE 2 : MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1. Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2. Matériaux utilisés ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.1. Le ciment..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2. Laitier de haut fourneau ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.3. Sable..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.4. L'eau de gâchage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.5. L'adjuvant ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.5.1. PROPRIÉTÉS de MEDAFLOW 30 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.5.2 Caractéristiques de MEDAFLOW 30 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3. Formulations des mortiers autoplaçant ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.1. INTRODUCTION ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.2. Le rapport sable / mortier (S/M)..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.3. Le rapport eau/liant (E/L) et superplastifiant/liant (Sp/L) **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.4. Formulation des mortiers a faible impact environnemental..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.3.5. Procédure d'humidification de sable recyclés..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4. Préparation et conservation des éprouvettes..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.1. Procédure de malaxage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.2. Préparation des éprouvettes..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.4.3. La conservation des éprouvettes..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5. Protocole expérimentale ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5.1. Essais effectue sur le laitier et ciment..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5.2 essais effectués sur les granulats ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5.3 essais effectués sur le mortier..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5.3.1. Essais effectués sur le MAP à l'état frais ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.5.3.2. Essais effectués sur le MAP à l'état durci ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.6. Conclusion..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE III : INTERPRITATION DES RÉSULTATS

III.1. Introduction.....57
III.2. L'état frais ..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.2.1. Essai de l'étalement..... **Erreur ! Signet non défini.**
III.2.2. L'essai de la masse volumique (densité) 59
III.3. À l'état durci 60
III.3.1. Résistance à la compression.....60
III.3.2. Résistance à la Traction par flexion..... **Erreur ! Signet non défini.**6
III.4. Les essais de durabilité..... **Erreur ! Signet non défini.**8
III.4.1. L'essai de porosité ..... **Erreur ! Signet non défini.**8
III.4.2. L'essai d'absorption par capillarité 70
III.5. Conclusion 73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. les caractéristiques des trois classes de laitier. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau I.2. les compositions chimiques de clinker et de laitier algérien et français. ..**Erreur ! Signet non défini.**
Tableau I.3. estimation théorique du déchet de C&D en Algérie à 1996.. **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau I.4. les compositions chimiques des granulats recyclés par rapport le ciment et les granulats normales..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.1. les compositions chimiques de ciment CEMII/B 42.5 N. ... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.2. les compositions minéralogiques de ciment CEMII/B 42.5 N. .. **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.3. les propriétés physiques de ciment CEMII/B 42.5 N..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.4. le temps de prise de ciment CEMII/B 42.5 N..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.5. la résistance mécanique de ciment CEMII/B 42.5 N. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.6. Caractéristiques chimiques du laitier d'El-Hadjar ... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.7. les caractéristiques physiques des sables utilisé. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau II.8. les caractéristiques de super plastifiant MEDAFLOW 30. . **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau III.1. L'étalement au mini cône en fonction de pourcentage de superplastifiant pour tous les mélanges..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau III.2. La densité de chaque mélange de mortier..... **Erreur ! Signet non défini.**

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Le laitier cristallisé. 7
Figure I.2. La situation de laitier par rapport les autres ajouts minéraux dans le diagramme de RANKINE.....8
Figure I.3. Evolution de la résistance à la compression de laitiers granulés de haut fourneau en fonction de l'indice de basicité "CaO/SiO2" 10
Figure I.4. Modélisation de l'évolution du volume des hydrates en fonction du taux de laitier 12
Figure I.5. Effet du pourcentage de laitier sur la résistance à la compression C0L0 : liants avec0% de laitier avec 100% ciment CEMI, C0L10 : liants avec 10% de laitier, C0L20: liants avec 20% de laitier, C0L30: liants avec 30% de laitier, C0L40 14
Figure I.6. La production des granulats en Algérie entre 2000 et 2009. 15
Figure I.7. La production des agrégats par M³ en 2009 à L'Algérie. 16
Figure I.8. Interface granulat naturel/pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton.....20
Figure I.9. Analyse par MEB de la zone de transition des mortiers avec sable recycle saturé (gauche) et sable recycle sec (droite). 22
Figure I.10. Évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps. 25
Figure I.11. La résistance à la traction par fendage en fonction de temps. 26
Figure I.12. La résistance mécanique d'un mortier à base des différents ciments traité thermiquement.....28
Figure I.13. Évaluation de la Rc sur un mortier autoplaçant avec et sans traitement thermique. 29
Figure II.1. Poudre de laitier avant broyage(a)et après broyage(b). ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.2. le sable recyclé à base de béton concassé ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.3. sable naturelle d'oued souf. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.4. la courbe granulométrie des sables utilisés. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.5. MEDAFLOW30. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.6. pourcentages des granulats recyclés. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.7. Le malaxeur 5L. 39
Figure II.8. la procédure de malaxage de MAP. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.9. Éprouvettes confectionnées. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.10. la conservation des éprouvettes à l'eau. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.11. Enceinte climatique pour le traitement thermique des éprouvettes. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.12. Cycle de traitement thermique. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.13. le perméabilimère de Blaine ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.14. la série des tamis de l'analyse granulométrie. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.15. moule et dame pour coefficient d'absorption. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.16. les équipements de l'essai de l'équivalent de sable. .. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.17. l'essai de la masse volumique absolue par pycnomètre. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.18. l'essai de la masse volumique apparente. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.19. Essai d'étalement au mini cône. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.20. Essai de traction par flexion. 49
Figure II.21. Essai de compression simple. 50
Figure II.22. Schéma de pesée hydrostatique d'Absorption d'eau par capillarité……...51
Figure II.23. Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité……..52
Figure II.24. Protocol expérimental. ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.1. La densité d'un MAP à base de laitier et de sable recyclé. 60
Figure III.2. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 1j. 61
Figure III.3. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 3j. 61
Figure III.4. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 28j……62
Figure III.5. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 56j.....62
Figure III.6. La résistance à la Traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 1j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.7. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 3j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.8. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 28j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.9. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 56j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.10. La porosité de 0% et 20% de laitier à 20°C en 56j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.11. La porosité de 0% et 20% de laitier à 40°C en 56j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III.12. La porosité de 0% et 20% de laitier à 60°C en 56j. 70
Figure III.13. L'absorption de 0% de laitier à 20°C en 56j. 70
Figure III.14. L'absorption de 20% de laitier à 20°C en 56j. 71
Figure III.15. L'absorption de 0% de laitier à 40°C en 56j. 71
Figure III.16. L'absorption de 20% de laitier à 40°C en 56j. 72
Figure III.17. L'absorption de 0% de laitier à 60°C en 56j. 72
Figure III.18. L'absorption de 20% de laitier à 60°C en 56j. ..... **Erreur ! Signet non défini.**

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

BAP : Béton autoplaçant

MAP : Mortier autoplaçant

MAPT : mortier autoplaçant témoin

MAPL : mortier autoplaçant au laitier

SN : Le sable Naturelle

SR : Sable recyclé

GR : Granulats recyclés

C & D : construction et démolition.

L.H.F : laitier de Haut Fourneau

E1 : Eau

BO : Le béton ordinaire

MF Module de finesse

CPJ_CEM II 42.5N : Ciment portland composé

E : Dosage en eau

C : Dosage en ciment

LCPC : laboratoire centrale des ponts et des chaussés

L : Liant

E/C : Le rapport eau/ciment

C/S : Le rapport ciment /sable

Sp : Dosage en superplastifiant

Sp/C : Le rapport superplastifiant/ciment.

Sp/L : Le rapport Superplastifiant / Liant

S/M : Le rapport sable/mortier

KWh : Kilowatt heure

D : Diamètre max

d : diamètre min

Al2O3 : Alumine

MgO : magnésie

SiO_2 : La silice

CaO : la chaux

AL2O3 : L'alumine

SO3 : Sulfates

J/g : joule par gramme

C3S : Silica titra calcique

C2S : Silica bi-calcique

Ph : degré d'acidité

ES : L'équivalent de sable **MF** Le module de finesse

TT : traitement thermique

C-S-H : silicates de calcium hydratés

CEMI : ciment portland artificiel CPA

C2ASH8 : La strätlingite

OPC : ciment Portland ordinaire

P : La porosité

ITZ : Interfacial Transition Zone

CaCO3 : calcaire

MEB : Microscopie Électroniques à Balayage

Rc : Résistance à la compression

Mv : masse volumique

Mf : module de finesse

Ab : absorption

SF : sande Finesse

D : Diamètre d'étalement

MPA : méga pascale (unité de pression = KN/mm^2)

PCE : polycarboxylate d'Ether

NA : Norme Algérienne

NF EN : Norme Française Europien Norme

HR : Humidité Relative

Cu : Le coefficient d'uniformité

Cc : Le coefficient de courbure

Ms : masse sec après l'étuvage à 105°C

Ma : masse imbibé, surface sèche d'échantillon.

Es : équivalent de sable

M1 : masse du pycnomètre remplie d'eau

M2 : masse d'un échantillon de matériau sec

σ_c **:** La contrainte de compression

Fc : Résistance souhaitée du béton à 28 jours

f_{c28} : Résistance du ciment à 28j

Introduction générale :

L'une des études modernes et les plus importantes dans tous les domaines et disciplines est celle relative à la préservation de l'environnement et des ressources naturelles, dans le cadre du développement durable. Le génie civil est également concerné d'autant plus que le matériau le plus consommé au monde après l'eau est le ciment, d'une valeur de 28,7 milliards de tonnes en 2013, produisant 6% du CO2 rejeté dans l'atmosphère.

L'empreinte environnementale de la production de ciment Portland contribue à une importante émission de dioxyde de carbone, en particulier dans le secteur du génie civil. Les sociétés de construction ont de plus en plus en recherche des liants alternatifs au ciment Portland.

La consommation énorme des sables naturels en tant que matériaux de construction a inévitablement entraîné de graves impacts écologiques, d'un autre côté Les déchets du secteur de la construction constituent la plus importante partie des déchets produits dans le monde et leur quantité continue de progresser notamment dans les pays émergents où l'industrie de la construction connaît actuellement un rythme de croissance très soutenu. À cet égard, il sera très utile que des substituts, tels que les sables recyclés produits par le traitement des déchets de construction et de démolition, puissent être utilisés pour remplacer les sables naturels afin de fabriquer des mortiers à faible impact environnemental pour rendre son utilisation normative dans le cadre de la préservation des ressources naturelle et la diminution des déchets issue de la démolition.

Le but de cette étude est d'étudier l'effet du traitement thermique à 40 et 60°C sur le comportement du mortier autoplaçant de faible impact environnemental par l'utilisation de sable recyclé de démolition avec diffèrent taux et le laitier des hauts fourneaux comme substituant au ciment.

Le travail est présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique divisant en trois titres principaux, le premier parle au laitier de haut fourneau, son origine, propriétés, compositions chimique et minéralogique, son utilisation et son effet sur le béton. Le deuxième concernant le sable recyclé dont nous avons abordé ces caractéristique et impacts sur l'environnement et sur le comportement des matériaux cimentaire. En fin on a expliqué l'effet de traitement thermique sur le laitier et le sable recyclé.

Le deuxième chapitre est destiné en premier lieu à la caractérisation des matériaux entrant dans la composition du MAP, en second lieu à la méthode de formulation de MAP, troisièmement à la préparation et la conservation des éprouvettes, finalement un protocole expérimental donner une description détaillée des stations des essais.

Le troisième chapitre est réservé spécialement à l'interprétation et la discussion des résultats. Les résultats à l'état frais sont discutés premièrement puis les d'états durci et en fin les essais de durabilité.

On termine par une conclusion générale et recommandations pour les travaux futurs et l'achèvement des études.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous soulignons les grandes lignes que nous aborderons (le laitier de haut fourneau, les granulats recyclés et le traitement thermique) avec une explication sur chaque élément suffisamment, et montrer son importance d'une façon économique, écologique et technique ou technologique. Sans oublier leurs effets sur le comportement de mortier à l'état frais et durci.

I.2. Le laitier de haut fourneau

I.2.1. Introduction

Le laitier de haute fourneau est un sous-produit de l'élaboration de la fonte est formé de constituants non ferreux, des fondants et des cendres de coke (01). La fusion du minerai dans les hauts fourneaux provoque la séparation gravitaire de la fonte liquide (en partie inférieure) et un résidu surnageant, également liquide, appelé laitier en raison de sa couleur claire (lorsqu'il est à température ambiante) (02)**.** Il est obtenu par le refroidissement rapide ou lent pour avoir deux types de laitiers granulé ou cristallisé.

Le laitier est granulé lorsqu'il est trempé brutalement par déversement dans des bassins remplis d'eau où il se disperse en grains poreux de diamètre inférieur à 5 mm, Il se trouve donc dans un état thermodynamiquement instable (vitreux) et manifeste des propriétés hydrauliques latent, c.-à-d. qui présente des propriétés hydrauliques lorsqu´il subit une activation convenable. Si le laitier subit un refroidissement lent à température ambiante sans la trempe ce dernier devient cristallisé, où les minéraux cristallisent et deviennent presque insolubles dans l'eau (02).

Le laitier contient de la chaux (45 à 50 %), de la silice (25 à 30 %), de l'alumine (15 à 20%) et 10% environ de magnésie oxydes divers et manganèse (03).

Suivant la norme « NF EN 206-1 CN », on distingue trois classes de laitier de haut fourneau qui varie selon l'indice d'activité, la finesse de Blaine et sa basicité, Les trois classes de laitiers sont présentées dans le tableau suivant (tableau I.1) :

Tableau I.1 : les caractéristiques des trois classes de laitier.

La classe	L'indice d'activité	Finesse de Blaine	Basicité	Coefficient k
A	i7≥0.65 et i28≥0.85	≥420m²/kg	(CaO+MgO)/SiO2≥1.2	0.9
B	i7≥0.65 et i28≥0.85	≥325m²/kg	-	0.9
C	Pas d'exigence complémentaire par rapport à la norme			0.6

I.2.2. Les avantages d'utilisation du laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau vitrifié moulu est principalement valorisé comme addition pour liants hydrauliques conforme à la norme « NF EN 15167-1, 2006 » ou dans la fabrication des bétons, mortiers ou coulis selon la norme « NF EN 206-1 ». Le laitier de haut fourneau granulé est également utilisé dans la production de ciment courant de type CEM III (jusqu'à 95% de laitier de haut fourneau) selon la norme « NF EN 197-1, 2001 ». Le laitier vitrifié peut être valorisé comme addition minérale selon la norme « NF P 98-107, 2009 » pour une application d'assise de chaussées. Il est utilisé aussi comme sable ou encore dans l'industrie du verre comme source d'alumine et de silice. (04)

Pour un souci écologique, il est plus qu'important de formuler des bétons à faible impact environnemental on se basant principalement sur des matériaux locaux et disponibles, naturels ou issus des déchets industriels, tels que le laitier des hauts fourneaux. De plus en plus cette addition est employée dans l'industrie cimentaire et par conséquent, leur valorisation présente plusieurs avantages : économiques, écologiques et technique

I.2.2.1. Avantages Économiques

L'emploi en cimenterie de ce déchet industrielle comme ajout au ciment portland ou dans la fabrication d'un liant exempt de clinker constitue des débouchés important pour ce produit, dont des frais de décharge sont éliminée et aussi le gain des espaces de terrains réserver pour la conservation de ces déchets qui ne sont pas soluble avec le temps.

L'utilisation du laitier diminue aussi la consommation de la matière première nécessaire pour la production de clinker qui est fabriqué à base du calcaire et d'argile, qui nécessitent à sa fabrication une exploitation dans des carrières à ciel ouvert. Ces ressources naturelles non

renouvelables sont extraites des parois rocheuses à la pelle mécanique ou par abattage à l'explosif. Entre autre, ces frais d'extraction des carrières sont négligés.

De plus, avec une teneur en clinker d'au moins 95 %, la consommation d'énergie nécessaire à sa production ,qui nécessite une cuisson à 1450°C, est considérable où la production d'un tonne de ciment de manière traditionnelle requiert l'équivalent de 60 à 130 kg de fuel et une moyenne de 210 kWh, par contre la vitrification du laitiers demande beaucoup moins d'énergie.

I.2.2.2. Avantages Écologiques

La production de ciment Portland se fait à partir de calcaire et argile chauffé à très haute température qui génère d'importantes quantités de CO_2. À l'échelle mondiale, la fabrication du ciment classique représente environ 7 à 8 % des émissions totales de CO_2. À titre de comparaison, l'aviation civile représente 2 % des émissions de la planète donc les émissions de gaz à effet de serre engendrées durant tout son cycle de vie sont importantes.

Cette production est aussi responsable a une extraction excessif de matières premières qui implique un prélèvement de ressources épuisables, dont la production d'une tonne de clinker nécessite 1,6 tonne de matières extraites en carrière, et cause d'importants dommages à l'environnement. (05)

D'après l'association américaine « Slag Cement », les pays valorisant jusqu'à 80% du laitier de haut fourneau en remplaçant le ciment Portland par son introduction dans le béton permet de réduire jusqu'à 59% les émissions de CO_2 et de 42% l'énergie intrinsèque nécessaire à la fabrication de bétons et de leurs éléments constitutifs (04) Ces réductions concernent seulement les bétons au laitier par rapport aux bétons classiques.

I.2.2.3. Avantages Techniques

La composition chimique des laitiers granulés est semblable à celle des ciments, néanmoins, l'hydraulicité du laitier doit être stimulée par un activant basique pour être efficace rapidement (le laitier seul mélangé à l'eau durcit mais la cinétique de développement des résistances mécaniques est très lente), alors que celle du ciment Portland intervient par simple addition d'eau. Cette prise hydraulique, exothermique, se produit de façon très progressive et permet la formation de produits d'hydratation solides qui constituent la prise et le durcissement du laitier et s'accompagne d'un développement progressif des résistances mécaniques. (04)

I.2.3. Les types de laitier de haut fourneau

L'utilisation de laitier de haute fourneau respecté les critères de la valorisation des déchets comme un agent cimentaire qu'entre dans l'industrie de ciment par des différents pourcentages suivant le type de ciment et selon son exigence, conformément à la norme « NF EN 206-1 ».

On distingue deux types de laitier de haut fourneau sont :

I.2.3.1. Le laitier cristallisé

Ce type de laitier résulte du refroidissement lent à l'air libre du laitier soutiré de la base du haut-fourneau après avoir été séparé de la fonte. A l'air libre le laitier se cristallise sous forme de roche, et pour le fragmenter les sidérurgistes procèdent à son arrosage au début de sa solidification. (07)

Le laitier rocheux s'obtient en déversant le laitier liquide dans une fosse et en l'y laissant refroidir le plus lentement possible. Dans d'autres cas, le laitier est d'abord versé dans des cuves en acier coulé placées sur des chariots circulant sur voie ferrée. Les fosses sont alors installées à distance du haut fourneau, et le laitier y est déversé par basculement des cuves. Après refroidissement, souvent avec arrosage, le laitier est extrait de la fosse par des moyens classiques en travaux publics : pelles sur chenilles et camions de chantier. (08)

a. Caractéristiques physiques du laitier cristallisé

Le laitier cristallisé est typiquement gris et généralement poreux, avec une masse volumique de 3.3 à 3.6 tonne /m3. La granulométrie du laitier cristallisé brut est de l'ordre de 0/300 mm lors de son extraction des fosses, après fragmentation par arrosage, après diverses opérations de concassage-criblage il peut, selon la demande, être proposé sous une large gamme de fractions granulométriques 0/D et d/D. Il dispose de propriétés physiques particulières à savoir une résistance mécanique élevée associée à une conductivité thermique faible. (07)



Figure I. 1. Le laitier cristallisé.

b. Les caractéristiques chimiques du laitier cristallisé

Le laitier cristallisé est chimiquement stable et son pouvoir hydraulique lorsqu'il existe, ne peut être que modeste. Les compositions chimiques de laitier cristallisé sont les mêmes avec le granulé tel que 42% de la chaux (CaO), 40 % de la silice(Si2O), 6% à 8 % de l'alumine(Al2O3) et 5% à 6% de la magnésie(MgO) ainsi que d'autres éléments chimiques mineurs. (07)

Le devers pourcentage à la quantité de magnésie donne au laitier cristallisé des autres noms comme le « laitier riche » que contient plus de 25% de magnésie, d'autre part, lorsque le laitier cristallisé contient 15% de magnésie au plus, le laitier dans ce cas dite « laitier épuisé ». (09)

D'un point de vue minéralogique, ses constituants cristallisés sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux, mais on rencontre aussi des oxydes, des sulfures et, exceptionnellement, des nitrures. (09)

I.2.3.2. Le laitier granulé

C'est un sous-produit de l'industrie métallurgique ayant des propriétés hydrauliques latent. Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaine scorie fondue provenant de la fusion de minerai de fer dans un haut fourneau (10). Le laitier granulé possède une structure riche en énergie. C'est un liquide surfondu, qui conserve du fait de la trempe, une énergie de cristallisation non dissipée (ordre de grandeur 200 J/g) et qui va lui permettre d'être hydraulique. (11)

a. Les caractéristiques physiques du laitier granulé

Ils se présentent sous forme de sables de couleur jaune ou beige. La granulométrie moyenne est de 0/5 mm, et la composition chimique est la même que les laitiers cristallisé cités ci-dessus, environ : 42% de la chaux, 40 % de la silice, 6% à 8 % de l'alumine et 5% à 6% de la magnésie ainsi que d'autres éléments chimiques mineurs. (07)

Un laitier de haut fourneau granulé doit avoir au minimum deux tiers de sa masse en laitier vitreux [NF P 98-107, 2009] et [NF EN 15167-1, 2006] mais sous forme d'un liquide généralement plus de 90% de phase vitreuse. Le laitier se présente sous la surfondu qui conserve, du fait de la trempe, une énergie de cristallisation non dissipée qui lui permet d'être hydraulique. (04)

b. Les caractéristiques chimiques du laitier granulé

La composition de laitier haut fourneau est plus proche à celle de clinker. Cette analogique peut être schématisée dans la figure (figure I.2) et le tableau (tableau I.2) et ci-dessus.

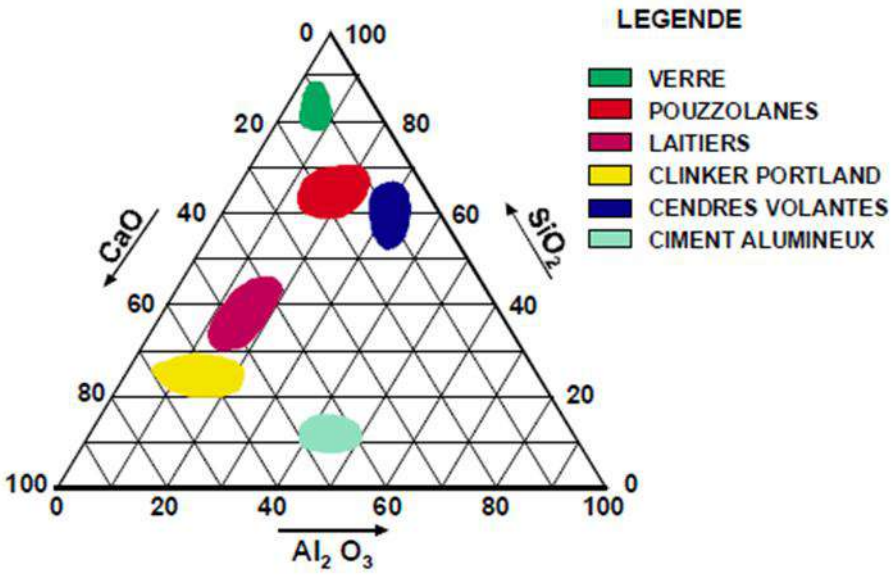


Figure I. 2. La situation de laitier par rapport les autres ajouts minéraux dans le diagramme de RANKINE (09 s.d.)

Tableau I. 2: les compositions chimiques de clinker et de laitier algérien et français.

Les compositions	Clinker %	Laitier algérien %	Laitier français %
CaO	60 à 70	42.15	40 à 43
SiO2	19 à 25	40.07	29 à 36
Al2O3	2 à 9	6	13 à19
MgO	0 à 3	4.68	<6
Fe2O3	-	2.03	<4
MnO	-	1.07	-
K2O	1 à 1.5	1.16	-
S	-	0.15	<1.15
TiO2	-	2.64	-

I.2.4. Les méthodes d'activation de laitier des hauts fourneaux

On distingue trois (3) types d'activation du laitier qui sont soit thermique (mûrissement à des différentes températures), chimique (par la soude, la potasse ou le silicate de sodium) ou mécanique basé sur le jeu à la finesse du laitier. Cette dernière caractéristique est unique dans ce type de laitier.

I.2.4.1. L'activation chimique

La réactivité augmente avec la teneur en chaux et en magnésie (jusqu'à 15%), mais diminue avec la teneur en silice et en oxyde de manganèse. (04). Les calculs d'indices de basicité permettent d'évaluer le caractère hydraulique des laitiers. Ils correspondent à la somme des constituants basiques du laitier sur la somme de ses constituants acides. Pour une bonne activité hydraulique, l'indice de basicité CaO/SiO2 doit être proche de 1,3 comme illustré dans la (Figure I.3). (04)

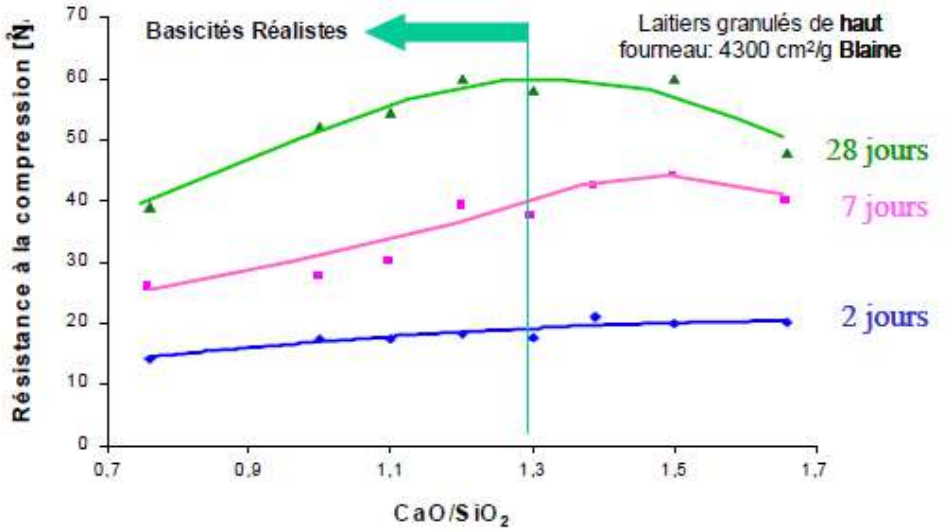


Figure I. 3. Evolution de la résistance à la compression de laitiers granulés de haut fourneau en fonction de l'indice de basicité "CaO/SiO2" (04 s.d.).

François (01) rapporté que au présence de ciment Portland, plusieurs types d'activation du laitier ont lieu simultanément :

1. L'activation est principalement calcique de fait de la forte teneur en portlandite produite par l'hydratation des C3S et C2S.
2. Une activation sulfatique a lieu de par la présence de sulfate de calcium en tant que régulateur de prise.
3. Faible activation alcaline existe même si la teneur en alcalin du béton est faible. En effet, ces derniers sont concentrés dans la phase liquide contenue dans la porosité ce qui permet d'atteindre des pH supérieurs à 13.

Ainsi, le laitier s'hydrate en présence de ciment Portland mais la cinétique de durcissement du mélange reste bien inférieure à celle du ciment Portland seul (01).

I.2.4.2. L'activation mécanique

D'un point de vue granulométrique, plus le laitier est fin, plus la réactivité hydraulique et les résistances mécaniques sont élevées. En effet la surface de contact entre les phases vitreuses du laitier, l'agent activateur et l'eau se trouve augmentée. Un des critères les plus importants reste la connaissance de la minéralogie du laitier. En effet, la détermination du taux de vitrification est très importante car sa structure vitreuse est riche en énergie qui n'a pas été dissipée, et n'a pas atteint son niveau d'énergie le plus bas correspondant à l'état cristallin. L'hydraulicité du

laitier vitrifié est définie par sa faculté à évoluer, sous l'effet d'une activation basique ou autre, vers son plus bas niveau énergétique en formant des produits d'hydratation solides.

L'hydraulicité du laitier dépend donc de sa teneur en verre ainsi que de sa structure. De nos jours, la teneur en verre des laitiers de haut fourneau utilisés comme constituants des ciments dépasse largement 90% de la masse initiale, mais on pense que de faibles proportions de matériaux cristallins peuvent avoir un effet bénéfique sur l'hydraulicité (04)

I.2.4.3. L'activation thermique

Le traitement thermique est un moyen puissant pour accélérer la cinétique d'hydratation des matériaux cimentaires. C'est une technique largement utilisée en préfabrication sur les produits à démoulage différé pour des raisons de productivité et permettant d'écourter les échéances de démoulage ou de relâchement des câbles de précontrainte.

Des prescriptions existent sur les cycles de traitement thermique dans la norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » et dans le guide technique du LCPC « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne ». (01)

Les réactions d'hydratation de matériaux cimentaires sont des réactions thermo-activées, c'est-à-dire que leur cinétique augmente avec la température. Le matériau cimentaire est d'autant plus sensible à la température que son énergie d'activation est élevée.

La présence de laitier de haut fourneau augmente significativement l'énergie d'activation des mélanges de laitier et ciment Portland (12). Ainsi, l'application d'un traitement thermique pour accélérer les réactions d'hydratation est encore plus efficace sur le laitier que sur le ciment Portland (13).

Ces trois types des activations a été étudier par Sajidi et all (14) sur un mortier de 50% de laitier et 50% de ciment portland, Il conclue que l'activation thermique est plus efficace que l'activation chimique mais que l'activation mécanique reste la plus efficace des méthodes.

I.2.5. Hydratation du mélange de laitier et ciment Portland

Une modélisation par (15) de l'assemblage des phases stables hydratées du mélange de laitier et ciment Portland mène aux résultats suivants (Figure I.2)

- ✓ La Portlandite est consommée, en particulier pour les forts taux de substitution du ciment par du laitier.

✓ Les C-S-H ont un ratio Ca/Si plus faible et incorporent une faible quantité d'aluminium. La strätlingite (C2ASH8) peut devenir stable pour de forte concentration en laitier.

✓ Le monocarboaluminate de calcium hydraté et l'ettringite tendent à disparaitre au profit de l'hydrotalcite.

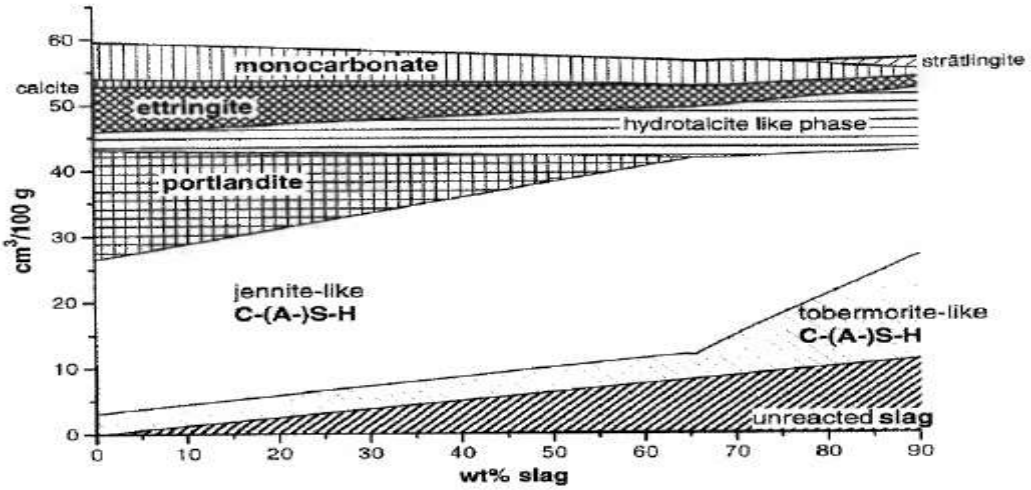


Figure I. 4. Modélisation de l'évolution du volume des hydrates en fonction du taux de laitier (17 s.d.).

I.2.6. Les effets de laitier de haut fourneau sur le comportement de béton

La présence du laitier granulé dans les compositions de ciment joue un rôle important dans l'amélioration de la qualité de béton et de mortier surtout à long terme. (18)

Le laitier de haut fourneau comme une addition minéral change le comportement de béton à l'état frais (l'ouvrabilité) et à l'état durci (résistance mécanique, durabilité et …etc).

Plusieurs recherches confirment que l'ouvrabilité des bétons avec laitier granulée est plus grande que celle des bétons ordinaires. Cette amélioration est due à la surface caractéristique des particules de laitier qui sont en fait dense, lisse et n'absorbent pas beaucoup d'eau dans la phase initiale d'hydratation. (16)

Une étude fait par Sajedi.F (14) montre que la chaleur d'hydratation augmente avec l'augmentation de finesse de laitier et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de laitier présent dans le mélange.la faible chaleur d'hydratation des ciments au laitier montre que ces dernières peuvent être utilisés dans les structures des grandes masses de béton.

Bougara et al (17) ont expliqué les propriétés mécaniques faibles à jeune âge du béton à base de laitier par la lente réactivité du laitier qui commencent à se rattraper pour donner des

résistances plus élevées à long terme, grâce à la réaction pouzzolanique avec la chaux fournis par le clinker lors de l'hydratation du ciment. Cette réaction permet de créer les silicates de calcium hydratés C-S-H d'une part et réduire la taille des pores capillaires d'autre part (17). Ils ont trouvé que la résistance à la compression à long terme augmente avec l'augmentation de la finesse du laitier.

Le mélange de ciment et de laitier qui contenant plus de silice et moins de chaux que le CEMI, produit plus de C-S-H. la microstructure résultante de la pâte de ciment hydraté est dense, ce qui permet d'améliorer la résistance à long terme et particulièrement la durabilité. En effet d'une part le risque de réaction alcali-silice peut être éliminé indépendamment de la teneur en alcali du ciment portland ou de la réactivité des granulats (48).

En présence de ciment Portland, plusieurs types d'activation du laitier ont lieu simultanément (01):

a. L'activation est principalement calcique de fait de la forte teneur en portlandite produite par l'hydratation des C3S et C2S.

b. Une activation sulfatique a lieu de par la présence de sulfate de calcium en tant que régulateur de prise.

c. Une faible activation alcaline existe même si la teneur en alcalin du béton est faible. En effet, ces derniers sont concentrés dans la phase liquide contenue dans la porosité ce qui permet d'atteindre des pH supérieurs à 13.

L'utilisation d'activateurs alcalins peut augmenter significativement la résistance à jeune âge des ciments au laitier. Cette augmentation dépend bien sûr de la nature et du dosage en activateur (01)

François.J (01) fait des études sur l'activation de chlorure de calcium comme un accélérateur de l'hydratation des ciments que classé parmi les activateurs bien efficace. Son efficacité interviendrait au niveau de quatre processus distincts. Un effet catalytique des réactions d'hydratation durant les premières heures de cure, une augmentation de la réaction pouzzolanique et du taux de croissance des hydrates, et la modification de la morphologie des hydrates et de la porosité de la pâte. Ces processus peuvent influencer l'hydratation du laitier et du clinker et se traduisent par une diminution du temps de prise et une augmentation des résistances mécaniques à tout âge.

A. Toufik Boubaker (18), rapporte qu'un avec l'addition de laitier, la résistance du ciment diminue au début, toute fois au bout de 28 jours et plus, les ciments contenant 15% de laitier ne cèdent en rien au ciment de contrôle sans constituants secondaires (voir la figure III. 19).

L'addition du laitier pour 30% abaisse la résistance de 10% par rapport au ciment de contrôle, également à des délais avancés, mais même dans ce cas l'effet pouzzolanique de laitier se manifeste de façon évidente (figure III.20). (16)

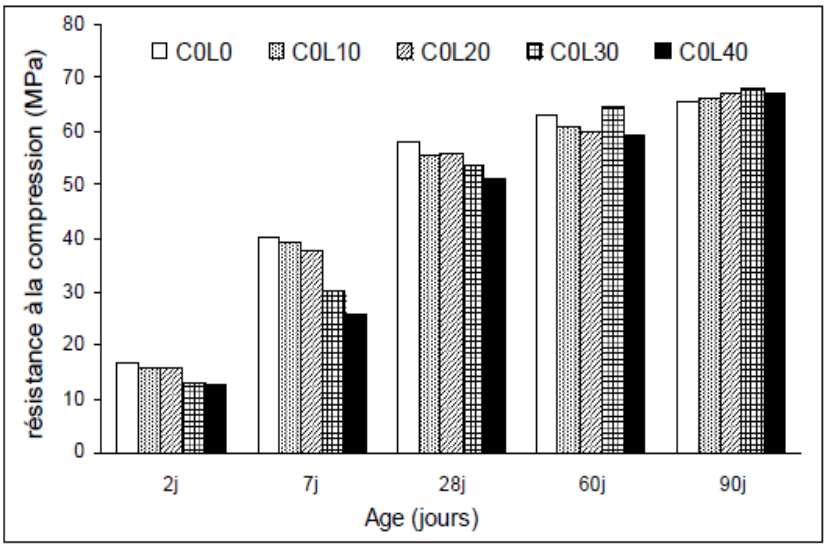


Figure I. 5. Effet du pourcentage de laitier sur la résistance à la compression C0L0 : liants avec0% de laitier avec 100% ciment CEMI, C0L10 : liants avec 10% de laitier, C0L20: liants avec 20% de laitier, C0L30: liants avec 30% de laitier, C0L40 (18)

Ahmed hadj sadouk (19) qui a utilisé un laitier de granulométrie et surface spécifique similaires à celles du ciment Portland ordinaire ; a trouvé que la porosité totale des mortiers au laitier est supérieure à celle du mortier OPC a jeune âge ; après 90 jours, la distribution de la taille des pores des mortiers au laitier est essentiellement liée aux petits pores (en particulier dans la fraction de rayon inférieure à 50 nm) conduisant à une densification de la microstructure. Cet effet est essentiellement induit par une bonne hydratation du laitier et est néanmoins plus important après une longue période de traitement humide (360 jours).

I.3. Granulats recyclés (sable recyclé)

I.3.1. Introduction

Le sable recyclé c'est un résidu de recyclage d'un ancien béton déjà hydraté (20), ou c'est un déchet de construction ou de démolition des ossatures, chaussées, ouvrages d'art…etc., S'obtient par le concassage mécanique de ces dernières soit sur site (sur chantier) ou aux carrières par des méthodes spécifies, pour obtenir la classe granulaire souhaité.

I.3.2. Les impacts d'exploitation des carrières

La demande mondiale des granulats est estimée à près de 24.9 milliard de tonnes en 2008 et près de 28.7 milliard de tonnes en 2013, faisant des granulats la ressource la plus consommée après l'eau (21) .Le développement dans la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil a provoqué durant les dernières décennies un accroissement considérable dans la consommation de granulats. La demande de sable en Algérie est estimée à 25,1 millions de tonnes, dont 16 millions de tonnes pour la construction et 9,1 millions de tonnes pour la réalisation des routes.

Cette théorie est confirmé par les statistiques cité par Meziane (22) tel que depuis l'année 2000, la production nationale des agrégats est en hausse constante. Elle a été multipliée par plus de 13 fois, passant de 4.14 Millions (M^3) en 2000 à 55.3 Millions (M^3) pour l'année 2009. Voire (figure I.6) :

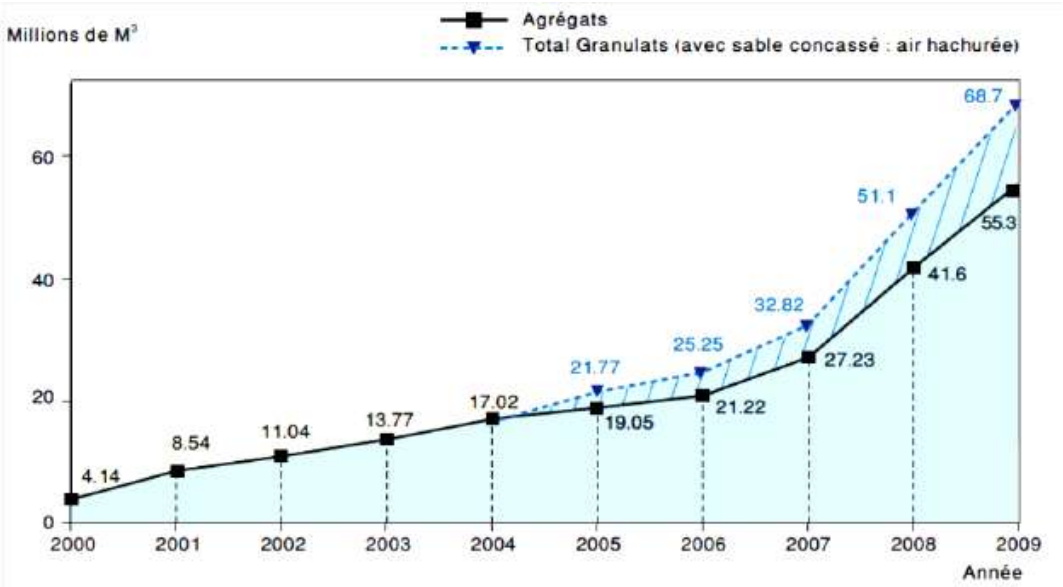


Figure I. 6. La production des granulats en Algérie entre 2000 et 2009.

Pour l'année 2009, 8 wilayas (Bordj Bou Arreridj, Sétif, Mascara, Boumerdasse, Constantine, Mila, Sidi Bel Abbés, et Ain Defla) situées toutes au Nord du pays, ont atteint un

niveau de production supérieure à 3 Millions de (M^3) chacune, totalisant une production de 30.6 Millions de (M^3) équivalant à plus de la moitié (55.3%) de la production nationale. Voire (figure I.6) :

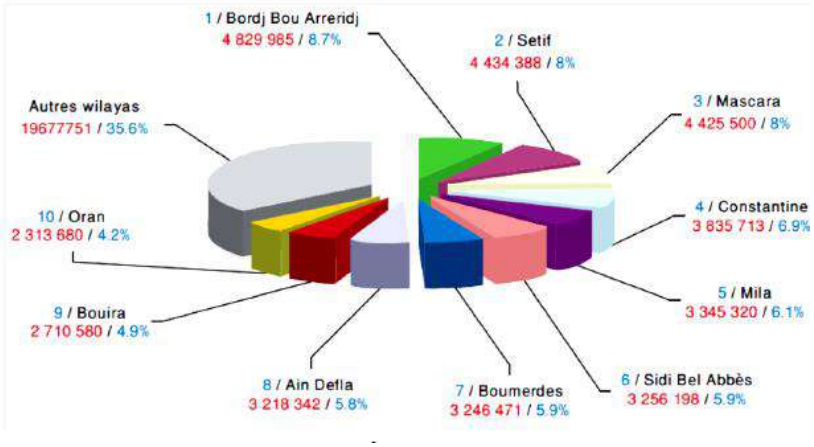


Figure I. 7. La production des agrégats par M^3 en 2009 à L'Algérie.

Une étude fait par Mansour et all (23) sur les caractéristiques des granulats recyclés de démolition, sont situent les impacts dues au positionnement des carrières en cinq points, sont les suivants :

I.3.2.1. Impact socio-économique

Les activités d'exploitation des carrières ont un impact :

- ✓ Social tel que les répercussions sur la santé des personnes employées et des habitants au voisinage, des modifications induites dans l'environnement et dans les conditions de vie des populations locales.
- ✓ Économique tel que l'aménagement de nouvelles voies de transport et de communication, l'occupation des sols, notamment lorsque le site fait déjà l'objet d'une mise en valeur agricole ou forestière.

I.3.2.2. Impact hydrogéologique

Du fait de l'excavation engendrée, une carrière peut avoir un impact direct non négligeable sur l'écoulement souterrain des eaux. Ainsi, si l'exploitation se poursuit dans une nappe phréatique ou à proximité de celle-ci, le rabattement engendré pourrait, selon les cas, provoquer l'assèchement des puits ou cours d'eaux environnants, donc il peut résulter une modification de

la piézométrie et un abaissement du niveau de la nappe phréatique, ainsi qu'une altération de la qualité des eaux souterraines.

I.3.2.3. Impact hydrologique et biologique

a) Hydrologique

Il est très fréquent qu'une carrière engendre des rejets d'eau au milieu naturel. On distingue deux origines à ces eaux :

- ✓ L'eau d'exhaure qui n'est présente que si l'excavation a rencontré un réservoir souterrain.
- ✓ L'eau météorique qui peut s'accumuler en fond de fouille après avoir ruisselé sur les pistes, les fronts de taille ou les stocks de matériaux.

L'impact produit est :

- ✓ La déviation des cours d'eaux.
- ✓ La modification des éléments constitutifs.
- ✓ La pollution par des eaux usées contaminées et la pollution due au renforcement de l'érosion.

b) Biologique

Le développement de l'activité d'extraction des matériaux dans une région est de nature à détruire la flore et écarter (faire migrer) la faune.

I.3.2.4. Impact sur l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certains éléments peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation.

Dans le cas des carrières à ciel ouvert, la précarité de l'atmosphère est due aux :

- ✓ Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif et le trafic routier.
- ✓ Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'ignition spontanée de terrils et les échappements des engins et des automoteurs.

I.3.2.5. Impact sur le paysage

Il est évident que l'extraction de la carrière entraînerait une transformation du paysage et un impact négatif de la surélévation naturelle des reliefs (altération de la morphologie et l'apparition des surfaces dévastées), produisant des impacts visuels tel que :

- ✓ La forme de l'excavation.

- ✓ L'aspect des fronts de taille.
- ✓ Le stockage des remblais en particulier laisse des cicatrices dans le paysage.
- ✓ Les contrastes de forme et de couleur.
- ✓ La position de l'installation de traitement.
- ✓ Le déboisement.

I.3.3. Les enjeux de recyclage des granulats

L'objectivité de recyclage des granulats est conformément aux trois critères suivants :

a) Économique : l'utilisation des granulats recyclés permet de conserver les sources des granulats naturels pour l'utilisé à longue durée que possible et pour lisser les matériaux à nos enfants au future.

b) Social : l'effet de ce terme s'observe clairement à la présence des déchetteries et les stations des recyclages par la création des postes de travail d'un côté, d'un autre coté par les tarifs que sont payé par les gens pour jeter les déchets aux zones spécifies.

c) Écologique : permet de diminue les effets négatifs des déchets dans l'environnement surtout dans les zones proches aux places des décharges, et il permit de diminue les impacts liés à l'exploitation des carrières sur environnemental.

I.3.4. La situation des déchets de déconstruction en Algérie et au monde

Toute fois y a une opération de déconstruction ou de démolition des constructions crée des problèmes non négligeables à cause de l'absence des décharges ou leur occupation s'ils existe. En Alger ils existent trois sites pour l'enfouissement des déchets inertes. Deux à l'ouest de la capitale : « Staouéli », fermé en 2010 pour cause de saturation, la deuxième à « Douéra » qui est aussi fermé après le lancement des travaux de la liaison ferroviaire entre « Zéralda » et « Birtouta » et elle reste fermé jusqu'à aujourd'hui, la décharge se trouvant non loin du tracé de cette ligne. À l'est de Alger y a le site de « Bordj El-Kiffan », lui aussi saturé depuis le séisme de Boumerdasse 21/05/2003. D'une manière réelle n'existe aucune décharge des déchets de construction, malheureusement.

À l'échelle mondiale, l'Europe produit plus de 500 millions de tonnes de déchets du bâtiment chaque année contre plus de 300 millions aux États-Unis et près de 80 millions au Japon. (24)

Selon Debieb.F (20) l'estimation des déchets de construction et de démolition en Algérie dans l'année de 1996 est résumée dans le (tableau I.3) ci dessue :

Tableau I. 3: estimation théorique du déchet de C&D en Algérie à 1996.(20)

Types des déchets mise en décharges	**QNTT**	
	Mt/an	%
Déchets issue de chantier des bâtiments	1.33	49
Déchets issue de transformation des logements	0.11	27
Déchets issue de démolition et de réhabilitation	0.40	15
Déchets issue de la fabrication des matériaux de constructions	0.35	9

I.3.5. Les différentes sources des granulats recyclés

I.3.5.1. Les matériaux de déconstruction de bâtiments et ouvrages d'art

En revanche, le recyclage du béton s'avère parfois plus complexe, Les ouvrages d'art sont faciles à recycler (car constitués de béton pur), mais dans un bâtiment, le béton « cohabite » avec d'autres matériaux tels que le verre et l'aluminium (fenêtres), le bois, le plâtre, le plastique, la brique… etc.

Le recyclage du béton suppose alors un tri préalable lors de la démolition du bâtiment. On parle alors de « **déconstruction** ». Jusqu'à présent, cette opération onéreuse n'est pas toujours exigée dans les appels d'offres, les maîtres d'ouvrage n'en ayant pas prévu le financement (23).

I.3.5.2. Les matériaux de déconstruction de chaussées

Le secteur routier est en pointe puisque plus de 90 % des granulats recyclés proviennent du décapage de routes. . .

Le recyclage in situ des granulats qui constituent les couches d'assise des routes est très répandu : les granulats retirés de l'ancienne voie sont concassés et triés dans une installation mobile (de concassage et criblage) positionnée sur le chantier routier, avant leur réutilisation immédiate (23).

I.3.5.3. Les mélanges hétérogènes du même type mais avec des teneurs en matériaux indésirables supérieures à 10%

Laneyrie.C et Mansour (23; 25) trouve que Plus de 90% de granulats recyclés tirées à partir les classes **(a)** et **(b)**. C'est pour quoi en trouve généralement le nom des granulats recyclés comme « déchets de construction et de démolition **C&D** ».

I.3.6. Les caractéristiques des sables recyclés

Les granulats recyclés ne contiennent pas les granulats originaux seulement mais contiennent aussi la pâte de ciment hydraté, ce qui fait la pâte a base des Granulats recyclés est plus poreuse par rapport les pates ont basé des granulats naturels. Les Granulats recyclés sont caractérisés comme des granulats de grande porosité, grande absorption d'eau, faible densité et résistance mécanique faible à celle des granulats naturels. (26; 27).

I.3.6.1. Caractéristiques physiques et mécaniques

a. Porosité et absorption

Les granulats recyclés de bétons ont comme caractéristique une forte capacité d'absorption. Cette propriété reste vraie quelle que soit la provenance du béton parent. (28)., Poon et all (29) trouvent que le coefficient d'absorption des granulats recyclés est entre 3% et 12% par contre celle des granulats normaux entre 0.5% et 3%. Cette absorption est bien évidemment la conséquence de la présence de la pâte de ciment, mais plus particulièrement de sa structure alvéolaire. En effet, la pâte de ciment est reconnue pour être un matériau poreux. Les interstices ont tendances à capter l'eau et à la retenir.

Grâce à des analyses microscopiques, Tam et al. Ont décrit la géométrie de la porosité de granulats recyclés. Des pores sont présents entre les granulats naturels et la pâte de ciment selon eux (figures I.8). (28)

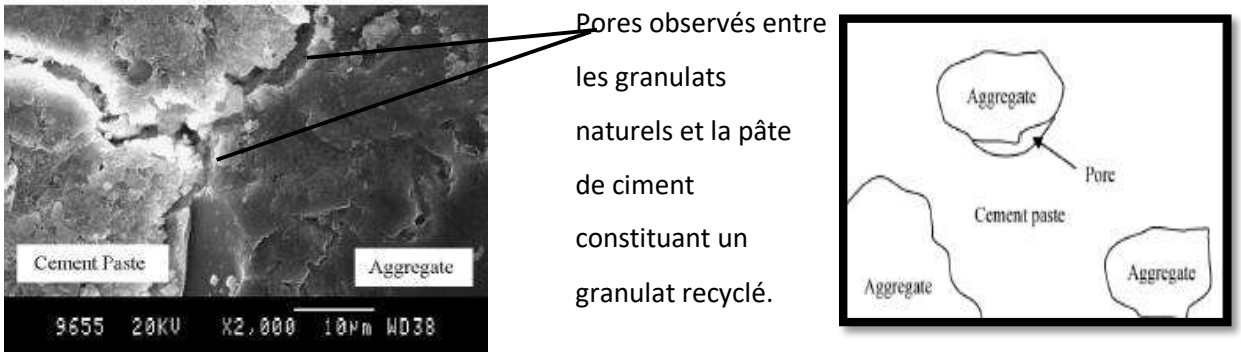


Figure I. 8. Interface granulat naturel/pâte de ciment d'un granulat recyclé de béton

Source. (28)

b. Zone de transition interfacial

Il n'est pas tout à fait exact de considérer le matériau béton comme étant un composite à deux phases ; granulat et matrice cimentaire. En réalité, la pâte de ciment n'est pas complètement homogène et sa microstructure est modifiée à proximité des granulats. Cette zone

est généralement appelée « zone de transition interfaciale » ou ITZ (Interfacial Transition Zone). Bien que la zone de transition à l'interface granulat-pâte soit relativement étroite, elle occupe une proportion relativement grande du volume de la pâte de ciment. Pour une zone de transition de (40 µm) d'épaisseur, ce volume se situe entre 20 % et 40 % du volume de la matrice cimentaire (30).

Les dimensions de la zone de transition varie selon la saturation du sable, selon Zengfeng Zhao (31) dont les observations au MEB d'un système modèle plus simple de ITZ démontrent que la zone de transition entre la pâte de ciment et le sable recyclé saturé est plus grande qu'avec le sable sec . L'épaisseur d'ITZ et donc ses propriétés sont améliorées par l'absorption d'eau par la pâte de ciment contenue dans le FRCA.

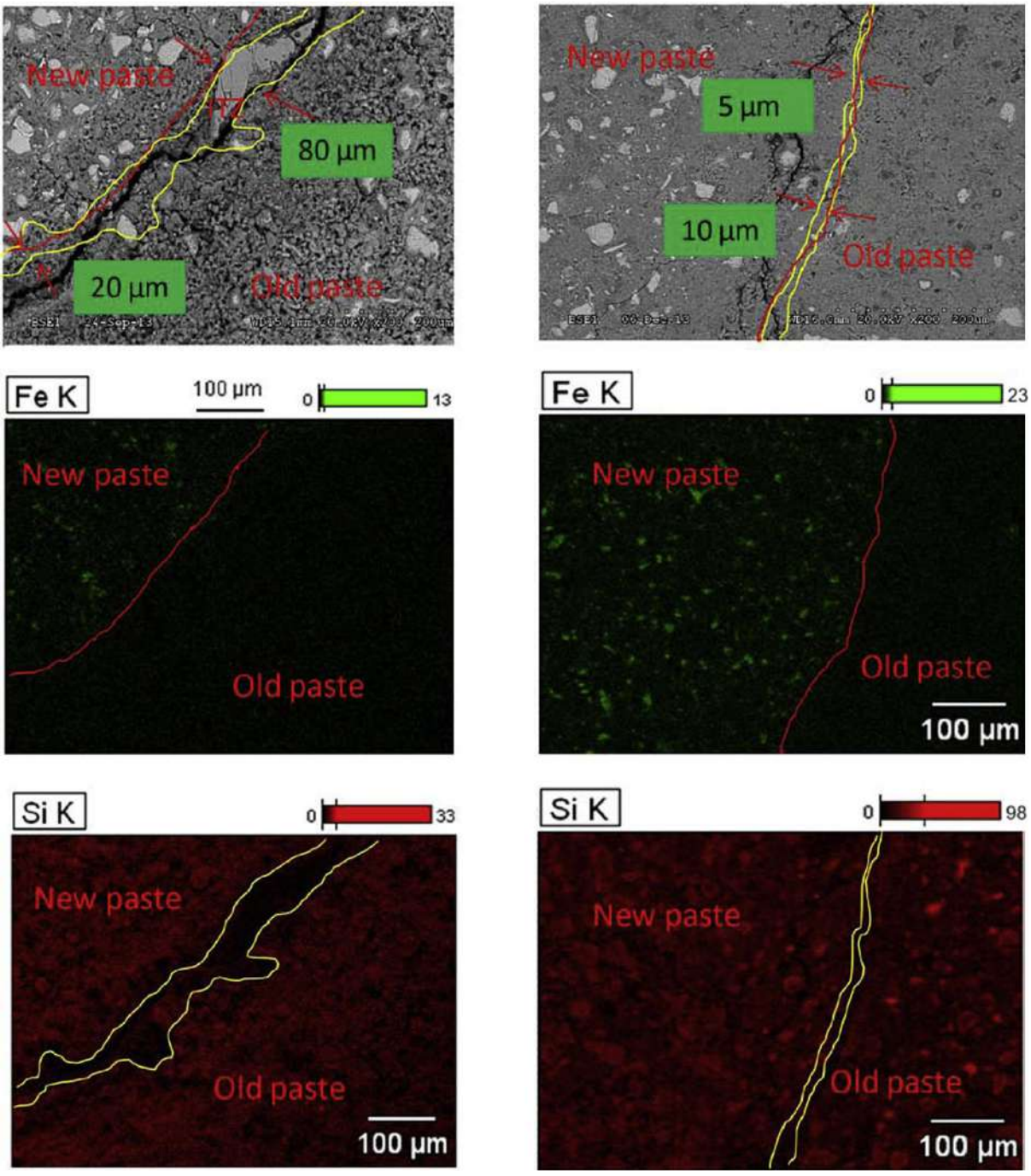


Figure I. 9. Analyse par MEB de la zone de transition des mortiers avec sable recycle saturé (gauche) et sable recycle sec (droite). *(31)*

Donc une particularité des mortiers à base de sable recyclé est que ceux-ci ont deux zones de transition distinctes, contrairement aux mortiers conventionnels qui n'ont qu'une zone de transition. La première zone de transition est à l'interface des granulats d'origine-mortier résiduel et le second est à l'interface mortier résiduel-nouveau mortier (30).

I.3.6.2. Caractéristiques chimiques

La composition chimique des granulats recyclés est analogue à celle du ciment, étant donné la présence de produits d'hydratation du ciment due à la présence de l'ancien mortier au sein des granulats. La proportion de chlorures présente au sein des granulats recyclés est inférieure à limite prescrite (≤0,05%) un excédent de chlorure peut accélérer le temps de prise du ciment. La probable altération de vieux béton par des impuretés peut restreindre l'utilisation des granulats recyclés. Les granulats naturels sont de nature calcaire ce qui a donné des pertes au feu (PAF) assez importantes dues essentiellement à une décomposition du calcaire (CaCO3) en oxyde CaO et CO_2 en PAF. (32). Le tableau suivant résume la composition chimique des granulats recyclés, naturels et le ciment :

Tableau I.4: les compositions chimiques des deux types des granulats recyclés et naturel par rapport le ciment et les granulats normales. *(32)*

Oxydes %	CaO	SiO2	MgO	Al2O3	MnO	Fe2O3	P2O5	TiO2	Na2O	K2O	Cl	SO3	PAF
ciment	59.5	23	1.5	5	-	3	-	-	0.13	0.45	0.01	2.5	3
GR	44.6	26	1.01	4.96	0.23	2.36	0.03	0.03	0.6	1.2	0.02	0.06	18.6
GN	55.5	-	0.20	0.11	-	0.06	-	-	0.08	0.01	-	-	42.5

I.3.7. L'effet des granulats recyclés (sable recyclé) sur le comportement de béton et de mortier

Les bétons à base de granulats recyclés se caractérisent par une densité faible, une capacité d'absorption d'eau élevée et une forte porosité que le béton naturel. Cela est dû sans doute à la proportion en volume importante des pores capillaires (33). Les valeurs élevées d'absorption d'eau du béton à base de granulats recyclés sont une indication propre de la porosité et de la perméabilité élevées de ce type de béton.

I.3.7. 1. L'état frais

L'absorption d'eau des granulats recyclés (GR et SR) est pratiquement inévitable et affecte le comportement rhéologique du béton frais. Cette absorption est constatée dans les compositions à base de ces granulats recyclés (34). Pour s'affranchir de celle-là, une quantité d'eau supplémentaire est indispensable pour conserver une ouvrabilité plastique similaire. L'absorption est la conséquence de la présence d'une structure alvéolaire de l'ancien mortier collé aux granulats recyclés ainsi les sables recyclés sont caractérisés par une structure anguleuse et, par conséquence, une surface spécifique plus développée.

Gesoglu.M et al. (26) qui sont étudié l'effet des agrégats fin et grossier sur les bétons autoplaçant ont conclu que le remplacement d'un sable de rivière (Mv=2,4, Ab=2,1%, Mf= 3,7) par un sable recycle de béton (Mv=2,1, Ab=10,9%, Mf= 3,5) a engendré Une diminution du taux du superplastifiant de 1,1% à 0,8% pour un E/c de 0,3 et Une diminution du taux de superplastifiant de 0,65% à 0,38% pour un E/C de 0,43. Et cela avec l'utilisation du sable recyclés saturés.

Tahar 2017 (27) trouve que l'ouvrabilité de béton à base de 100% des granulats recyclés est plus importante que les autres échantillons de (15%, 30%, 70%).

Erhan et al. (35) Ont étudié les paramètres rhéologiques des bétons autoplaçant à base des granulats recyclés. Ils ont substitué le mélange de sable de rivière et sable concassé par un sable recyclé avec un E/C fixe de 0.32 et un dosage de superplastifiant aussi fixe de 1.25%. Toutes les caractéristiques à l'état frais ont été améliorées par l'utilisation de sable recyclé et précisément dans le cas d'utilisation que des agrégats fins recyclés où l'étalement est de 700, 710, 715, 740 et 760mm pour les taux de substitutions de 0, 25,50,75 et 100% de sable recyclés dont ces mélanges sont classés comme SF2 – SF3.

L'étalement d'un mortier contient un sable recyclé sec est plus élevé qu'un mortier contient un sable recyclé saturé. (31)

À l'état frais, le béton recyclé présente des densités plus faibles en comparaison à celle du béton de référence qui est due principalement à la densité faible des granulats recyclés. De nombreuses études ont confirmé ces résultats. (34)(10)

Berredjeme et al concluent que L'humidification préalable des graviers recyclés assure une plasticité permettant une mise en œuvre adéquate. La substitution des graviers naturels de 25% par des graviers recyclés dans la composition du béton n'a pas influencée ces caractéristiques et le taux de substitution peut atteindre 40%. (32)

I.3.7.2. À l'état durci

La résistance mécanique d'un béton est fondamentalement liée aux performances mécaniques des granulats, dont les propriétés mécaniques des bétons à base des granulats recyclés sont inférieures à celles des bétons à base des granulats naturels mais avec une différence non significative. (32)

Selon Kumar et al. (36) dans le béton a haute performances avec 20% de sable recyclé ont observé une augmentation de 18% de la résistance à 28j. Ceci est dû aux caractéristiques d'absorption élevées du FRCA, ce qui entraîne une réduction du rapport E /C et une augmentation conséquente de la résistance du mortier. Même résultats observé par Jiang (37),

dont Les résistances à la compression des CCPUH avec le sable recyclé sont similaires à celles du mélange de référence avec uniquement du sable naturel. Lorsque le pourcentage de remplacement du sable recyclé est inférieur à 50%, il se produit même une légère augmentation de la résistance à la compression des UHPCC. (37)

Une étude a été fait par Alan et all et Suvashe et all (38; 39) montre que la différence de la Résistance mécanique entre un béton autoplaçant avec des granulats recyclés et de d'autre avec des granulats normaux, la Rc90 est plus de 80Mpa attente avec 100% des granulats recyclés.

La résistance mécanique d'un mortier contient un sable recyclé sec est plus élevé qu'un mortier contient un sable recyclé saturé. La résistance diminue linéairement avec le remplacement de sable naturel par de sable recyclé d'une façon croissante, à cause de la faible densité de sable recyclé. (31)

Zhao (31) a remarqué que Les fines (0/0.063) ayant le mauvais effet sur les propriétés mécaniques de mortier.

D'après l'étude de Berrdjeme.L et all (32), la résistance à la compression des bétons recyclés évolue au cours du temps d'une façon similaire que le béton témoin (figure I.7). Cependant, elle chute en fonction du remplacement en granulats recyclés, sables B2 et gravier B3 et les deux en même temps B4. A 28 jours le béton B5, composé de 75 % de granulats naturels et 25% de granulats recyclés présente une meilleure résistance que ce soit en compression ou en traction par fendage. Pour le béton B4 constitué de 100% granulats recyclé, la chute de résistance est de l'ordre de 23% par rapport au béton B5 et 16% par rapport au béton témoin B1 100% granulats naturelles. Ces résultats sont comparables à une moyenne de 10 à 30% trouvée par d'autres chercheurs (10). La cinétique de la résistance des bétons à base des granulats recyclés est remarquable par rapport au béton témoin. Après 09 mois de conservation sous l'eau, la résistance du B5 est supérieure à celle du B4 de 10 MPa (figure I.7).

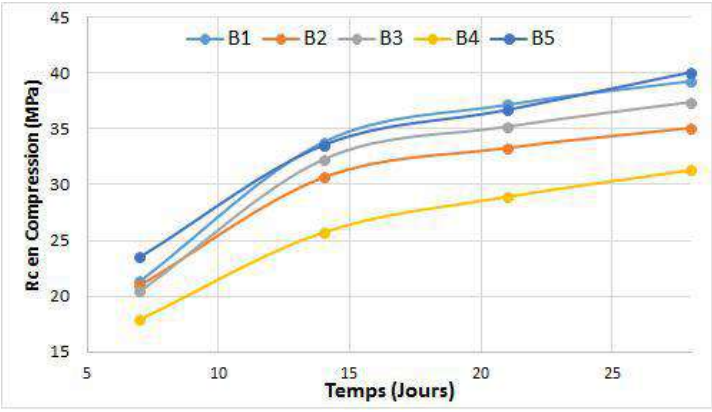


Figure I. 10. Évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps.

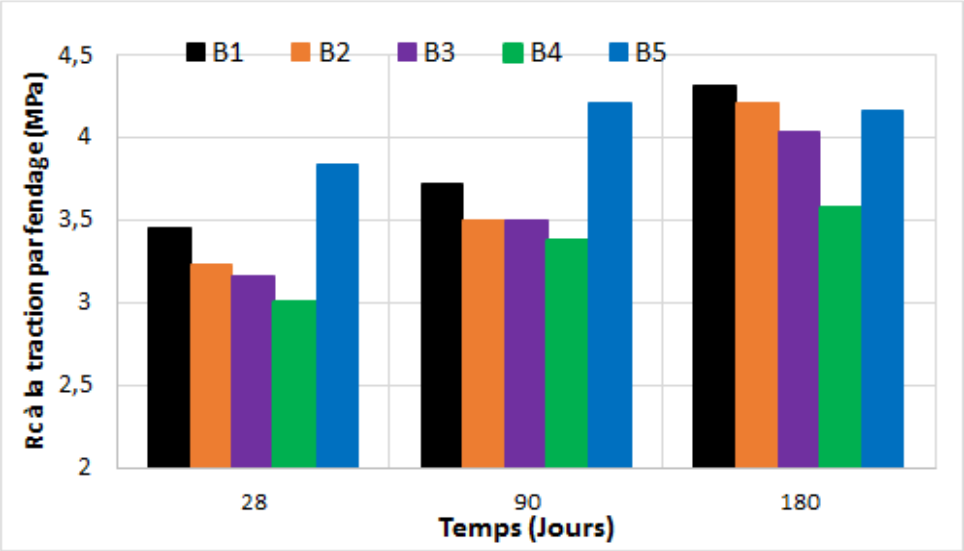


Figure I.11. La résistance à la traction par fendage en fonction de temps.

I.4. Le traitement thermique

I.4.1. Introduction

Le traitement thermique est un moyen puissant pour accélérer la cinétique d'hydratation des matériaux cimentaires. C'est une technique largement utilisée en préfabrication sur les produits à démoulage différé pour des raisons de productivité et permettant d'écourter les échéances de démoulage ou de relâchement des câbles de précontrainte. (01)

Le traitement thermique ayant un effet positive et parfois négative sur les bétons et les mortiers à long terme, selon les conditions d'exécution (la température, l'humidité) et selon les compositions de matériau lui-même.

Selon BACHENE (40) La température de murissement de 40°C, est considérée comme optimale dans le cas des BAP, en effet la cure à cette température engendre une amélioration dans les propriétés mécaniques et celles du transport de tous les BAP et dans tous les âges mais au-delà de cette température, ces caractéristiques commencent à s'affaiblir à long terme.

Un béton qui durci sous une température élevée se caractérise par une accélération de sa hydratation au jeune âge donnant lieu à des résistances élevées pour tous les types de bétons, vibré, autoplaçant ou de haute performance, avec ou sans ajout, Cet effet bénéfique n'est liée à aucune grandeur que la température, plus elle est élevée, plus la vitesse d'hydratation est rapide plus la résistance au jeune âge est élevée aussi (41) (42).

Des prescriptions existent sur les cycles de traitement thermique dans la norme « NF EN 13369 » « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » et dans le guide technique du LCPC « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne ». (01)

Les réactions d'hydratation de matériaux cimentaires sont des réactions thermo-activées, c'est-à-dire que leur cinétique augmente avec la température. Le matériau cimentaire est d'autant plus sensible à la température que son énergie d'activation est élevée. (01)

Martinese Ramirese et Frias (43) remarquent que le traitement thermique joue un rôle principal sur l'évolution d'hydratation de ciment, telle que le degré d'hydratation obtenue a 9 jours avec un traitement thermique à 60c° est le même obtenue à 90 jours avec une température de 20c°.

Après une étude d'influence de la température sur le développement microstructural des bétons par Gallucci E (44), il a conclu qu'à basse température, après un jour d'hydratation, la réaction d'hydratation est moins avancée qu'à haute température : il n'y a pas encore d'inner C-S-H et le 'gap' caractéristique entre les grains anhydres et la première coquille d'hydratation est observé. À température plus élevée, on observe du inner C-S-H et pour le béton à 60°C, de nombreux de Hadley (petits grains totalement hydratés) sont observés. À 40°C, la matrice cimentaire semble remplie de manière plus homogène qu'à 60 °C.

I.4.2. L'effet de traitement thermique sur l'activation de laitier

La présence de laitier de haut fourneau augmente significativement l'énergie d'activation des mélanges de laitier et ciment Portland (45). Ainsi, l'application d'un traitement thermique pour accélérer les réactions d'hydratation est encore plus efficace sur le laitier que sur le ciment Portland (13).

Il existe trois types d'activation de laitier granulé, Parmi ces types l'activation thermique, elle est classée en deuxième classe par efficacité après l'activation mécanique.

BACHENE (40) , a conclue qu'à des températures de cure élevées (20, 40,60 et 80°c), le laitier granulé est l'addition la plus efficace, L'efficacité de cette addition est plus importante et se présente à un âge précoce plus la température est élevée.

La diminution de la résistance est moins importante tant que le ciment remplacé par les additions minérales dont la diminution de Rc entre 20 et 50C° sont 7% ,6%,5%et 4% pour le mortier à base de ciment ordinaire et que contiens 10% de poudre de lime stone, 20% de

pouzzolane naturelle et 30% de laitier de haute fourneau (18). Ces résultats aussi trouver par autre chercheurs (46; 47).

Le traitement thermique accéléré aussi les réactions d'hydratation sur le laitier que sur le ciment portland (13)

Escalante.J (13) trouvent que 30c° est la température optimum pour le développement de résistance d'une pâte de ciment avec le laitier.

À des températures normales, la présence de laitier dans le béton conduit à un retard de prise, habituellement de l'ordre de 30 à 60 min (48). Brooks .J.J (49) trouvent que l'inclusion de laitier à 40% et plus retarde le temps prise.

Les graphes suivants représentent le comportement de la résistance mécanique d'un mortier avec des différents additions minérales (laitier de haut fourneau, la pouzzolane, la poudre de lime) muri à différentes températures (18). Les mortiers muris à températures de 20,30,40 et 50C° sont testé pour la résistance mécanique à l'âge de 1,3,7,28 et 90j. les résultats représentés à la figure précédent. Dans le premier jour de la cure la résistance à la compression des différents mortiers augmente linéairement avec l'élévation de température. Le laitier de haute fourneau donne des bons résultats après le 7 éme jour de traitement.

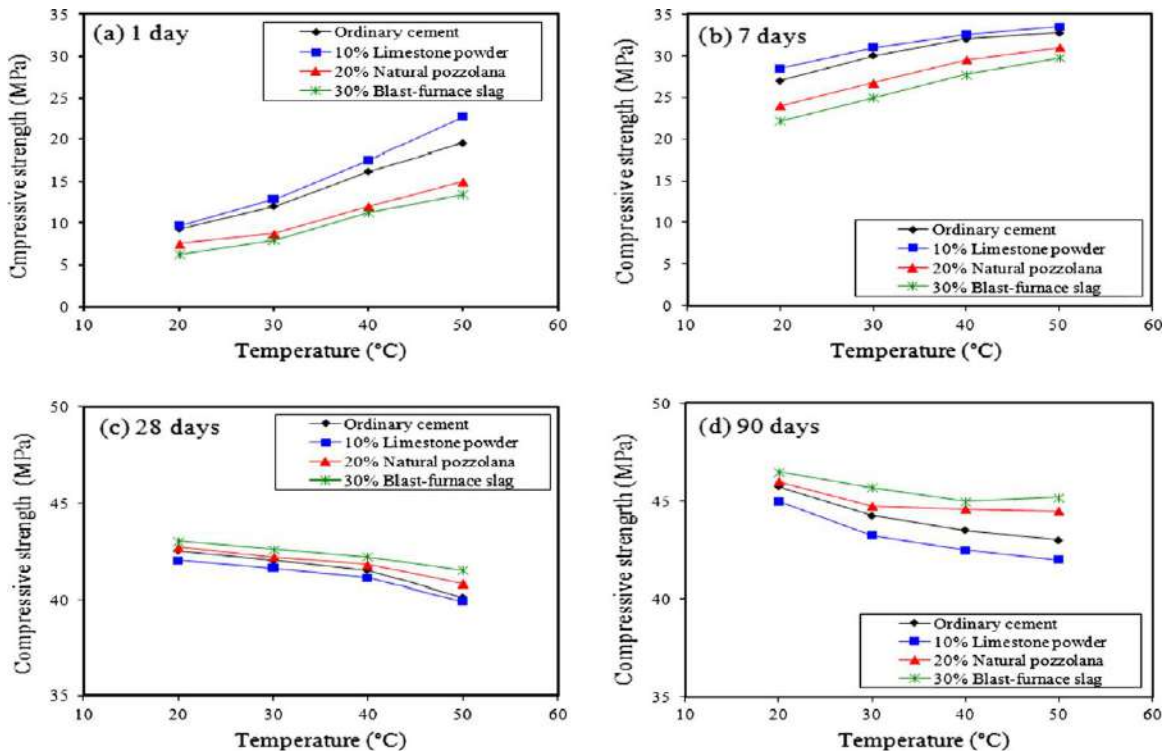


Figure I. 12. La résistance mécanique d'un mortier à base des différents ciments traité thermiquement. *(18)*

I.4.3. L'effet de traitement thermique sur les bétons à base des granulats recyclés

Les recherches sur l'effet du traitement thermique sur les granulats recyclés ne sont pas riches, à cause de la nouveauté d'utilisation de ce type de granulat et l'absence de la normalisation de son utilisation même dans les conditions climatique ordinaire.

Il est rapporté par Marian Valey et all (50), Le développement du Rc28 sur les bétons à base des granulats recyclés traité thermiquement à 45 et 5°C est plus bas par rapport l'atteint dans les échantillons muris à 20c°. Malgré le béton ou un mortier du granulat recyclés traité thermiquement dans des différentes températures reste il 'y a une diminution de résistance accorder à une augmentation du pourcentage des granulats recyclés. L'influence de la température en l'évolution de la cinétique de résistance est pratiquement le même sur un mortier a base des granulats recyclés, c-à-d. une augmentation rapide à la résistance dans les premiers jours de la cure.

Une étude a été réalisée par Safi.B et all (51) sur un mortier autoplaçant à base de granulats de déchet de démolition voire que le mortier traiter thermiquement ayant une bonne résistance à la compression à l'âge de (3, 7, 14,21 et 28j) comparé à celle non traité. Cette élévation à la résistance due à l'accélération de l'hydratation sous l'effet de traitement thermique. Les résultats dans le graphe suivant :

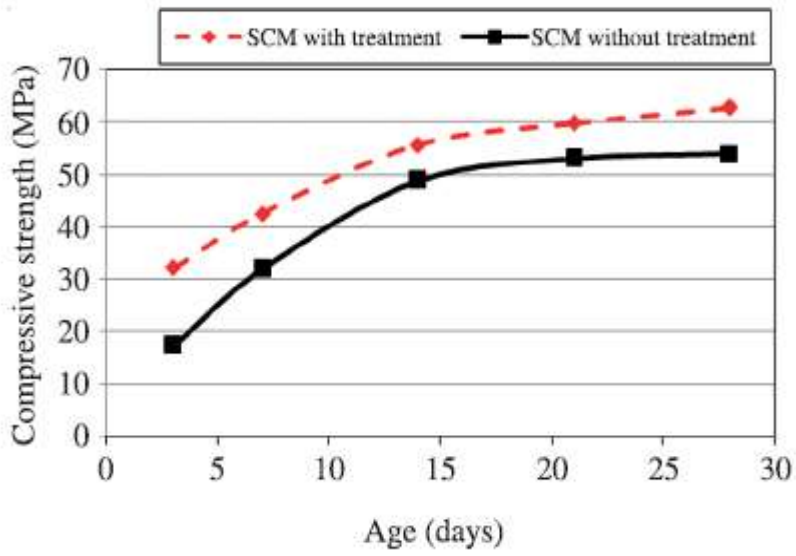


Figure I. 13. Évaluation de la Rc sur un mortier autoplaçant avec et sans traitement thermique. *(51)*

I.5. Conclusion

Le domaine de recyclage et la valorisation des déchets est important, en particulier ces dernières années où les émissions de CO_2 sont importante, dues aux industries lourdes et transformative, c'est pourquoi nous devons préserver l'environnement en exploitant les déchets de démolition et les déchets industrielles pour éviter de les rejeter dans la nature, ce qui est bénéfique pour nous et nos enfants.

Dans cette étude bibliographique certains rapports ont été mentionnés concernant l'utilisation des granulats recyclés et les additions minérales sur le comportement de mortier autoplaçant à l'état frais et durci, ainsi que leurs avantages économique, écologique et technique.

Le traitement thermique aussi avait un part dans ce chapitre tell que nous rapportons leurs effets soit sur les mortiers et les bétons des compositions ordinaire ou des bétons à faibles impacts environnementaux.

Le traitement thermique parmi les facteurs importants qui peuvent influer la qualité finale des BAP, l'augmentation de la température de cure mène à une accélération d'hydratation à jeune âge, ce qui fait l'unanimité des auteurs, mais avec une diversité quantitative, à long terme les effets de cette augmentation sont différents selon le type d'addition utilisé et la valeur de température. Plusieurs travaux dans la littérature ont montré que l'incorporation des éléments d'additions a des effets bénéfiques sur les propriétés des bétons tant à l'état frais, qu'à l'état durci (résistance et durabilité) et notamment pour le cas des BAP traités thermiquement.

Le prochain chapitre consiste à nous informer sur les caractéristiques des matériaux utilisé et à l'exposition des essais que nous avons faits au cours de notre projet.

II.1. Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous intéressons dans un premier temps à la caractérisation des différents matériaux qui sont utilisées dans cette étude. Les différentes propriétés physico-chimiques et minéralogiques seront présentées. Par la suite, nous présentons la procédure de fabrication, la séquence de malaxage, de mise en place et de la conservation des différentes éprouvettes.

Pour finir, on présentera les différentes procédures expérimentales de caractérisation des matériaux et des mortiers à l'état frais et durcis, les différents essais sont effectués au laboratoire de matériaux de construction au niveau de Hall technologie de l'université de Médéa.

II.2. Matériaux utilisé

II.2.1. Le ciment

Le ciment utiliser au cours de ce travail est un ciment portland artificiel CPA son nom technique actuelle est « CEM I 42.5 R » conformément à la norme Algérienne « NA 442 » et l'Européenne « EN 197-1 ». Il est produit par le groupe industriel de ciment SPA sous le nom commercial « Biskria ».

Les caractéristiques techniques de ciment sont situées dans les tableaux suivants :

Tableau II. 1: les compositions chimiques de ciment CEM I 42.5 R.

La composition chimique	Valeurs (%)
SiO2	20.83
Fe2O3	5.58
MgO	1.41
CaO	62.19

Tableau II. 2: les compositions minéralogiques de ciment CEMI 42.5 R.

Les compositions minéralogiques du clinker	Valeurs (%)
C3S	59.07
C2S	15.47
C4AF	16.96
C3A	1.51

Tableau II. 3: les propriétés physiques de ciment CEMI 42.5 R.

Les propriétés physiques	**Valeurs**	**La norme**
Consistance normale %	12.5	-
La finesse (surface de Blaine) (cm^2/g)	2900	NA231
Le Retrait à 28j (µm/m)	< 1500	-
Expansion (mm)	≤3.0	-

Tableau II. 4: le temps de prise de ciment CEMI 42.5 R.

Temps de prise à 20 suivant la norme (NA 230)	**Valeurs (min)**
Début de prise	2h36m
Fin de prise	4h13m

Tableau II. 5: la résistance mécanique de ciment CEMI 42.5 R.

Résistance à la compression	**Valeurs (Mpa)**
2 jours	**≥12.5**
28 jours	**≥42.5**

II.2.2. Laitier des hauts fourneaux

Le laitier utilisé provient du complexe sidérurgique d'EL-Hadjar.il est fourni sous forme de grains sphériques de classe granulométrique 0/5 mm et de couleur jaunâtre (figure II.1). Le laitier est ensuite réduit en poudre avec une finesse de 3800 cm^2/g. Le temps de broyage est fixé à 150 min. Sa masse volumique absolue est de 2820 g/cm^3. Les résultats de sa composition chimique sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau II. 6: Caractéristiques chimiques du laitier d'El-Hadjar

Composition chimique (%)									
SiO2	**Al2O3**	**Fe2O3**	**CaO**	**MgO**	**MnO**	**K2O**	**SO3**	**TiO2**	**Total**
40.10	6.00	2.00	42.20	4.70	2.60	1.20	0.15	1.20	101.15





Figure II. 1: Poudre de laitier avant broyage(a)et après broyage(b).

II.2.3. Sable

Les sables utilisés dans ce travail sont deux types, le premier est un sable naturel d'Oued Souf où les grains sont de forme arrondie et lisse (figure II.2) et le deuxième est un sable recyclé de béton issue d'un concassage des éprouvettes de béton ordinaire de contrôle de qualité des chantiers (figure II.3). Les sables sont séchés pendant 24H à 105 C° avant chaque opération de formulation pour assurer que le sable est 100% sec.



Figure II. 3: sable naturelle d'oued souf



Figure II. 2: le sable recyclé à base de béton concassé

Les propriétés physiques des deux types de sables sont présentées dans le tableau suivant (tableau II.7) :

Tableau II. 7: les caractéristiques physiques des sables utilisé.

Propriétés	Types de sable		**Normes**
	Naturel	Recyclé	
provenance	Oued souf	Béton concassé	
Classe granulaire	0/3	0/3	_
Module de finesse	1.89	3.14	NA 2607 et EN 933-1
Mv absolue (g/cm³)	2.63	2.47	_
Mv Apparente (g/cm³)	1.59	1.29	_
Taux d'absorption (%)	0.5	8	NF P 18-554et18-555
Équivalent de sable(%)	Esp=80.68	Esp=70.83	NF P 18-598

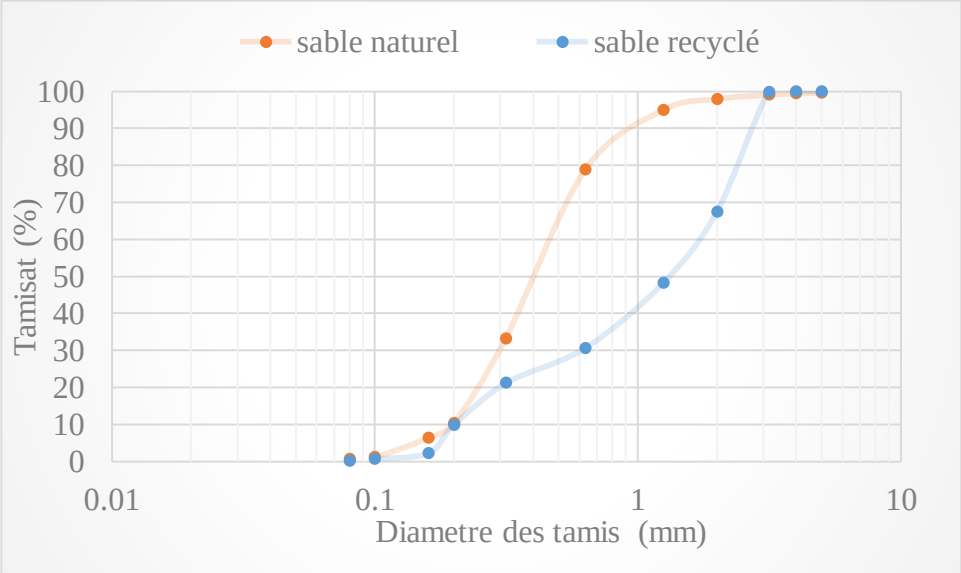


Figure II. 4: la courbe granulométrie des sables utilisés.

II.2.4. L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle de la distribution générale considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme « NF EN 1008 ».

II.2.5. L'adjuvant

Le super plastifiant utilisé dans cette étude est un haut réducteur d'eau de la troisième génération fournie par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 30 » (figure II.5). Il est conçu de polycarboxylate d'Ether (PCE) qui améliorent Considérablement les propriétés des bétons. Il permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. Il ne présente pas d'effet de retard de prise. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5 à 2 % du poids de ciment et son densité égale 1065 Kg/m³. Toutefois, le dosage optimal doit être recherché selon le type de mortier et les propriétés recherchées par la réalisation des gâchés au laboratoire.



Figure II. 5: MEDAFLOW30.

II.2.5.1. PROPRIÉTÉS de MEDAFLOW 30

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

a) Sur béton frais

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

b) Sur béton durci

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.

- Diminuer la porosité

- Augmenter la durabilité

- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

II.2.5.2 Caractéristiques de MEDAFLOW 30

Tableau II. 8: les caractéristiques de super plastifiant MEDAFLOW 30.

Aspect	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Brun clair	6-6.5	1.07±0.01	< 0,1 g/l	30%

II.3. Formulations des mortiers autoplaçant

II.3.1. INTRODUCTION

Afin de déterminer les quantités des matériaux : ciment, granulats fin, eau et adjuvant, nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA (52), avec quelques modifications sont apportées au niveau de la teneur en sable dans le mortier (S/M), le rapport eau/ciment (E/C) ainsi que le rapport Superplastifiant / Liant (Sp/L) et ceci dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier autoplaçant (MAP) à l'état frais.

II.3.2. Le rapport sable / mortier (S/M)

Les auteures de la méthode générale (japonaise) ont limité le volume de sable à 40% (S/M=0.4) de celui de mortier pour obtenir un bon MAP à base des matériaux locaux japonaise (53) ceci et loin d'être toujours le cas, parce que l'utilisation de BAP à travers le monde montre qu'il est nécessaire de modifier ce volume, pour qu'on puisse produit un MAP de grande déformabilité (54). Domone (55) a analysé 68 échantillon de BAP ayant été utilisé dans des différentes pays. Cet auteur a rapporté que de plus de 80% des cas étudier le volume de sable utilisé est compris entre 41% et 52%.

Afin de minimiser le nombre de variables pour le mortier autoplaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe le rapport S/M à 0,5 suivant les résultats de Boukendakdji .O (54) .

II.3.3. Le rapport eau/liant (E/L) et superplastifiant/liant (Sp/L)

En générale, les MAP sont caractérisés par un faible rapport (E/L<0.5) (56) pour limité la quantité d'eau libre et améliorer par conséquence leur résistance mécanique. Certain auteur trouve que ce rapport variant entre (0.84 et 1.07) en volume ou entre (0.28 et 0.45) en masse sont convenable pour fabriquer un BAP de bonne caractéristique à l'état frais et à l'état durci. Des valeurs prises en dehors de ces plages peuvent causer un blocage ou une ségrégation de BAP (57). Dans notre étude on a fixé le rapport E/L à 0.38 en poids

En ce qui concerne l'optimisation du dosage eau (E/L) et en super plastifiant (Sp/L) avec la nature du ciment et sable utilisés, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette qui doit être compris entre (270 mm ≤ d ≤330 mm) (58). Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque rapport E/L, on fait varier le dosage en SP de (0,3 à 2%). Les rapports optimaux (E/L) et (Sp/L) sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP.

II.3.4. Formulation des mortiers a faible impact environnemental

Notre étude est focalisée sur l'influence de la substitution de ciment par laitier de haut fourneau sur les caractéristiques d'un mortier autoplaçant à base des granulats recyclés de béton de démolition traité thermiquement sous température de 20C°, 40C° et 60C°. Pour cela, le ciment du MAP de référence est substitué partiellement par le laitier de haut fourneau par 20% de volume de ciment.

Le choix du taux de substitution et la finesse est basé sur les résultats de plusieurs chercheurs, Behim (59) a conclu qu'un broyage du laitier doit être au minimum à 3500 cm²/g pour donner des améliorations au niveau des résistances mais avec un broyage séparé, car actuellement le laitier est industriellement co-broyé avec le clinker à environ une finesse de 3000 cm²/g. Ces résultats sont confirmé par Hammat (60), elle a conclu que la finesse et le taux de laitiers ne doivent pas dépasser 5000cm²/g et 30% respectivement, avec un optimum de 3500cm²/g et 15% respectivement.

Dans la même recherche précédente de Behim (59) qui a étudié l'effet de taux (0, 20, 50%) du laitier granulé sur les propriétés des bétons, il a trouvé qu'un taux de 20 % est jugé optimal pour une meilleur caractéristique a l'état frais et durci. Quand a Boukendakdji (54) a jugé que la substitution du ciment par 20% de laitier améliore les paramètres de fluidité sans trop infecté les résistances de compressions et de traction.

D'après les recherches précédentes on a choisi de broyé le laitier granulé a une Finesse de 3800cm^2/g et un taux de substitutions de 20 %.

Dans ce travail expérimentale cinq (5) mélanges des différents pourcentages des granulats recyclés (0, 25, 50, 75, 100 %) ont été préparés, multiplier fois deux (2) substitutions (0% et 20%) d'addition minérale (laitier). Une fois 0% de laitier avec les cinq pourcentages de sable recyclé et la deuxième de 20% de laitier avec les mêmes pourcentages de sable recyclé.

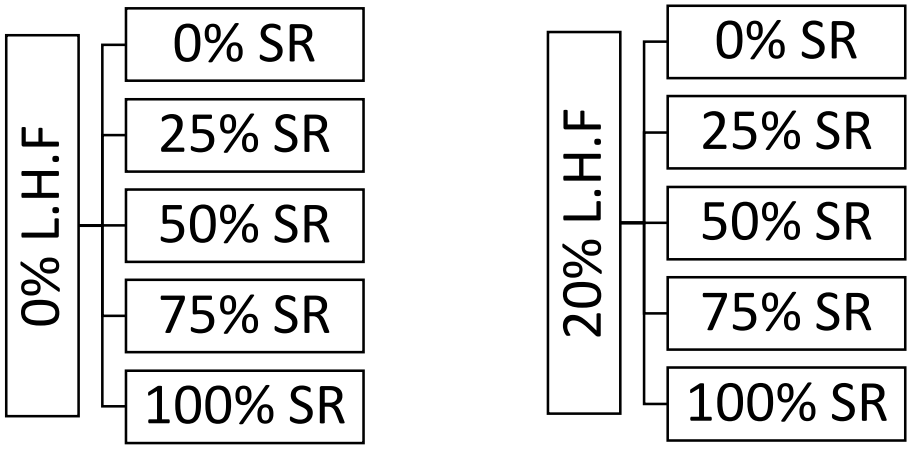


Figure II. 6: pourcentages des granulats recyclés.

II.3.5. Procédure d'humidification de sable recyclés

L'absorption importante d'eau par le sable recyclé de béton doit être prise en charge avant le durcissement des mortiers, en cas contraire le sable absorbe l'eau destiné à l'hydratation du ciment qui provoque des chutes de résistance énorme et une porosité importante.

La quantité d'eau doit être ajouté soit lors du malaxage ou d'utilisé des sables humide par une immersion dans l'eau 24h avant son utilisation.

Le choix de la méthode d'humidification peut influencer largement la fluidité, les propriétés mécaniques ainsi que les critères de durabilité.

Selon Diego (61) la méthode de compensation de l'eau absorbé dans les 10 premières minutes dans l'eau de gâchage a l'avantage de rendre possible d'utiliser les sables d'un grand taux d'absorption sans aucune influence sur les caractéristiques a l'état frais et durcis. Cela justifié les résultats de Sckou (62) qui a jugé l'ajout de la quantité d'eau absorbé a 10 min lors du malaxage est la plus efficace car au de la de 10 min l'absorption d'eau des granulats lors du malaxage est presque impossible et ce qui peut conduire à un excès d'eau dans le mélange, et ainsi une augmentation indésirable dans le rapport E/C efficace.

La technique d'utilisation de sable recyclé utilisée consternant la compensation d'eau absorbée est l'ajout de l'eau absorbé à 10 min lors de malaxage.

II.4. Préparation et conservation des éprouvettes

II.4.1. Procédure de malaxage

Pour la confection des mortiers autoplaçant, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité (figure II.7). En ce qui concerne la durée de malaxage, les MAP et BAP ont une durée de malaxage plus longue, ce qui a pour effet d'assurer une meilleure dispersion des particules de la poudre par le superplastifiant. Certains auteurs (63; 64) ont proposé des durées de malaxage variant entre 3 et 4 min. Pedersen et al. (65) ont rapporté qu'une durée de malaxage excédant 5 min est préférée.

Boukendakdji et al. (66) ont rapporté que l'efficacité du SP est d'autant plus grande lorsqu'il est ajouté (avec 30% de l'eau) après l'humidification du béton (70% de l'eau de gâchage ajouté au début de malaxage). En se basant sur ces recommandations et sur les travaux cites (54; 67), on adopte la procédure de malaxage suivantes (figure II.7) :



Figure II. 7: Le malaxeur 5L.

Après avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP, on procède à un malaxage sec de liant et du sable pendant 30S pour assurer l'homogénéité de mélange, en suite on ajoute 70% d'eau d'une manière régulière pendant 60S. Durant la minute suivante on introduit régulièrement le superplastifiant avec le reste d'eau (30%). (le

figureII.8).

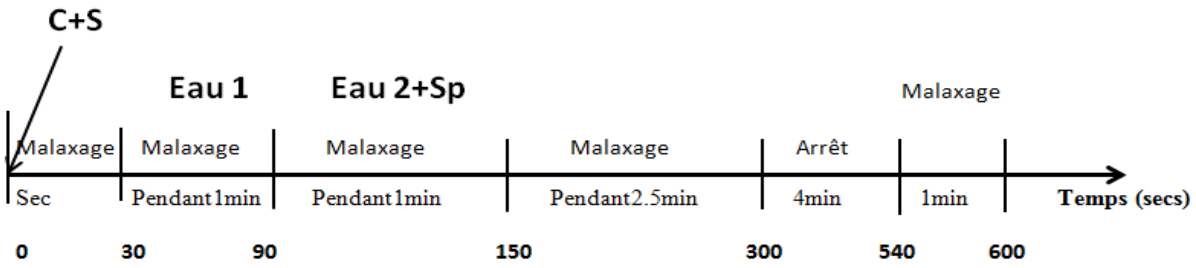


Figure II. 8: la procédure de malaxage de MAP.

II.4.2. Préparation des éprouvettes

Les différents types de mortiers autoplaçant sont fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique (4x4x16 cm) destinés aux différents essais programmés à l'état durci. Les éprouvettes confectionnées sont au nombre total de 240 éprouvettes divisées pour différents pourcentages de sable recyclé laitier des hauts fourneaux et différents modes de cure (figure II.9).



Figure II. 9: Éprouvettes confectionnées.

II.4.3. La conservation des éprouvettes

Juste après la préparation, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Les éprouvettes sont subits 2 modes de cure pour chaque mélange.

✓ Des éprouvettes sont conservées 24h dans l'environnement de laboratoire à 20°C, puis décoffrées et continues leur conservation à l'eau dans une température d'environ 20C°, voire (figure II.10).

✓ Des éprouvettes sont subit un traitement thermique pondant 8h suivant 2 cycles différents (Tmax= 40°C et Tmax = 60°C) sont tous avec une humidité relative (HR=100%) voire (figure II.11). Après les éprouvettes sont décoffrées et conservées dans un bac d'eau à 20C° sur toute la durée d'attente des essais.



Figure II. 10: la conservation des éprouvettes à l'eau.



Figure II. 11: Enceinte climatique pour le traitement thermique des éprouvettes.

Deux traitements thermiques sont imposés, pour atteindre deux paliers de température différente à 40 et 60C°, Les moules sont disposés dans la chambre climatique juste après le coulage a une température de 20°C. Avec une assurance d'une humidité de 100% par un

recouvert d'une toile de jute humide et la disposition d'un bac d'eau dans la chambre climatique. L'augmentation de température dans la chambre doit être régulières et de façon graduelle de raison de 10°C/h dans le cas de 40°C de murissement et par 20°C/h celle de 60C°.Ce lentement d'évolution de température est pour but pour éviter le choc thermique sur le mortier. Les deux cycles sont comme suivis

Une rampe de 10 °C /h est alors appliquée pour atteindre le palier de 40 °C. Ce palier dure de 2 heures. Après réalisation de ce palier, une diminution de température est aussi de 10°C/h jusqu'au arrivé à 20°C.

Une rampe de 20 °C /h est alors appliquée pour atteindre le palier de 60 °C. Ce palier dure de 2 heures. Après réalisation de ce palier, une diminution de température est aussi de 20°C/h jusqu'au arrivé à 20°C.

Les deux cycles sont présentés dans la figure suivante (figure II.12) :

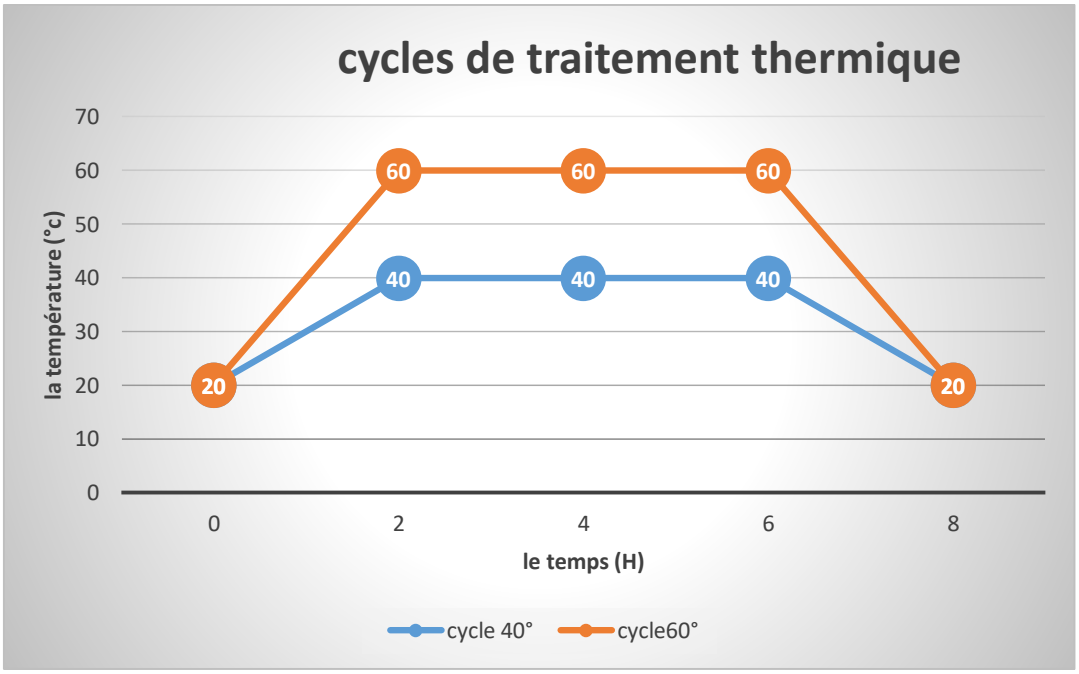


Figure II. 12: Cycle de traitement thermique.

II.5. Protocole expérimentale

II.5.1. Essais effectue sur le laitier et ciment

a) La surface de Blaine

Un appareil appelé « perméabilimètre de Blaine » dont la description complète est donnée dans la norme « EN 196-6 ». Cet appareil est schématisé sur (la figure II.13) il se compose pour l'essentiel d'une cellule dans laquelle la poudre à tester est placé et d'un monomètre constitué d'un tube en verre en forme de U rempli, jusqu'à son repère inférieur, d'une huile légère. La cellule est équipée d'une grille à sa partie inférieure. Un piston sert à tasser la poudre dans la cellule sous un volume V défini.

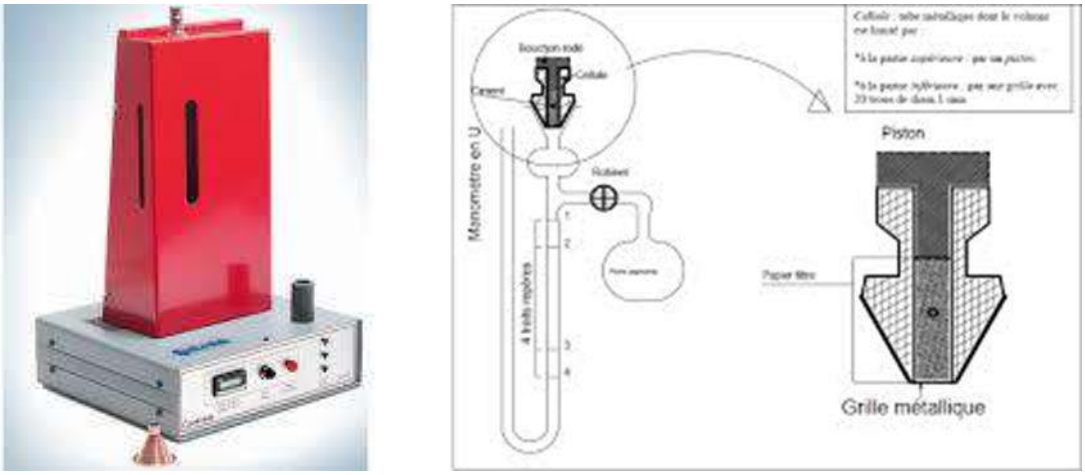


Figure II. 13: le perméabilimère de Blaine

II.5.2 essais effectués sur les granulats

a) L'analyse granulométrie

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme « NA 2607 » et la norme « EN 933-1 et 933-2 » où le sable passant à travers une série des tamis décroissante de haut vers la base. Voir (figure II.14)

L'échantillon doit être sécher à (110±5) °C. Après refroidissement il est pesé jusqu'à masse constante (Masse 2). Le tamisage à sec peut alors être réalisé. (68)

Après le tamisage on pèse le refus dans chaque tamis pour dessiner la courbe granulométrique.

On utilise une quantité de (2000 g) de sable naturelle ou recyclé. On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

_ Le coefficient d'uniformité Cu.

_ Le coefficient de courbure Cc.

_ Le module de finesse Mf.



Figure II. 14: la série des tamis de l'analyse granulométrie.

b) L'absorption granulaire

On détermine un coefficient d'absorption, qu'est définie comme le rapport d'augmentation de la masse d'échantillon après imbibition dans l'eau, à une masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C. (68), L'échantillon doit être humide avec une surface sèche, pour assurer cela on utilise le moule présenté dans la figure II.5, après le compactage de l'échantillon dans ce moule, le sable doit disperser dès l'enlèvement du moule. A ce moment on pèse la masse Ma. Le coefficient d'absorption Ab est défini par la relation :

$$Ab = \frac{Ma-Ms}{Ms} *100 \qquad \text{(Équation II. 1)}$$

Tell que :

Ms : masse sec après l'étuvage à 105°C

Ma : masse imbibé, surface sèche d'échantillon.



Figure II. 15: moule et dame pour coefficient d'absorption.

c) L'équivalent de sable

Selon la norme « NF P 18-598 », la procédure de mesure de l'équivalent de Sable est comme suivie (68).

- ✓ On dispose de trois éprouvettes propres pour chaque sable, puis on prendra la Moyenne des trois résultats obtenus ;
- ✓ En versant une quantité de 120 g de sable, jusqu'au premier trait d'une éprouvette normalisée contenant une solution lavant, et on laisse à reposer 10 minutes.
- ✓ On bouche les éprouvettes et on les agite d'une manière automatique à l'aide d'une machine agitatrice pendant 30 secondes.
- ✓ On lave et on remplit les éprouvettes par la solution lavant jusqu'au trait supérieur, et les laisse à reposer 20 minutes en évitant toute vibration.
- ✓ On lit les hauteurs h1 et h2 puis à l'aide d'un piston on mesure h2.

$$Es = {}^{H2'}/_{H1} * 100 \qquad \text{(Équation II. 2)}$$

$$Esv = {}^{H2}/_{H1} * 100 \qquad \text{(Équation II. 3)}$$

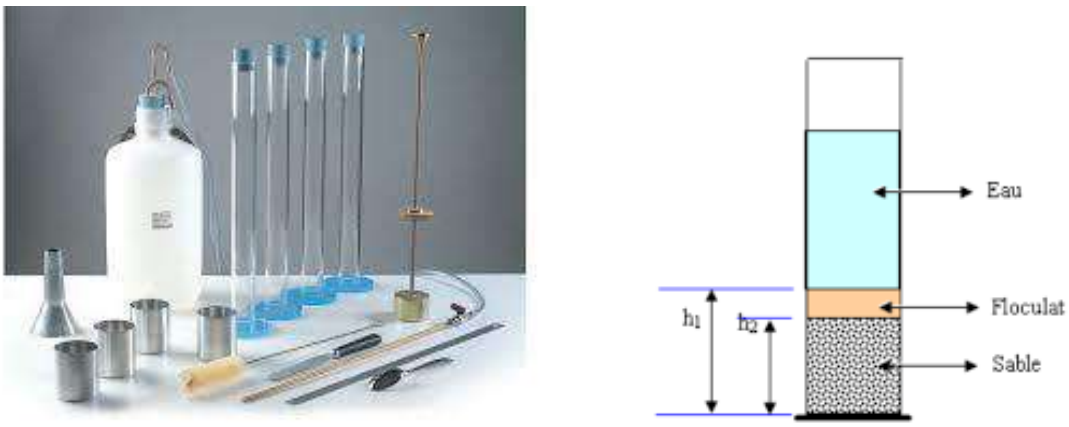


Figure II. 16: les équipements de l'essai de l'équivalent de sable.

d) La masse volumique

1. Masse volumique absolue (Méthode de pycnomètre)

La détermination de la masse volumique absolue par pycnomètre consiste à :

- ✓ Détermination avec précision la masse M1 du pycnomètre remplie d'eau jusqu'au niveau de trait repère.
- ✓ Détermination avec précision la masse M2 d'un échantillon de matériau sec environ (50g)
- ✓ Introduire la totalité des matériaux dans le pycnomètre, remplir d'eau, fermer le bouchon et amené le niveau d'eau au niveau de trait repère. Vérifier que le pycnomètre ne contient aucune bulle d'air. Peser alors le pycnomètre, soit M3.

On peut alors écrire la relation entre les différents poids mesurés :

$$M3 = M1 + M2 - \frac{M2}{\rho s} * \rho\omega \qquad \text{(Équation II. 4)}$$

On ne déduit la masse volumique ρs du matériau, connaissant la masse volumique d'eau $\rho\omega$ qu'est égale à 1g/cm³. (68)

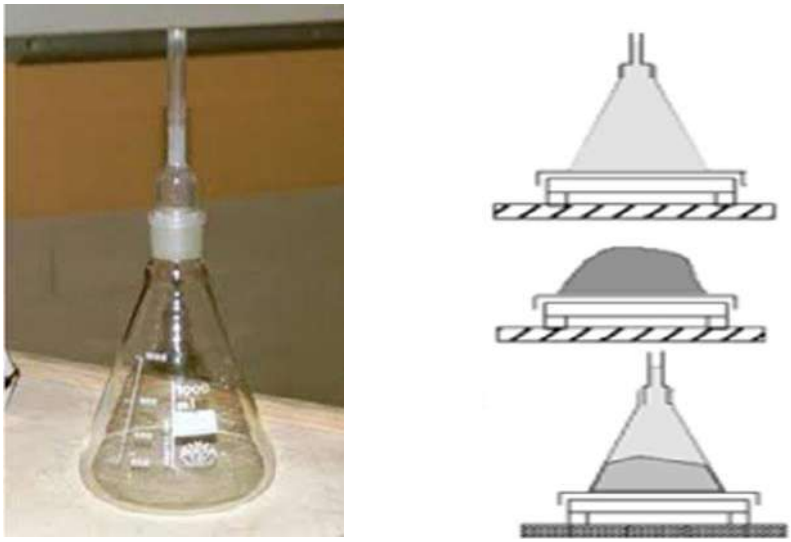


Figure II. 17: l'essai de la masse volumique absolue par pycnomètre.

2. Masse volumique apparente

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume 1L par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique l'équation suivante on obtient la masse volumique apparente (ρ_{app}) (69)

$$\rho = \frac{M}{1} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \qquad \text{(Équation II. 5)}$$

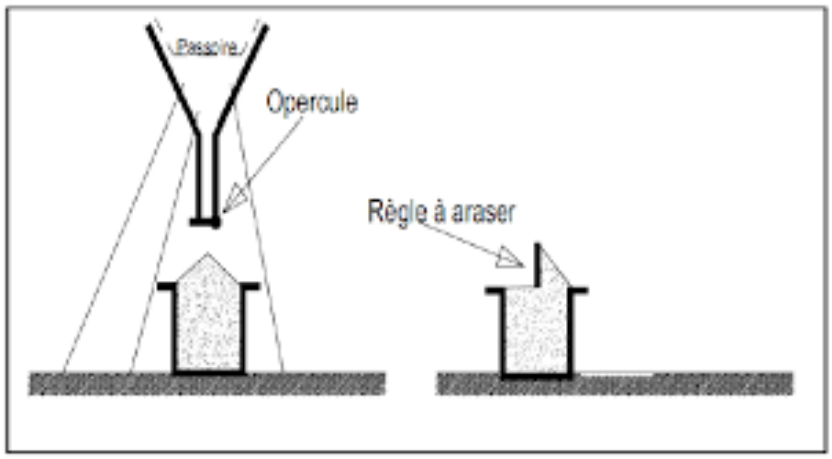


Figure II. 18: l'essai de la masse volumique apparente.

II.5.3 essais effectués sur le mortier

II.5.3.1. Essais effectués sur le MAP à l'état frais

Le but des essais sur mortier frais en premier temps est de fixer les deux rapports E/L et SP/L. L'essai d'étalement vise à qualifier la déformabilité du mortier en mesurant son étalement, et à contrôler la stabilité du mortier en observant sa galette après l'arrêt de

L'écoulement. La viscosité du mortier est évaluée en comptant le temps d'écoulement à travers L'essai au mini-entonnoir en V.

1) Essai d'étalement au mini cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue. La (figure II.19) montre le dispositif de l'essai d'étalement pour les mortiers.

✓ Mode opératoire

- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le mini cône sur la plaque.
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le mortier s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.
- Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de mortier (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).



Figure II. 19: Essai d'étalement au mini cône.

II.5.3.2. Essais effectués sur le MAP à l'état durci

a. Essai de traction par flexion

L'essai de résistance à la traction consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu. Jusqu'à la rupture (Figure II.20). La résistance à la traction est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (4x4x16) cm^3 a 1, 3, 28 et 56 jours.



Figure II. 20: Essai de traction par flexion.

Si P est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion. Le moment de rupture est PL/4 et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$\sigma_f = \frac{M}{I} v \ (Mpa) \qquad \text{(Équation II. 6)}$$

Avec :

$$I = \frac{b.h^3}{12} \ (cm^4) \qquad \text{(Équation II. 7)}$$

$$v = \frac{h}{2} \ (\text{cm})$$

$$\sigma_f = 1.5 \frac{P.L}{b^3} \ (Mpa) \qquad \text{(Équation II. 8)}$$

Contenue des dimensions b et L, Si P est exprimée en (N), la résistance à la flexion exprimée en MPa vaut :

$$\sigma_f = 2.34x10^{-3} \ P \qquad \text{(Équation II. 9)}$$

b. Résistance à la compression

Les essais de résistance mécanique de tous les mortiers autoplaçant étudiés ont été effectués sur des éprouvettes de forme prismatique de dimensions (4x4x16) cm^3. Pour chaque gâchée deux éprouvettes ont été confectionnés. Après démoulage. Les éprouvettes après chaque modes cure, ont été conservées dans un bac remplit d'eau à une température de 20 C° jusqu'au moment des essais, les résistances mécaniques ont été déterminées à l'âge de 1,3, et 28 jours.

La résistance en compression a été mesurée par compression axiale suivant la norme en vigueur sur demis prismes de 4×4×16 cm, à l'âge de 1, 3, 7, et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 kN (figure 2.21). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur les éprouvettes à chaque âge d'essai.



Figure II. 21: Essai de compression simple.

La résistance à la compression est déterminée donc par la formule suivante :

$$\sigma_C = \frac{F_c}{a^2} \qquad \text{(Équation II. 10)}$$

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

$$\mathbf{f_{c28}}(Mpa) = \frac{F_c\,(N)}{1600} m^2 \qquad \text{(Équation II. 11)}$$

c. Porosité accessible à l'eau

C'est le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent suivant les recommandations en vigueur . Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent :

$$\varepsilon(\%) = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} X100 \qquad \text{(II.2)}$$

Pour ce faire, trois échantillons de BAP ont été testés pour chaque formulation et après 28 jours de maturation. Il s'agit en réalité de peser les échantillons sous différents états. Dans un premier temps il faut s'assurera que les échantillons sont saturés en eau. Pour cela, ont les places dans un dessiccateur à vide, sous une dépression de 25 mbar pendant 4 heures, puis on immerge les échantillons dans l'eau, toujours sous vide, pendant 20heures ± 1heures. Après quoi les éprouvettes subissent une pesée hydrostatique. Pour déterminer Meaux un échantillon est suspendu à l'aide d'un fil du système de suspension de la balance hydrostatique (figureII.22) et il est pesé complètement immergé dans l'eau. La pesée doit être effectuée à 0.001g prés. Déterminer la température de l'eau d'immersion Pour déterminer Maur il faut extraire l'échantillon de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'un linge humide, afin de le débarrasser des goulettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores et le peser immédiatement le corps d'épreuve dans l'air à l'aide d'une balance précise à 0.001g prés, Il faut s'assurera que l'évaporation de l'eau d'imbibition ne provoque pas de perte de masse appréciable pendant les opérations de pesées.

Msec est obtenue après séchage de l'échantillon en l'exposant à 105±5°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

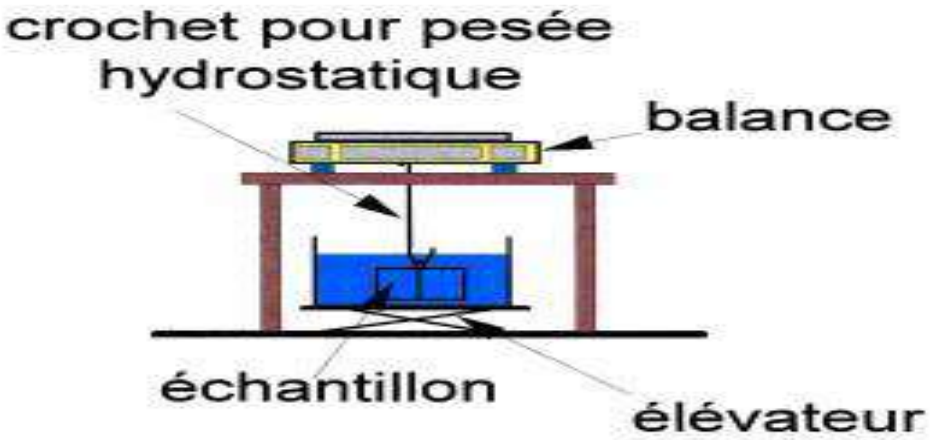


Figure II.22 : Schéma de pesée hydrostatique d'Absorption d'eau par capillarité

L'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°Csuivant les recommandations de l'AFREM . Les échantillons testés sont des demi-prismes de surface de 7x7x7 cm (trois échantillons par composition). Le préconditionnement des échantillons est le suivant :

A l'issue de la période de cure, les échantillons sont conservés dans une étuve ventilée à 80 ± 2°C. Durant cette période, le suivi de la masse est réalisé à intervalle de temps régulier, jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées espacées de 24 heures soit inférieure à 0,05%. Les éprouvettes sont alors placées dans des sacs étanches puis remises dans l'étuve ventilée à 80 ± 2°C pendant 10 jours, afin de favoriser l'équilibre hydrique dans l'échantillon. Le sac est ensuite extrait de l'étuve puis conservé 12 heures à une température de 20 ± 2°C.

A l'issue de ce retour en température, l'éprouvette est sortie du sac. Sa surface latérale est alors enduite de résine (ou de papier aluminium autocollant) pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai, puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à 20 ± 2°C pour permettre le durcissement complet de la résine.

L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite de ce préconditionnement. Il consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 3 mm dans de l'eau (figure II.23). Les échéances de mesure sont les suivantes : ¼, ½, 1, 2, 4 et 24 heures.

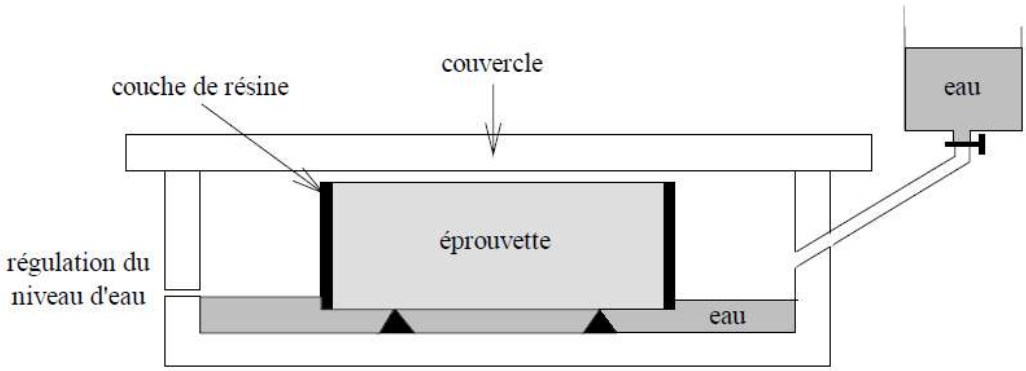


Figure II.23. Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité.

Le coefficient d'absorption capillaire est défini par l'équation suivante :

$$C_a\ (kg/m^2) = \frac{(M_x - M_0)}{A}$$ Equation II.9.

Où M_x : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg), M_0 : masse initiale de l'éprouvette (kg),

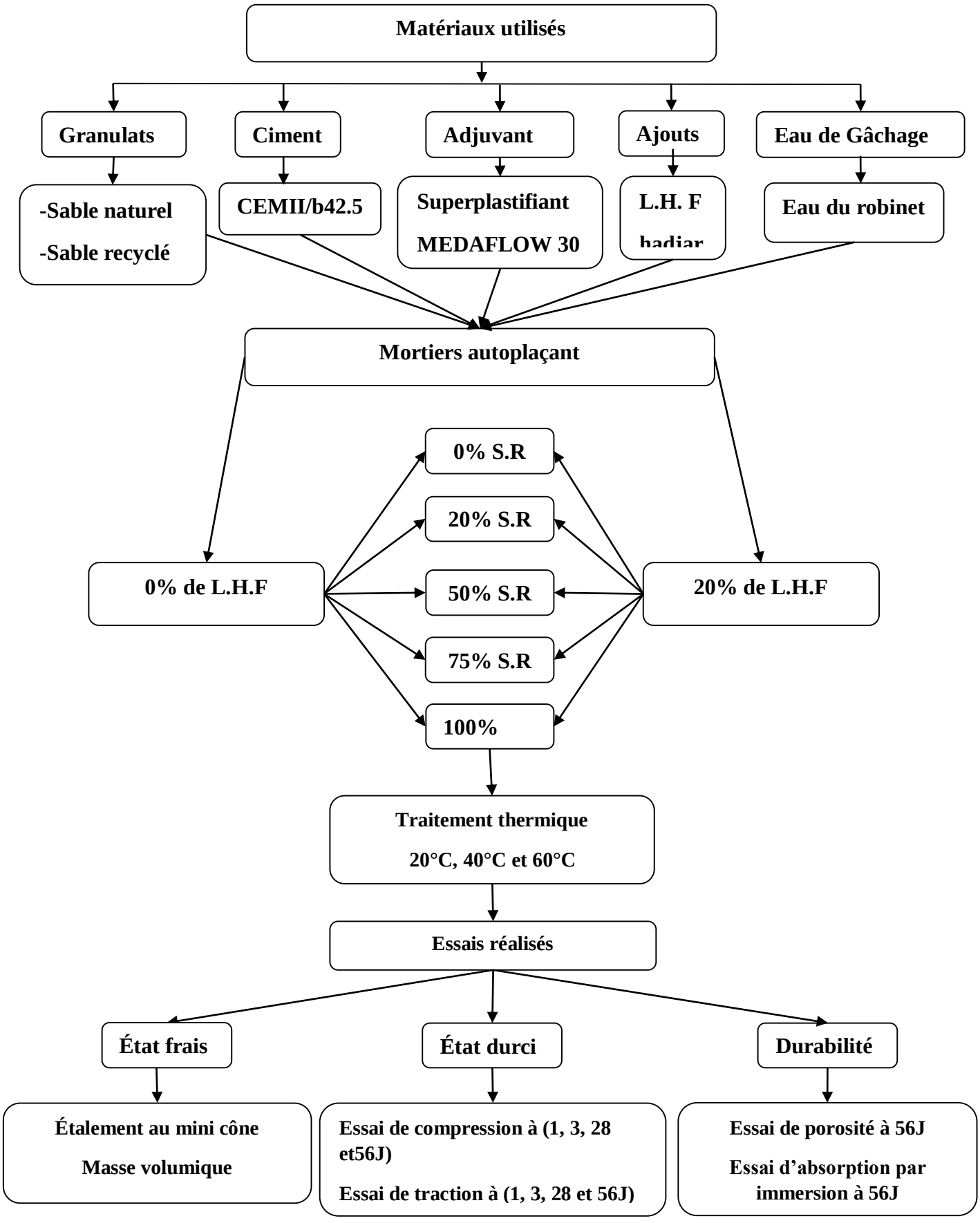


Figure II.24: Protocol expérimental.

II.6. Conclusion

Afin de mettre en évidence les effets de traitement thermique et des additions minérales (laitier de haut fourneau) sur les propriétés de mortier autoplaçant à base des granulats recyclés. Une caractérisation complète des matériaux et une mise en place de procédures expérimentales s'est avérée nécessaire. La première partie de ce chapitre a été consacré à cet effet, dans lequel, nous avons exposé les différents matériaux utilisés pour la formulation des mortiers autoplaçant ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Il a été en même exposé la méthode de fabrication et des séquences de malaxage des différents mélanges de mortiers autoplaçant utilisés, ainsi qu'une présentation des essais nécessaires pour la vérification et la caractérisation de ces mortiers autoplaçant à l'état frais (ouvrabilité et masse volumique) et à l'état durci (les essais des résistances, indicateur de durabilité).

III.1. Introduction

L'étude expérimentale a pour objet, d'étudier l'effet du traitement thermique sur les mortiers autoplaçant a base de laitier de haut de fourneaux et de sable recyclé. À cet effet, nous visons à tester les différents mélanges réalisés par l'essai d'étalement au mini cône et l'essai de la masse volumique à l'état frais afin de vérifier leur autoplaçance. Ainsi nous étudions les caractérisations des différents mélanges à l'état durci à travers l'essai de compression et traction, d'absorption d'eau par capillarité et de porosité accessible à l'eau.

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont présentés et discutés dans les étapes prochaines.

III.2. Formulation des mortiers autoplaçant :

Afin de déterminer les quantités des matériaux : ciment, granulats fin, eau et adjuvant, nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA (52) avec une modification au niveau de la teneur en sable dans le mortier (S/M =0.4) dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier autoplaçant (MAP) à l'état frais. Le rapport eau/ciment (E/C) est fixe pour qu'on puisse comparer entre les résultats des différents mortiers sans aucune influence de rapport sur l'état durcie, le rapport Superplastifiant / Liant (Sp/L) est varié pour chaque type de mortier d'une manière à avoir un étalement fixe de (295± 10 mm).

Tableau III.1 : Composition des différents mortiers réalisés.

	Sable recyclé (%)	Ciment (g)	Sable (g)	$\frac{E}{c}$	Eau(g)	Sp		Sable recyclé (g)	Laitier haut Fournaux (g)
						(%)	(g)		
MAP0L	0	717.2	1308.4	0.38	272.9	1.2	8.6	0	0
	25	717.2	981.3	0.38	296.4	1.1	7.9	284.1	
	50	717.2	654.2	0.38	320	1	7.2	568.1	
	75	717.2	327.1	0.38	341.9	0.95	7.0	838.4	
	100	717.2	0	0.38	365.3	0.85	6.1	1117.8	

MAP 20L	**0**	**579.6**	**1308.4**	**0.38**	**271.1**	**1.1**	**7.8**	**0**	**131.417**
	25	**579.6**	**981.3**	**0.38**	**294.4**	**0.97**	**6.9**	**279.5**	**131.417**
	50	**579.6**	**654.2**	**0.38**	**317.6**	**0.87**	**6.2**	**588.9**	**131.417**
	75	**579.6**	**327.1**	**0.38**	**340.6**	**0.8**	**5.7**	**838.4**	**131.417**
	100	**579.6**	**0**	**0.38**	**363.4**	**0.75**	**5.3**	**1117.8**	**131.417**

III.2. L'état frais

III.2.1. Essai de l'étalement

Pour avoir un étalement de (295±10mm) avec un rapport E/C fixe, il fallait jouer sur le taux de superplastifiant qui peut varier la fluidité sans une grande influence sur caractéristique à l'état durci, sur le tableau suivant (tableau III.2) on présente les pourcentages de superplastifiant ainsi que l'étalement obtenue pour chaque type de mortier.

Tableau III.2. L'étalement au mini cône en fonction de pourcentage de superplastifiant pour tous les mélanges.

% de L.H.F	% de SR	% de SP	D (mm)
0	0	1.2	285.5
	25	1.1	283.5
	50	1	305
	75	0.97	298
	100	0.85	295
20	0	1.1	290
	25	0.97	300
	50	0.87	303
	75	0.8	295
	100	0.75	290

Après la lecture de tableau on remarque le pourcentage de Sp est on diminution de 29 % en superplastifiant entre 0% SR et 100%SR. Temps que n'y a aucune addition minérale. Il reste

dans son diminution même s'il existe 20% de laitier aux mélanges d'ordre de 32% en SP aussi. La même cinétique est enregistrée pour l'effet du laitier sur la fluidité des MAP étudié dont on remarque qu'une diminution de 10% dans la quantité de superplastifiant utilisé dans le cas de substitué 20% de ciment par le laitier des hauts fourneaux.

Donc on peut conclue que la présence de sable recyclé augmente l'étalement des MAP, ces résultats sont comparables à celle de Tahar et all (27) qui a trouvé une diminution de 55 a 65% pour les taux de sable recyclé supérieur à 30%, cela est justifié selon Tahar par l'adhérence du mortier sur les agrégats recyclés et, de ce fait, la texture de surface des agrégats recyclés est plus poreuse. Selon Zhao l'effet de faible pourcentage des fines environ de 2.5% donne un étalement favorable, par contre les fines (0/0.063) ayant un mauvais effet sur les propriétés de mortier (31), cela justifié nos résultats où on a un taux de fine inférieur à 2.5%.

Concernant l'effet du laitier, les résultats des recherches sont tous en accord avec nos résultats, la surface vitreuse de laitier et sa faible absorption d'eau mènent automatiquement a une amélioration de fluidité et précisément pour les laitiers d'une finesse supérieur à celle du ciment comme notre cas.

III.2.2. L'essai de la masse volumique (densité)

Cet essai consiste à peser une tare vide (Mv), deuxièmes remplir la tare par l'eau (M1) puis on remplir la même tare par le mortier (M2). Les résultats sont situés sur le tableau (III.3) et le figure (III.1) ci-dessus :

La densité se calcul par l'équation suivante :

$$\rho = \frac{M2 - Mv}{M1 - Mv} \left(\frac{g}{l}\right)$$

Tableau III.3. La densité de chaque mélange de mortier

	0% SR	**25% SR**	**50% SR**	**75% SR**	**100% SR**	
0% L.H.F	2310.108	2300.896	2280.678	2254.678	2203.355	Densité g/l
20% L.H.F	2280.658	2176.055	2168.069	2250.23	2192.33	

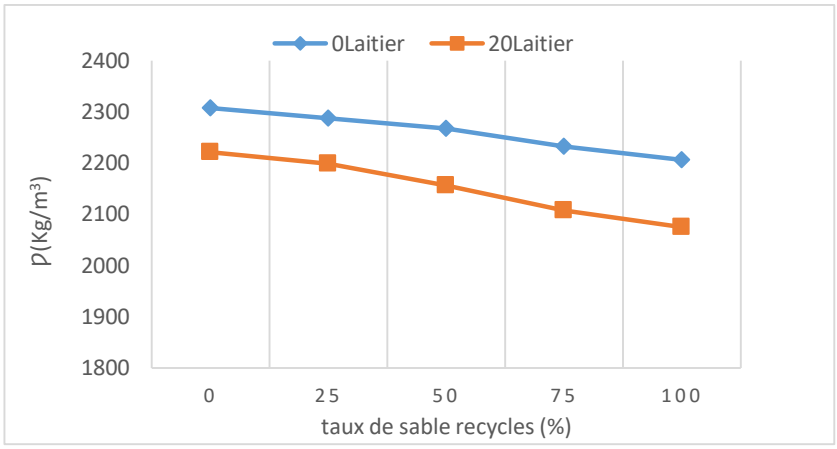


Figure III.1. La densité des MAP en fonction du taux de sable recyclé.

Selon les résultats présentés dans de graphe, il est remarquable que la densité des mortiers soit en diminution avec chaque augmentation de sable recyclé, soit avec laitier ou non. Les mêmes remarques sont trouvées par plusieurs chercheurs tels que Tahar et all (27) qui a trouvé que la densité de béton à base des granulats recyclés est en diminution avec l'augmentation de pourcentage des SR pour les différentes combinaisons de ciment et d'adjuvant. L'utilisation de 20% de L.H.F diminue aussi la densité des MAP, cette diminution est jugée inferieur a celle produite par le sable recyclé.

III.3. À l'état durci

III.3.1. Résistance à la compression

On propose dans cette partie d'étudier les résistances à la compression des mortiers autoplaçant sans et avec traitement thermique (20°C, 40°C et 60°C). Pour bien éclaircir les résultats obtenus, trois parties sont proposés pour chaque essai.

La première partie parler sur l'effet de traitement thermique sur le comportement des MAP a base du laitier. La deuxième partie focalisée sur l'effet du traitement thermique sur le comportement des MAP à base de sable recyclé et la troisième sur le comportement du laitier dans les différents traitements thermique.

Les (Figure III.2) à (Figure III.5) suivants représentés les essais qu'a été réalisé sur quatre éprouvettes de chaque pourcentage à l'âge de (1, 3, 28 et 56J) :

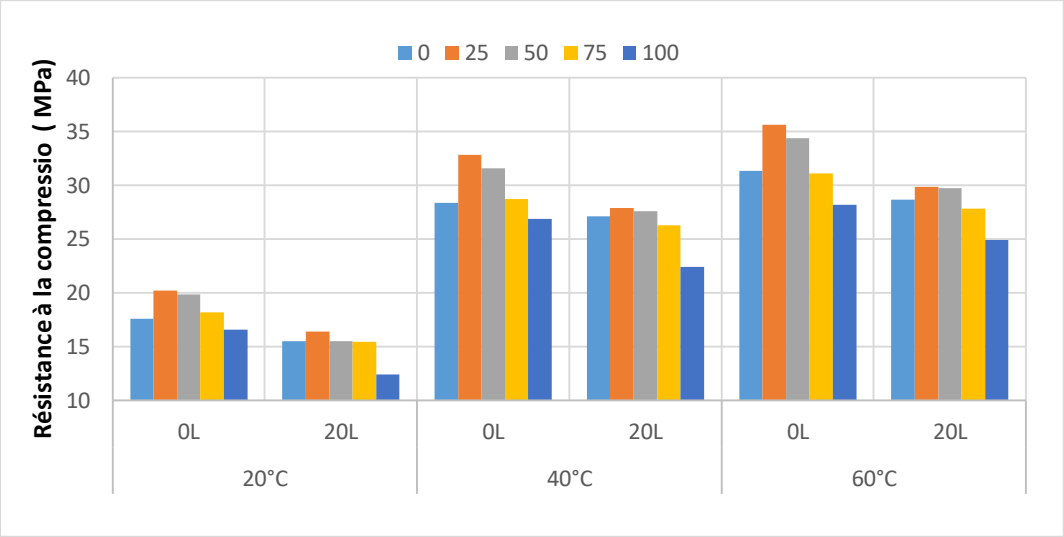


Figure III.2. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 1j.

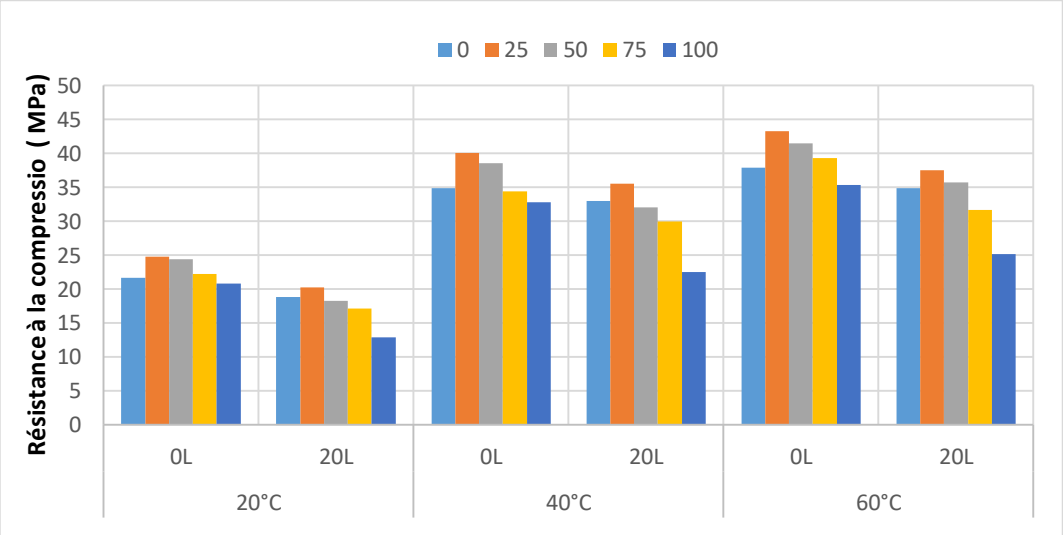


Figure III.3. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 3j.

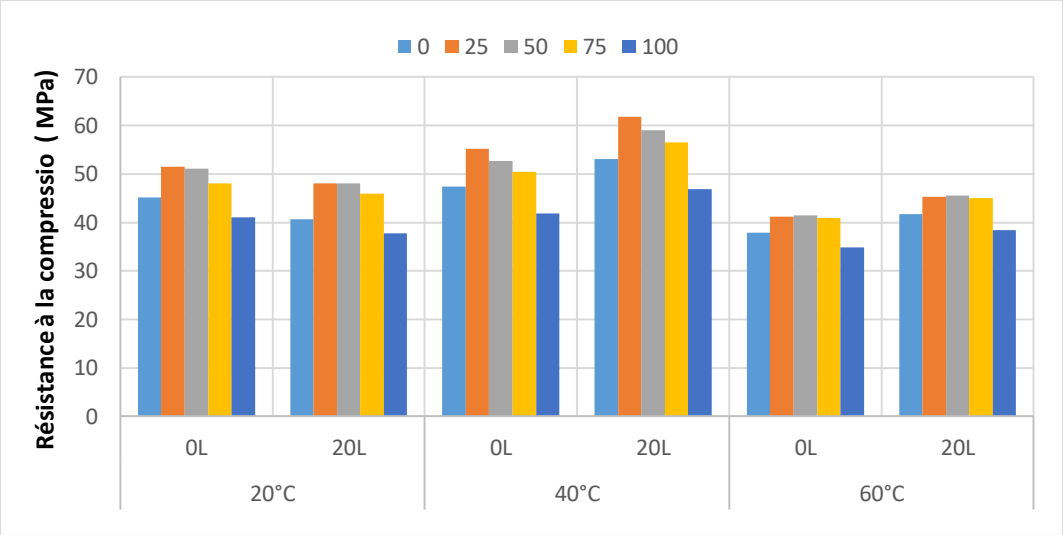


Figure III.4. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 28j.

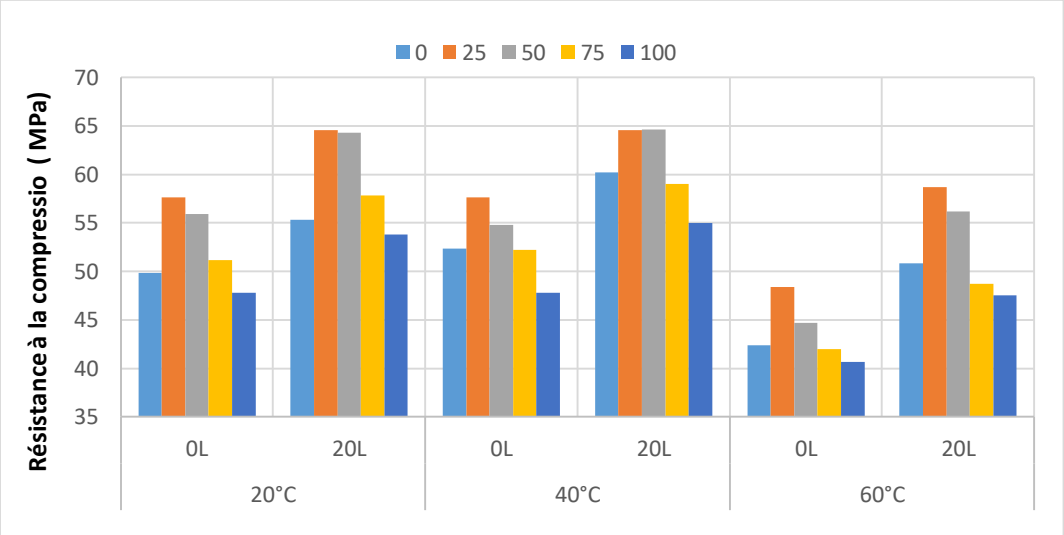


Figure III.5. La résistance à la compression en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 56j.

III.3.1.1 L'effet de traitement thermique sur le comportement de MAP à base de laitier des hauts fourneaux

A jeune âge, le traitement thermique a amélioré les Résistances à la compression d'une manière remarquable, en effet un traitement à 40°C a donné une majoration de 60% de résistance pour les mortiers sans laitiers (MAPT) et de 75% pour les mortiers avec laitiers (MAPL), cette amélioration est plus importante dans le cas d'un traitement à 60°, dont les MAPT ont révélé une majoration de 75% contre 80% pour les MAPL. Donc, à cet âge on remarque que le traitement thermique est toujours bénéfique quel que soit le taux de sable recyclé mais il est plus efficace dans le cas d'utilisation du laitier des hauts fourneaux.

A partir de 28 jours, l'efficacité du traitement thermique diminue mais avec un comportement différent selon la température du traitement et la présence ou non du laitier est révélé. Les mortiers sans laitiers (MAPT) ont présenté des résistances similaires à 20 et 40°c, par ailleurs les résistances à 60°C sont inferieur de 15 à 20% (selon le taux de de sable recyclé) par rapport à celle d'une cure ordinaire, toutes fois, les MAPL révèlent une amélioration de résistance de 20 à 30% pour un traitement à 40°C quoique cette efficacité du traitement ne se présente pas à 60°C dont des résistances similaires où légèrement inférieur sont enregistré, la diminution est maximum de 5%.

A long terme, le comportement des MAPT reste le même qu'au 28jours de sorte que les mortiers traité à 40°C donne des résistances similaire à celle de 20°C et une diminution de 15 à20% est enregistré à 60°C. Dans un autre ordre, le laitier a présenté un comportement totalement différent comparons à ses résultats de 28 jours, dont son développement de résistance devient très long partir de 28j dans le cas des mortiers traité thermiquement. Les résistances à 40°c rejoint celle du 20°C et une diminution de 8 à 15% à 60°C par rapport à une cure ordinaire.

Ces résultats sont comparables avec plusieurs chercheurs, Selon Charbel (70) l'augmentation de la température de cure de 20°C à 35°C a augmenté la résistance à 3 jour des BAP à haute performance contenant différents pourcentages de laitier où il a conclu que cette augmentation de température n'a pas affecté le processus d'hydratation, et la résistance à 56 jours a augmenté avec la température.

Bachen (40) a étudié l'effet de température de cure à 40 et 60°C, et elle a trouvée qu' cure à 40°c a mené à une augmentation importante des résistances au jeune âge sans nuire la résistance à long terme et La cure à 60°C est plus efficace a jeune âge qu'à long terme, en effet à 90jours les résistances des bétons autoplaçant sont comparable à celles des mêmes bétons à une cure de 20°C

La diminution de résistance à 60°C est expliqué par plusieurs chercheurs qu'au départ la réaction d'hydratation est thermoactive et le degré d'hydratation évolue rapidement, Ensuite parce que les hydrates formés lorsque la température augmente sont plus faibles mécaniquement et leur distribution est non uniforme, la résistance à long terme devient plus faible (71) (72)Dont le précipite plus dense déposé à une température élevée peut former une barrière à la diffusion des ions, ce qui provoque un manque d'homogénéité dans la microstructure et une résistance considérablement réduite (73).

D'autres parts Dent et al. (74) ont trouvé qu'une augmentation de la température n'entraîne pas de modifications significatives de la nature des hydrates formées (pour une température inférieure à 80°C environ), mais surtout une modification de leur arrangement, À un âge plus avancé, le nombre important des hydrates formés n'ont pas le temps d'organiser convenablement, et cela engendre une perte de résistance. (13) (49).

III.3.1.2. L'effet de traitement thermique sur le comportement des MAP à base de sable recyclé

Concernant L'utilisation du sable recyclés dans la fabrication des mortiers autoplaçant, ce dernier affect les résistances à la compression de la même manière quel que soit la température de cure. La substitution d'un sable naturelle par un sable recyclé avec un taux de 25 et 50 % provoque une amélioration des résistances d'une moyenne de 15 et 10% respectivement, par contre pour un taux de 75% de sable recyclés on a observé des résistances similaires à celle d'un MAP à base de granulats naturelle et même une diminution qui peut atteindre 10% et cela pour tous les échéances d'essais

En effet plusieurs recherches ont trouvé des résultats similaire, dans le béton a haute performances avec 20% de sable recyclé, ils ont observé une augmentation de 18% de la résistance à 28j (3), Ses résultats sont confirmé par Jiang **(37),** dont les résistances à la compression des CCPUH avec le sable recyclé sont similaires à celles du mélange de référence avec uniquement du sable naturel. Lorsque le pourcentage de remplacement du sable recyclé est inférieur à 50%, il se produit même une augmentation de la résistance à la compression.

Selon les recherche précédente ceci est dû aux caractéristiques d'absorption élevées du sable recyclé, ce qui entraîne une réduction du rapport E /C et une augmentation conséquente de la résistance du mortier et aussi par l'hydratation du ciment anhydre originaire de l'ancien béton, Khatib.M et Limbachia et all (75) (76) rapportent que le ciment non hydraté augmenté la résistance à long terme ou au mois compenser la résistance perdue par l'addition des granulats recyclés.

Ajoutons à ces justifications logiques que dans notre cas plusieurs facteurs qui sont en relation direct avec la morphologie et la qualité de sable recyclé utilisé ont amélioré l'efficacité d'utilisation de ce type de sable :

- Le sable recyclé utilisé est issue des éprouvettes concassé ce qui lui rond de bonne qualité puisqu'il n'était pas exposés aux facteurs extérieurs (carbonatation, attaque sulfatique, corrosion….ect).

-Les éprouvettes ont été concassé totalement à une fraction de 0/5 donc ce sable contient un pourcentage élevé de granulat contrairement aux carrières qui implique un concassage à une fraction 0/20 et faire le criblage par la suite qui rond le sable contient plus de fine et de ciment que de gravier.

- Le concassage du sable donne une rugosité qui peut améliorer la résistance.
- Le sable recyclé utilisé est d'un module de finesse de 3.14 plus grand que celui du sable naturel qui est de1.98, doc il est utilisé comme un correcteur de sable fin est cela a attribué aussi à améliorer la résistance.

Par contre des autres investigateurs (50) trouvent que l'incorporation de sable recyclé au mortier diminue la résistance, où par Khatib.M et Periera.P et all (75) (77), montrés que le remplacement total des granulats naturel par granulats recyclés provoque un décroissement de résistance environ de 8% et 35% pour des taux de 75 et 100%

III.3.1.2. Comportement du laitier dans les différents traitements thermique

A jeune âge, la substitution du ciment par le laitier révèle une diminution de résistance de 12 à 25% à 20°C, de 4 à16% à 40°C et de 8 à 16% à 60°C, Cette diminution est plus importante avec l'augmentation du taux de sable recyclé

A partie de 28jours, la réactivité du laitiers apparaissent dans les mortiers traité thermiquement contrairement à ceux qui ont subi une cure à 20°C, l'utilisation du laitier a provoqué une amélioration des résistances de 12% à 40°C, 10% à 60°C face à 6% à 20°C.

A long terme, Les valeurs de résistances à 20°C sont développées d'une cinétique plus importante que celles des mortiers traités thermiquement, dont 20% du laitiers a engendré une amélioration de résistance de 11 à 13% pour une cure à 20°C, de 12à 18% à 40°C et de 16 à 21% à 60°C.

Ces résultats montrent clairement que le traitement thermique est très bénéfique pour les mortiers avec 20% du laitier où l'activation du laitier devient plus importante et plus rapide.

Selon Rose (78) l'activité ou la variation de la résistance du béton contenant du laitier change en fonction de l'élévation de la température de cure ce qui conduit à une élévation de la résistance au jeune âge et à long terme.

Luke et Glasser (79) ont étudié des pâtes renfermant 30% de laitier à des températures allant de 25°C à 55°C, Ils ont observé que l'hydratation du laitier augmente systématiquement avec la température.

Kellouch (80) e a conclu que l'effet de la température de cure est plus prononcé sur une pâte renfermant 50% de laitier que sur une pâte témoin sans laitier ; une augmentation appréciable de la quantité d'eau non évaporable est constatée en élevant la température de cure de 20°C à 40°C et qui peut dépasser celle de la pâte témoin au-delà de 90 jours.

III.3.2. Résistance à la Traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence entre le ciment et les grains. Les résultats de cet essai sont résumés dans les figures suivantes :

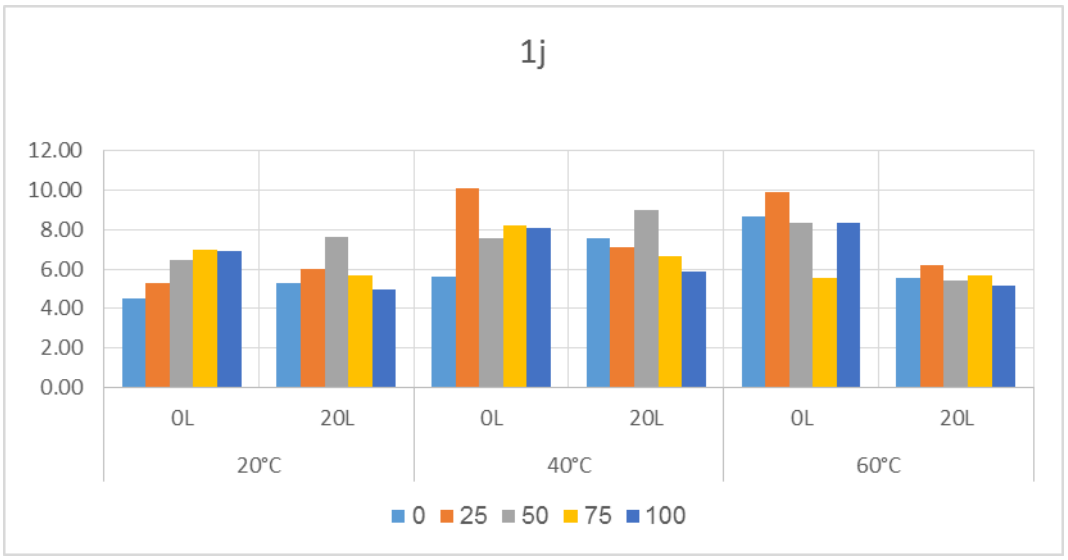


Figure III.6. La résistance à la Traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 1j.

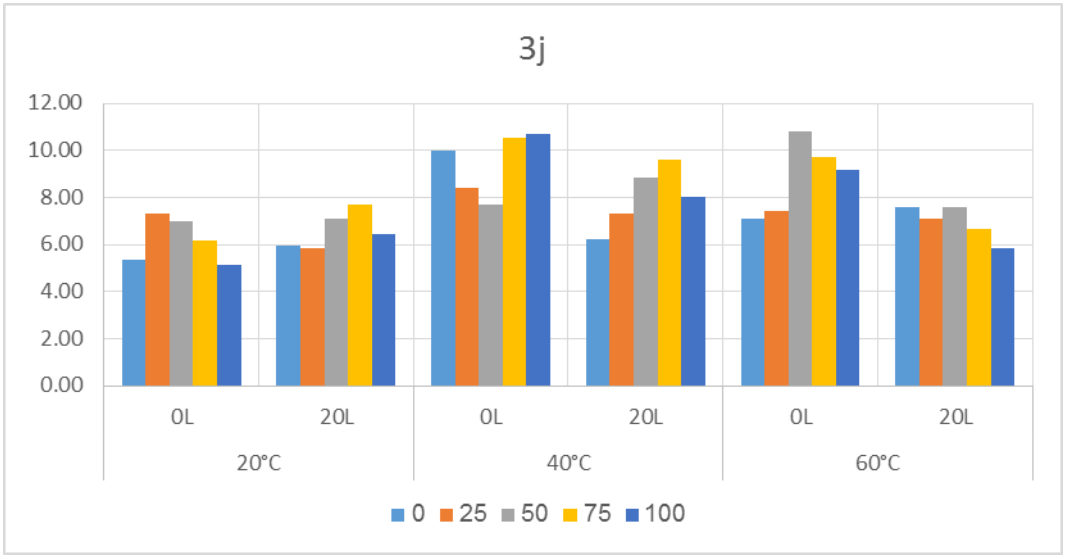


Figure III.7. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 3j.

A jeune âge la résistance à la traction est presque là même sur tous les taux de traitement thermique soit avec laitier ou non. La meilleure valeur de (Rt) est environ de 10 MPA.

On peut dire que le traitement thermique ne développe pas la résistance à la traction au jeune âge.

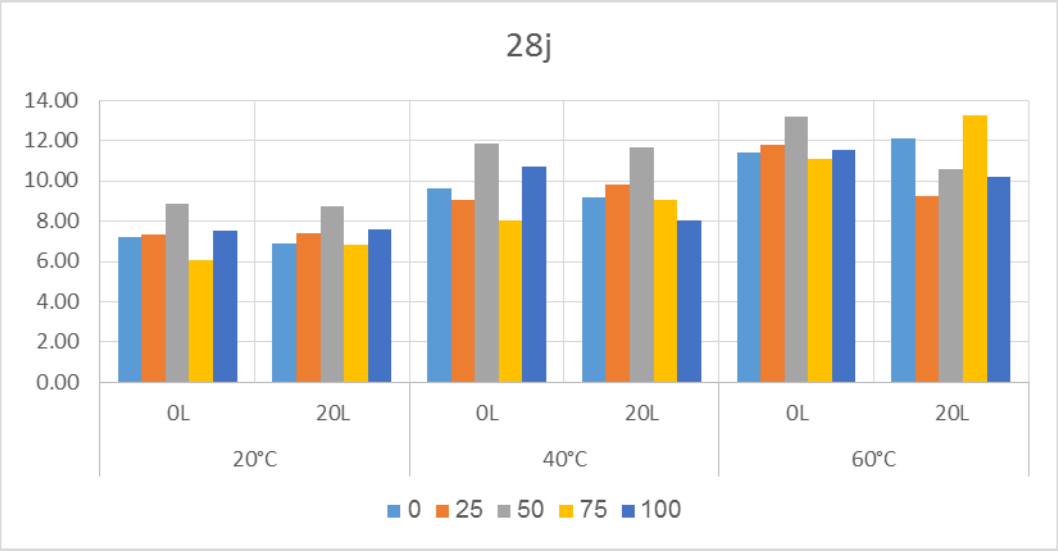


Figure III.8. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 28j.

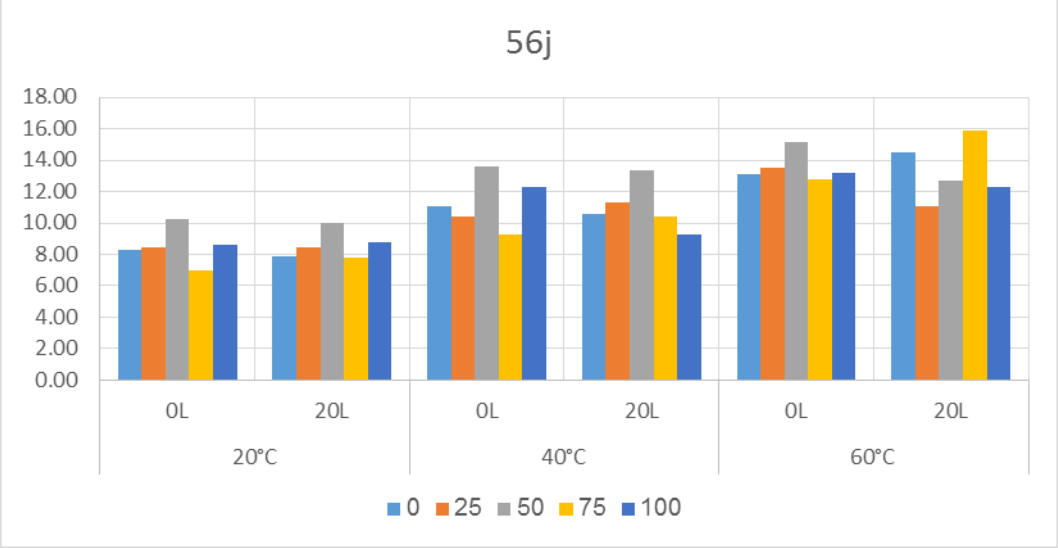


Figure III.9. La résistance à la traction en fonction de la température et le pourcentage de laitier et le pourcentage de sable recyclé à 56j.

Après 28 jours de la cure en différents température, on remarque que la résistance à 20°C est presque même avec celle de jeune âge, mais à 40 et 60°C la résistance va augmenter environ 37% par rapport à celle du 20°C. Les mêmes résultats on a trouvé à 56J.

Donc on peut conclue que la résistance à la traction avait une male évolution par rapport la de compression quel que soit le degré de traitement ou le pourcentage de sable recyclé. Ce que confirme que les bétons sont males résistant à la traction que la compression.

III.4. Les indicateurs de durabilité

III.4.1. La porosité accessible à l'eau à 56 jours

La durabilité des bétons dépend beaucoup de la porosité, cette dernière conditionne l'intensité des interactions du béton avec les agents agressifs. Les pores à l'intérieur de l'ouvrage facilitent le processus d'endommagement, lequel s'initie généralement en surface. Les résultats de la porosité accessible pour tous les mélanges en fonction de la température de murissement, sont présentés aux figures (III.10 -III.12) :

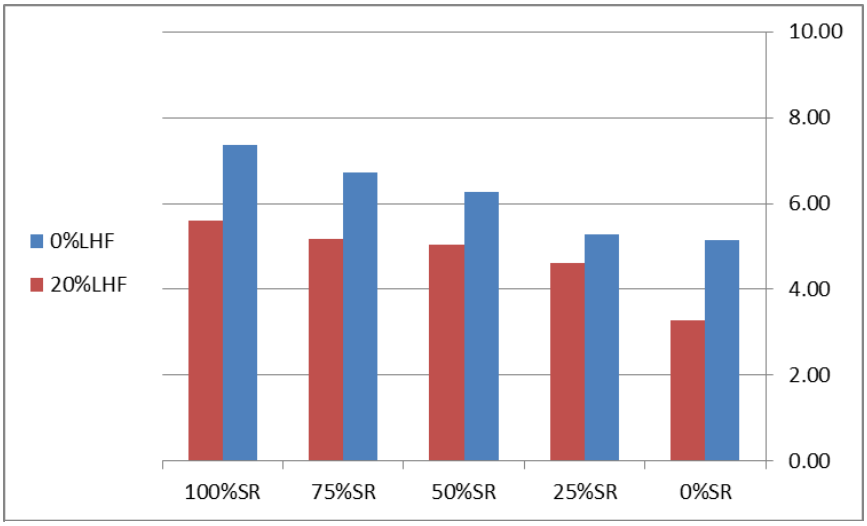


Figure III.10. La porosité de 0% et 20% de laitier à 20°C.

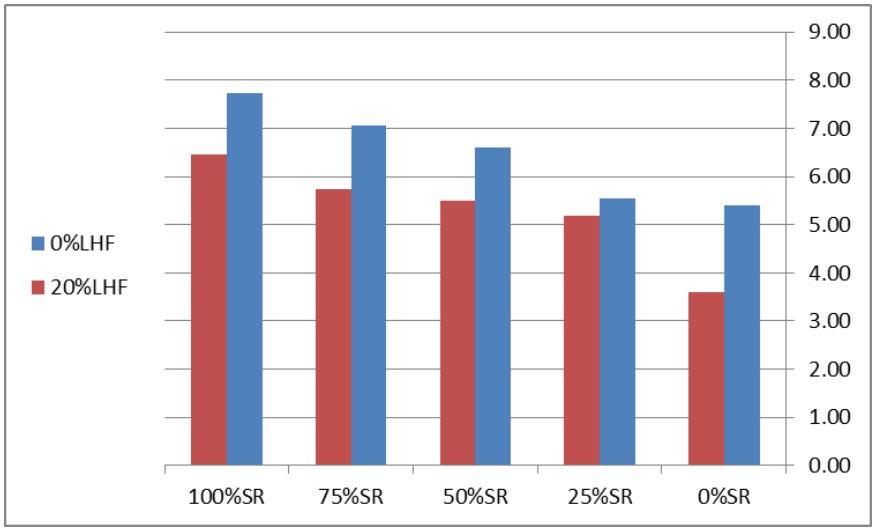


Figure III.11. La porosité de 0% et 20% de laitier à 40°C en.

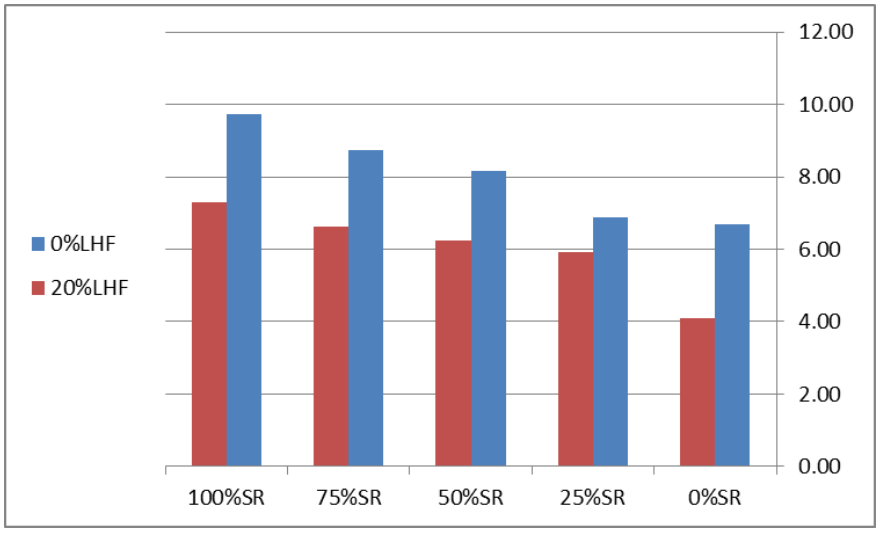


Figure III.12. La porosité de 0% et 20% de laitier à 60°C.

À 20°C la porosité augmente avec le taux de sable recyclé pour les MAP sans laitier la porosité est de 10,23 et 15.65% a jeune âge est de 5.15 et 7.37% à 56 j respectivement pour 0 et 100% de sable recyclé. Cette porosité élevée est un souci pour la fabrication des mortiers à base de sable recyclé, en effet cette porosité revient à l'évaporation de la quantité d'eau non absorbé par les granulats recyclés et aussi à la double zone de transition dans les mortiers à base de granulat recyclé, la première est entre les anciens granulats et l'ancien ciment et la deuxième est entre le granulat recyclé et la nouvelle pate de ciment. Il est remarquable aussi que les mélanges au laitier soient moins poreux à celle de 0% laitier, car le laitier a bien rempli les vides entre les grains de ciment. Cette injection de laitier diminuera environ 24% à la valeur de porosité à 20°C. On peut dire que l'utilisation de 20% de laitier à une finesse de 3800cm^2/g peut compenser la porosité produite par 75% de sable recyclé.

Le traitement thermique à 40°C a donné une porosité proche à celle de 20°C contrairement à 60°C où une majoration des valeurs est avérée, dans le cas de 100% de SR, la porosité des MAP sans laitier est de 7.8, 7.9 et 9.9% à 20,40 et 60°C respectivement, ses valeurs devient de 5.8, 6.4 et 7.2% pour les MAP avec laitier, ce qui conclue que l'utilisation du laitier à 60°C à donner la même porosité d'un MAPT à 20°C. Cela prouve l'importance d'utilisation du laitier dans le cas des traitements thermiques.

Mouret et al. (81) ont montré que la conservation des éprouvettes de contrôle à 35°C durant 5 heures n'induit pas une augmentation de la porosité accessible à l'eau à 28 jours, quelles que soient la classe de résistance étudiée (22MPa, 35MPa) et la nature granulaire (siliceux ou calcaire poreux).

Reinhardt et Stegmaier (82) ont étudié l'influence de la température sur la porosité (mesurée par intrusion au mercure) de BAP à maturité équivalente à 3 jours de cure isotherme à 20°C. Ils ont constaté que l'élévation de la température ne modifie pas significativement la porosité totale mais qu'elle agit sur la répartition des pores en augmentant la quantité des petites tailles de pores capillaires (au voisinage de 0,1µm)

III.4.2. L'absorption par capillarité à 56jours

Parmi les paramètres qui indiquent la durabilité est celui de l'absorption par capillarité. Ont été réalisé ces essais sur notre éprouvette des différents mortiers à 56J et les résultats de l'absorption à 56 jours sont résumés dans les figures (Figure III.13) à (Figure III.18) suivantes :

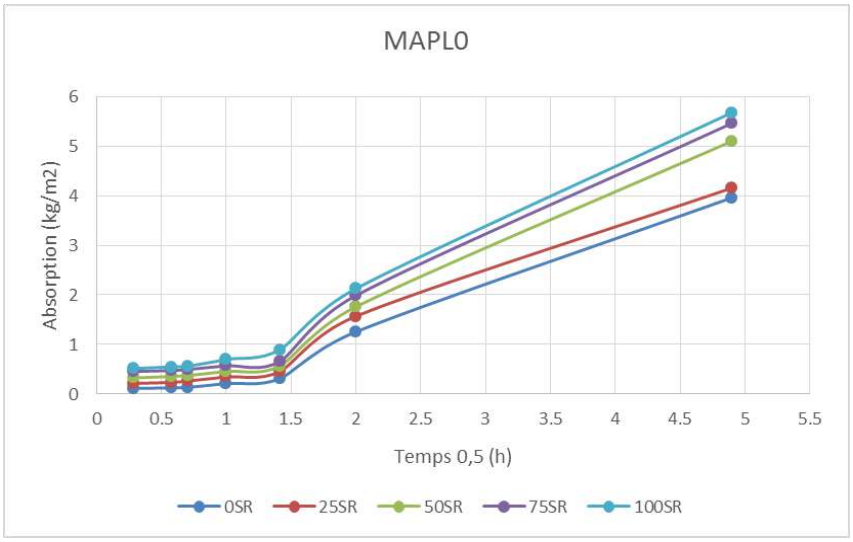


Figure III.13. L'absorption de 0% de laitier à 20°C en 56j.

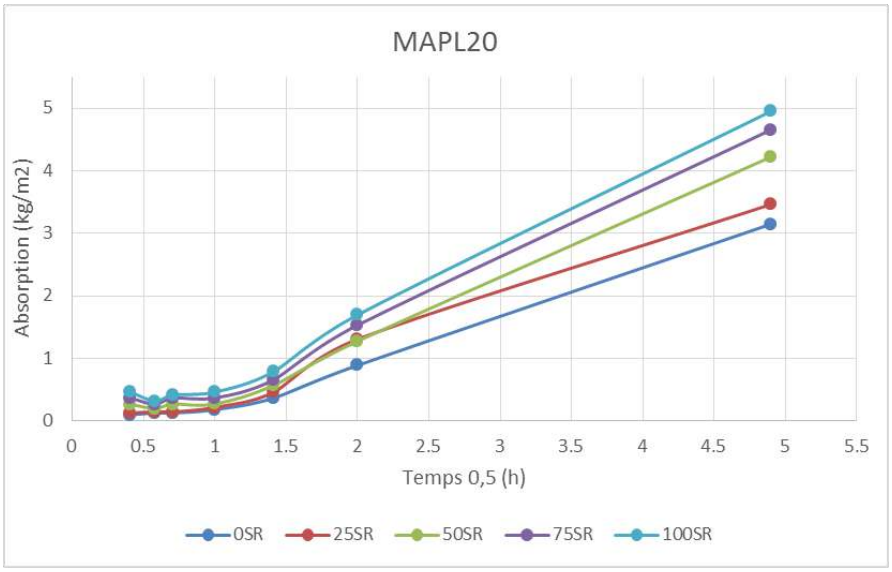


Figure III.14. L'absorption de 20% de laitier à 20°C en 56j.

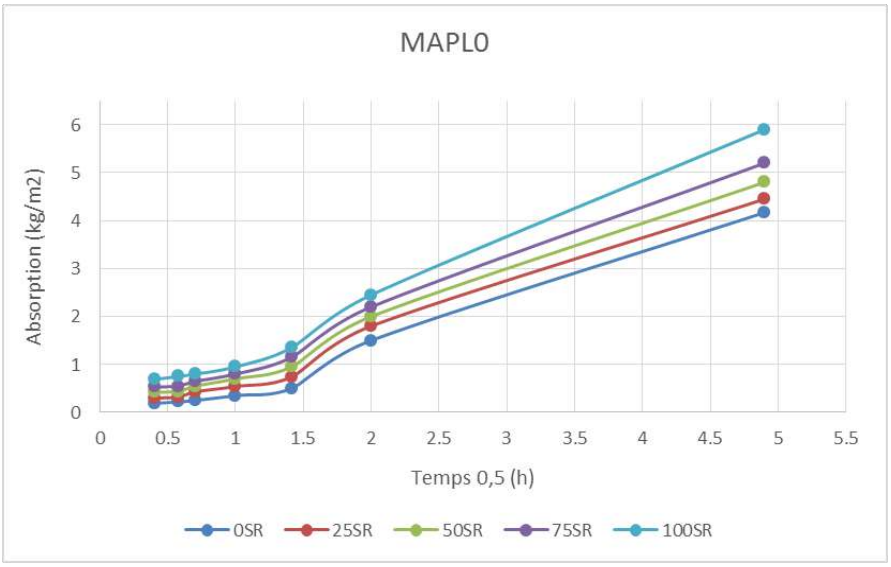


Figure III.15. L'absorption de 0% de laitier à 40°C en 56j.

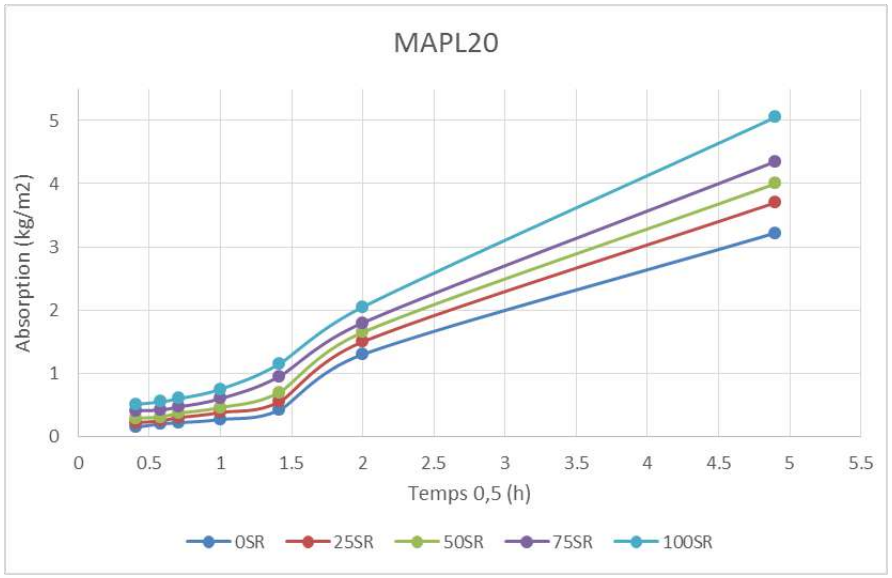


Figure III.16. L'absorption de 20% de laitier à 40°C en 56j.

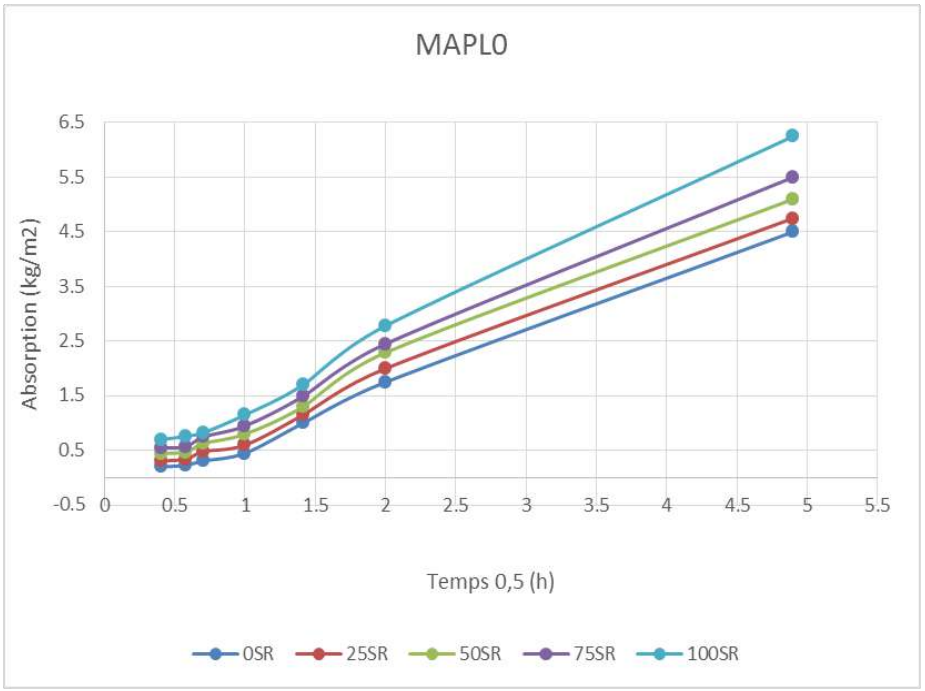


Figure III.17. L'absorption de 0% de laitier à 60°C en 56j.

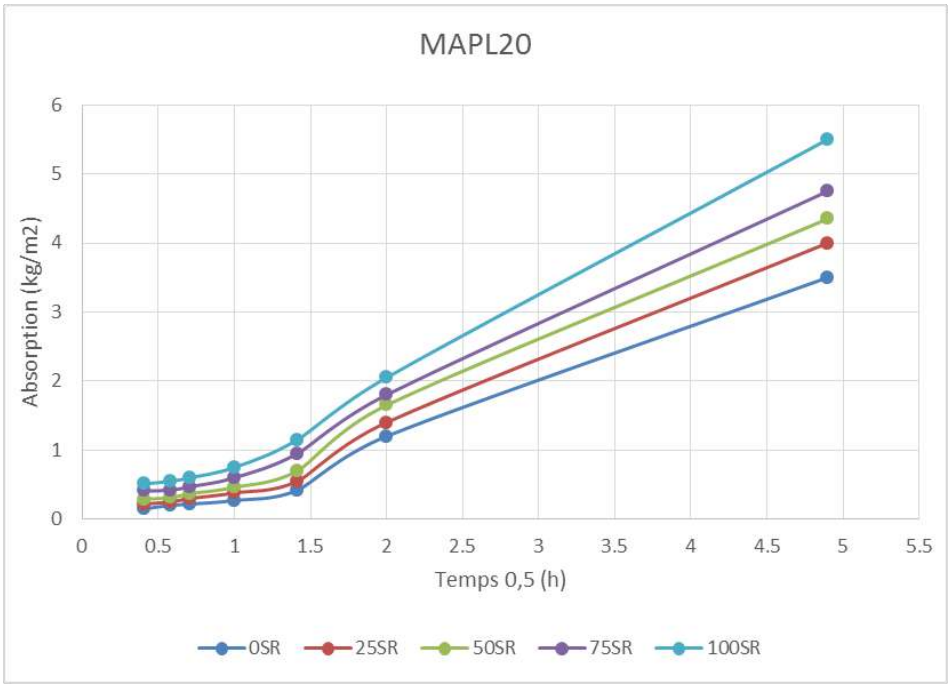


Figure III.18. L'absorption de 20% de laitier à 60°C en 56j.

On remarque que l'absorption est augmentée en fonction de temps et en fonction de sable recyclé, le traitement thermique influe comme un facteur qui augmente l'absorption, tel que on a trouvé que l'absorption à 20°c et 40°C est presque là même avec une valeur ne dépasse pas (6 Kg/m²), Mais il augmente à 60°C environ de 8.5%. Donc on peut conclue que la grande élévation de température influe négativement sur l'absorption de MAP.

L'élévation de l'absorption en fonction de sable recyclé due à la grande absorption des granulats qui ont à trouver égale à 8%. Confirment aux résultats trouvé par Poon et all (29).

L'utilisation d'une quantité de 20% de L.H.F diminue l'absorption par rapport les mélanges sans laitier environ de 14% à cause de la diminution de porosité.

III.5. Conclusion

Les résultats de l'étude expérimentale ont montré que le traitement thermique d'un MAP à base des matériaux de faible impact environnemental peut améliorer la résistance à jeune âge et à long terme. Mais à 60°C elle va diminue à long terme. L'addition de laitier peut jouer un rôle de retardateur de durcissement à cause de l'hydratation latent du laitier.

Ce dernier est moins poreux et moins absorbant à celui fabriquer avec du ciment seul, car il est plus compact à cause de sa finesse supérieure à celui de ciment.

Conclusion générale :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du traitement thermique sur les mortiers à faible impact environnemental, ce type de mortier est obtenue par une substitution du sable naturelle par un sable recyclé et le ciment par le laitier des hauts fourneaux, L'étude bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

La formulation des mortiers autoplaçant à base des granulats recyclés et du laitier des hauts fourneaux a besoin moins d'adjuvant et donne des mortiers d'une densité plus faible que les mortiers avec des granulats naturelle et sans additions.

Le sable recyclé peut remplacer le sable naturelle jusqu'au 75% sans effet néfaste sur les résistances mécanique et même une amélioration de ces paramètres à 25 et 50%, Par contre l'effet négatif est sur la porosité qui peut être compensé par l'utilisation du laitier des hauts fourneaux avec un taux de 20% et une finesse de 3800cm^2/g.

Le traitement thermique soit à 40 ou à 60°C peut améliorer la résistance d'un MAP à faible impact environnemental à jeune âge, à long terme le traitement à 60°C a diminué les résistances contrairement à une température de 40°C qui n'a pas affecté les résistances à cet âge.

Le traitement thermique n'a aucune influence particulière sur les sables recyclés, donc on peut utiliser ce matériau dans le cas de la préfabrication.

On peut considérer que le traitement thermique est optimal à 40°C, dont les résistances sont améliorées à jeune âge sans aucune influence à long terme sur les paramètres mécanique et de durabilité et on peut aller jusqu'au de 60°C si le ciment utilisé contient au moins 20% de laitier des hauts fourneaux

La porosité est augmentée par le traitement thermique notamment à 60°C, mais avec l'utilisation du laitier les MAP à 60°C ont donné une porosité équivalente à celui d'un MAP sans laitier à 20°C, donc l'utilisation du laitier est très importante dans le cas des traitements thermiques

Le développement des résistances devient très long à partir de 28j pour les MAPL dans le cas d'un traitement thermique par rapport à celui de d'une cure ordinaire, donc le traitement thermique à accélérer l'hydratation des laitier.

Recommandations :

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette étude pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du traitement thermiques des mortiers à faible impact environnemental et d'élargir l'utilisation de ce type de mortier dans la préfabrication, Pour cela on recommande d'approfondir notre recherche par les points suivants :

- ✓ Etudier l'effet de traitement thermique sur les bétons à faible impact environnemental.
- ✓ Etudier les effets des températures élevées sur d'autres propriétés des mortiers autoplaçants telles que les propriétés de transport (perméabilité à l'oxygène et à l'eau, migration des ions chlores, etc.) et la durabilité (carbonatation, gel dégel, lixiviation, etc.)
- ✓ Etude détaillée de la microstructure des différents mélanges (MEB et DRX)
- ✓ Etude de l'effet de la cure sur des BAP à base d'un liant ternaire et quaternaire.
- ✓ Étudier l'effet des pourcentages des fines sur l'amélioration des propriétés mécaniques de BAP.

Références Bibliographique :

01. François jacquemot "accélération du durcissement des liants à base de laitier de haut fourneau pour les produits préfabriqués en béton" thése de doctorat.mines Douai et university de lille 1.

02. Lallard.F, Sedran.T et all 1996 "evolution of the workability of superplasticized concrete: assessment with BTRHEOM rheometer" RILEM international conference on production méthods and workability of concrete. RILEM proceedings32, Glasgow, scotland pp377.

03. G.Dreux,1995 Festa J. Nouveau guide du Béton. eme édition Eyrolles.

04. clément hausé 2013 "Etude de la valorisation des laitiers de l'industrie sidérurgique et de production des alliages" thése de doctoat. university Paris-est.

05. www.éco-cem.fr.

06. Pain.K. A, Dhir Obe.R. K et Zheng.L « predicting early age temperatures of blended cement concrete » procedings of the institution of civil engineers. Construction materials 159Issue CM4 PP163-170.

07.Lamtigui.A et Bendani.Y « valorisation de laitier d'aciéries en génie civil » thèse de doctorat. École des mines de Douai (2012-2013).

08. Burteaux.M « laitier de haut fourneau » technique de l'ingénieur M 7425. 1995 PP.1-9.

09. Guide technique régional relatif à la valorisation des laitier de haut fourneaux . mines de douai.

10. Dupain.R, Lanchon.R et Sain-arroman.J.C « Granulats, sols, ciment et béton caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » 3 éme édition actualisée. École française de béton.

11. Alexander.A, Sebileau.Y « le laitier de haut fourneau » Edition CTPL (1988).

12. Banrnett.S. J, Soutsos.M. N, Millard.S. G, Bungey.J.H « strength developments of mortars containing ground regulated blast-furning slag : effect of curing temperature and determination of apparents activation energies » cement and concrete research 36(2.

13. Escalente-garcia.J. I et Sharp.J.H « the microstructure and mecanicals properties of blended cements hydrated et various temperature » cement and concrete research 31(2001) 695-702.

14. Sajedi.F et Abdulrazak.H « comparison of differents methodes for activation of ordinary portland cement slag mortars » construction and building materials 25(2011) 30-38.

15. B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton - Supplementary cementitious materials - Cement and.

16. TEBBAL Nadia ;2017«Effet de la nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance» Présentée en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA.

17. Bougara.A, Lynsdale.C et Ezziane.K « activation of algerian slag in mortars » construction and building materials J ; vol :23. PP 542.547.

18. Boubaker.T, Ezziane.K et El-hadj kadri « Estimation of mortars compressive strength of differents curing temperature by the maturity methode » construction and building materials 71(2014) 299-307.

19. ahmed elhadj saddouk.

20. Debieb.F « cour béton innovant 2 le béton recyclé » Univ-médea (2018/2019).

21. World Construction Agrégats, 2009.

22. MEZIANE El Hadj ; 2016 ; « ETUDE DES PROPRIETES MECANIQUES ET DURABILITE DU BETON A BASE DE SABLE DE CONCASSAGE » ; université Saad dahleb Blida ; thèse de doctorat.

23. MANSEUR Nabil. ZIANI Sifax. "Étude et caractérisation des granulats recyclés de démolition".

24. Lisa Oksri Nelfia ;2015 ; « Incorporation de fines issues de granulats recyclés dansla fabrication de nouveaux liants hydrauliques » ; Université de La Rochelle ; these de doctorat.

25. Laneyrie.C « Valorisation des déchets de chantier du BTP : comportement à haute température des bétons des granulats recyclés » thèse de doctorat. Univ-de Cergy pontoise.

26. Gesoglu.M et al « Failure characteristics of self-compacting concrete made with recycled addregates » construction and building materials 98(2015) 334-344.

27. Tahar.ZA et al « effect of cement and admixture on the utilisation of recycled aggregates in concrete » construction and building materials 149(2017) 91-102.

28. GRONDIN Aurélie ; 2011 ; « valorisation des granulats recyclés de béton : Etude des caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de granulats recyclés de béton », Mémoire Projet de fin d'étude ; Institut National des Sciences Appliquées de Strasbo.

29. (s.d.). KOU.S.C et Poon S.P « Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates » cement and concrete composites 31(2009) 622-627.

30. Ait mohamed amer Adem ; 2017 ; « Valorisation des matériaux de démolition dans la construction » ; thèse de doctorat ; université de hassiba benbouali Chlef .

31. Zhao.Z, Remond.S et al « Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars » construction and building materials 81(2015) 179-186.

32. Berrdjeme.L, Arabi.N et Molez.L « contribution à l'étude d'indicateur de durabilité des bétons à base des granulats recyclés » 33éme Rencontre de l'AUGC/UPPA. Anglet 27-29 mai 2015.

33. Kenai.S et Debieb.f « caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base des gros et fins granulats de brique et de béton concassé » matériels et structures. Vol :44. 2011.P815-824.

34. Arabi.N et Berrdjeme.L « valorisation des déchets de démolition comme granulats pour béton » déchets revue francophone d'écologie industrielle vol :60. 2011 P :25-30.

35. Erhane ,2016 «Rheological and fresh properties of self-compacting concretes containing coarse and fine recycled concrete aggregates» Construction and Building Materials 113 (2016) 622–630.

36. kumar 2017 «Experimental studies on utilization of recycled coarse and fine aggregates in high performance concrete mixes» Alexandria University ,Alexandria Engineering Journal.

37. jiang ,2018 «Feasibility of manufacturing ultra-high performance cement-based composites (UHPCCs) with recycled sand: A preliminary study» Waste Management 83 (2019) 104–112.

38. Alan.A, Singh.G, Bahaa.B et Sahar.M « acceptability of demolished concrete waste aggregate in making high strength self-compacting concrete » IJCE2(3) (2013) 1-12.

39. Suvash.P et Gideon.Z « mecanical and durability properties of recycled concrete aggregates for normal strength structural concrete » IJSCET 4(1) (2013) 89-103.

40. BACHENE Sara, 2016 « Effet couplé de la température et des additions minérales sur les caractéristiques mécaniques et la durabilité des bétons auto plaçant »mémoire de Magister, Université Yahia Fares de Médéa.

41. Bingol.A.F, Tohumscui 2013"effects of didderents curing regimes on the compressive strength properties of self-compacting concrete incorporating fly ash and silica fume" mat and desing J.V:5 pp 12-18.

42. Vinh-AN 2014 "comportement des béton autoplaçant par temps chaude" thése de doctorat, univ toulouse, France.

43. Martinez.R. S et Frias.M « the effect of curring temperature on white cement hydration » construction and building materials 2009 :23(3) 1344-8.

44. Gallucci.E, Zhang.X et Scirivener.K 2006 "influence de la température sur le dévelopement microstructural des béton" septiéme eddition de journées scientiphique de regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton , toulouse . france.

45. Banrnett.S. J, Soutsos.M. N, Millard.S. G, Bungey.J.H « strength developments of mortars containing ground regulated blast-furning slag : effect of curing temperature and determination of apparents activation energies » cement and concrete research 36(200.

46. Ezziane.K and all « compressive strength of mortar containing natural pozzolane under various curing temperature » cement concrete composition 2007. 29(8) : 587-93.

47. Heikal.M, Abdelaleem.S et Abdualaziz.MA « physico-chemical and mecanical characteristics of pozzolanic cement pastes and mortars hydrated at deffence curing temperature » construction building materials 2012 : 26(4) 310-6.

48. Baron.J et Sabtery.R « Béton hydraulique, connaissance et pratique » presse de l'école des ponts et de chaussées. Ed Eyrolles.1982. France.

49. Brooks.J.J. J, Lohari M.A.M, Mazloom.M « effect of admixture on the setting times of high strength concrete » cement and concrete composites J : Vol :22. PP : 293-301.

50. Mirian Valey-Lizancos « influence of temperature in the evolution of compressive strength and in its correlation with UPV in eco-concretes with recycled materials » construction and building materials 124(2016) 276-286.

51. Safi.B, Ghernouti.Y, Rebehi.B et Aboutaleb.D. « effect of the heat curing on strength developement of self-compacting mortars containing calcined silt of dams and ground Brick waste » materials research 2013 ;16(5) :1058-1064.

52. OKAMURA Hayakawa. et al., « Self-compacting high performance concrete », Proceeding of the Fifth EA SEC, vol.3, pp.2381-2388, (1995).

53. khayaat .K H 1999 " workability, testing and performence of self-compacting concrete" ACI Materials jornal ;VOL.96,N 03.

54. Boukendakdji.O 2010 "étude de l'inflience des paramètres de formulation sur les propriètés d'un béton autoplaçant: optimisation des conditions opératoire" thèse de doctorat, département de génie civil, univ-saad dahlab.Algerie.

55. DOMONE P.L.J., JIN J., 1999 « Properties of mortar for Self-Compacting Concrete »Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete,Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7, Paris, pp. 109–120.

56. Mortsell .E et Rodum. E 2001 "mecha,ical and durability aspect of SCC for road structure" proceedins of 2nd international symposium of selfcompacting concrete. Tokyo, Japon PP459-468.

57. Felekoglu .B 2007" utilzation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete indistry (self compacting concrete case)" resources, conservation and recycling, vol:51, Issue 4; P 770-791.

58. Xiong.x , VAN breugel.K 2003"hydration processes of cement blended with limestone powder Experimentale study and numerical similation" proceeding of the 11th iCCC, Durban.

59. BEHIM.M; CLASTRE.P; HABITA.M.F; CARLES-GIBERGUES.A 2004 "étude d'un nouveau ciment à base de laitier granulé d'el hadjar (Algérie)" annales du batiment et des travaux publiques pp.21-29.

60. HAMMAT.S 2012 "Influence du laitier et de pouzolane sur retrait de mortier autoplaçants" mémoire de magister Saad dahlab de Blida. Algérie .

61. Diego Carro-Lopez et all 2015 "study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates" construction and buildings materials 96 (2015) 491-501.

63. KHAYATK.H., PAVATET., ASSAD J., 2003 « Analysis of Variations in Electrical Conductivity to Assess Stability of plastic Cement-Based Materials », ACI Materials Jr.,vol. 4, N°100,pp.342-350.

64. EDAMATSU Y., NISHIDA N.,OUCHI M., 1999« A rational mix-design method for self-compacting concrete considering interaction between coarse aggregate and mortar particles », Proceedings of the FirstInternational RILEM Symposium on Self-compacting Concrete, S.

65. PEDERSEN B., SMEPLASS S., 2003« The relationship between the rheological properties of SCC and the corresponding matrix phase », Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Island, pp106-16.

66. OthmaneBoukendakdji, El-HadjKadri , Said Kenai “Effects of granulatedblast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strengthof self-compacting concrete”.

67. KIM K. J., SANG H. H., YOUNG C. S.,2002« Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete. Part I. Experimental results », Cement and Concrete Research J., Vol.32, pp.1087-1094.

68. Dupain.R, Lanchon.R et Sain-arroman.J.C « Granulats, sols, ciment et béton caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » 3 éme édition actualisée. École française de béton.

69. Dr. CHERAIT Yacine, Mr NAFA Zahredine : « Eléments de matériaux Direction de la publication universitaire de Guelma.

70. CHARBEL ANTOINE, 2008 « effet couple de la formulation et du murissement sur les caractéristiques du béton autoplaçant à haute performance dans les conditions estivales », Mémoire de maitrise, Département de Génie Civil, Université de Sherbrooke, Canada.

71. HANSEN W.C.,« Studies relating to the mechanism by which alkali- aggregate reaction produces expansion in concrete », Proc. Amer. Concr. Inst. Vol.40, 1944, pp. 213-227.

72. Specification for Portland blast furnace cement, British Standards Institution, London, Part 2, 1973, pp. 7.

73. MIRZA WH, NOURY SI, BEDAWI WH., 1991 « Temperature on strength of mortars and concrete containing blended cements ». Cement and Concrete Comp J., Vol. 13, pp.197–202.

74. DENT GLASSER I.S., KATAOKA, 1981 « The Chemistry of Alkali- Aggregate Reaction », Cement and concrete Research J., Vol.11, pp. 1-9.

75. J.M. Khatib, Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, Cem.Concr. Res. 35 (2005) 763–769, http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.033.

76. K. Dhir, C. Limbachiya, T. Leelawat, Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 designated mixes, Proc. Inst. Civil Eng. Struct. Build. 134 (1999) 257–274.

77. P. Pereira, L. Evangelista, J. de Brito, The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates, Constr. Build. Mater. 28 (2012) 722–729, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.

78. ROSE J.H. «The influence of curing temperature on the strength of concrete containing granulated blast furnace slag», Ref 4, pp. 445-466.

79. LUKE K., GLASSER F. P., 1987 « Selective dissolution of hydrated blast furnace slag cements » Cem. Concr. Res J., Vol. 17(2), pp. 273–82.3.

80. KELLOUCHEY., BOUGARA A., 2014« Effet de la température de cure sur la réactivité d'un ciment au laitier », 1st International Conference on Pouzzolanic Construction Materials, ICPCM, Oran, Algérie.

81. MOURET M., BASCOUL A., ESCADEILLAS G.,2005 « Strength impairment of concrete mixed in hot weather: analysis in relation to physical and chemical properties of hardened concrete », Magazine of Concrete Research J., Vol. 57, 5, pp. 301-308.

82. REINHARDT H. W., STEGMAIER M., 2006 « Influence of heat curing on the pore structure and compressivestrength of self-compacting concrete (SCC) », Cement and Concrete Research J., Vol. 36, pp. 879–885.

Annexes **A** :

NOTICE TECHNIQUE **2 1 1 9**

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2:TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.
Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

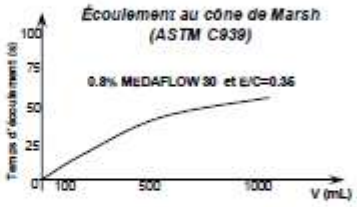
DOMAINES D'APPLICATION

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferraillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Écoulement au cône de Marsh (ASTM C939)



Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	38.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

82

GRANITEX

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-Mail: granitex@granitex.dz

MEDAFLOW 30

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le MEDAFLOW 30 peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du superplastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le MEDAFLOW 30 à un béton qui ne soit pas trop ferme

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

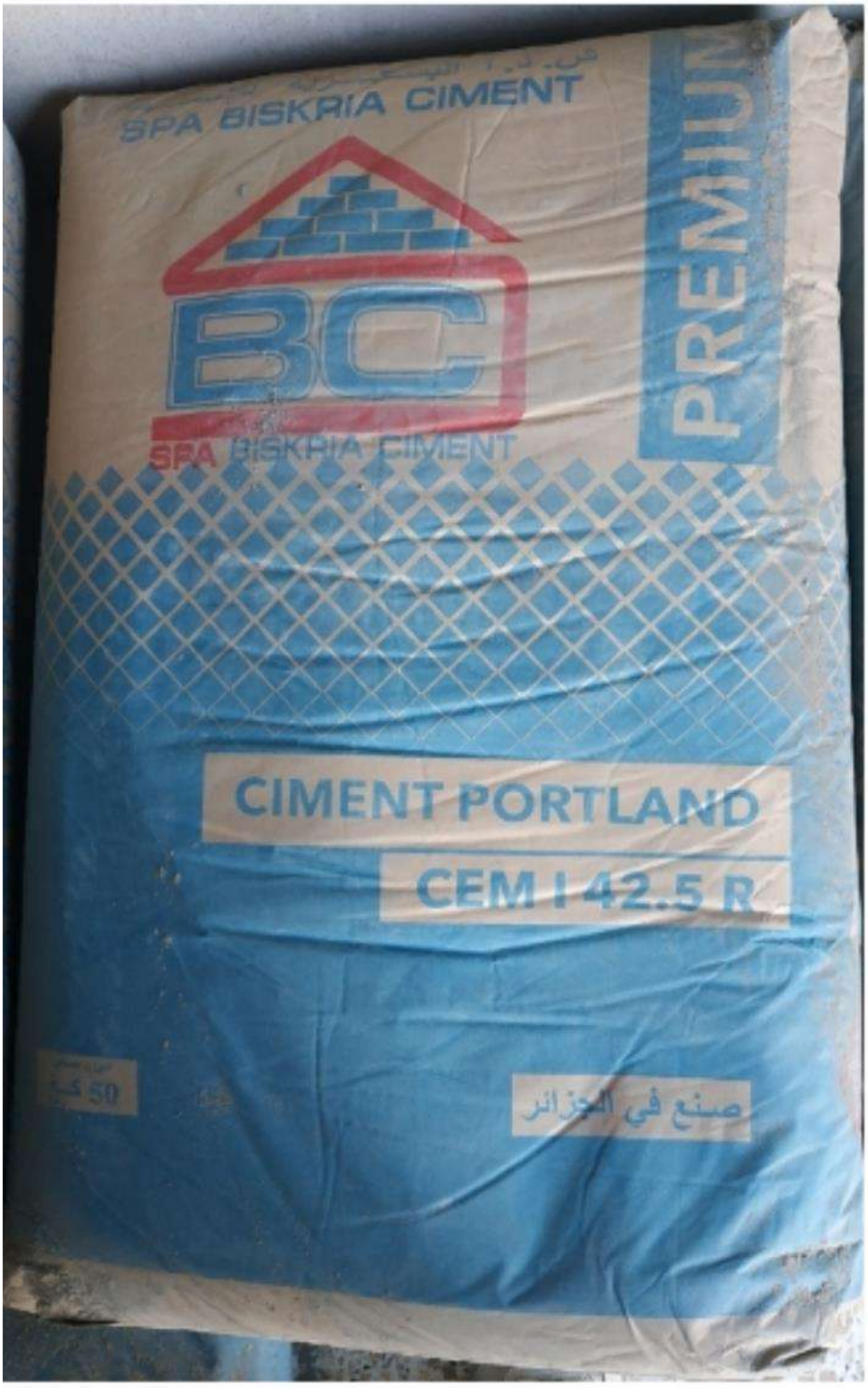
Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

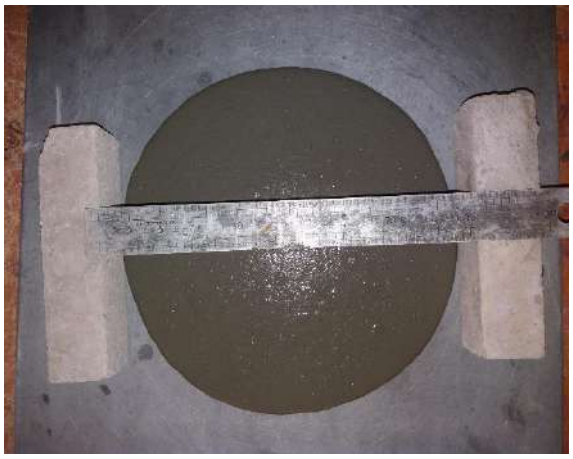
Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

GRANITEX
Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

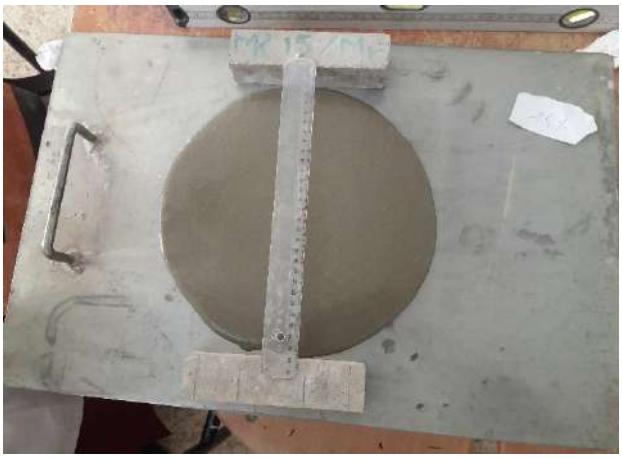
Annexes **B** :


SPA BISKRIA CIMENT
BC
SPA BISKRIA CIMENT
PREMIUN
CIMENT PORTLAND
CEM I 42.5 R
50 كغ
صنع في الجزائر

Annexes **C** :



Annexes C: 3. 0%SR 20% L.H.F



Annexes C: 4. 25% SR 20% L.H.F



Annexes C: 1. 50% SR 20% L.H.F



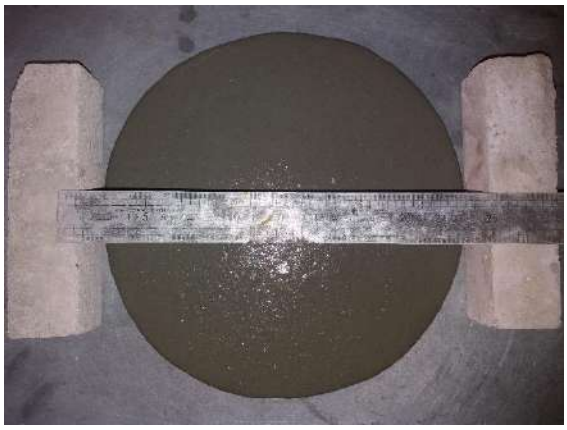
Annexes C: 2. 75%SR 20% L.H.F



Annexes C: 5. 100%SR 20% L.H.F



Annexes C: 6. 0%SR 0% L.H.F



Annexes C: 7. 25% SR 0% L.H.F



Annexes C: 10. 50%SR 0% L.H.F



Annexes C: 9. 75%SR 0%L.H.F



Annexes C: 8. 100%SR 0% L.H.F