

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : - RADI Abdelfateh
- HACHEMI Abdelouahab

Intitulé

L'effet de la température sur les propriétés de
mortier adjuvanté

Le : 17 Juin 2018

Soutenu devant le jury composé de :

<i>Dr. MAHAMDI Abdelkarim</i>	<i>Université de M'sila</i>	<i>Président</i>
<i>Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine</i>	<i>Université de M'sila</i>	<i>Encadreur</i>
<i>Dr. TEBBAL Nadia</i>	<i>Université de M'sila</i>	<i>Co-Encadreur</i>
<i>Dr. ZITOUNI Salim</i>	<i>Université de M'sila</i>	<i>Examineur</i>
<i>Dr. DJEBRI Nora</i>	<i>Université de M'sila</i>	<i>Examineur</i>

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciement

Tout d'abord, Nous tenons à remercions Dieu qui nous a permis d'achever ce projet de fin d'études et d'avoir cette formation.

Mes parents et les parents de mon camarade pour m'avoir toujours poussé dans mes études, de m'avoir transmis les bonnes valeurs

Merci, « Pr Rahmouni Zine Abidine » et « Dr TEBBAL Nadia » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet, sans oublier leur gentillesse.

Nous remercions toutes personne qui nous a aidés de près ou de lion pour terminer notre travail.

*Et toutes mes amies de la promotion « **Matériaux de construction** » juin 2018.*

Et tous mes enseignants du département de génie civil.

Résumé

Ce travail de recherche comprend une étude expérimentale de l'effet des hautes températures sur les propriétés mécaniques et physiques, des mortiers formulés avec un adjuvant entraîneur d'air.

Le mortier a été exposé à trois niveaux de températures élevées (200, 400 et 600) °C avec une montée en température de 10 °C/min, sans aucune charge imposée pendant le chauffage. Nous avons étudié ainsi les propriétés mécaniques, notamment: la résistance à la compression, à la traction par flexion ainsi que la perte de masse et la capacité d'absorption.

Les résultats obtenus montrent le bon comportement des mortiers formulés avec un entraîneur d'air à haute température. Jusqu'à environ 400°C, et la diminution de la résistance en compression est négligeable par rapport à la résistance à la flexion qui est très influencé par la montée en température. L'effet de l'entraîneur d'air sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200°C), car l'évaporation se produit à une température voisine de 100°C.

Mots clés : Mortier, Résistance mécanique, Haute température, Perte de masse, Entraîneur d'air.

Abstract

This research includes an experimental study of the effect of high temperatures on the mechanical and physical properties of mortars formulated with an air-entraining agent.

The mortar was exposed to three high temperature levels (200, 400 and 600) °C with a temperature rise of 10 °C / min, without any load imposed during heating.

We have studied mechanical properties such as : compressive strength, bending tensile strength, mass loss and absorption capacity.

The results showed the good behavior of the mortars formulated with a high temperature air-entraining agent. Up to about 400 °C and the decrease in compressive strength is negligible compared to the bending strength which is very influenced by the rise in temperature. The effect of the air-entraining agent on the loss of mass was only visible at the first temperature (200 °C), because the evaporation occurs at a temperature close to 100 °C.

Key words: Mortar, Mechanical resistance, High temperature, Loss of mass, Air-entraining agent.

ملخص

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية لتأثير الحرارة على الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للملاط باستعمال إضافة الهواء المحبوس.

حيث تم تعريض الملاط لدرجات حرارة عالية بثلاث مستويات هي (200، 400 و 600) درجة مئوية بارتفاع قدره عشر درجات مئوية في الدقيقة ودون فرض أي حمولة أثناء التسخين. وتمت دراسة الخواص الميكانيكية للملاط في درجات حرارة مرتفعة مختلفة تشمل قوة الضغط الشد بالانحناء وفقدان كتلة و كذا المسامية.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها سلوكًا جيدًا للمونة المصممة بإضافة الهواء المحبوس بدرجة حرارة عالية تصل إلى حوالي 400 درجة مئوية ، وانخفاض قوة الانضغاط لا يكاد يذكر مقارنة مع قوة الانحناء التي تتأثر جدا بارتفاع درجة الحرارة. وكان تأثير إضافة الهواء المحبوس على فقدان الكتلة مرتبًا فقط عند درجة الحرارة الأولى (200 درجة مئوية) ، لأن التبخر يحدث عند درجة حرارة قريبة من 100 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: الملاط , المقاومة الميكانيكية، الحرارة العالية، فقدان الكتلة، إضافة الهواء المحبوس.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principales réactions physico-chimiques dans le béton à haute température [5]..	10
Tableau I.2 : Type d'adjuvants avec leur abréviation et les effets principaux selon SN EN93(19)...	23
Tableau II.1 :Masse volumique absolue du sable concassé.	26
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche	27
Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.	28
Tableau II.4 :La porosité, la compacité et l'indice de vide pourle sable concassé.....	29
Tableau II.5 :Equivalent du sable de sable concassé.....	30
Tableau II.6 :Comparaison des résultats	.30
Tableau II.7 : Classement de sable	32
Tableau II.8 : Masse volumique absolue du sable de dune.....	32
TableauII.9 : Masse volumique apparente de sable de dune à l'état lâche.....	33
Tableau II.10 : Masse volumique apparente de sable de dune à l'état compact.	33
TableauII.11 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pourle sable de dune.....	33
TableauII.12 : Equivalent du sable de sable de dune.....	34
TableauII.13 : Masse volumique absolue du sable mixte.....	35
TableauII.14 : Masse volumique apparente de sable mixte à l'état lâche.....	36
TableauII.15 : Masse volumique apparente de sable mixte à l'état compact.	36
TableauII.16 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pourle sable mixte.....	36
TableauII.17 : Equivalent du sable de sable mixte.....	36
TableauIII.1 : Les compositions des mortiers.....	40
TableauIV.1 : L'affaissement des mortiers.....	48
TableauIV.2 : Résultat de la masse volumique à chaque type de mortier (entraîneur d'air de GRANITEX).....	49
TableauIV.3 : Résultat de la masse volumique à chaque type de mortier (entraîneur d'air de SIKA).....	49

Liste des figures

Fig. I.1 : Modèle de structuration des particules de CSH Feldman et Sereda, revu par Sierra [3]....	7
Fig. I.2 :Familles des vides dans le béton et domaine d'utilisation des principales techniques de caractérisation des milieux poreux [4].....	8
Fig. I.3 : Aspect normal d'une pâte de ciment n'ayant pas subi d'échauffement (image obtenue par microscopie électronique avec un grossissement de400).	9
Fig. I.4 : Matrice cimentaire vitreuse présentant une macroporosité très importante.....	9
Fig. I.5 :Dommages du béton après l'incendie.....	11
Fig. I.6 : Évolution de la déformation thermique des pâtes de ciment avec la température [10].....	12
Fig.I.7 : Perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux) d'après Harmathy et Allen [17].	13
Fig. I.8 :Mécanismes liés aux incompatibilités pâte-granulat [18].....	14
Fig. I.9 :Distribution des pores dans les bétons chauffés obtenus par porosimétrie au mercure. A gauche BO – à droite BHP [19]..	14
Fig. I.10 : Porosité totale à l'eau en fonction de la température de conditionnement [21].	15
Fig. I.11 : Masse volumique de différents bétons en fonction de la température [21].....	16
Fig. I.12 : Rapport des résistances à chaud et des résistances résiduelles sur la résistance initiale (froid) en fonction de la température.....	17
Fig. I.13 : Rapport de la résistance en compression sur la résistance initiale en fonction de température.....	18
Fig. I.14 : types d'adjuvants utilisés (Entraîneurs d'air).....	20
Fig. I.15 : Utilisation des superplastifiant.....	21
Fig. I.16 : Action des super plastifiants-défloculation des grains de ciment	21
Fig. I.17 : Action d'entraîneur d'air	23
Fig. II.1 : Méthode de l'éprouvette.....	27
Fig.II.2 : La courbe granulométrique de sable concassé.....	31
Fig. II.3 : La courbe granulométrique de sable de dune.....	34
Fig. II.4 : La courbe granulométrique de sable de mixte.....	37
Fig. II.5 : Les courbes granulométrique des sablesutilisée.	38
Fig. III.1 : Les moules des mortiers.	41

Fig. III.2 : Malaxeur	41
Fig. III.3 : Table vibrante	41
Fig. III.4 : Le four (Heraeus).....	42
Fig. III.5 : Les éprouvettes dans une étuve	42
Fig. III.6 : Mesure de la fluidité du mortier	42
Fig.III.7 : Appareil de traction par flexion	44
Fig. III.8 : Appareil de compression	44
Fig. III.9: Dispositif de rupture en compression.....	44
Fig. III.10: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	45
Fig.IV.1 : Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Composition 1)	50
Fig.IV.2 : Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Composition 2)	50
Fig.IV.3 : Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Composition 3)	50
Fig. IV.4 : Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Composition 4) ...	51
Fig.IV.5 :Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Entraineur d'air de GRANITEX)	51
Fig. IV.6 : Résistance mécanique à la compression en fonction de température (Entraineur d'air de SIKA).....	51
Fig. IV.7 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 1).....	52
Fig. IV.8 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 2).....	53
Fig. IV.9 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 3).....	53
Fig. IV.10 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 4)	53
Fig. IV.11 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Entraineur d'air de GRANITEX)	54
Fig. IV.12 : Résistance à la flexion en fonction de la température (Entraineur d'air de SIKA)	54
Fig. IV.13 : Perte de masse en fonction de la température (Composition 1).....	55
Fig. IV.14 : Perte de masse en fonction de la température (Composition 2).....	55
Fig. IV.15 : Perte de masse en fonction de la température (Composition 3).....	56
Fig. IV.16 : Perte de masse en fonction de la température (Composition 4).....	56
Fig. IV.17 : Perte de masse en fonction de la température (Entraineur d'air de GRANITEX).....	56
Fig. IV.18 : Perte de masse en fonction de la température (Entraineur d'air de SIKA).....	57

Fig. IV.20 : Capacité d'absorption d'un mortier (Entraineur d'air de GRANITEX).....57

Fig. IV.19 : Capacité d'absorption d'un mortier (Entraineur d'air de SIKA)58

Liste des symboles et abréviations

p_{app} : La masse volumique apparente.

p_{abs} : La masse volumique absolue.

E.S.V : Equivalant de sable visuel.

E.S.P : Equivalant de sable piston.

A(%) : Capacité d'absorption.

P(%) : Porosité.

C(%) : Compacité.

e : Indice des vides.

ATG : Analyse thermogravimétrique.

ATD : Analyse thermique différentielle.

E/C : Rapport d'eau (par rapport du ciment).

Ri : refus cumulé en pour cent (%).

M_f : Module de finesse.

S : Section de l'éprouvette.

F : Charge maximal à la compression.

R_c : la résistance à la compression.

R_f : résistance à la flexion.

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Etude bibliographique	
I.1. Introduction	4
I.2. Généralités	4
I.2.1. Le rôle du mortier	4
I.2.2. Les différents mortiers	5
I.2.2.1. Les mortiers de ciment	5
I.2.2.2. Les mortiers de chaux	5
I.2.2.3. Les mortiers bâtards	5
I.2.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier	5
I.2.2.5. Le mortier industriel	5
I.2.3. Caractéristiques principales	6
I.3. Comportement des matériaux cimentaires à haute température	6
I.3.1. Introduction.....	6
I.3.2. Évolution de la microstructure des matériaux à matrice cimentaire en fonction de la température.....	6
I.3.2.1. Rappels sur la microstructure des matériaux à matrice cimentaire.....	6
I.3.2.2. Comportement à hautes températures.....	8
I.3.2.3. Phénomènes d'éclatements.....	10
I.3.2.4. Influence de la température sur la pâte de ciment	11
I.3.2.5. Influence de la température sur les granulats	12
I.3.2.6. Influence de la température sur la microstructure du béton	13
I.3.2.6.1. Interface pâte – granulats.....	13
I.3.2.6.2. Variation de la porosité.....	14
I.3.3. Évolution des caractéristiques thermiques du béton avec la température	15
I.3.4. Évolution des caractéristiques mécaniques du béton avec la température.....	16

I.3.4.1. Comparaison entre les essais à chaud et après refroidissement	16
I.3.4.2. Résistance en compression à hautes températures	17
I.3.4.3. Résistance en traction à hautes températures	18
I.4. Les adjuvants	18
I.4.1. Introduction	18
I.4.2. Classification et utilisation	19
I.4.3. Les type d'adjuvants	20
I.6. Conclusion	24

CHAPITRE II : Caractéristiques des matériaux utilisés

II.1. Introduction	26
II.2. Sable concassé.....	26
II.2.1. Caractéristiques physiques du sable utilise	26
II .2.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555	26
II.2.1.2. Masse volumique apparente: NF P 18-554	27
II.2.1.3. Porosité NF-18-598	28
II .2.1.4. Compacité NF P 18-555	28
II .2.1.5. Indice des vides [NF P 18-304]	29
II .2.1.6. Equivalant de sable NF-18-598.....	29
II.2.2.7. Analyse granulométrique [NF P 18-304]	31
II.2.2.8. Module de finesse(EN 196-6)	32
II .3. Sable de oued souf « djamaa »	32
II .3.1. Caractéristiques physiques du sable oued souf « djamaa ».....	32
II .3.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555.....	32
II .3.1.2. Masse volumique apparente: NF P 18-554	33
II .3.1.3. Porosité, la compacité et l'indice de vide	33
II .3.1.4. Equivalant de sable : NF-18-598	34
II.3.1.5. Analyse granulométrique [NF P 18-304]	34

II .3.1.6. Module de finesse(EN 196-6)	35
II.4. Sable mixte	35
II .4.1. Caractéristiques physiques du sable mixte	35
II.4.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555	35
II .4.1.2. Masse volumique apparente NF P 18-554	35
II .4.1.3. Porosité, la compacité et l'indice de vide.....	36
II .4.1.4. Equivalant du sable NF-18-598	36
II .4.1.5. Analyse granulométrique [NF P 18-304]	37
II .4.1.6. Module de finesse (EN 196-6)	37

CHAPITRE III : Techniques expérimentales

III.1. Introduction	40
III.2. Composition du mortier	40
III.3. Confection des éprouvettes	40
III.4. Conservation des éprouvettes	41
III.5. A l'état frais des mortiers	42
III.5.1. Définition	42
III.6 : A l'état durci de mortiers	42
III.6.1. Essai de compression (NF P 18-406)	42
III.6.1.1. Expression des résultats	43
III.6.2. Résistances à la traction (NF P 18- 408)	45
III.6.3. Estimation de perte de masse	46
III.6.4. Capacité d'absorption	46

CHAPITRE IV: Résultats et interprétations

IV.1. Introduction	48
IV.2. Résultats des essais à l'état frais	48
IV.3. Résultats des essais à l'état durci	49
IV.3.1. Résistance mécanique à la compression	49

IV.3.2. Résistance mécanique à la flexion des mortiers	52
IV.4. Résultats de la perte de masse	55
IV.5. Résultats de la capacité d'absorption	57
Conclusion générale.....	59
Références bibliographiques	

Introduction générale

Dans toute les constructions, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de :

- ✓ Solidariser les éléments entre eux.
- ✓ Assurer la stabilité de l'ouvrage.
- ✓ Comblent les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: liant (type et dosage), adjuvants et dosage en eau.

Les adjuvants font actuellement partie des développements les plus récents dans la formulation des mortiers car leurs utilisations apportent une amélioration des propriétés mécanique des matériaux cimentaires.

Elévation de la température influant sur la résistance mécanique du béton et des mortiers du fait des désordres résultants d'une part, de la dilatation thermique, et d'autre part, de la transformation physique et chimique des granulats.

Objectif

Cette étude dans ce mémoire vise à atteindre l'objectif principal suivant:

Etude des effets de la température sur les propriétés mécaniques des mortiers confectionnés à base d'entraîneur d'air.

Structure du mémoire

Notre mémoire est structuré en une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion générale.

Introduction générale.

1^{ère} chapitre: Etude bibliographique

2^{ème} chapitre: Caractéristiques des matériaux utilisés.

3^{ème} chapitre: Techniques expérimentales.

4^{ème} chapitre IV: Résultats et interprétations.

Conclusion.

Chapitre I :
Etude bibliographique

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction

Le présent chapitre est une étude bibliographique sur les travaux de recherche sur le comportement de l'incorporation d'entraineur d'air dans le mortier porté à une température élevée.

Cette analyse portera d'une part, les mécanismes d'instabilité thermique du mortier avec les paramètres pouvant influencer cette dernière ; d'autre part, sur les différentes transformations physiques et performances mécaniques.

I.2. Généralité

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. [1]

La durée de malaxage doit être optimale, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être :

- ✓ Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- ✓ Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- ✓ Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi. Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers. [1]

I.2.1. Le rôle du mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- ✓ Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- ✓ Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- ✓ Sous forme d'enduits aériens.
- ✓ Sous forme d'écrans étanches.
- ✓ Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés. [1]

- ✓ Etre le constituant essentiel du béton.
- ✓ Consolider certains sols de fondations sous forme d'injections.

I.2.2. Les différents types des mortiers :

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

I.2.2.1. Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [1]

I.2.2.2. Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments. [1]

I.2.2.3. Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux.

Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [1]

I.2.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier :

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables. [1]

I.2.2.5. Les mortiers industriels :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. [1]

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié,
- Mortiers d'imperméabilisation,
- Mortier d'isolation thermique,
- Mortier de jointoiement,
- Mortier de ragréage,
- Mortier de scellement, mortier pour chapes,
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,
- Mortier de réparation.

I.2.3. Caractéristiques principales :

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

- ✓ L'ouvrabilité ;
- ✓ La prise ;
- ✓ La résistance mécanique ;
- ✓ Le retrait et le gonflement, etc. [1]

I.3. Comportement des matériaux cimentaires à haute température

I.3.1 Introduction

L'exposition du béton à une température élevée provoque des modifications physico-chimiques que subissent ses composants (la matrice cimentaire et les granulats), telles que la déshydratation par séchage du béton et la décarbonatation. Ces phénomènes peuvent produire de retraites et de pertes de résistance et de raideur des matériaux.

Pour comprendre le comportement de ce matériau à haute température, il est nécessaire de connaître les principales modifications physico-chimiques. L'interface pâte-granulats est plus ou moins affectée selon la nature du ciment et des granulats.

I.3.2. Évolution de la microstructure des matériaux à matrice cimentaire en fonction de la température

I.3.2.1. Rappels sur la microstructure des matériaux à matrice cimentaire

Les bétons et les mortiers sont des matériaux hétérogènes multiphasiques constitués d'un mélange de granulats et d'une pâte de ciment durcie. La pâte de ciment représente 25 à 40% du volume total du béton. Chaque constituant joue un rôle bien défini, celui de liant hydraulique

pour la pâte de ciment, et celui de remplissage atténuateur de variations volumiques (retrait) et source de résistance pour les granulats.

Les granulats occupent 60 à 75% du volume de béton. On distingue trois types de granulats dans les bétons ; le sable : particules de diamètre inférieur à 5 mm, les gravillons 5 et 10mm et enfin, les cailloux dont le diamètre est compris entre 10 et 40 mm.

La prise et le durcissement de la pâte de ciment ou béton sont le résultat d'un certain nombre de réactions chimiques dont le principal est l'hydratation des silicates du clinker accompagnée d'un fort dégagement de chaleur. Les silicates de calcium tricalciques $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (C3S), et bicalciques $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (C2S) sont les constituants les plus importants du ciment portland pour les propriétés mécaniques de la pâte durcie.

L'hydratation de C3S et de C2S forme des produits hydratés composés de gel CSH (silicates de calcium hydratés) et de portlandite (hydroxyde de calcium) $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Le CSH est un pseudocristal de forme spongieux, plus ou moins lamellaire. La liaison entre les particules de CSH (responsable de la résistance mécanique de la pâte de ciment durcie) repose sur des forces superficielles ioniques ou covalentes (force de Van Der Waals, forces électrostatiques ou interactions stériques). Le modèle de Feldman et Sereda [2], revu ensuite par Sierra [3], montre la structuration des particules de CSH (Figure 1.1).

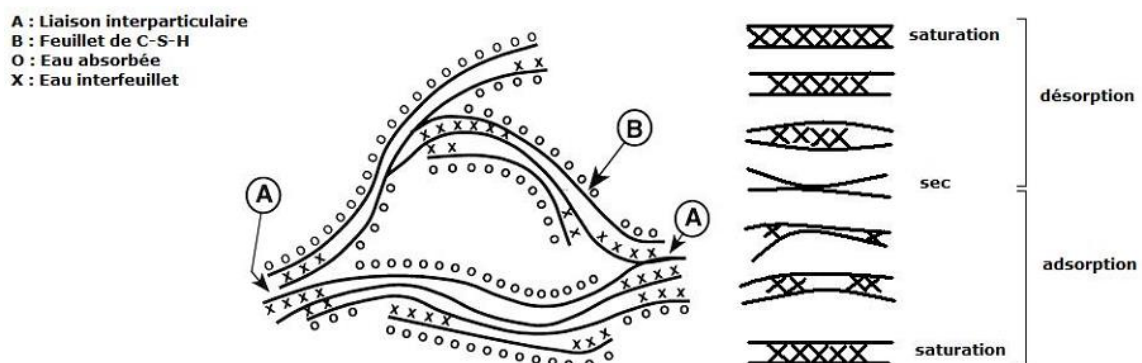


Figure 1.1 : Modèle de structuration des particules de CSH Feldman et Sereda, revu par Sierra [3].

La pâte de ciment durcie est un matériau poreux. Les pores qui la composent sont de dimensions et d'origines différentes (voir pour illustration Figure 1.2) :

- Pores capillaires : ils sont formés durant la structuration de la pâte de ciment. Pour un rapport eau/ciment (E/C) donné, leur volume décroît au cours de l'hydratation. Leur diamètre s'échelonne entre 10 nm et 1 μm . Plus E/C est faible, plus les dimensions et le nombre des pores capillaires sont faibles.

- Pores des hydrates : ces pores sont généralement des caractéristiques intrinsèques aux hydrates et leur dimension et leur nombre ne dépendent pas du rapport E/C. Concernant le gel CSH, l'espace poreux est constitué des pores inter-lamellaires (diamètre d'une dizaine d'Angströms) et les pores inter-feuillets qui sont extrêmement fins (diamètre de quelques Angströms).

Le réseau poreux du béton est également constitué :

- Des vides d'air emprisonnés : d'un diamètre de l'ordre du micromètre, leur présence peut être due au malaxage du béton frais ou intentionnellement recherchée par l'ajout d'entraineur d'air (pour la conception de bétons résistants aux cycles gel/dégel par exemple).

- Des fissures : de quelques dizaines de micromètres (microfissures) jusqu'au millimètre (macro fissures), qui peuvent avoir des origines très différentes (plusieurs types de retraits, réactions chimiques internes, dilatations différentielles internes, sollicitations mécaniques, etc.).

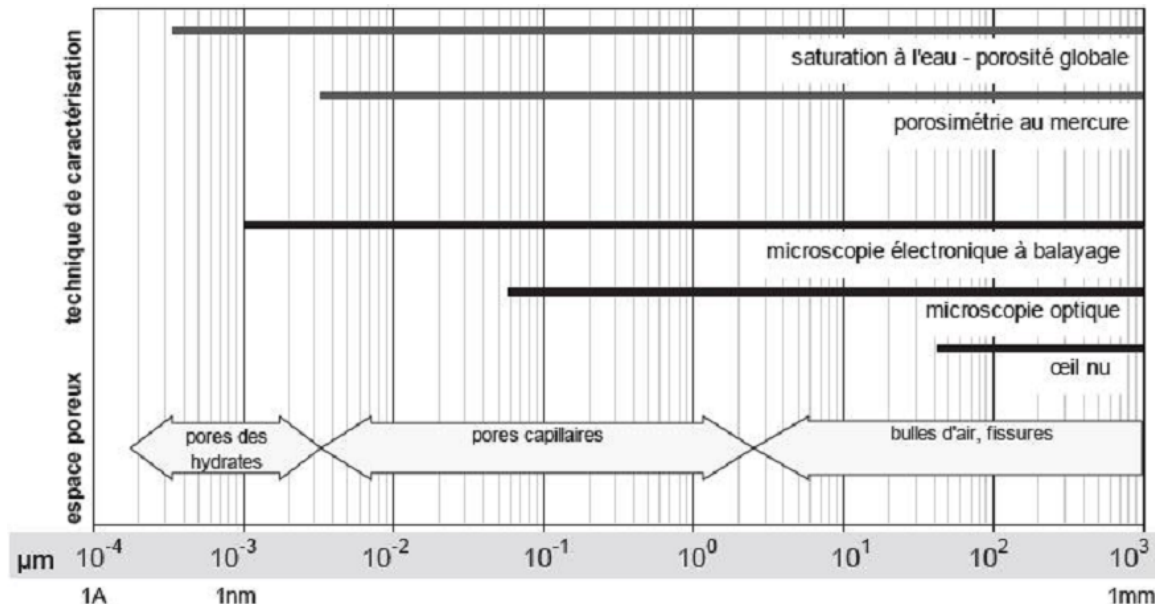


Figure 1.2 : Familles des vides dans le béton et domaine d'utilisation des principales techniques de caractérisation des milieux poreux [4].

Il est intéressant de préciser les différentes catégories d'eau qui se trouve dans la pâte de ciment durcie car elle représente le moteur initial des réactions d'hydratation du ciment mais elle aussi garante de la bonne maniabilité du mortier ou béton frais :

- L'eau chimiquement liée : cette eau s'est combinée avec d'autres espèces durant l'hydratation des grains de ciment pour former les hydrates.

- L'eau adsorbée : cette forme d'eau est liée à la surface des pores solides sous l'action de forces intermoléculaires de Van Der Waals et de forces électrostatiques, on parle alors d'adsorption. Les forces d'adsorption décroissent à mesure que l'on s'éloigne du solide.

- L'eau libre (ou capillaire) : il s'agit de la forme condensée d'eau qui remplit le volume poreux dans les zones qui ne sont pas sous l'influence des forces d'adsorption. Cette forme d'eau peut être en équilibre avec la phase gazeuse par l'intermédiaire de surfaces planes ou de ménisques.

I.3.2.2. Comportement à hautes températures

L'élévation de température entraîne des phénomènes très complexes dans le béton, dont la prévision s'avère plutôt difficile, notamment à cause de son hétérogénéité et des changements de phases. Ces changements de phases sont dus, en particulier au départ de l'eau chimiquement liée, se traduisant par une augmentation considérable de la porosité du béton (Figure 1.3 et

Figure 1.4) qui entraîne alors de forts changements de la microstructure du béton et donc un changement des propriétés mécaniques, thermiques, hydriques du celui-ci.

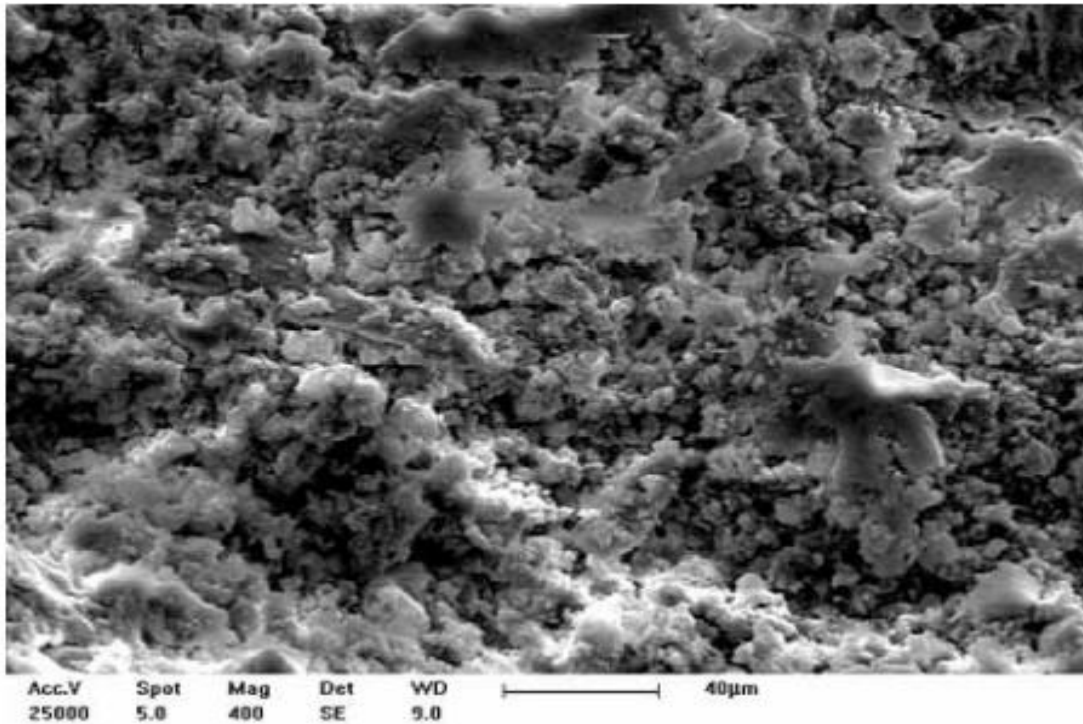


Figure 1.3 : Aspect normal d'une pâte de ciment n'ayant pas subi d'échauffement (image obtenue par microscopie électronique avec un grossissement de 400) [27].

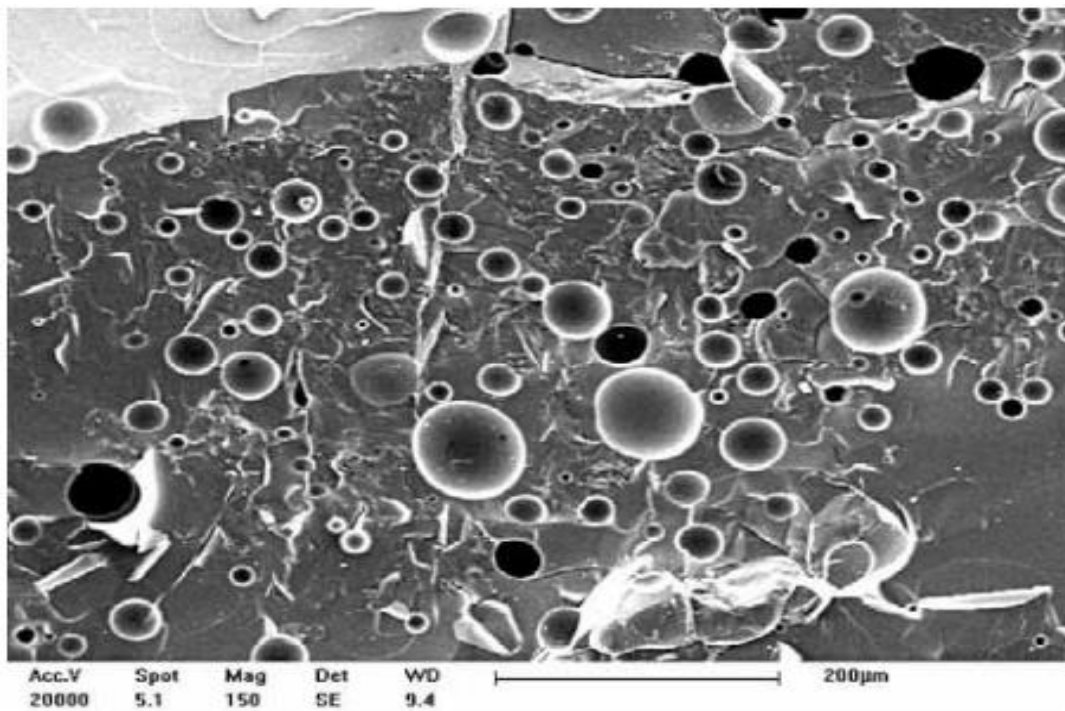


Figure 1.4 : Matrice cimentaire vitreuse présentant une macroporosité très importante [27].

Ce phénomène se produit au-delà de 1000°C et provient de la fusion puis du refroidissement de la pâte du ciment (image obtenue par microscopie électronique avec un grossissement de 150).

Les principales réactions physico-chimiques dans le béton au cours de son échauffement sont regroupées dans le Tableau 1.1 [5].

Après refroidissement du béton, certaines phases minérales de la pâte de ciment, telles que la chaux vive (CaO) ou l'anhydrite (CaSO₄) peuvent se réhydrater lors d'un apport d'eau et produire éventuellement un gonflement.

Tableau 1.1 Principales réactions physico-chimiques dans le béton à haute température [5].

Entre 30°C et 105°C	L'eau libre et une partie de l'eau adsorbée la moins liée s'échappent du béton. Elle est complètement éliminée à 105°C.
Entre 130°C et 170°C	Une double réaction endothermique peut avoir lieu correspondant à la décomposition du gypse CaSO ₄ 2H ₂ O.
Autour de 180°C et jusqu'à environ 300°C	On a la première étape de la déshydratation. La chaleur brise le gel de ciment et arrache des molécules d'eau aux silicates hydratés. L'eau liée chimiquement commence à s'échapper du béton.
A environ 250°C et 370°C	On peut avoir de petits pics endothermiques indiquant des effets de décomposition et d'oxydation d'éléments métalliques (ferriques).
Entre 450°C et 550°C	Il y a décomposition de la portlandite en chaux libre : $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
Autour de 575°C	Il y a transformation de structures du quartz α en quartz β , accompagnée d'un gonflement pour les granulats quartziques.
Entre 600°C et 700°C	Il y a décomposition des phases de CSH et formation de β -C ₂ S. C'est la seconde étape de la déshydratation des silicates de calcium hydratés qui produit une nouvelle forme de silicates bicalciques.
Entre 700°C et 900°C	Il y a décomposition du carbonate de calcium. Le calcaire se décompose autour de 800°C en $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, réaction fortement endothermique qui libère du gaz carbonique.
A partir de 1100°C-1200°C	Formation de wollastonite β (CaO, SiO ₂). Début de la fusion de certains agrégats et de la pâte de ciment. Remplacement au cours de l'échauffement des liaisons hydrauliques par des liaisons céramiques (phénomène de frittage).

I.3.2.3. Phénomènes d'éclatements

Le comportement au feu des éléments de structure en béton est caractérisé par un risque d'éclatement et d'écaillage (Figure 1.6). Les premières mentions concernant cette dégradation datent des années soixante. Les observations du comportement des bétons à haute température menées par Harmathy, 1965 [6] ont montré que les matériaux chauffés pouvaient présenter, dans certains cas, un comportement explosif. Deux principales raisons de l'éclatement ont été attribuées premièrement aux effets du gradient thermique et la formation de pressions de vapeur

d'eau dans le matériau. Il faut noter que ces observations et la théorie développée par Harmathy, 1965 [6] concernent les bétons ordinaires. Ce n'est qu'en 1984 que Hertz [7], en étudiant les propriétés de bétons à haute performance (120 MPa et 170 MPa) soumis aux températures élevées, a observé une forte sensibilité de ces bétons à l'éclatement. L'éclatement des bétons entre 300°C et 350°C a été observé et attribué aux pressions de vapeur d'eau dans ces bétons denses, de porosité limitée.



a) Tunnel sous la Manche : fort écaillage du béton.

b) Mont Blanc : éclatement du béton.

Figure 1.5 : Dommages du béton après l'incendie [27].

1.3.2.4. Influence de la température sur la pâte de ciment

Les principales modifications physico-chimiques se passent dans la pâte de ciment, en raison de la présence de l'eau sous différentes formes dans la structure. Dans la pâte de ciment chauffée, tous les changements commencent par l'évaporation de l'eau libre et de l'eau adsorbée entre 30°C et 120°C et, au-delà de 105°C, on observe les premiers signes de la décomposition des hydrates selon Hisldorf [8]. Cependant d'autres travaux, notamment ceux de Harmathy [9], montrent que la déshydratation de la pâte de ciment débute dès l'évacuation de l'eau évaporable.

La pâte de ciment hydratée subit une expansion jusqu'à environ 150°C, puis une contraction due à un fort retrait de dessiccation qui mène à la perte d'eau (Figure 1.6) [10].

Ensuite à partir de 180°C et jusqu'au-delà de 800°C, le gel de CSH se décompose essentiellement en silicate de calcium β C2S, β CS et en eau [11] et la portlandite donne CaO.

A l'aide de la diffraction X, Piasta et al. [12] ont observé un phénomène d'hydratation additionnelle entre 200°C et 300°C. Cette réaction se traduit par une diminution des phases β C2S et C3S ainsi qu'une faible augmentation de la quantité de Ca(OH)₂.

La porosité de la pâte de ciment à haute température augmente d'une manière parabolique en fonction de la température. Cette augmentation est confirmée par les travaux de Bazant et al. [13], elle est accompagnée d'une évolution de la taille moyenne des pores et du volume poreux total. Ceci est dû en partie à la rupture interne de la structure du gel CSH lors du processus de déshydratation.

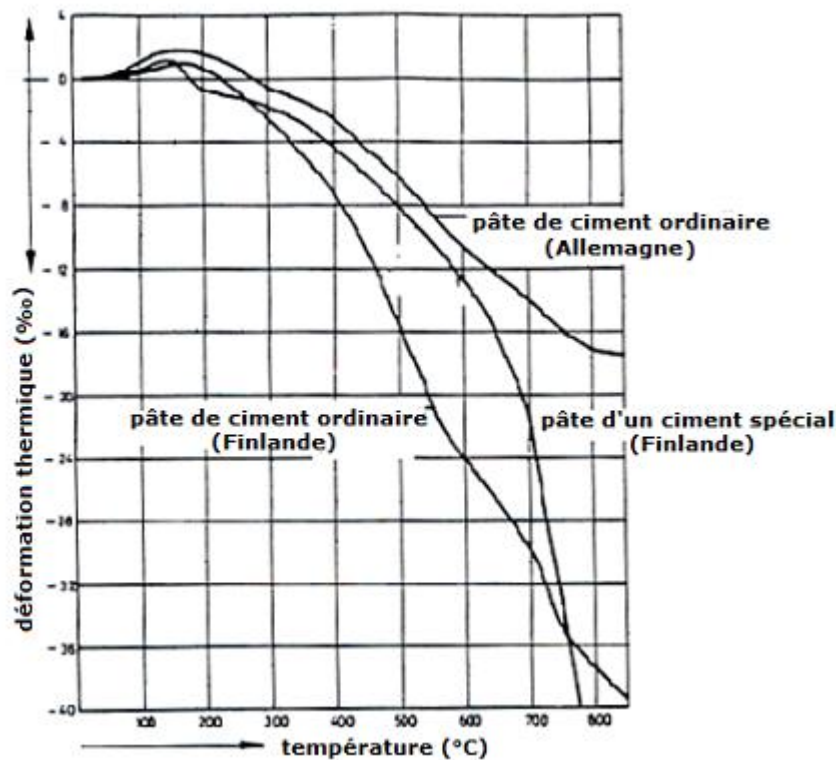


Figure 1.6 : Évolution de la déformation thermique des pâtes de ciment avec la température [10].

I.3.2.5. Influence de la température sur les granulats

Les granulats constituent, en principe, le squelette inerte du béton aux températures ambiantes (sauf cas pathologique, comme d'une réaction alcali-granat) mais aux températures élevées, leur comportement est totalement différent. Sous haute température, les granulats se décomposent et subissent des transformations chimiques et minéralogiques importantes qui modifient les caractéristiques micro structurales du matériau. La majorité des granulats est généralement stable jusqu'à 600°C [14]. Par contre, les granulats non siliceux peuvent subir des transformations chimiques et des réactions de décomposition à des températures inférieures à 600°C. Une analyse thermique différentielle (ATD) permet de déterminer, par des pics endothermiques et exothermiques, les températures auxquelles une instabilité peut survenir dans les granulats. Les analyses thermogravimétriques (ATG) donnent des indicateurs de la progression des réactions de décomposition en mesurant les variations de masse des granulats au cours du chauffage. La Figure 1.7 montre les résultats de perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux).

Les résultats d'analyses montrent que les granulats calcaires et siliceux sont relativement stables jusqu'à 500°C. Une autre transformation cristalline est présente entre 500°C et 650°C

(Figure 1.9). A ces températures, le quartz- α se transforme en quartz- β sans changement de masse, en revanche cette transformation s'accompagne d'un gonflement significatif de l'ordre de 1 à 1,4% [11].

Pour les granulats calcaires, le comportement thermique est plus stable jusqu'à 700°C. Au-delà de cette température, on assiste à la décarbonatation ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). En phase de refroidissement, la chaux libre (CaO) formée lors de la réaction de décarbonatation, se combine avec l'humidité atmosphérique sous forme de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avec une augmentation de volume de 44%. Ceci cause la fissuration et l'endommagement des structures en béton [15] et [16].

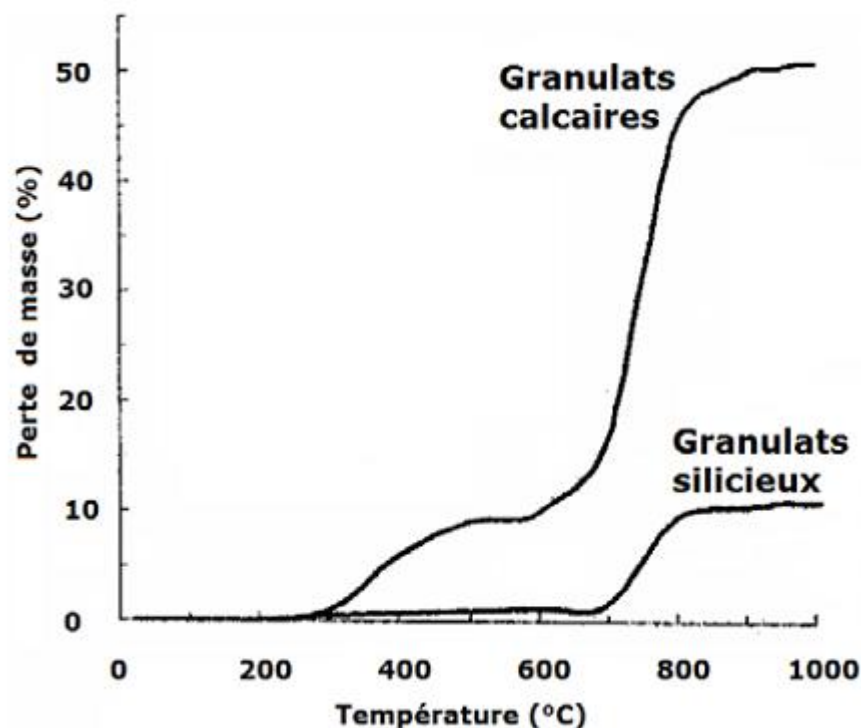


Figure 1.7 : Perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux) d'après Harmathy et Allen [17].

I.3.2.6. Influence de la température sur la microstructure du béton

I.3.2.6.1 Interface pâte - granulats

Dans les bétons ordinaires, l'interface pâte-granulats, appelée aussi l'auréole de transition, est la partie la plus fragile, la plus poreuse et mieux cristallisée que la matrice cimentaire. A haute température, cette partie se dégrade progressivement. Ceci est dû au départ de l'eau (libre, liée, adsorbée) contenue dans les pores et dans les hydrates. Le retrait de dessiccation favorise le développement des fissures et au-delà de 120°C, les phénomènes de déshydratation engendrent une détérioration rapide au niveau de cette zone à cause de la dilatation différentielle entre la pâte de ciment (retrait) et les granulats (expansion). Ces deux évolutions créent à l'interface pâte-granulats des incompatibilités de déformations induisant des contraintes de traction au sein de la pâte de ciment et de la compression au sein des granulats (Figure 1.8).

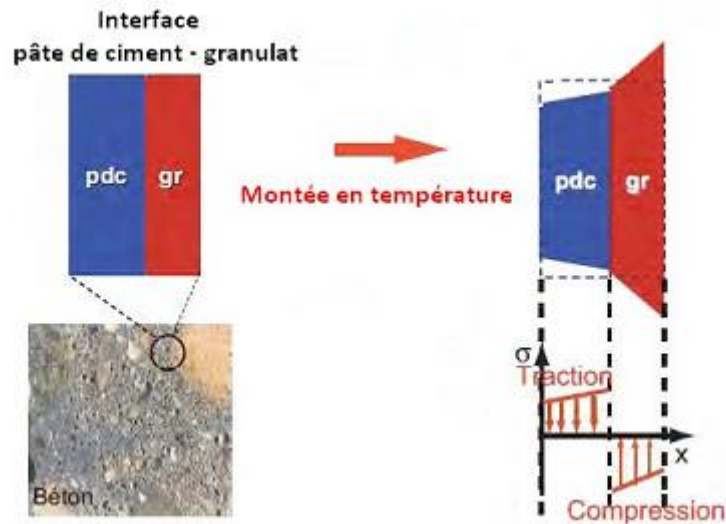


Figure 1.8 : Mécanismes liés aux incompatibilités pâte-granulat [18].

I.3.2.6.2 Variation de la porosité

Pour étudier la porosité d'un matériau cimentaire, deux méthodes sont fréquemment utilisées :

Porosité au mercure : cette technique met en évidence la distribution de la porosité en fonction de la taille des pores, elle permet de détecter les pores capillaires, dont la taille varie entre 4 nanomètres et quelques microns (7500 nm). L'étude de la variation de la porosité en fonction de la température a été menée par plusieurs chercheurs [13], [19] et [20]. La Figure 1.9 présente les distributions des pores au sein d'un béton ordinaire chauffé jusqu'à 600°C par la technique de porosimétrie au mercure. La synthèse des résultats obtenus par différents auteurs indique que dans le cas du béton ordinaire, la température engendre une augmentation du volume total ainsi que la dimension des pores. Elle peut être due à la rupture des cloisons capillaires sous l'effet de la vaporisation de l'eau durant le chauffage, ainsi qu'à la microfissuration engendrée par les dilatations différentielles de la matrice cimentaire et des granulats [19].

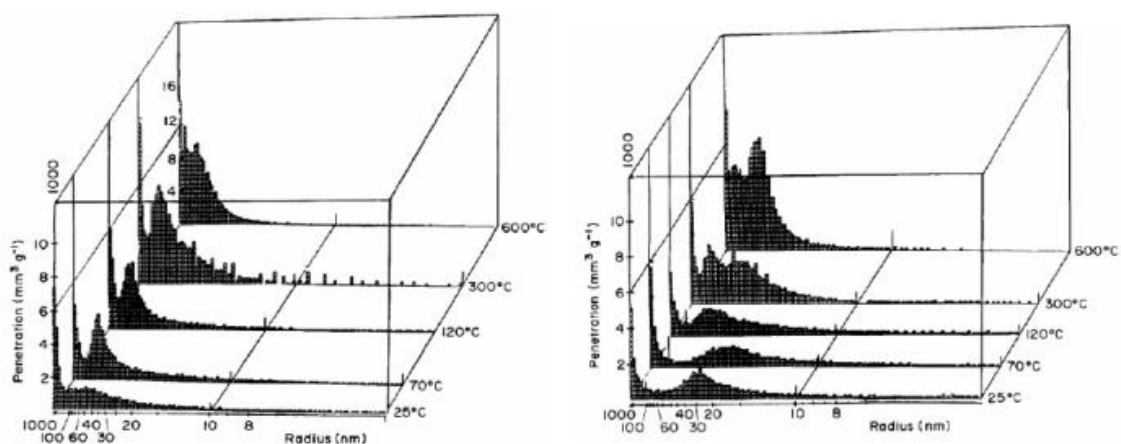


Figure 1.9 : Distribution des pores dans les bétons chauffés obtenus par porosimétrie au mercure. A gauche BO – à droite BHP [19].

Porosité à l'eau : cette technique permet de déterminer le volume de la porosité accessible à l'eau, donc la porosité capillaire. La méthode consiste en la réalisation d'une série des pesés du matériau saturé d'eau, à sec et par pesée hydrostatique. Les résultats des mesures de l'évolution de la porosité totale en fonction de la température réalisée par Kalifa et al. [21] par la méthode de saturation d'eau sur un béton ordinaire et un béton à haute performance sont représentés sur la Figure 1.10.

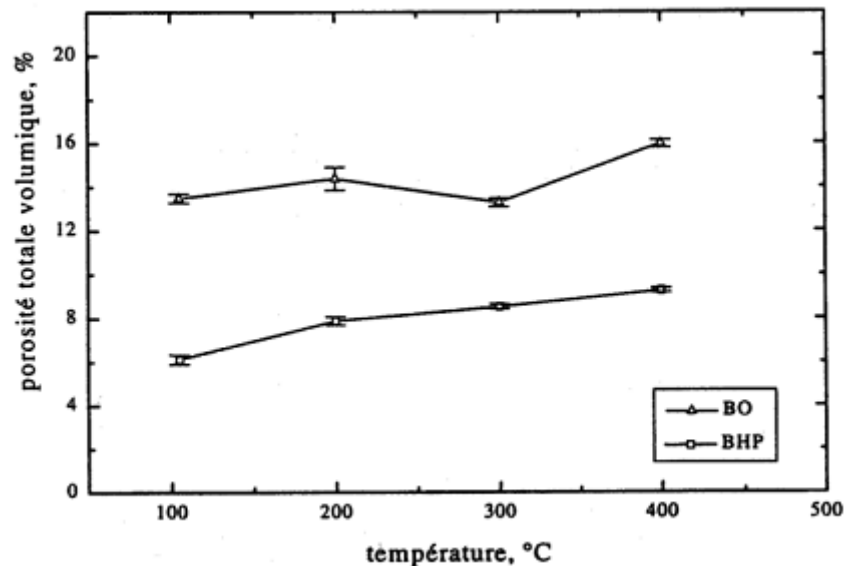


Figure 1.10 : Porosité totale à l'eau en fonction de la température de conditionnement [21].

Entre 105°C et 400°C, la porosité de BHP augmente de 3%. Cette croissance est associée au départ d'eau, qu'elle soit présente dans le réseau ou chimiquement liée.

Kalifa explique que la diminution de porosité du BO entre 200°C et 300°C est associée à la densification due à l'hydratation complémentaire et à une carbonatation de la portlandite en condition d'autoclavage interne, c'est-à-dire sous une pression supérieure à la pression atmosphérique. Par contre, cette densification n'est pas observable dans le BHP qui contient très peu de portlandite grâce à la présence de fumée de silice.

La comparaison des valeurs de la porosité totale déterminée par les techniques d'intrusion de mercure et porosité à l'eau, montre que cette dernière technique conduit aux valeurs de porosité les plus élevées.

I.3.3 Évolution des caractéristiques thermiques du béton avec la température

I.3.3.1 Évolution de la masse volumique

La Figure 1.11 montre l'évolution de la masse volumique pour un béton ordinaire et trois bétons BHP. Sur cette figure, on remarque globalement une baisse légère de la masse volumique entre 100°C et 400°C pour le BO et le BHP. Kalifa et Tsimbrovska [21] expliquent que cette diminution est liée aux phénomènes d'hydratation complémentaire des anhydres et de carbonatation.

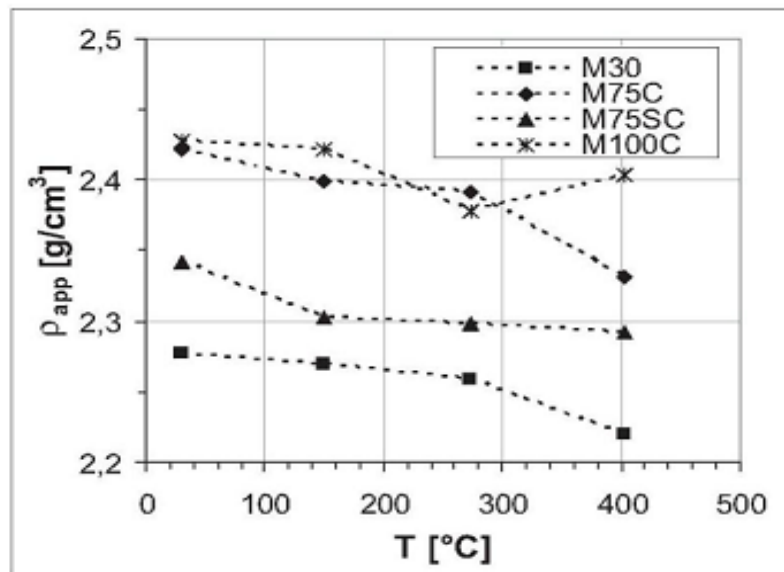


Figure 1.11 : Masse volumique de différents bétons en fonction de la température [21].

I.3.4 Évolution des caractéristiques mécaniques du béton avec la température

En absence de sollicitations thermiques, le béton se caractérise pour la partie mécanique par la résistance à la compression, la résistance à la traction, le module d'élasticité et son énergie de fissuration.

I.3.4.1 Comparaison entre les essais à chaud et après refroidissement

On peut réaliser des essais à chaud en charge, à chaud non chargé, pendant ou après refroidissement (essais résiduels). Il est nécessaire donc de considérer le régime d'échauffement et de refroidissement, la présence de la charge et son application ainsi que l'état des éprouvettes au moment de la réalisation des essais.

Les essais à chaud contribuent à obtenir la résistance à une température donnée de l'état du béton. Mais, cet essai nécessite un dispositif expérimental complexe, car il requiert à la fois une presse et un dispositif de chauffage.

Les essais durant la phase de refroidissement permettent de suivre l'évolution de la propriété étudiée durant la phase de refroidissement. Ainsi l'influence des conditions de refroidissement, la vitesse de refroidissement ou l'effet d'un choc thermique peuvent être analysés.

Les essais après refroidissement sont aussi appelés «essais résiduels». Ce sont les essais les plus faciles à réaliser. Ils sont effectués après le cycle d'échauffement jusqu'à la température d'essai et refroidissement jusqu'à la température ambiante. Le fait de refroidir le matériau, peut entraîner l'apparition d'une fissuration supplémentaire et une humidification provoquant la réhydratation du gel CSH mais aussi la réaction de la portlandite avec l'eau présente dans l'environnement endommageant d'avantage la structure du béton. Mais, il existe une variante des essais après refroidissement : il s'agit des essais réalisés après un certain temps après le refroidissement. Ces essais sont menés après un temps défini qui suit le cycle de chauffe. Il a été rapporté [22] que le béton est capable de récupérer une partie de sa résistance. Ce phénomène

d'autoréparation peut s'expliquer par la réhydratation des grains de ciment non hydratés présents dans les bétons de rapport E/C très faible.

I.3.4.2 Résistance en compression à hautes températures

L'évolution de la résistance en compression du béton avec la température est affectée par de nombreux paramètres (nature du liant et des granulats, rapport E/C, vitesse du chauffage, ...). Plusieurs recherches ont été menées sur l'influence de la température sur la résistance à la compression [10] et [5].

On peut noter, lors des essais réalisés à chaud, pour des températures variant entre 100°C et 200°C, qu'une augmentation de résistance est observée. Ceci peut être expliqué par la rigidification de la microstructure de la pâte de ciment due au départ d'eau adsorbée. Signalons que lorsque le rapport E/C est faible, la résistance à chaud reste aussi faible et diminue avec la température [14] (Figure 1.12).

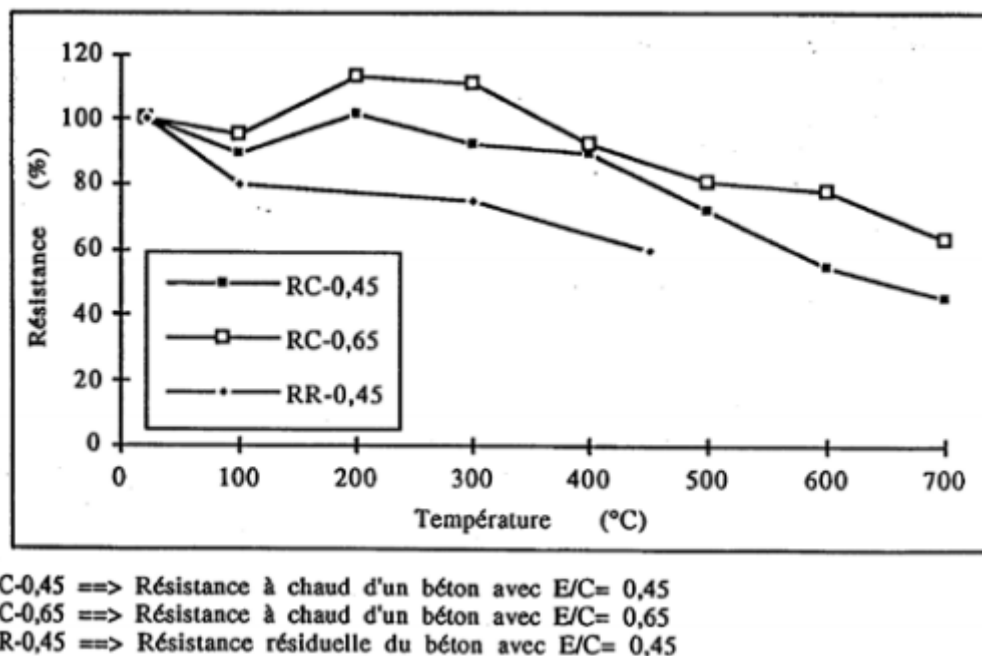


Figure 1.12 : Rapport des résistances à chaud et des résistances résiduelles sur la résistance initiale (froid) en fonction de la température [14].

Au-delà de 350°C, le béton est complètement sec, la résistance en compression diminue progressivement en fonction de la température. Cela est expliqué par la décomposition des hydrates de ciment comme la portlandite, les CSH et enfin la transformation allotropique du quartz qui fragilise les granulats [23]. Mais également, l'apparition des fissures permet d'expliquer cette diminution [5]. D'autres recherches ont montré les mêmes variations de la résistance résiduelle à la compression en fonction de la température (Figure 1.13).

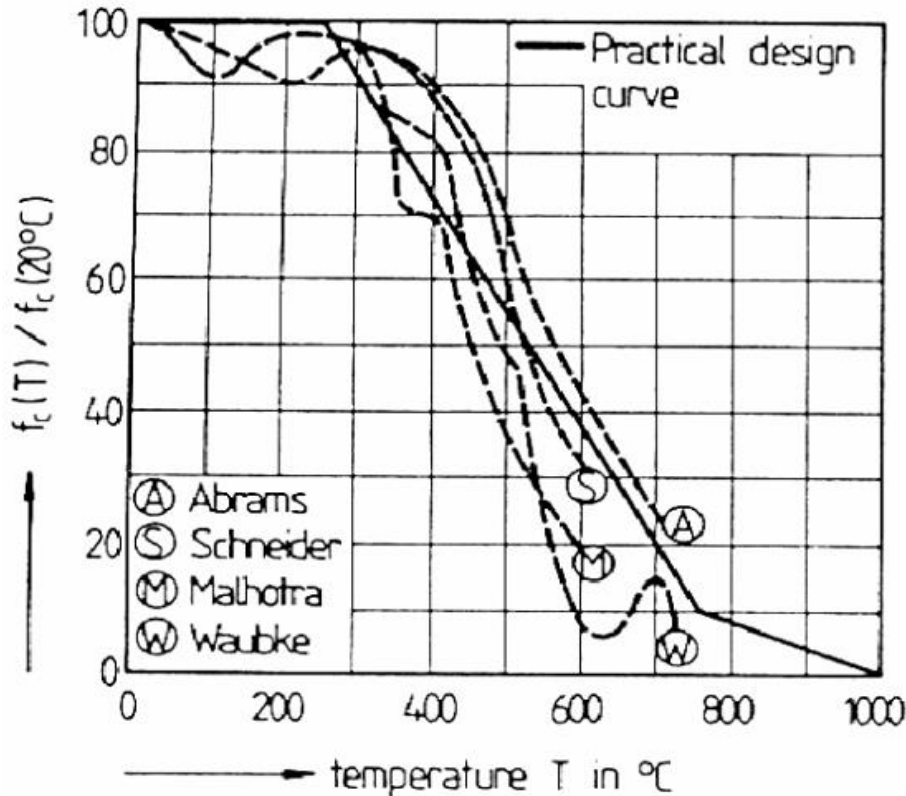


Figure 1.13 : Rapport de la résistance en compression sur la résistance initiale en fonction de la température [5].

I.3.4.3 Résistance en traction à hautes températures

Dans la littérature, peu de recherches traitent de l'évolution de la résistance en traction en fonction de la température. Pourtant cette donnée est primordiale, la résistance en traction conditionne en partie la stabilité thermique des bétons (éclatements) [24].

La réalisation de l'essai de traction directe ou de flexion s'avère toujours difficile, compte tenu de la localisation de l'endommagement et du développement d'une macrofissure généralement instable, qui mène par la suite à la rupture brutale du matériau. Selon Bamonte et al. [25], la meilleure méthode de mesurer la résistance en traction est d'utiliser la traction directe avec encastrement des bords, pour éviter la rotation libre de l'éprouvette pour ne pas sous-estimer la résistance. L'essai par fendage (essai brésilien) présente une bonne alternative aux essais de traction. Par contre, la résistance à la traction par flexion est trop affectée par l'augmentation de la ductilité d'éprouvettes prismatiques d'épaisseur faible.

I.4 Les adjuvants

I.4.1 Introduction

Les adjuvants sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortier ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de certaines de leurs propriétés, à l'état frais (le temps de prise, le processus de durcissement et l'ouvrabilité) ou durci (la résistance et la durabilité).

L'emploi d'adjuvants doit répondre à la norme NF EN 934-2 [2009].

Chaque adjuvant est défini par une unique fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. L'emploi d'adjuvants répond à des considérations techniques et économiques. On peut par exemple obtenir une meilleure ouvrabilité en remplaçant une partie de l'eau de gâchage par un plastifiant et réduire ainsi la capillarité, ce qui améliore la durabilité du béton. L'efficacité des adjuvants dépend d'une quantité de facteurs qui sont, entre autres, le dosage de l'adjuvant, le type et le dosage en ciment, le dosage en eau ainsi que la consistance, les conditions de malaxage et la température. [1]

I.4.2 Classification et utilisation

Un adjuvant a, en général, une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement « effets secondaires ».

Les normes européennes retiennent la classification suivante :

- ✓ Plastifiants réducteurs d'eau.
- ✓ Super plastifiants hautement réducteurs d'eau.
- ✓ Rétenteurs d'eau.
- ✓ Entraîneurs d'air.
- ✓ Accélérateurs de prise.
- ✓ Accélérateurs de durcissement.
- ✓ Retardateurs de prise.
- ✓ Hydrofuges.

Il existe également d'autres adjuvants tels que notamment : Les raidisseurs pour béton projeté, les adjuvants pour coulis d'injection, les adjuvants pour mortier stabilisé, les colorants, les inhibiteurs de corrosion, les générateurs de gaz, etc. Certains d'entre-deux sont décrits et leur caractéristiques définies dans les normes spécifiques.

Dans notre mémoire on à utiliser un seule types d'adjuvants :

- ✓ Entraîneurs d'air.



Figure 1.14 types d'adjuvants utilisés (Entraîneurs d'air).

I.4.3 les types d'adjuvants

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme NF EN 934-2

A) Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier (Plastifiants et fluidifiants)

Les plastifiants et les fluidifiants sont de loin les adjuvants les plus utilisés pour la confection du béton et mortier. Leur efficacité est illustrée par la (Figure 1.15)

Pour un rapport E/C constant, l'utilisation de ces adjuvants améliore l'ouvrabilité du béton ①. Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport E/C, si l'ouvrabilité est maintenue constante ③, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité.

On peut aussi, mais avec une moindre efficacité, conjuguer les deux effets, soit obtenir une amélioration de l'ouvrabilité tout en diminuant le rapport E/C ②.

En conséquence, les plastifiants et fluidifiants permettent d'optimiser la recette du béton et mortier en termes d'ouvrabilité et de propriétés du béton et mortier durci.

Comme effet secondaire possible de ces adjuvants, on observe parfois un effet retardateur de prise.

D'une manière générale, l'efficacité des adjuvants est étroitement dépendante des caractéristiques du ciment et de la composition du béton ou mortier.

C'est pourquoi il est recommandé de vérifier la compatibilité et l'efficacité de chaque combinaison adjuvant – ciment au moyen d'essais préliminaire.

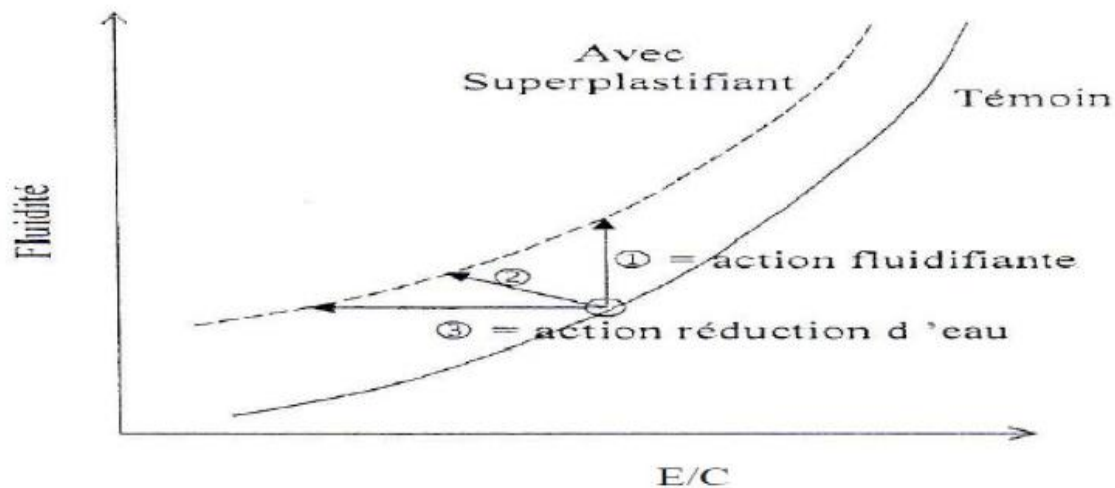


Figure 1.15 Utilisation des super plastifia [26].

- 1-Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2-Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- 3-Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

L'action principale des super plastifiants est de défouler les grains de ciment.

Une action de répulsions électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présents à la surface des grains et /ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaines moléculaires très longues.

L'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton et mortier (Figure 1.16).

Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons et des mortiers très fluides, avec des rapports E/C faibles.

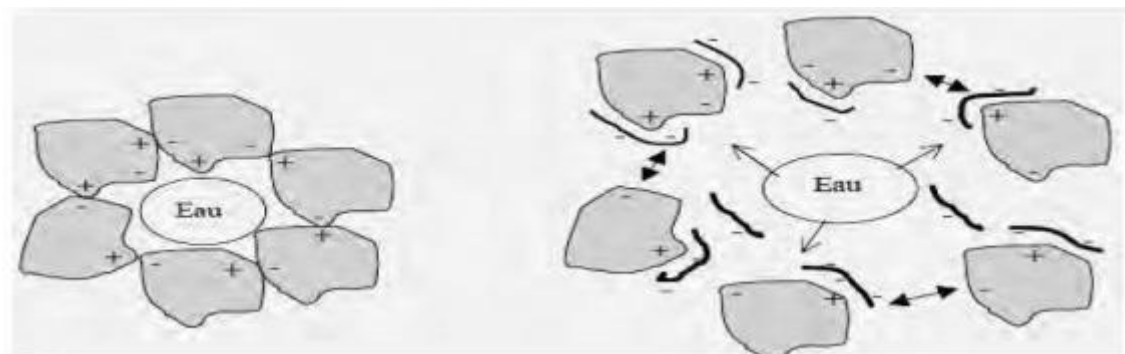


Figure 1.16 Action des super plastifiants-défloculation des grains de ciment [26].

B) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution.

Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé :

Accélérateurs de prise et durcissement

Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement avancent le début de prise ou accélèrent le processus de durcissement en libérant la chaleur d'hydratation plus rapidement. L'hydratation étant plus rapide, le béton peut être décoffré, mis en charge ou exposé au gel plus tôt. L'effet des accélérateurs dépend beaucoup de leur composition chimique et de celle du ciment utilisé. En cas de surdosage, on peut observer une inversion du phénomène recherché, c'est-à-dire un ralentissement au lieu d'une accélération de la prise ou du durcissement.

Les accélérateurs entraînent souvent une perte plus ou moins importante de la résistance finale du béton ou mortier. Ces adjuvants peuvent avoir une influence majeure sur les caractéristiques du béton frais et durci. Leurs effets se basent sur des réactions chimiques et/ou physiques très complexes, c'est pourquoi il faut éviter de mélanger différents types d'adjuvants ou combiner des adjuvants provenant de fabricants différents. Il est impératif de procéder à des essais préliminaires, afin de définir le bon dosage et le type d'adjuvant adapté au ciment, aux additions, à l'eau et aux granulats de la recette de béton et mortier.

Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise ont pour effet de retarder le début de la prise du ciment et de prolonger ainsi le délai de mise en place du béton.

Leurs applications principales sont les suivantes :

- ✓ Bétonnage par temps chaud.
- ✓ Transport du béton sur de longues distances.
- ✓ Bétonnage de gros volumes ou de grandes surfaces.

Un béton avec retardateur de prise durcit moins vite au jeune âge, mais sa résistance à 28 jours est souvent un peu plus élevée que celle d'un béton sans retardateur.

Du fait de son durcissement initial ralenti, un béton avec retardateur de prise nécessite une cure prolongée et particulièrement attentive.

Comme l'effet recherché dépend beaucoup du type de retardateur, mais aussi du ciment utilisé et de la température ambiante, il est indispensable de procéder à des essais préliminaires, en particulier à différentes températures.

En cas de surdosage, l'effet du retardateur de prise peut s'inverser et devenir accélérateur.

C) Adjuvants modifiant les propriétés physiques :

Entraîneurs d'air :

Le rôle des entraîneurs d'air est d'incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300 μm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel -dégel. Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du ressuage du fait de leur nature chimique particulière, les entraîneurs d'air ont la capacité d'introduire des bulles d'air de la dimension voulue dans le béton et de les stabiliser (Figure 1.17).

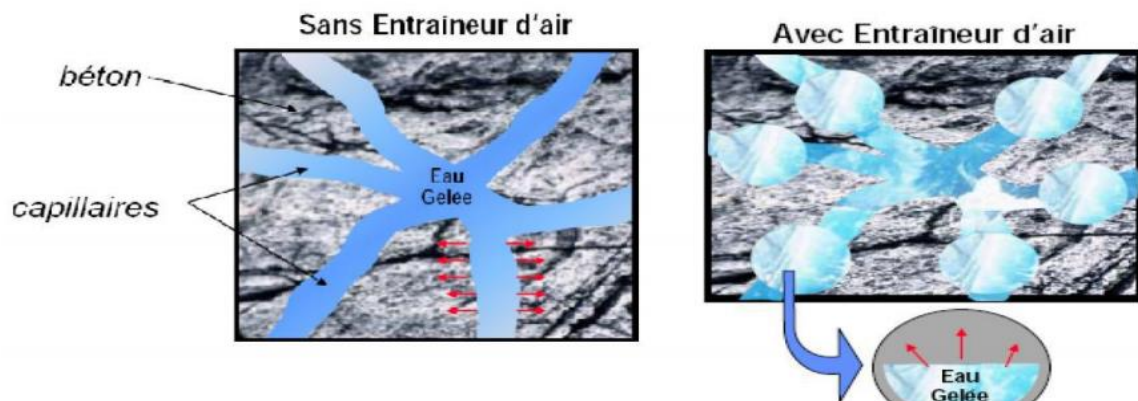


Figure 1.17 Action de l'adjuvant entraîneur d'air [28].

Tableau 1.2 Type d'adjuvants avec leur abréviation et les effets principaux selon SN EN 93(19) [28].

Adjuvant	Abréviation	Effets principaux et domaines d'application
Plastifiant	BV	Diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité (éléments préfabriqués).
Fluidifiant	FM	Forte Diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité. Permet d'obtenir des bétons à durabilité accrue et/ou à mise en place facilitée (béton pompés, SCC).
Entraîneur d'air	LP	Production et dispersion de fines bulles d'air dans la masse du béton en vue d'augmentation sa résistance au gel et aux sels de déverglaça gé (ouvrage d'art).
Retardateur de prise	VZ	Retardement du début de prise du béton (bétonnage par temps chaud).
Accélérateur de prise	SBE	Accélération du processus de prise du béton (bétons projetés)
Accélérateur de durcissement	HBE	Accélération du processus de durcissement du béton (préfabrication).

I.5 Conclusion

Cette étude bibliographique nous permet de dire en conclusion que les adjuvants sont des composants très important dans la formulation des mortiers modernes, ils permettent de modifier le comportement du mortier ainsi que certaines de ses propriétés à l'état frais ou durci.

Chapitre II :

Caractéristiques des matériaux utilisés

Chapitre II : Caractéristiques des matériaux utilisés

II.1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du mortier.

La caractérisation des matériaux a été réalisée expérimentalement au laboratoire de Génie civil à l'Université de M'silla.

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable fin de la région de oued souf « djamaa » (1/3).
- Le sable concassé de la carrière (COSIDER) de bourdj bou arreridj (2/3).
- Le ciment CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442 de la cimenterie Lafarge de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA.
- Eau de gâchage (l'eau de robinet du laboratoire).
- Les adjuvants: le Entraîneur d'air de Granitex et de Sika.

II.2. Sable concassé

II.2.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé

II.2.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est à dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule:

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Tableau II.1 Masse volumique absolue du sable concassé.

N° d'essai	M (g)	V ₂ (ml)	V ₁ (ml)	ρ _{abs} (g /ml)	ρ _{moy} (g /ml)
01	300	509	400	2,75	2,72
02	300	510	400	2,72	
03	300	511	400	2,70	

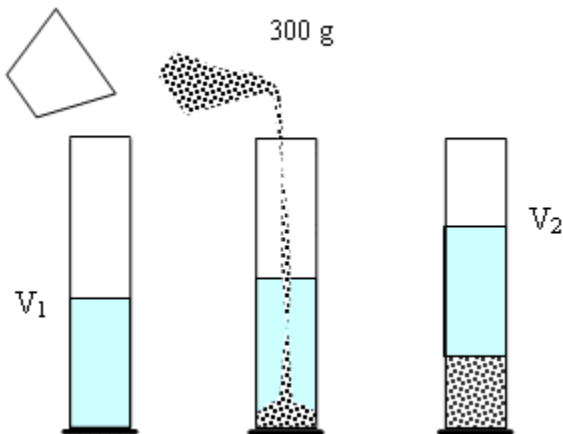


Figure II .1 : Méthode de l'éprouvette.

II.2.1.2. Masse volumique apparente: NF P 18-554

1-À l'état lâche

C'est La masse du matériau par unité de volume V comprise le volume des vides existant entre les grains ; Est donnée par formule suivant :

Volume de récipient $V_r = 1000\text{cm}^3$.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.2 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
01	1197	900	1,33	1,34
02	1215	900	1,35	
03	1201	900	1,33	

2- À l'état compact

La masse volumique à l'état compact est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Même procédure que celle à l'état lâche. Après remplissage du récipient (après tassement) on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le

tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et l'on pèse. Soit M_2 le poids de l'ensemble (sable+ récipient) la masse volumique à l'état compact est donnée par la formule suivante:

D' où:

M_1 :masse du récipient à vide.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.3 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
01	1365,1	900	1,51	1,49
02	1356,5	900	1,50	
03	1330,4	900	1,48	

II.2.1. 3. Porosité

La porosité d'un matériau est le rapport du volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

Cette propriété ou notion de porosité est importante car elle influe sur certain caractéristique fondamentale tel que :

- Résistance mécanique élevée, donc porosité faible.
- Capacité d'absorption d'eau (A) élevée, donc la porosité grand.

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas pour le sable concassé :

- Etat lâche : $p_L = 50,73\%$
- Etat compacte : $p_c = 45,22\%$

II.2.1.4. Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est -à-dire le rapport du volume absolue des grains au volume apparent du matériau.

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

On distingue deux cas pour le sable concassé :

- Etat lâche : $C_L = 49,27 \%$
- Etat compacte : $C_c = 54,78 \%$

II.2.1.5. Indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P)$$

Avec P en pourcent (%).

On distingue deux cas pour le sable concassé :

- Etat lâche : $e = 1,02 \%$
- Etat compacte : $e = 0,82 \%$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant pour le sable concassé :

Tableau II.4 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable concassé.

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
50,73	45,22	49,27	54,78	1,02	0,82

II .2.1.6. Equivalant de sable NF-18-598

But:

Cet essai à pour but de mesurer la propreté d'un sable, c'est-à-dire la quantité de particules fines et éléments fins présents dans le sable.

Principe de l'essai:

L'essai consiste à laver l'échantillon de sable puis déterminer la quantité d'élément fins (argile linons et impuretés) contenues dans cet échantillon, par rapport à la quantité d'élément sableux. C'est le rapport multiple par cent (100) de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur total du flocculat et de la partie sédimentée, nous avons:

- ✓ L'équivalent de sable piston : mesure au piston (E.S.P)
- ✓ L'équivalent de sable visuel :(E.S.V)

L'essai est réalisé à 20°C sur une fraction de sable passant par un tamis de 5mm.

A. Equivalent de sable visuel (E.S.V):

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- mesure également avec le régllet la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et fond de l'éprouvette.

$$ESV = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%)$$

Où $h_2 < h_1$.

h_1 : la hauteur du sable + élément fins.

B. Equivalent de sable par piston (E.S.P) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

- Introduire le réglelet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = \left(\frac{h_2'}{h_1} \right) \cdot 100(\%)$$

Tableau II.5 Equivalent du sable de sable concassé.

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV(%)	h_2' (cm)	ESP(%)
01	12,45	9,6	77,1	8,6	69,07
02	13,1	9,5	72,5	8,6	65,64
03	12,75	8,7	68,23	8,5	66,66

Tableau II.6 Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
$E.S < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 < E.S < 75$	$65 < E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 < E.S < 85$	$70 < E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
$E.S \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

On a :

ESV moy	72,61%	$65\% \leq \text{ESV} < 75\%$
ESP moy	67,33%	$65\% \leq \text{ESP} < 70\%$

Pour le sable concassé c'est un sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

II .2.1.7. Analyse granulométrique [NF P 18-304]

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations :

- ◆ Tamisage;
- ◆ Sédimentation;

La granularité est exprimée par une série des tamis Courbe granulométrique qui donne la répartition de La dimension moyenne des grains, exprimée sous Forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est trachéen diagramme semi-logarithmique avec :

- ◆ En abscisse, le logarithme de la dimension de Ouvertures des tamis en valeurs croissants
- ◆ En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau

◆ total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant). On constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de la classification du matériau.

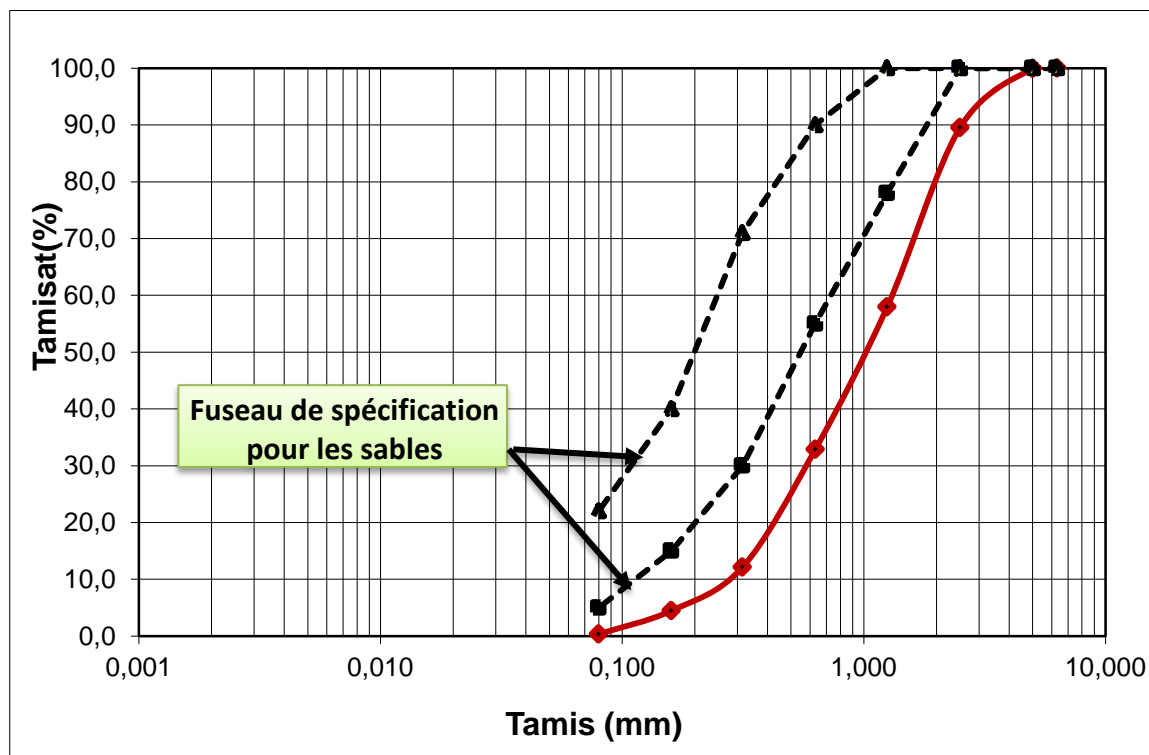


Figure II.2 La courbe granulométrique du sable concassé.

II .2.1.8. Module de finesse(EN 196-6)

Le module de finesse (MF) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

Avec:

R_i : refus cumulé en pour cent (%).

Tableau II.7 Classement des sables d'après le module de finesse.

Quantité de sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	1.0 à 1.5

◆ Donc, dans notre cas $M_f=5,6$

Pour le sable concassé >2,5 :C'est un sable gros

II .3. Sable de oued souf « djamaa »**II .3.1. Caractéristiques physiques du sable oued souf « djamaa »****II .3.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du Sable concassé.

Tableau II.8 Masse volumique absolue du sable de oued souf « djamaa ».

N° d'essai	M (g)	V ₂ (ml)	V ₁ (ml)	ρ _{abs} (g /ml)	ρ _{moy} (g /ml)
01	300	417	300	2,56	2,58
02	300	416	300	2,58	
03	300	415	300	2,6	

II.3.1.2. Masse volumique apparente: NF P 18-55

1-À l'état lâche:

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable concassé.

Volume de récipient $V_r=1000 \text{ cm}^3$.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.9 Masse volumique apparente du sable de oued souf « djamaa » à l'état lâche.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
01	1274	900	1,415	1,41
02	1266	900	1,406	
03	1271	900	1,412	

2- À l'état compact:

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du Sable concassé.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.10 Masse volumique apparente du sable de oued souf « djamaa » à l'état compact.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
01	1549,9	900	1,722	1,72
02	1555,7	900	1,728	
03	1551	900	1,723	

II.3.1.3. La porosité, la compacité et l'indice de vide

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant pour le sable de oued souf « djamaa » :

Tableau II.11 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de oued souf « djamaa ».

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
45,34	33,33	54,66	66,66	0,82	0,5

II .3.1.4. Equivalant de sable NF-18-598

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'équivalent du sable de sable concassé.

Tableau II.12 Equivalent du sable de sable de dune.

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV(%)	h_2' (cm)	ESP(%)
01	9,85	8,75	88,83	8,75	88,83
02	9,85	9	91,37	8,75	88,83
03	9,85	9	91,37	8,75	88,83

On a :

ESV moy	90,52%	ESV \geq 80%
ESP moy	88,83%	ESP \geq 80%

Pour le sable de oued souf « djamaa » c'est un sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II .3.1.5. Analyse granulométrique [NF P 18-304]

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable concassé.

Les résultats obtenus sont présentée dans la Figure II.3

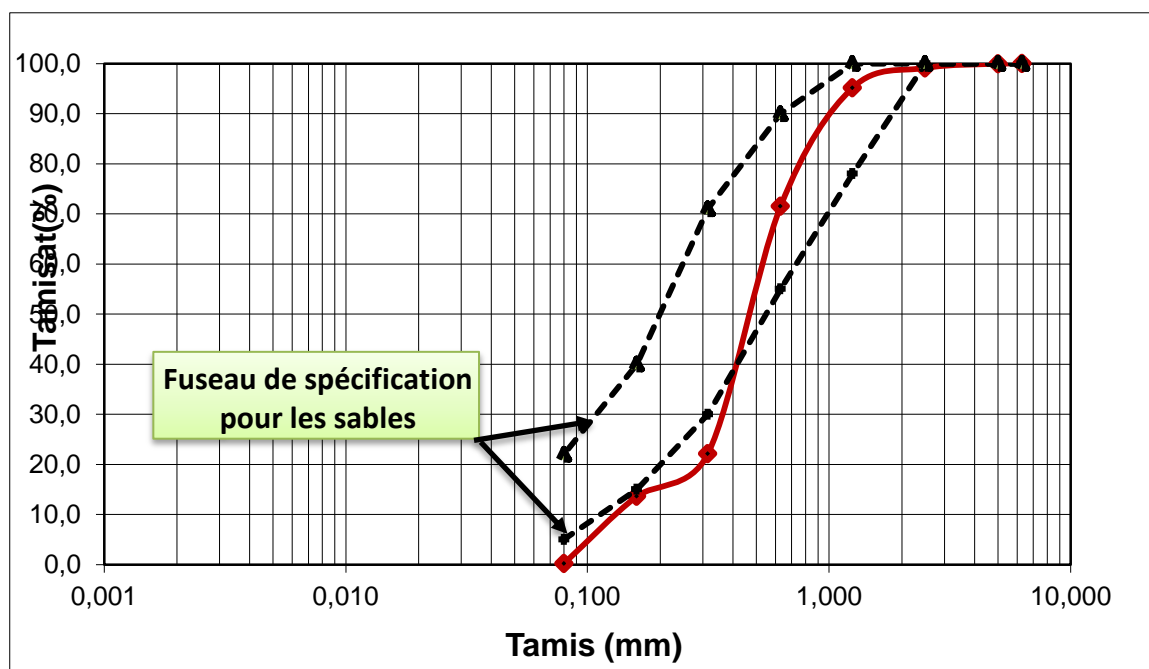


Figure II.3 La courbe granulométrique du sable de oued souf « djamaa ».

II .3.1.6. Module de finesse(EN 196-6)

Le module de finesse (MF) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

Avec:

Ri : refus cumulé en pour cent (%).

♦ Donc, dans notre cas $M_f=3,9$

Pour le sable de oued souf : $M_f>2,5$:C'est un sable gros

II .4. Sable mixte

Pour le sable mixte on a mélangé 1/3 du sable de oued souf « djamaa » et 2/3 du sable concassé [29].

II .4.1. Caractéristiques physiques du sable mixte**II .4.1.1. Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable concassé.

Tableau II.13 Masse volumique absolue du sable mixte.

N° d'essai	M (g)	V ₂ (ml)	V ₁ (ml)	ρ _{abs} (g /ml)	ρ _{moy} (g /ml)
01	300	412	300	2,67	2,64
02	300	412	300	2,67	
03	300	415	300	2,6	

II .4.1.2. Masse volumique apparente NF P 18-554**1-À l'état lâche:**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable concassé.

Volume de récipient $V_r=1000\text{cm}^3$.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.14 Masse volumique apparente du sable mixte à l'état lâche.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
01	1441	900	1,6	1,6
02	1445	900	1,6	
03	1444	900	1,6	

2- À l'état compact:

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable concassé.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau II.15 Masse volumique apparente du sable mixte à l'état compact.

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
01	1509,4	900	1,67	1,67
02	1505,1	900	1,67	
03	1514	900	1,68	

II.4.1.3. La porosité, la compacité et l'indice de vide

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant pour le sable mixte :

Tableau II.16 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable mixte.

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
39,39	36,74	60,61	63,26	0,64	0,58

II .4.1.4. Equivalant du sable NF-18-598

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'équivalent du sable de sable concassé.

Tableau II.17 Equivalent du sable de sable mixte.

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV(%)	h_2' (cm)	ESP(%)
01	11,3	8,5	75,2	8,2	72,5
02	11,4	8,7	76,3	8	70,1
03	11,5	8,9	77,3	8,4	73,1

ESV moy	76,26	75<ESV<85
ESP moy	71,9	70<ESP<80

Pour le sable mixte c'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

II .4.1.5. Analyse granulométrique [NF P 18-304]

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable concassé.

Les résultats obtenus sont présentée dans la Figure II.4

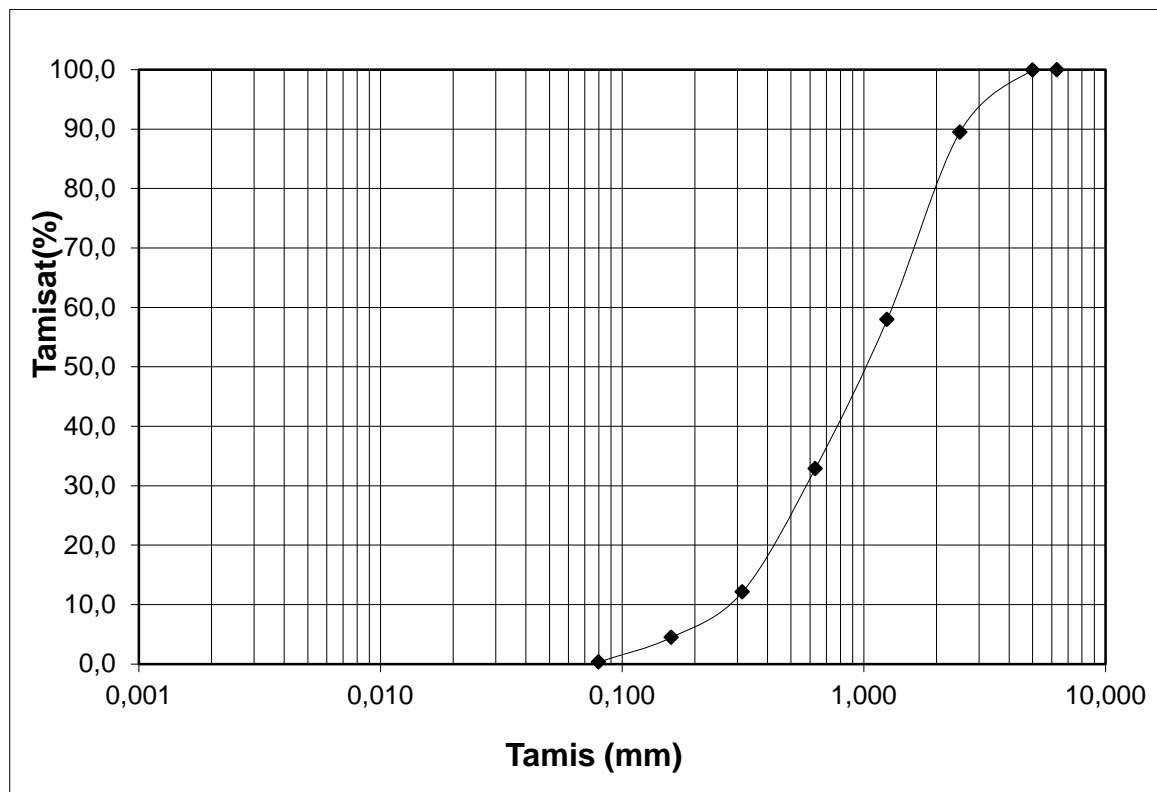


Figure II.4 La courbe granulométrique du sable mixte.

II .4.1.6. Module de finesse (EN 196-6)

Le module de finesse (MF) est une facteur très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

Avec:

R_i : refus cumulé en pour cent (%).

Donc, dans notre cas $M_f = 4.46$

Pour le sable concasse : $M_f > 2,5$: C'est un sable gros

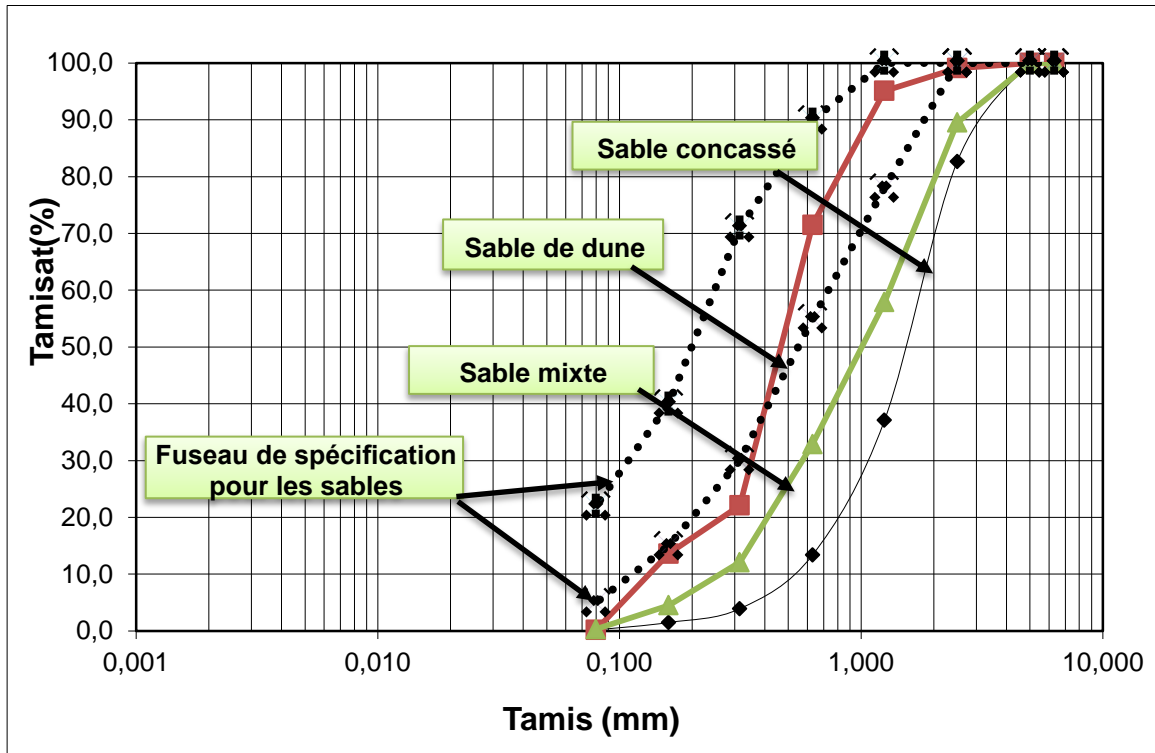


Figure II.5 Courbes granulométriques des sables utilisés.

Conclusion :

Les résultats des essais réalisés montrent que le sable mixte convient parfaitement pour l'utilisation dans un mortier par rapport aux autres sables, car les caractéristiques de sable mixte mieux que les autres.

Chapitre III :

Techniques expérimentales

Chapitre III : Techniques expérimentales

III.1. Introduction

Le but de notre travail est l'étude de l'effet de haute température sur les propriétés des mortiers adjuvés, ce chapitre est consacré à la recherche expérimentale des résultats obtenus du programme d'essais sont présente une discussion de ces résultats.

Dans ce travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de quatre compositions de mortier à savoir :

- Composition 1 : mortier formulé sans entraîneur d'air;
- Composition 2 : mortier formulé avec 0.01% d'entraîneur d'air (Sika et Granitex);
- Composition 3 : mortier formulé avec 0.08% d'entraîneur d'air (Sika et Granitex);
- Composition 4 : mortier formulé avec 0.1% d'entraîneur d'air (Sika et Granitex).

III.2. Composition du mortier

Le dosage d'entraîneur d'air est de (0.01%, 0.08% et 0.1%), (Sika et Granitex).

Avec :

SD : sable de oued souf « djamaa »

SC : sable concassé

Tableau III.1 Les compositions des mortiers.

	Ciment(g)	Sable(g) (1/3)SD+(2/3)SC	Entraîneur d'air	Rapport E/C
Composition1	450	1350	0%	0.55
Composition2	450	1350	0.01%	0.55
Composition3	450	1350	0.08%	0.55
Composition4	450	1350	0.1%	0.55

III.3. La confection des éprouvettes

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante : Préparer une série des moules des dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ (Figure III.1).



Figure III.1 Les moules des mortiers.

- Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- Placer les moules sur une table vibrante ;
- Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
- Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrante (Figure III.3), en appliquant 120 secondes. Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule ;
- Démouler les moules après 24 heures de leur confection.



Figure III.2 Malaxeur. Figure III.3 Table vibrante.

III.4. Conservation des éprouvettes

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau de robinet.

Le temps de conservation dans l'eau 28 jours.

Finalement les éprouvettes ont été exposées aux températures entre 200°C, 400°C et 600°C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/min (Figure III.4).

Le procédé expérimental appliqué repose sur un chargement thermique puis mécanique.



Figure III.4 Le four (Heraeus).



Figure III.5 Les éprouvettes dans une étuve.

III.5. A l'état frais des mortiers

III.5.1. Définition :

Le mortier est un matériau de construction formé par un mélange de ciment, de sable et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est modulable, il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon sa formulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier.



Figure III.6 Mesure de la fluidité du mortier.

III.6. A l'état durci de mortiers

III.6.1. Essai de compression (NF P 18-406)

➤ But de l'essai :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du mortier.

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression.

Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs :

- nature et dosage en ciment;

- rapport E/C;
- granulométrie et nature du sable;
- énergie de malaxage et mise en œuvre;
- protection les tous premiers jours.

❖ **Objectif de l'essai :**

La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier.

❖ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

❖ **Equipement nécessaire :**

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1. Il est énuméré cidessous.

Une salle maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %.

Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure à 90 %.

Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés "éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ ").

Une table vibrante permettant d'appliquer 120 secondes aux moles.

Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de $50\text{ N/s} \pm 10\text{ N/s}$. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé (Figure III.7).

Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de $2400\text{ N/s} \pm 200\text{ N/s}$. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que celui schématisé sur la (Figure III.8).

❖ **Conduite de l'essai**

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Avec le mortier normal préparé comme indiqué (à la partie supérieure), on remplit un moule $4 \times 4 \times 16$. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 120 secondes dans la table vibrante. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide.

Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 28 jours

III.6.1.1. Expression des résultats

On retient pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et on calcule la résistance (R) par la relation suivante :

$$R = F/S$$

Où : F : est la charge maximale (en KN).

S : est la surface de compression de l'éprouvette exprimée en millimètre carrée.

R : la résistance à la compression exprimée en MPa.



Figure III.7 Appareil de traction par flexion.



Figure III.8 Appareil de compression.

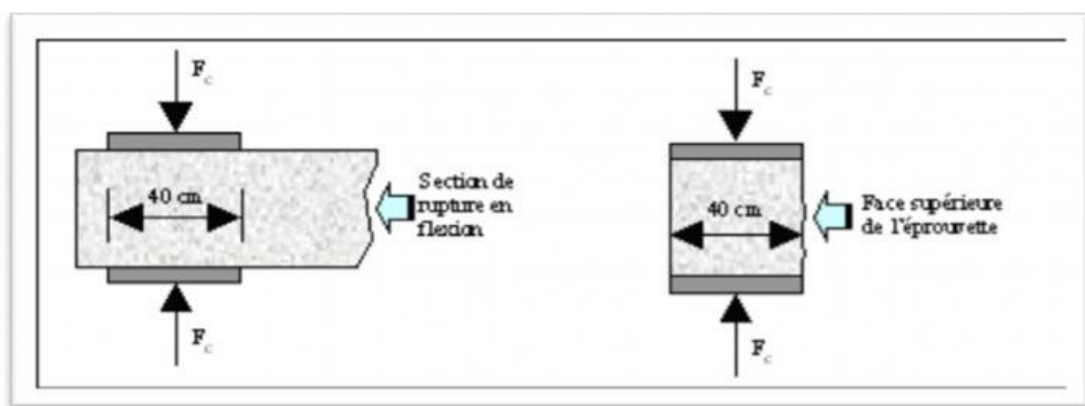


Figure III.9 Dispositif de rupture en compression.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront écrasés en compression comme indiqué sur la figure III.9. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

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

$$R_c(\text{Mpa}) = F_c(\text{N})/1600$$

III.6.2. Résistances à la traction (NF P 18- 408)

L'essai le plus courant est l'essai de traction par flexion. Il s'effectue en général sur des éprouvettes prismatiques d'éclatement 4, reposant sur deux appuis, sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

❖ Principe de l'essai:

Cet essai consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique, de côté a et de longueur $4a$.

❖ Equipement nécessaire:

Une machine d'essai de flexion de dimensions appropriées à l'éprouvette à tester répondant aux prescriptions des normes en vigueur.

❖ Conduite de l'essai:

Ce test a été réalisé sur des éprouvettes de mortier de dimensions $4 \times 4 \times 16$ cm à des âges 28 jours.

L'éprouvette était placée symétriquement entre les éléments de l'appareil de la flexion (Figure III.10). Deux de ces éléments servaient d'appuis, le troisième était destiné à appliquer un moment fléchissant au milieu de l'éprouvette. Après rupture de cette dernière les valeurs sont lues directement sur la règle de l'appareil d'essai ; la charge de rupture (en N), la contrainte de traction (en N/cm²) et la contrainte de flexion (en N/cm²). Les deux morceaux obtenus étaient marqués et testés en compression.

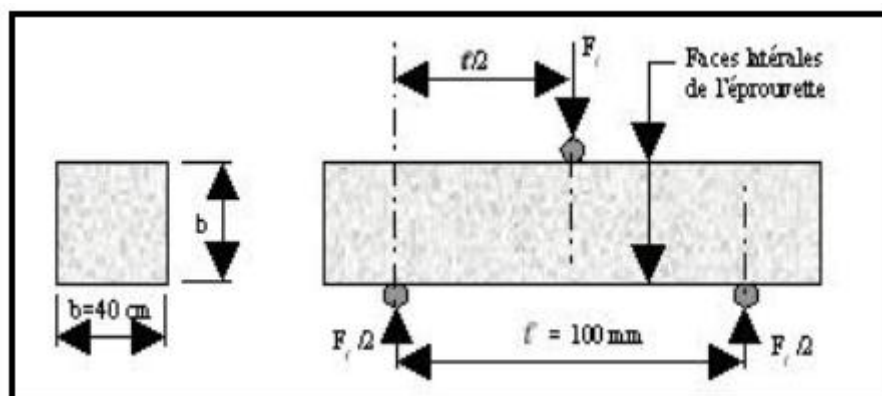


Figure III.10 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Si F_r est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $l/4 F_r$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1.5 I F_f}{b^3}$$

Cette contrainte est appelé la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l, Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :
 $R_f(\text{MPa}) = 0.234 F_f(\text{N})$.

III.6.3. Estimation de perte de masse

Les éprouvettes conservées dans l'eau ont été pesées d'abord, ensuite elles sont exposées aux fortes températures 20c°, 200c°, 400c°, 600c°. Les taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

$$T(\%) = (\Delta m \times 100) / m_1$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

T : taux de perte de masse.

m₁ : poids avant expositions à la température.

m₂ : poids après expositions à la température.

III.6.4. Capacité d'absorption

La capacité d'absorption d'un mortier donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides (pores). C'est une manière comme une autre de mettre en évidence la compacité du mortier durci. Plus le mortier est compact plus sa capacité d'absorption est faible et donc plus il est étanche. La capacité d'absorption est déterminée par une méthode simple. Les éprouvettes de mortiers sont pesées après étuvage (à 105°C) jusqu'à stabilisation de leurs poids soit (P_s). Ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau pendant 24 heures puis retirées et pesées, soit (P_h)leur poids. La capacité d'absorption est donnée par la relation suivante :

$$A(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Conclusion :

Dans ce chapitre on a montré la technique expérimentale de notre étude ainsi que la composition du mortier, la confection et la conservation des éprouvettes et on a expliqué aussi tous les essais utilisés sur le mortier étudié à l'état frais et durci.

Chapitre IV :
Résultats et interprétations

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers qui est exposé à trois niveaux de températures élevées (200, 400 et 600)°C selon les différentes combinaisons d'entraîneur d'air évaluer ses propriétés à l'état durci.

Avec:

- ✓ Composition 1 : Mortier de référence sans entraîneur d'air (témoin);
- ✓ Composition 2 : mortier formulé avec 0,01% d'entraîneur d'air (Granitex et Sika) ;
- ✓ Composition 3 : mortier formulé avec 0,08% d'entraîneur d'air (Granitex et Sika) ;
- ✓ Composition 4 : mortier formulé avec 0,1% d'entraîneur d'air (Granitex et Sika).

IV.2. Résultats des essais à l'état frais :

Les résultats des essais à l'état frais (après le gâchage directement) sont représentés sur les tableaux suivants :

L'affaissement :

Tableau IV.1 L'affaissement des mortiers.

Compositions des mortiers	L'affaissement (cm)
Composition 1	4
Composition 2	4,5
Composition 3	4,5
Composition 4	4,5

✚ La masse volumique

Tableau IV.2 Résultat de la masse volumique à chaque type de mortier (entraîneur d'air de GRANITEX)

Type d'entraîneur d'air	Granitex			
% d'entraîneur d'air	Sans Entraîneur d'air (témoin)	0,01%	0,08%	0,10%
Masse de moule + mortier(g)	14230	14191	14145,5	14061
Masse de moule vide (g)	12400	12400	12400	12400
Masse de mortier (g)	1830	1791	1745,5	1661
Volume de moule (cm ³)	768	768	768	768
Masse volumique (g/cm ³)	2,383	2,332	2,273	2,163

Tableau IV.3 Résultat de la masse volumique à chaque type de mortier (entraîneur d'air de SIKA)

Type d'entraîneur d'air	Sika		
% d'entraîneur d'air	0,01%	0,08%	0,10%
Masse de moule + mortier (g)	14181	14115	14095
Masse de moule vide (g)	12400	12400	12400
Masse de mortier(g)	1781	1715	1695
Volume de moule (cm ³)	768	768	768
Masse volumique (g/cm ³)	2,319	2,233	2,207

IV.3. Résultats des essais à l'état durci

IV.3.1. Résistance mécanique à la compression

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la compression en fonction de la température après 28 jours.

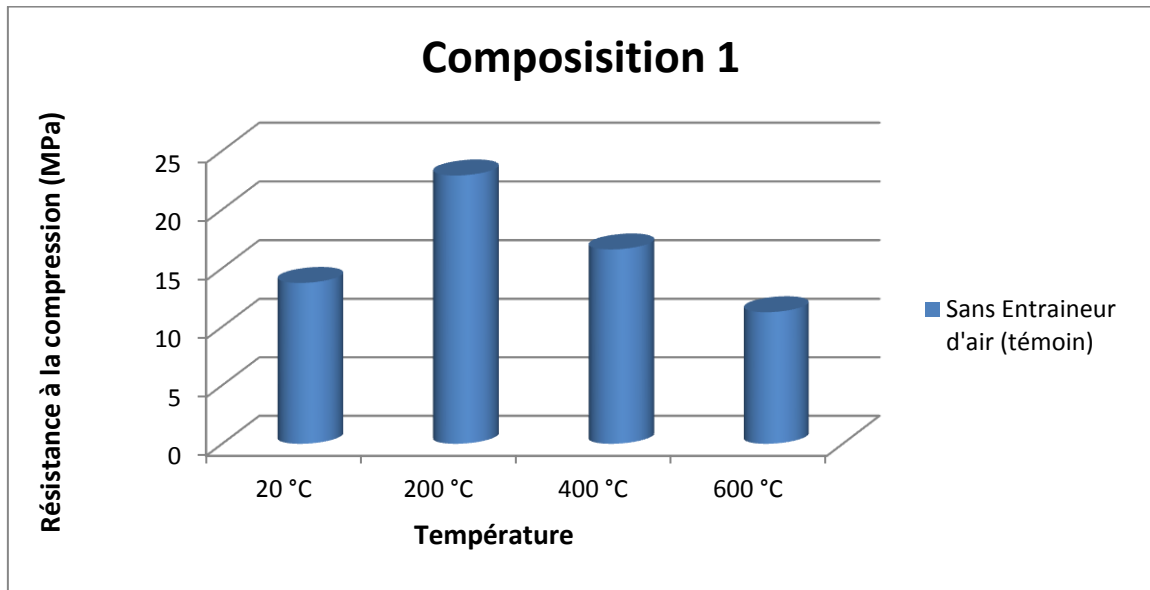


Figure IV.1: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Composition 1)

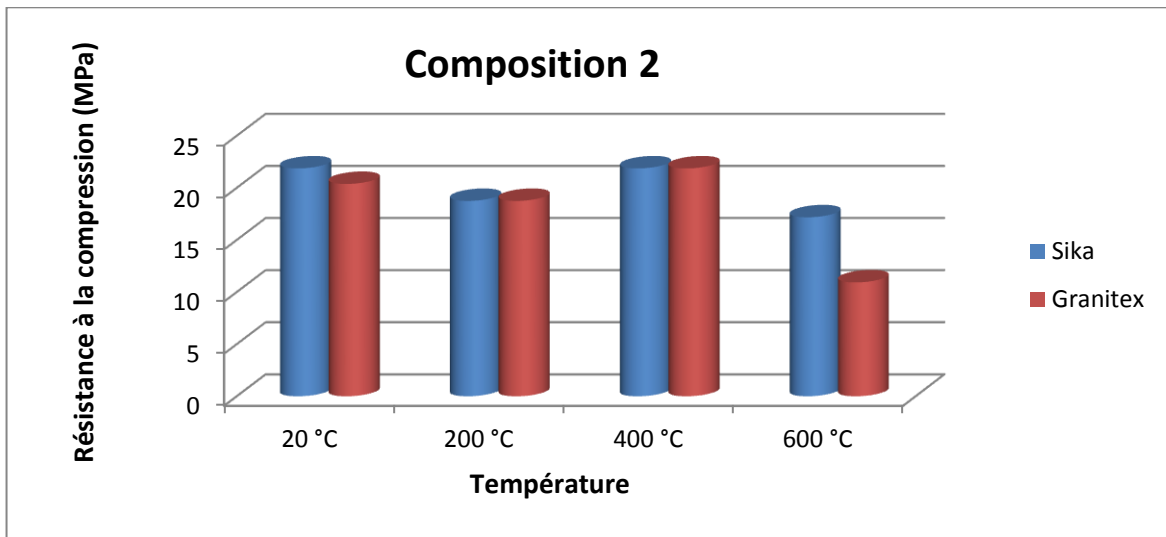


Figure IV.2: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Composition 2)

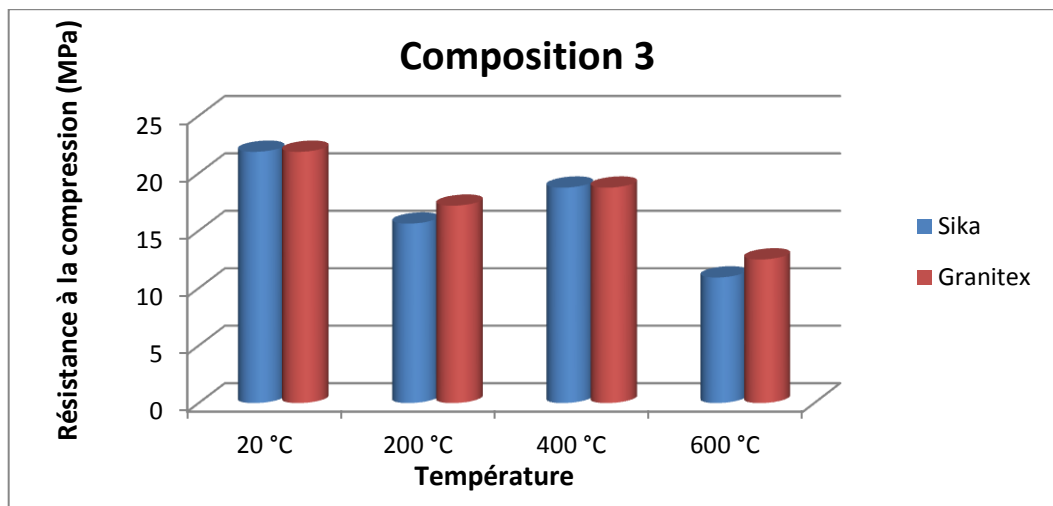


Figure IV.3: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Composition 3)

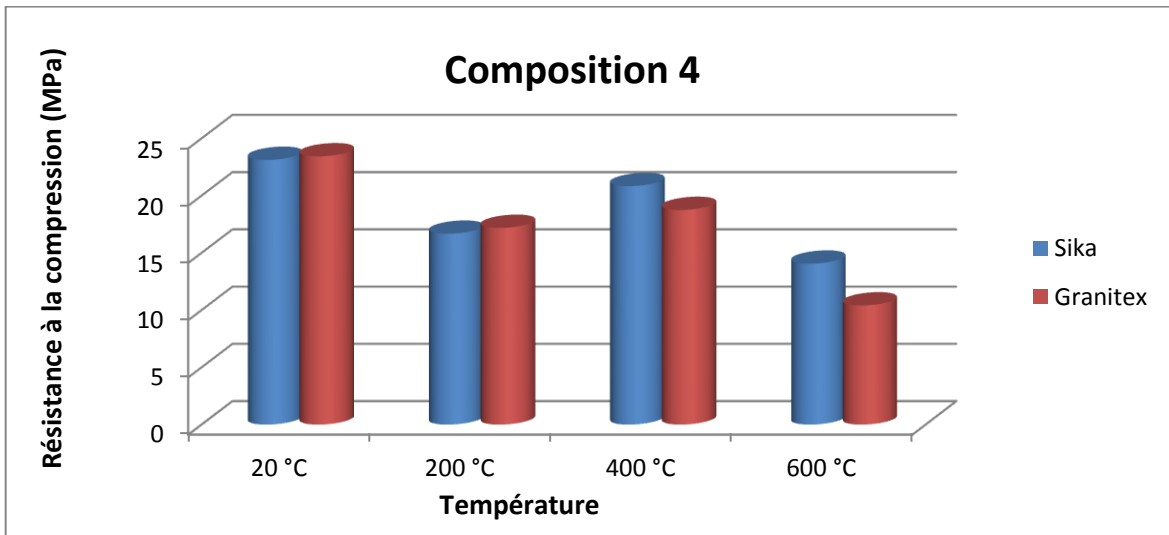


Figure IV.4: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Composition 4)

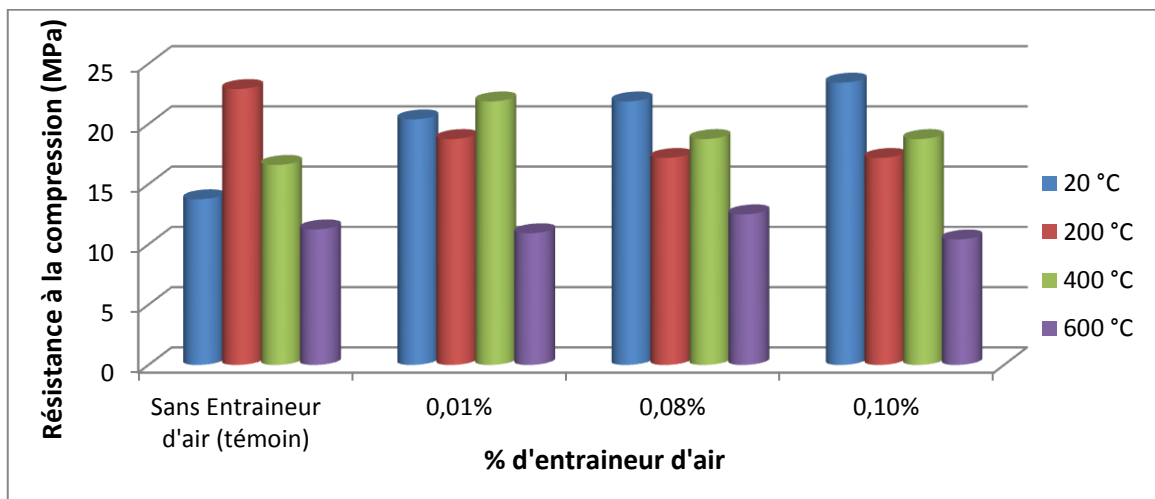


Figure IV.5: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Entraîneur d'air de GRANITEX)

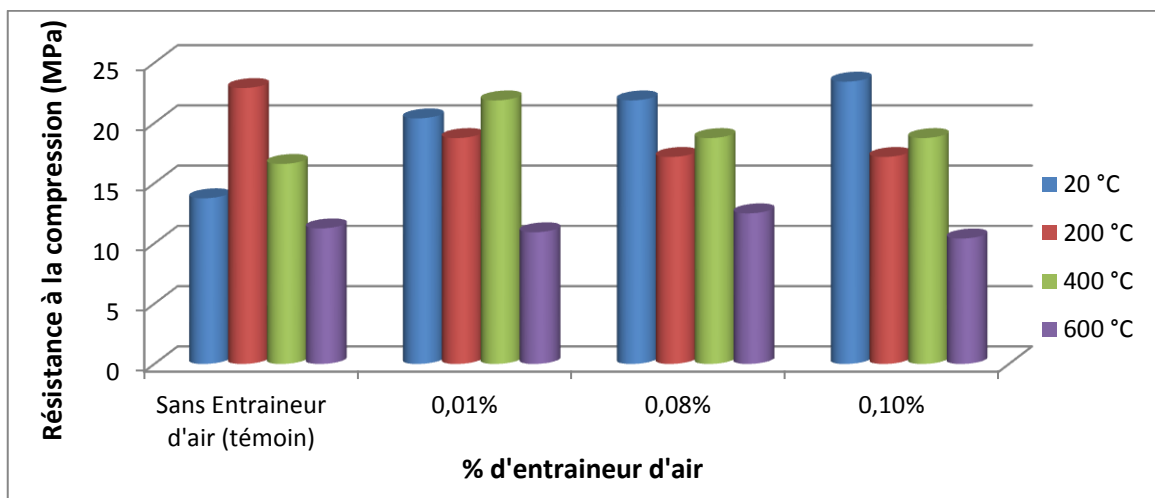


Figure IV.6: Résistance mécanique à la compression en fonction de la température (Entraîneur d'air de SIKA)

Interprétation des résultats:

La résistance à la compression de mélanges de composition 1 augmente en fonction de la température élevée jusqu'à 200 °C ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la température de 600 °C comme le montre la (figure IV. 1).

Pour les mélanges de composition (2, 3 et 4), les résistances à la compression est diminuer à la température de 200°C et après on remarque une augmentation de la résistance à 400°C Au-delà de cette augmentation la résistance chute à 600°C comme le montre les figures (IV. 2), (IV.3) et(IV.4).

L'analyse des résultats des figures (IV.1), (IV. 2), (IV.3), (IV.4), (IV.5) et (IV.6)montre que la résistance mécanique à la compression à haut température (200,400 et 600) °C de composition 2 présentent un pic de résistance à 400°C par rapport aux compositions (3 et 4) mais on observe une diminution de la résistance mécanique avec l'augmentation de la température par rapport à 20°C.

D'après les figures (IV.5) et (IV.6) on remarque quand on utilise l'entraîneur d'air de GRANITEX ou de SIKA l'effet de ces dernières en fonction de température élevée est presque le même.

IV.3.2. Résultats de la résistance mécanique à la flexion des mortiers

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la flexion en fonction de la température après 28 jours.

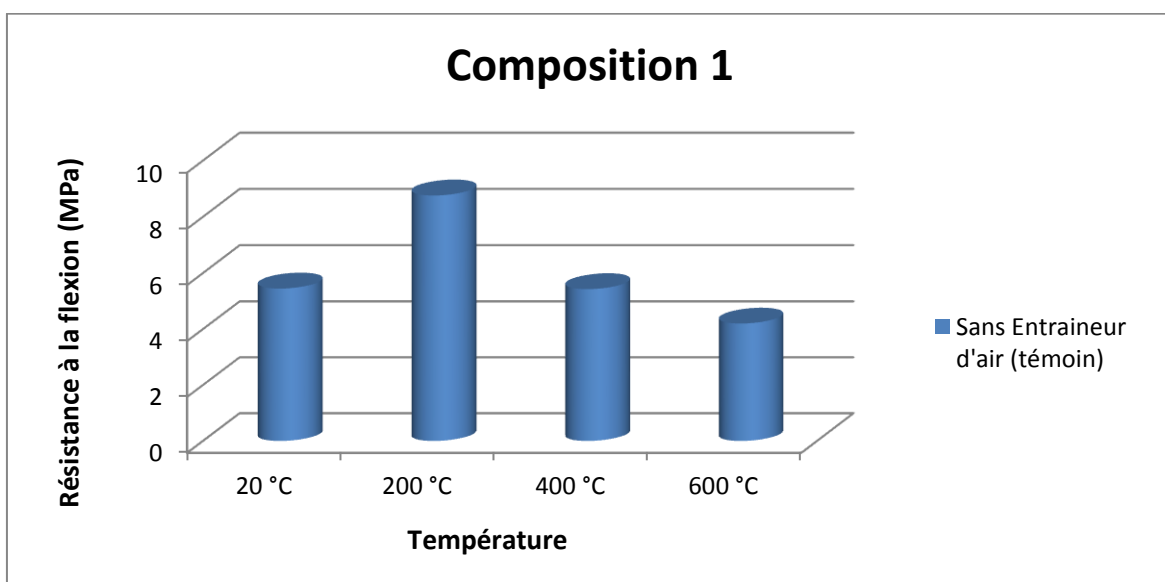


Figure IV.7 Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 1)

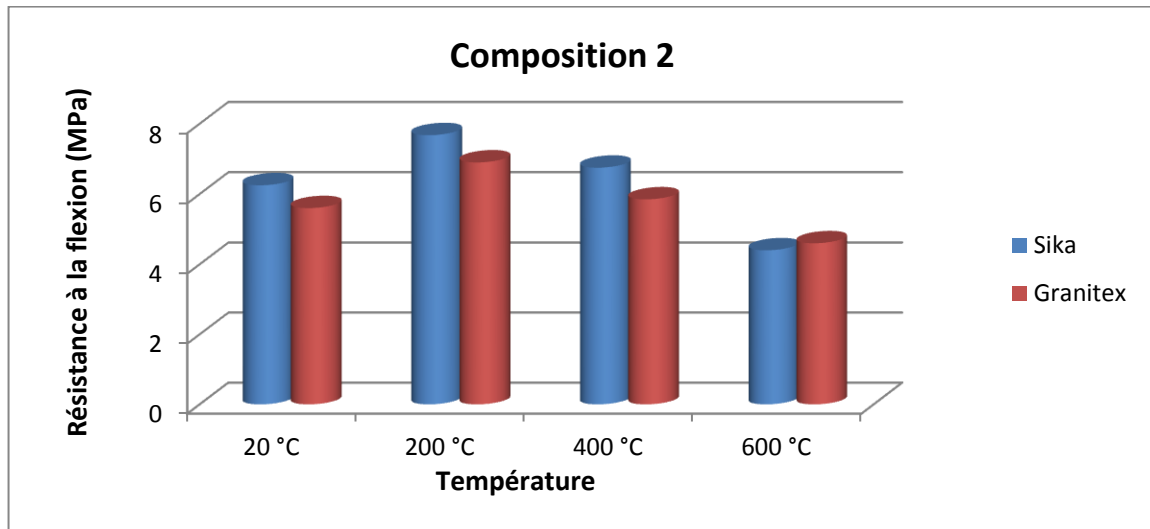


Figure IV.8 Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 2)

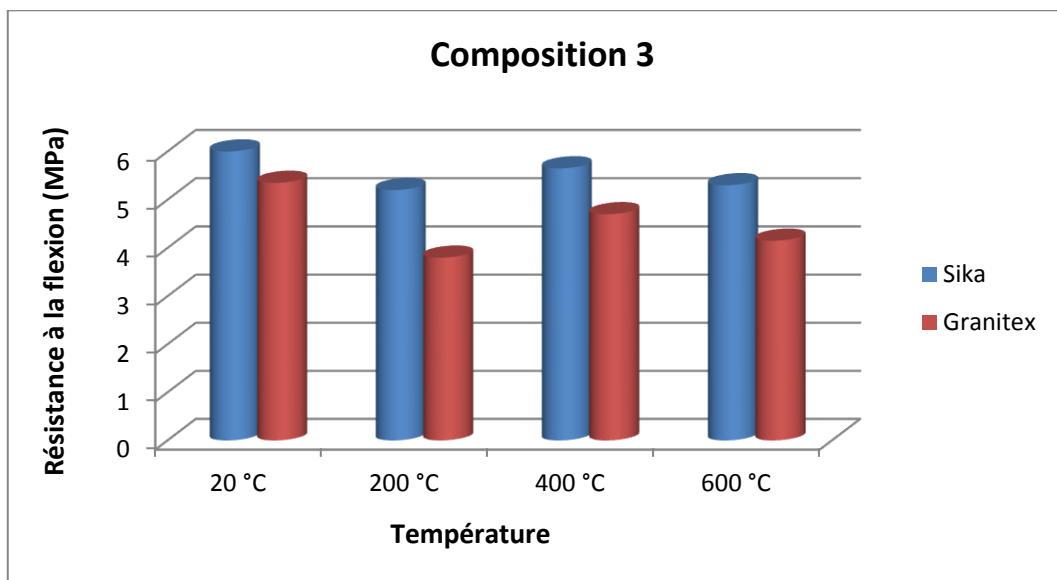


Figure IV.9 Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 3)

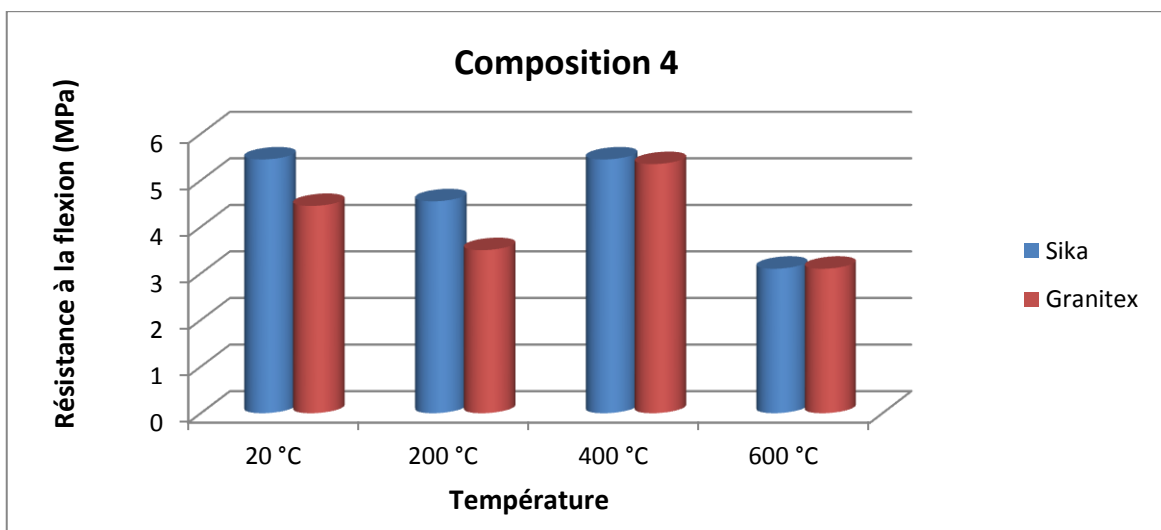


Figure IV.10 Résistance à la flexion en fonction de la température (Composition 4)

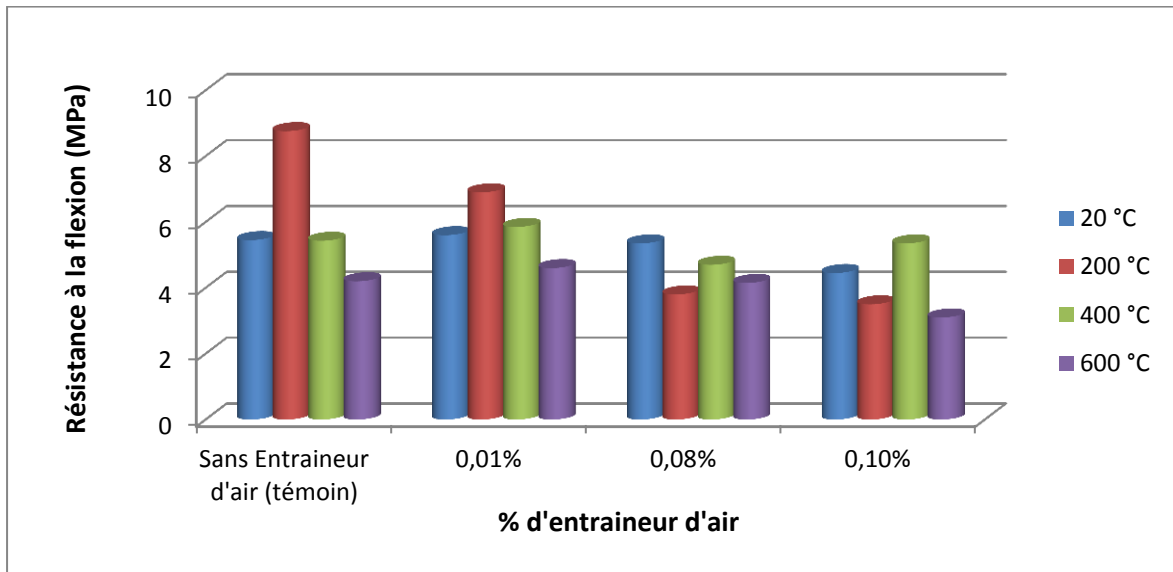


Figure IV.11: Résistance à la flexion en fonction de la température (Entraîneur d'air de GRANITEX)

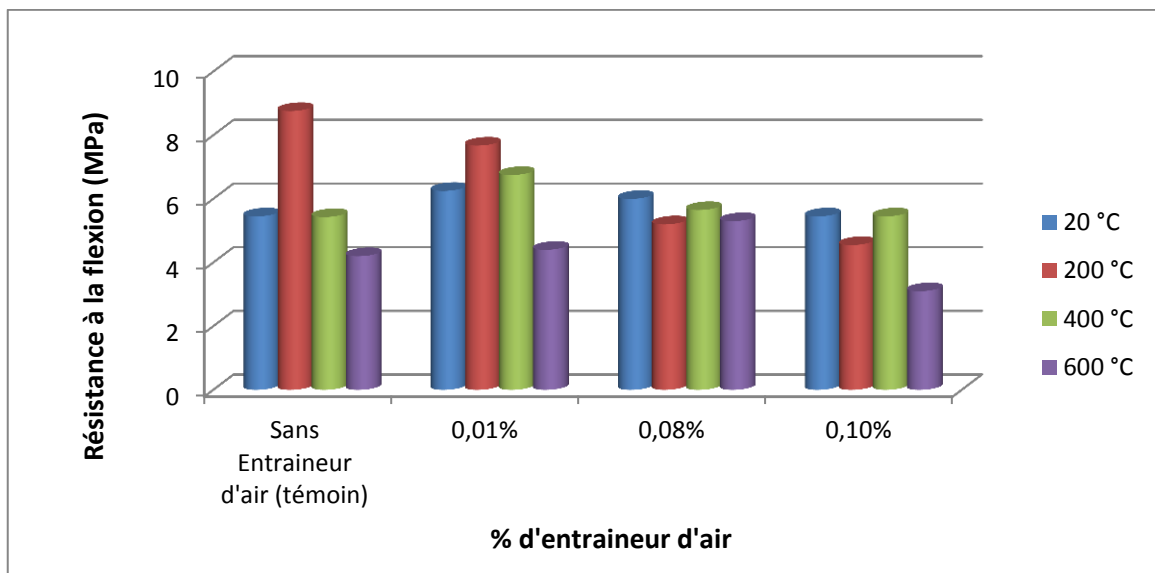


Figure IV.12: Résistance à la flexion en fonction de la température (Entraîneur d'air de SIKA)

Interprétation des résultats:

D'après les figures (IV.7), (IV.8), (IV.9), (IV.10), (IV.11) et (IV.12) on remarque que pour la composition 1 la résistance à la flexion est élevée à la température 200 °C par rapport aux autres compositions, et pour la composition 2 aussi la résistance à la flexion est élevée à la température 200 °C par rapport aux compositions 3 et 4.

Pour la qualité d'entraîneur d'air on remarque d'après les figures (IV.8), (IV.9), (IV.10) quelles compositions utilisant l'entraîneur d'air de SIKA la résistance à la flexion est élevée par rapport aux autres compositions utilisant l'entraîneur d'air de GRANITEX.

En comparant les résultats de la résistance à la compression avec celle de la résistance à la flexion on peut dire que la résistance à la flexion est plus influencée par la montée de la température.

IV.4. Résultats de la perte de masse

Les figures suivantes représentent les résultats de la perte de masse en fonction de la température après 28 jours.

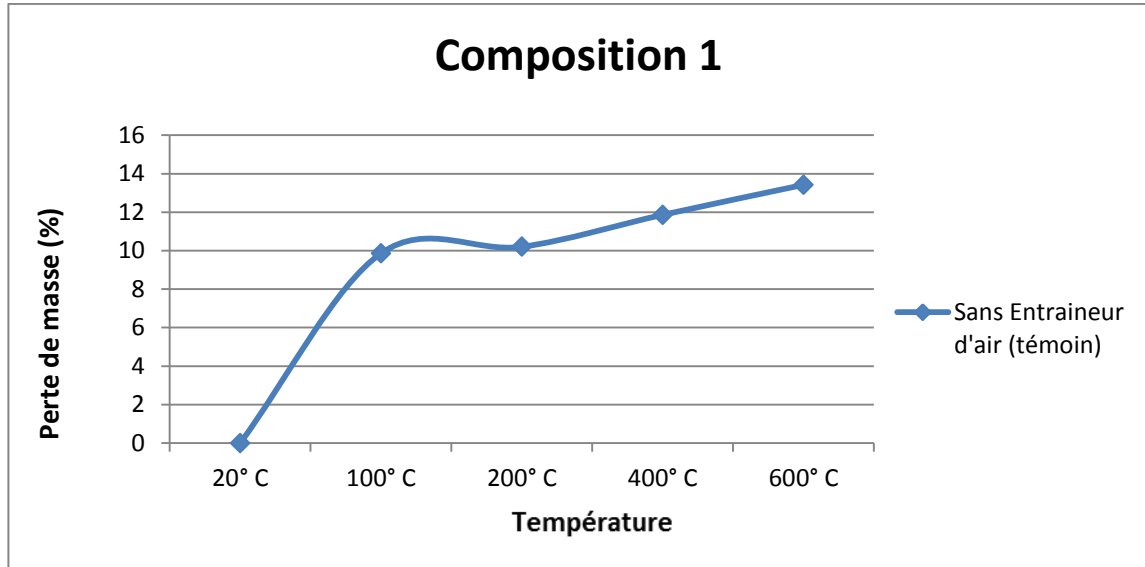


Figure IV.13 Perte de masse en fonction de la température (Composition 1)

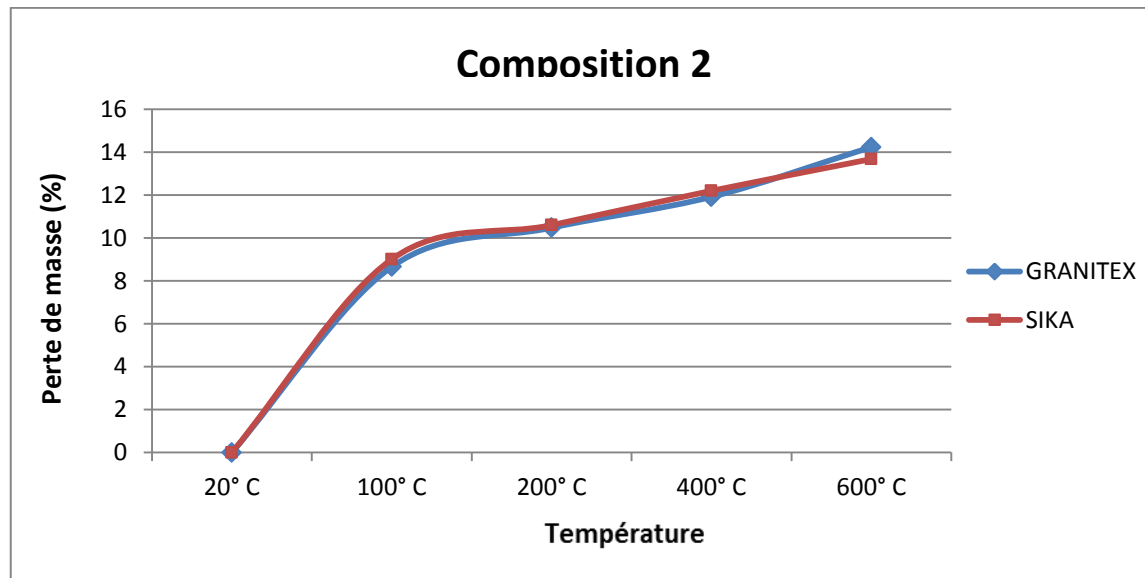


Figure IV.14 Perte de masse en fonction de la température (Composition 2)

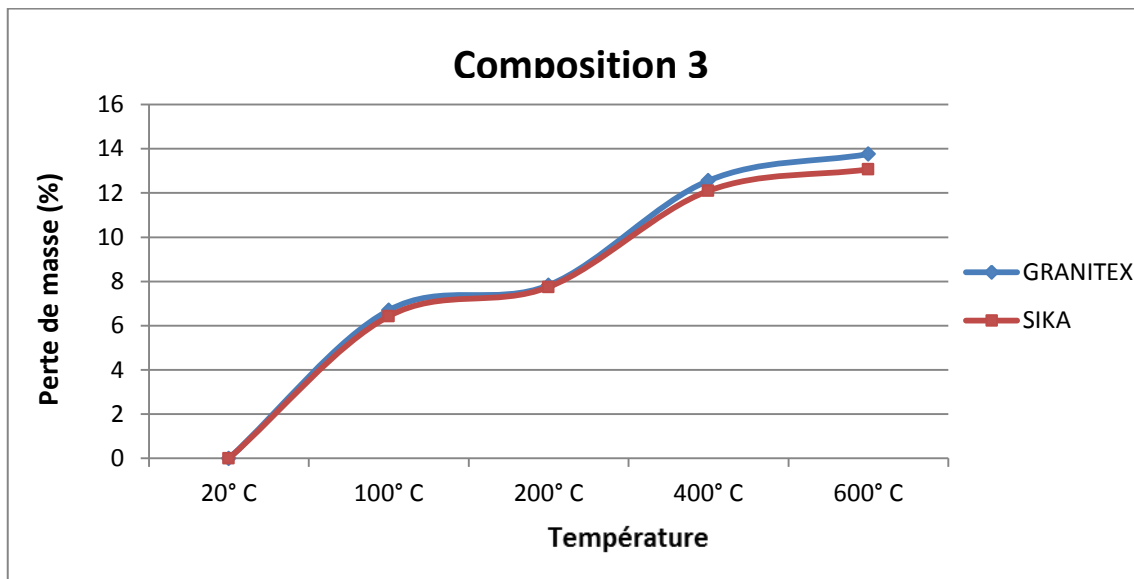


Figure IV.15 Perte de masse en fonction de la température (Composition 3)

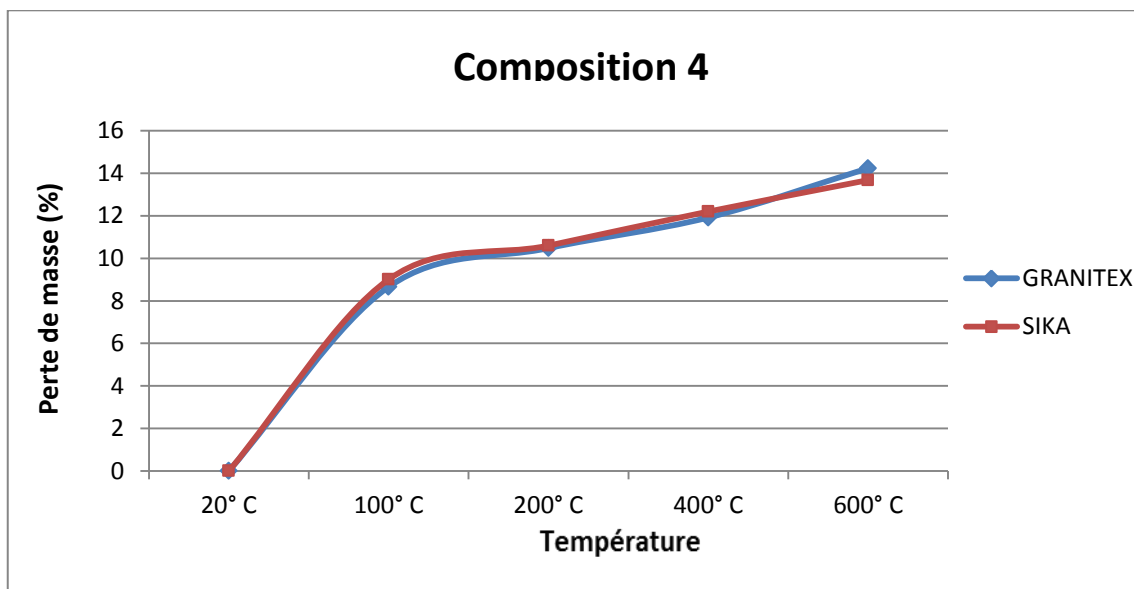


Figure IV.16 Perte de masse en fonction de la température (Composition 4)

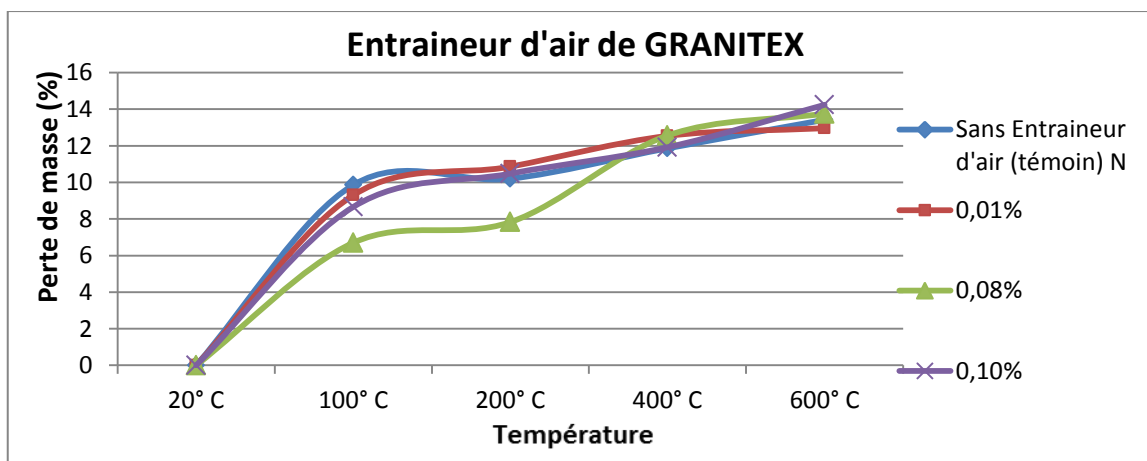


Figure IV.17 Perte de masse en fonction de la température (Entraîneur d'air de GRANITEX)

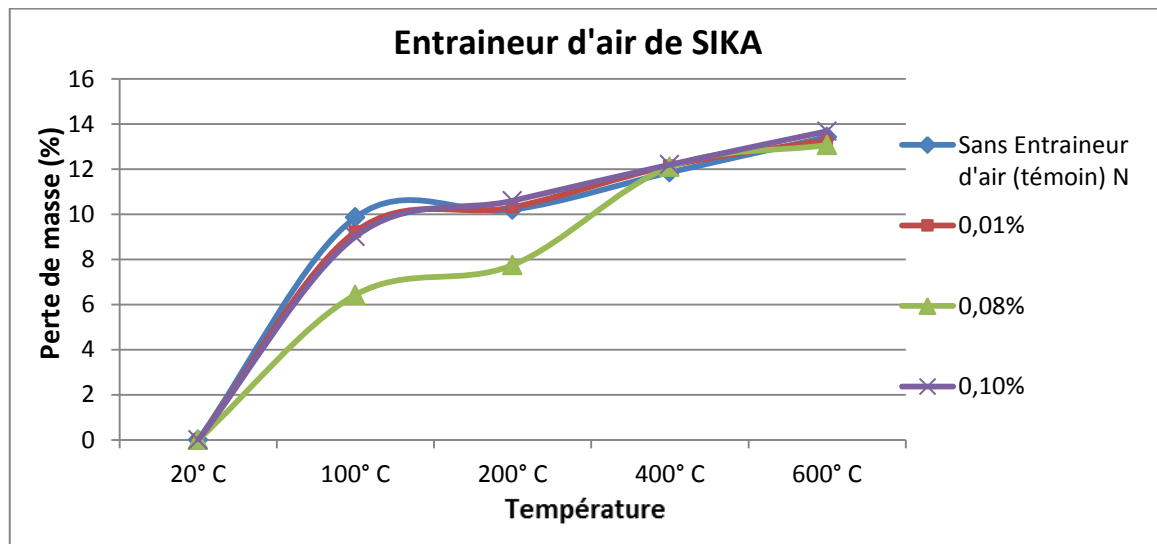


Figure IV.18 Perte de masse en fonction de la température (Entraineur d'air de SIKA)

Interprétation des résultats:

On remarque que la perte de masse augmente progressivement avec l'augmentation de la température jusqu'à 600°C.

Pour la composition 4 on remarque une augmentation de perte de masse avec l'augmentation de la température jusqu'à 14,24% à 600°C.

Pour la composition 2 on remarque une faible perte de masse jusqu'à 400°C par rapport aux autres compositions.

Entre 20 et 100°C, la perte de masse augmente rapidement, par contre entre 100 et 600°C, il y a une faible perte de masse.

IV.5. Résultats de la capacité d'absorption

Les figures suivantes représentent les résultats de la capacité d'absorption.

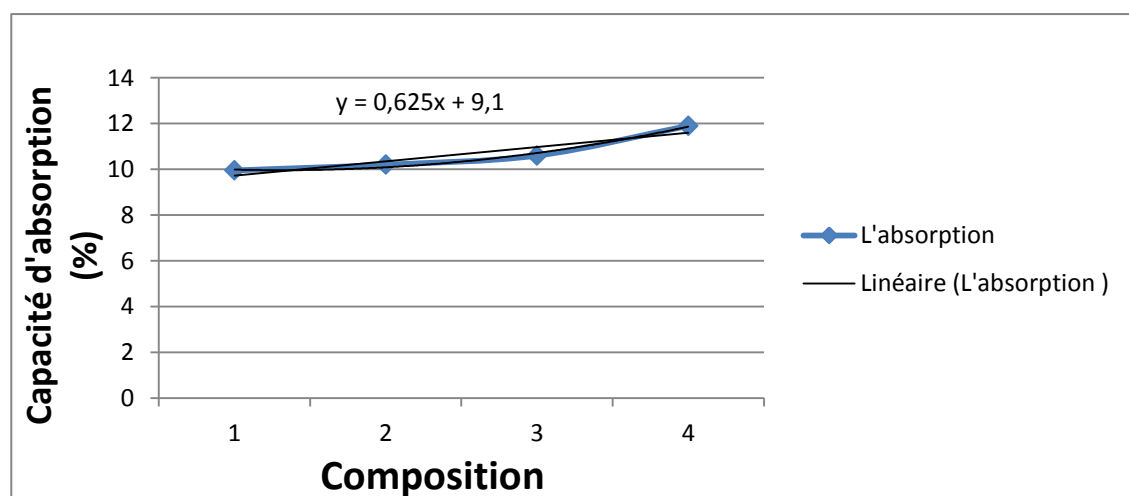


Figure IV.19. capacité d'absorption d'un mortier (Entraineur d'air de GRANITEX)

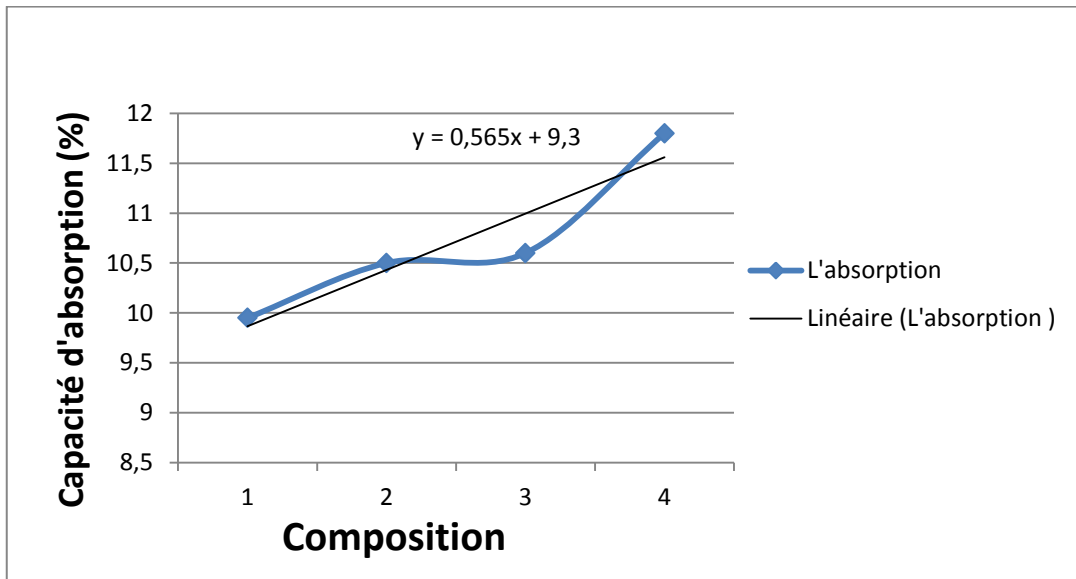


Figure IV.20. Capacité d'absorption d'un mortier (Entraîneur d'air de SIKA)

Interprétation des résultats:

La capacité d'absorption de mortier de la composition 1 (sans entraîneur d'air) est moindre par rapport aux autres compositions.

On remarque aussi que lorsqu'on augmente le pourcentage d'entraîneur d'air la capacité d'absorption augmente aussi, et cette augmentation est due à la capacité de l'entraîneur d'air d'introduire des bulles d'air dans le mortier.

Conclusion générale

Cette étude expérimentale de l'effet des adjuvants entraîneurs d'air sur le comportement des mortiers nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- En compression toutes les formulations de mortier présentent une augmentation de la résistance à la température ambiante sauf pour les compositions 1 et 2 qui présentent un pic de résistance à 200°C et 400° comparativement aux autres compositions.
- Toutes les compositions subissent des chutes de la résistance à 600°C, cela pourrait s'expliquer par une rigidification de la matrice et une accélération de l'hydratation.
- Les valeurs des résistances en flexion sont plus faibles que celles à la température ambiante.
- L'effet de la température élevée sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200°C), car l'évaporation se produit à une température voisine de (100°C), l'augmentation de la température s'expliquent par la perte progressive de l'eau contenue dans le mortier : une perte de l'eau libre à 200°C, une perte de l'eau chimiquement liée entre 200°C et 400°C et une perte liée aux dégradations des granulats entre 400°C et 600°C, cette déshydrations provoque des modifications microstructurales qui influent sur les résistances mécaniques.
- Lorsqu'on augmente le pourcentage d'entraîneur d'air la capacité d'absorption augmente.
- Avec l'ajout d'entraîneur d'air l'effet de la température sur le mortier devient moindre.

Références bibliographiques

[1] **Mounir Bellem** « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers » mémoire de master, université de M'sila, juin 2013.

[2] **Feldman R.F., Sereda P.J., (1968)**

A model of hydrated portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties. *Revue des Matériaux de Construction, RILEM*, vol. 6, pp. 509-519.

[3] **Sierra R., (1974)**

Contribution à l'étude de l'hydratation des silicates calciques hydrauliques, Rapport de recherche n°39, Laboratoire des Ponts et Chaussées.

[4] **Baroghel-Bouny V., (1994)**

Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Méthodes, analyses, interprétations. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

[5] **Noumowé N.A., (1995)**

Effet de hautes températures (20°C-600°C) sur le béton. Cas particulier du béton à hautes performances. Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon.

[6] **Harmathy T.Z., (1965)**

Effect of moisture on the fire endurance of building element. National Research Council, Research paper n°270 of the division of building research, Ottawa Canada.

[7] **Hertz K., (1984)**

Heat-induced explosion of dense concretes. Technical University of Denmark, Institute of Building Design, Report n°166.

[8] **Hilsdorf H.K., (1967)**

A method to estimate the water content of concrete shields. *Nuclear Engineering and Design*, vol. 6, pp. 251-263.

[9] **Harmathy T.Z., (1970)**

Thermal properties of concrete at elevated temperatures. *ASTM Journal of Materials*, vol. 5, pp. 47-74

[10] **Diederichs U., Jumpanen U.M. et Penttala V., (1992)**

Behaviour of high temperatures. Espoo 1989, Helsinki University of technology, Department of Structural Engineering, Report 92, pp. 723.

[11] **Bazant Z.P., Kaplan M., (1996)**

Références bibliographiques

Concrete at high temperature: material behaviour and mathematical modelling. London: Longman Concrete Design and Construction Series, pp. 412.

[12] Piasta J., Sawicz Z., Rudzinski L., (1984)

Changes in the structure of hardened paste due to high temperature. *Materials and Structures*, vol. 17, n°100, pp. 291-296.

[13] Bazant Z.P., Wittmann F.H., (1982)

Creep and Shrinkage in Concrete Structures. John Wiley & Sons.

[14] Harada T., Takeda J., Yamane S., Furumura F., (1973)

Strength, elasticity and thermal properties of concrete subjected to elevated temperatures. Concrete for nuclear reactors, Detroit : American Concrete Institute, SP-39, pp. 179-203.

[15] Dias W.P.S., Khoury G.A., Sullivan P.J.E., (1990)

Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperatures up to 700°C (1292°F). *ACI Material Journal*, vol. 87, Issue 2, pp. 160-165.

[16] Khoury G.A., Sullivan G.P.E., Grainger B.N., (1984)

Radial temperature distributions within solid concrete cylinders under transient thermal states. *Magazine of concrete research*, vol. 36.

[17] Harmathy T.Z., Allen L.W., (1973)

Thermal properties of selected masonry unit concretes. *Journal of American concrete Institute*, vol. 70, n°2, pp. 132-142.

[18] De Sa C., (2007)

Etude hydromécanique et thermomécanique du béton : Influence des gradients et des incompatibilités de déformation. In Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan.

[19] Noumowé A., (2003)

Temperature Distribution and Mechanical Properties of High Strength Silica Fume Concrete at Temperatures up to 200°C. *ACI Materials Journal*, n°100-M39, pp.326-330

[20] Alarcon-Ruiz L., Galle C., Massieu E., (2002)

Analyse de l'évolution de la porosité des pâtes de ciment à haute température. *Matériaux Tours*.

[21] Kalifa P., Tsimbrovska M., (1998)

Comportement des BHP à hautes températures, état de la question et résultats expérimentaux. *Cahier de CSTB*, 3078.

Références bibliographiques

[22] **Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan G.P.E., (1985)**

Strain of concrete during first heating to 600°C under load. Magazine of Concrete Research, vol. 37, pp. 195-215.

[23] **Felicetti R., Gambarova P.G., Sora M.N., Khoury G.A., (2000)**

Mechanical behaviour of HPC and UHPC in direct tension at high temperature and after cooling. Fifth RILEM symposium on fibre-reinforced concretes, n°5, pp.749-758, France, Lyon.

[24] **TC44-PHT, Rilem Technical Committees 44-PHT, (1985)**

Behaviour of Concrete at high temperature. Technical Report Ed. by, U. Schneider, Dept. of Civil Engineering. Germany.

[25] **Bamonte P., Felicetti R., (2007)**

On the tensile behaviour of thermally-damaged concrete. Proceedings of the 6th International conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structure - FraMCoS6, vol. 3:8.

[26] **Tabet Nesrin**, Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico-mécanique des béton autoplaçants fibres(BAPF), mémoire de magistère, université M'hamed Bougara - Boumerdes .2012.

[27] **Ezziane Mohammed**, Formulation et tenue au feu des matériaux cimentaires renforcés de fibres de différentes natures, thèse de doctorat, cotutelle entre L'Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem et L'Institut National des Sciences Appliqués de Rennes.2012.

[28] **ZAIDI Imane et BEN ABDELAZIZ Saloua**, Contribution à Etude de l'effet de la nature de l'adjuvant sur les propriétés physico – mécanique d'un mortier soumis à hautes températures, mémoire de master, université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.2017.

[29] **Tebbal Nadia, and Zin El Abidin Rahmouni**, « Influence of Local Sand on the Physicomechanical Comportment and Durability of High Performance Concrete. »Advances in civil Engineering 2016 (2016): 126-135.

Annexe

Fiche technique de ciment



Ciment
MATINE
Ciment pour béton exigeant

MATINE

Ciment pour béton exigeant
CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301194.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Béton structural en milieux agressifs.
- Travaux hydrauliques et souterrains.
- Travaux maritimes.
- Ouvrages massifs.



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment  50 _N	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	+ X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	<3.0
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	<4.0
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.09

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	200±30
Fin de prise (min)	300±30

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3

• Résistance à la compression

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

• Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	30±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 500 - 4 500
Retrait à 28 days (µm/m)	< 800
Expansion (mm)	≤ 5.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

LAFARGE
لافارج

Fiche technique d'entraîneur d'air

NOTICE TECHNIQUE

2 1 0 3

MEDA-AIR

Conforme à la norme EN 934-2: Tab 8

Entraîneur d'air

DESCRIPTION

Le **MEDA-AIR**, est un entraîneur d'air sous forme liquide à diluer dans l'eau.

Le **MEDA-AIR** permet d'augmenter la quantité d'air occlus dans le béton en y formant des micro bulles d'air uniformément réparties qui protègent le béton contre le cycle gel/dégel.

DOMAINES D'APPLICATION

- Béton soumis aux cycles de gel/dégel
- Bétonnage par temps froid
- Ouvrages exigeant de hautes résistances à la compression tels que les ouvrages d'art, barrages, digues...
- Béton extrudés
- Utilisé pour les bétons en milieu agressifs

PROPRIÉTÉS

Sur béton frais :

- Augmentation de la cohésion
- Diminution de la ségrégation
- Amélioration de la maniabilité

Sur béton durci :

- Amélioration des résistances aux cycles gel/dégel.
- Amélioration de l'aspect au démoulage

CARACTÉRISTIQUES

- Forme Liquide
- Densité 1,00 (\pm 0,01)
- pH 7-8
- Ions chlorés < 1%

MODE D'EMPLOI

Mélanger le **MEDA-AIR** avant son utilisation afin de l'homogénéiser.

MEDA-AIR est introduit dans le malaxeur mélangé

à l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant au béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Ne pas introduire le **MEDA-AIR** sur les composants secs du béton.

Le **MEDA-AIR** peut être utilisé en association avec les plastifiants et super plastifiants :

MEDAPLAST SP, MEDAFLUID SF, MEDAPLAST SP 40 et MEDAFLOW 30.

NB : La couleur n'a aucune incidence sur les caractéristiques techniques du produit.

DOSA GE

Plage de dosage recommandée :

0,01% à 0,1% du poids de ciment,

soit 0,01 litre à 0,1 litre par 100 kg de ciment.

Le dosage dépend de la quantité d'air occlus désirée mais aussi de la composition du béton et de ses caractéristiques.

Il est recommandé de procéder à des essais préalables afin de déterminer le dosage optimal.

Tout surdosage entraînera des pertes de résistance.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

En bidon de 10 kg en fût de 225 kg.

Stocker à l'abri du soleil à une température comprise entre 5°C et 35°C.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine et à l'abri du gel.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CHERIB** en Avril 2007

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 convergence pour déterminer le bon dosage 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.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



Résumé

Ce travail de recherche comprend une étude expérimentale de l'effet des hautes températures sur les propriétés mécaniques et physiques, des mortiers formulés avec un adjuvant entraîneur d'air.

Le mortier a été exposé à trois niveaux de températures élevées (200, 400 et 600) °C avec une montée en température de 10 °C/min, sans aucune charge imposée pendant le chauffage. Nous avons étudié ainsi les propriétés mécaniques, notamment: la résistance à la compression, à la traction par flexion ainsi que la perte de masse et la capacité d'absorption.

Les résultats obtenus montrent le bon comportement des mortiers formulés avec un entraîneur d'air à haute température. Jusqu'à environ 400°C, et la diminution de la résistance en compression est négligeable par rapport à la résistance à la flexion qui est très influencé par la montée en température. L'effet de l'entraîneur d'air sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200°C), car l'évaporation se produit à une température voisine de 100°C.

Mots clés : Mortier, Résistance mécanique, Haute température, Perte de masse, Entraîneur d'air.

Abstract

This research includes an experimental study of the effect of high temperatures on the mechanical and physical properties of mortars formulated with an air-entraining agent.

The mortar was exposed to three high temperature levels (200, 400 and 600) °C with a temperature rise of 10 °C / min, without any load imposed during heating.

We have studied mechanical properties such as : compressive strength, bending tensile strength, mass loss and absorption capacity.

The results showed the good behavior of the mortars formulated with a high temperature air-entraining agent. Up to about 400 °C and the decrease in compressive strength is negligible compared to the bending strength which is very influenced by the rise in temperature. The effect of the air-entraining agent on the loss of mass was only visible at the first temperature (200 °C), because the evaporation occurs at a temperature close to 100 °C.

Key words: Mortar, Mechanical resistance, High temperature, Loss of mass, Air-entraining agent.

ملخص

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية لتأثير الحرارة على الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للملاط باستعمال إضافة الهواء المحبوس.

حيث تم تعريض الملاط لدرجات حرارة عالية بثلاث مستويات هي (200، 400 و 600) درجة مئوية بارتفاع قدره عشر درجات مئوية في الدقيقة ودون فرض أي حمولة أثناء التسخين. وتمت دراسة الخواص الميكانيكية للملاط في درجات حرارة مرتفعة مختلفة تشمل قوة الضغط الشد بالانحناء وفقدان كتلة و كذا المسامية.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها سلوكًا جيدًا للمونة المصممة بإضافة الهواء المحبوس بدرجة حرارة عالية تصل إلى حوالي 400 درجة مئوية ، وانخفاض قوة الانضغاط لا يكاد يذكر مقارنة مع قوة الانحناء التي تتأثر جدا بارتفاع درجة الحرارة. وكان تأثير إضافة الهواء المحبوس على فقدان الكتلة مرتبًا فقط عند درجة الحرارة الأولى (200 درجة مئوية) ، لأن التبخر يحدث عند درجة حرارة قريبة من 100 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: الملاط ، المقاومة الميكانيكية، الحرارة العالية، فقدان الكتلة، إضافة الهواء المحبوس.