



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Construction

Présenté par :

BENSAADI ASMA

BENSAID HANANE

Sujet du mémoire

**ETUDE DU COMPORTEMENT DES MORTIERS DE
CIMENT A BASE D'UN MELANGE DE LA
CHAMOTTE – FUMEE DE SILICE.**

Soutenu publiquement le 05/06/2017 devant le jury composé de :

Mr : CHEIKH .A

Mr : BELMAHI .S

Mr : KRIM. A

Mr : HEBALI. H

Mr : R.BENFERHAT

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Remercîment

On tient tout d'abord à remercier DIEU pour nous avoir donné la force et la foi dans les moments difficile d'éditer ce mémoire ;

Puis en second lui on remercie notre encadreur monsieur BELMAHI SAMIR pour sa patience, et surtout sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bien vaillance ;

Un grand merci à Tous les membres des jurys monsieur CHEICH.M LE, et aussi a monsieur KRIM.A, HEBALI.M, BENFARHAT.R, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur Bienveillante attention ;

On tient à exprimer nos plus profonde reconnaissance envers nos parents qui nous on soutenu et motiver tout au long de notre vie pour nous rendre meilleure et on arriver jusque la;

Nos remercîment d'adresse aussi à nos sœurs, pour leurs encouragements permanant et leurs soutien moral, et nos frères, neveux et nièces, tantes et oncles, cousins et cousines ;

Nos amis et amies qui n'ont pas cessé de nous encourager.

dedicace

Je dédie ce mémoire a mes parent en premier lieu ;

Ma mère, pour tout son amour et soutien, tous les sacrifices et ses précieux conseils, pour sa présence dans ma vie.

Mon cher père, pour toutes les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanant ;

Mes sœurs : Nawel, Yasmine, Lamia, Lila, Fatiha, Anissa, Nesrine, et enfin Liza ;

Mes petits neveux : Younes et Mahdi ;

Mes tantes et oncles, mes cousins et cousines ;

Ma grand-mère et mon oncle qu'ils reposent en paix ;

Mon très cher ami Oussama et tous mes amis ;

Et pour finir Mon encadreur Monsieur Belmahi.S.

Asma

dedicace

Je dédie ce mémoire a mes parent en premier lieu ;

Ma mère, pour tout son amour et soutien, tous les sacrifices et ses précieux conseils, pour sa présence dans ma vie.

Mon cher père, pour toutes les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanant ;

Mes frères et sœurs;

Mes petits neveux et mes nièces ;

Mes tantes et oncles, mes cousins et cousines ;

Mes amis et mes amies ;

Et pour finir Mon encadreur Monsieur Belmahi.S

Hanane

RESUME

Ce travail de recherche réalisé consiste à étudier le comportement des mortiers de ciment à base d'un mélange de la chamotte et de fumée de silice évaluée à 28 jours. Il est a noté que ce travail a été réalisé en collaboration avec un deuxième binôme qui cherche à savoir l'effet du filler calcaire sur le mortier de chamotte.

L'idée principale est de fabriquer un mortier de chamotte pour savoir la limite de l'utilisation de cette dernière et de comparer ce mortier avec un mortier de sable normale. Les résultats ont montré et confirmé que la chamotte ne peut pas donner des résistances meilleures qu'un sable normalisé. Il est a noté que cette partie de travail a été réalisé en collaboration avec un deuxième binôme qui cherche à savoir l'effet du filler calcaire sur le mortier de chamotte.

L'idée secondaire est d'introduire la fumée de silice comme un ajout, les pourcentages proposés sont varié de 2.5 % à 10 %, substitués de la masse de ciment. Les résultats ont montré que la substitution d'une partie de ciment par la fumée de silice aide à améliorer la résistance de ce type de mortier et que la meilleure fraction est fixée à 5 %.

Par la suite et vu l'utilisation de la chamotte qui reste liée toujours à la température, on a pu sujet quelques éprouvettes à une température élevée qui dépasse 1000°C par l'utilisation du four de la fonderie de l'acier de l'entreprise de fonderie de Tiaret. Dans ce cas on a constaté que les mortiers de chamotte fabriqués, résistent bien à des températures élevées contrairement aux mortiers de ciment qui ont été endommagé à l'intérieur du four avant que la température atteint 1000°C .

Mots clés : Mortier, Chamotte, fumée de silice, Resistance, Compression, Traction.

ABSTRACT

This research project consists of studying the behavior of cement mortars based on a mixture of clay and silica-fumes at a young age (28 days).

The main idea is to make a mortar of clay to know the limit of the use of the latter and to compare this mortar with a normal sand mortar. The results showed and confirmed that clay can not give better resistances than standardized sand.

The secondary idea is to introduce the silica-fumes as an addition, the proposed percentages range from 2.5 % to 10 % of silica-fumes. The results showed that the substitution of a part of cement by the silica-fumes helps to improve the resistance of this type of mortar and that the best fraction is fixed at 5 %.

Subsequently, and considering the use of the clay, which is always linked to the temperature, some test pieces have been subjected to a high temperature which exceeds 1000°C by using the furnace of the steel foundry of the company of Foundry of Tiaret. In this case, it was found that the manufactured mortar mortars resisted well at high temperatures, contrary to the cement mortars which had been damaged inside the furnace before the temperature reached 1000°C.

Keywords : Mortar, Chamotte, silica-fumes, résistance, Compression, Traction

ملخص

عمل البحث هو دراسة سلوك هاون على أساس الاسمنت مع خليط من الصلصال وغبار السيليكا تقويمها في 28 يوما. وتجدر الإشارة إلى أن هذا العمل تم القيام به بالتعاون مع الأصدقاء الثاني الذي يريد أن يعرف تأثير حشو الحجر الجيري على مشروب روجي الهاون.

والفكرة الرئيسية هي لإنتاج مشروب روجي هاون لمعرفة حدود استخدام تكنولوجيا المعلومات ومقارنتها مع الهاون الرمال الطبيعية الهاون. وأظهرت النتائج وأكدت أن مشروب روجي لا يمكن أن تعطي أفضل مقاومة من الرمل العادي. وتجدر الإشارة إلى أنه تم إنشاء هذا الحزب يعمل بالتعاون مع الأصدقاء الثاني الذي يريد أن يعرف تأثير حشو الحجر الجيري على مشروب روجي الهاون.

الفكرة هي أن أعرض غبار السيليكا الثانوي كإضافة، والنسب المقترحة تتراوح بين 2.5٪ إلى 10٪، استبداله في كتلة الاسمنت. وأظهرت النتائج أن استبدال الاسمنت جزء واحد من غبار السيليكا يساعد على تحسين مقاومة هذا النوع من هاون وأن أفضل جزء هو ثابت بنسبة 5٪.

وفي وقت لاحق، ونظرا للاستخدام مشروب روجي الذي يرتبط دائما لدرجة الحرارة، فقد كان حوالي بضع قطع في درجة حرارة عالية تزيد 1000° باستخدام الفرن في الأعمال مسبك الصلب مسبك تيارت.

في هذه الحالة تبين أن قذائف الهاون الصلصال جعلت، ومقاومة لدرجات الحرارة العالية بخلاف قذائف هاون الاسمنت التي تضررت في الفرن حتى تصل درجة الحرارة 1000 °.

كلمات البحث: هاون، الصلصال، غبار السيليكا، المقاومة، ضغط، الجر.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction général	1
CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR LES MORTIERS	
1.1 Introduction	3
1.2. Historique et naissance du ciment	3
1.2.1. Industrie cimentière	3
1.2.2 Définition du ciment	4
1.2.3. Principe de fabrication des ciments courants.....	4
1.2.4. Constituants du ciment	5
1.2.4.1 Le clinker	5
1.2.4.2 Le gypse(CaSO_4)	6
1.2.5. Catégories des ciments	7
1.2.5.1. Classification des ciments courants	7
1.2.5.2. Type des ciments les plus courants	7
1.2.6. Caractéristique physiques du ciment	10
1.2.6.1. Gâchage du ciment	10
1.2.6.2. Prise	11
1.2.6.3. Durcissement	11
1.2.6.4. Chaleur d'hydratation	11
1.2.6.5. Finesse de mouture	11
1.2.6.6. Retrait	12
1.2.6.7. Gonflement	12
1.2.7. Caractéristiques chimiques du ciment	12
1.2.8. Caractéristiques mécaniques des ciments courants	13
1.3. Les mortiers	15
1.3.1. Classification générale des mortiers	15

1.3.1.1. Selon la composition	15
1.3.1.2. Selon leur domaine d'utilisation	16
1.3.2. Constituants des mortiers	17
1.3.2.1. Le Liant	17
1.3.2.2. Le sable	17
1.3.2.3. Rôle de sable dans le mortier	19
1.3.2.4. Exigences sur le sable d'usage général	19
1.4. L'eau de gâchage	19
1.5. Les additifs	20
1.5.1. Les adjuvants	20
1.5.2. Les ajouts	21
1.6. La chamotte	23
1.6.1. Définition de la chamotte	23
1.6.2. La chamotte réfractaire	24
1.6.3. Utilisation de la chamotte	24
1.6.4. Rôle de la chamotte dans la terre de modelage	24
1.6.5. Caractéristiques principales de la chamotte	24
1.6.6. Les matières premières réfractaires	25
1.6.6.1. Les argiles réfractaires	25
1.6.6.2. Comportement des argiles à la cuisson	25
1.7. La fumée de silice	26
1.7.1. Définition de la fumée de silice	26
1.7.2. Principe de fabrication	27
1.7.3. Caractéristiques techniques et contrôle de production	27
1.7.4. Les différents aspects d'une fumée de silice	28
1.7.5. Mode d'utilisation	28
1.7.6. Avantages de la fumée de silice	29
1.7.6.1. Performances à l'état frais	29
1.7.6.2. Performances à l'état durci	29
1.7.6.3. Durabilité	29
1.8. Conclusion	30

CHAPITRE 02 : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

2.1. Introduction	31
2.2. Caractéristiques des matériaux	31
2.2.1 Le ciment	31
2.2.2 Le sable	33
2.2.2.1 Masses volumiques	33
2.2.2.2 Analyse granulométrique.....	35
2.2.2.3 L'équivalent de sable (la norme NF P 18 -598)	36
2.3 Eau de gâchage	38
2.3.1 Importance du rapport eau/ciment	38
2.4. Adjuvant utilisé	39
2.5. Chamotte	40
2.5.1 Broyage de la chamotte	42
2.5.2 Tamisage	42
2.5.3 Analyse granulométriques	43
2.5.4 Masse volumique.....	44
2.6 Fumée de silice	44
2.7 Conclusion	46

CHAPITRE 03 : LA CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MECANIQUES

3.1 Introduction	48
3.2. Conception de campagne expérimentale	48
3.2.1. Confection des mortiers et programme	48
3.2.2. Procédure expérimentale	49
3.3. Préparation des mortiers et conservation	51
3.3.1. Préparation des éprouvettes	51
3.3.2. Conservation des éprouvettes	53
3.4. Caractéristiques mécaniques des éprouvettes	54
3.4.1. Essais de résistances mécaniques	54
3.4.2. Résistance à la traction par flexion	54
3.4.3. Résistance à la compression	56
3.5. Comportement des éprouvettes à la température	57

3.6 Conclusion.....	58
CHAPITRE 04 : RESULTATS ET INTERPRETATION	
4.1 Introduction	60
4.2 Résultats.....	60
4.2.1 Mortier témoin	60
4.2.2 Mortier : mélange (50% chamotte / 50% sable)	60
4.2.3 Mortier à 100% de chamotte	61
4.2.4 Mortier à base de chamotte et différents pourcentage de fumée de silice	61
4.2.5 Les éprouvettes chauffées	67
4.3 Conclusion	59
CONCLUSION GENERAL	70

Liste des figures

Chapitre 01 :

Figure 1.1 : Poudre de ciment courant.....	4
Figure 1.2 : Fabrication du ciment.....	5
Figure 1.3 : Microphotographie d'un clinker.....	6
Figure 1.4 : Constituants des mortiers.....	15
Figure 1.5 : Sable roulé (naturel).....	18
Figure 1.6 : Différents ajouts cimentaires.....	22
Figure 1.7 : Une calcite dans le système rhomboédrique.....	23

Chapitre 02 :

Figure. 2.1 : Le type de ciment utilisé.....	32
Figure 2.2 : Le sable utilisé.....	33
Figure 2.3 : La masse volumique absolue (d'éprouvette graduée).....	34
Figure 2.4 : Essai de la masse volumique apparente.....	35
Figure 2.5 : Équipements d'analyse granulométrique.....	36
Figure 2.6 : Essai d'équivalent de sable.....	37
Figure 2.7 : Courbes granulométriques de sable (Laghouat).....	37
Figure 2.8 : Courbe de foisonnement du sable	38
Figure 2.9 : Adjuvant sika.....	40
Figure 2.10 : La chamotte utilisée.....	41
Figure 2.11 : Broyage de la chamotte dans la machine Los Angeles.....	42
Figure 2.12 : Tamisage de la chamotte.....	42
Figure 2.13 : Analyse granulométrique de la chamotte.....	43
Figure 2.14 : Fumée de silice utilisée.....	45

Chapitre 03 :

Figure 3.1 : Mortier fabriqués.....	49
Figure 3.2 : Le malaxeur.....	51
Figure 3.3 : Éprouvettes prismatiques.....	52
Figure 3.4 : Coulage des éprouvettes.....	53
Figure 3.5 : Le démoulage des éprouvettes et la Conservation des éprouvettes.....	54
Figure 3.6 : Dispositif pour l'essai de résistance a la flexion.....	55
Figure 3.7 : L'essai de flexion.....	55
Figure 3.8 : Dispositif pour la résistance a la compression.....	56
Figure 3.9. L'essai de compression.....	57
Figure 3.10 : Chauffage du four a 1100 °C.....	58
Figure 3.11 : Éprouvettes ayant subi un traitement thermique puis refroidi.....	58

Chapitre 04 :

Figure 4.1 : Les éprouvettes après 28 jours.....	63
Figure 4.2 : Effet de la chamotte sur la résistance à la compression.....	63
Figure 4.3 : Effet de la chamotte sur la résistance à la traction.....	64
Figure 4.4 : Influence de pourcentage de la fumée de silice sur la résistance à la compression.....	65
Figure 4.5 : Influence de pourcentage de la fumée de silice sur la résistance de traction.....	66
Figure 4.6 : Effet de la température.....	68
Figure 4.7 : Effet de la température sur la résistance à la traction des mortiers sur la résistance à compression des mortiers.....	68

Liste des tableaux

Chapitre 01 :

Tableau 1.1 : Composition chimique et minéralogique du clinker.....	6
Tableau 1.2 : Composition chimique du gypse.....	7
Tableau 1.3 : Les anhydres et les hydrates de ciment.....	10
Tableau 1.4 : Caractéristique chimique de ciment courante.....	13
Tableau 1.5 : Caractéristique mécanique des ciments courants.....	14
Tableau 1.6 : Résistances garanties des ciments courants.....	14
Tableau 1.7 : Différentes actions des adjuvants.....	21

Chapitre 02 :

Tableau 2.1 : Caractéristiques techniques de ce ciment CHAMIL.....	32
Tableau 2.2 : Composition de l'eau de gâchage (mg/l).....	39
Tableau 2.3 : Les caractéristiques du Le MEDAFLOW 3041 R.....	40
Tableau 2.4 : Fiche Technique de la chamotte.....	41
Tableau 2.5 : Analyse granulométrique de la chamotte.....	43
Tableau 2.6 : Masse volumique apparente de la chamotte.....	44
Tableau 2.7 : Composition chimique de la fumée de silice.....	46
Tableau 2.8 : Données techniques de la fumée de silice.....	46

Chapitre 03 :

Tableau 3.1 : Programme expérimental.....	50
--	----

Chapitre 04 :

Tableau 4.1 : Les Résultats du mortier ordinaire témoin après 28 jours.....	60
Tableau 4.2 : Les résultats des essais sur le mortier 50/50 après 28 jours.....	61
Tableau 4.3 : Les résultats des essais sur le mortier 100% chamotte après 28 jours.....	61

Tableau 4.4 : Les résultats des essais sur les mortiers chamotte-fumée de silice après 28 jours.....62

Tableau 4.5 : Les résultats des essais sur les mortiers chamotte-fumée de silice après 28 jours.....67

Notation

E/C : Le rapport d'eau.

Rt : Résistance à la traction en (MPa).

Ft : Charge de rupture en (N).

Rc : Résistance à la compression en (MPa).

Fc : Charge de rupture en (N).

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

Introduction générale

Les mortiers ont connu un essor important au cours de ces dernières années en Algérie dans de divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales ...etc. A l'origine, un mortier est un simple mélange entre un liant (en général du ciment) et du sable, gâché avec de l'eau. Néanmoins, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes, du fait de l'ajout de multiples adjuvants. Ils font dorénavant intervenir plus d'une dizaine de composants.

Les adjuvants et les ajouts sont des produits composites ou chimiques sous un état liquide ou solide (poudre) que l'on ajoute en faible proportion dans le béton et mortier pour modifier certaines propriétés ou caractéristiques tel que la résistance, la compacité, la durabilité...etc.

L'emploi des ajouts comme la fumée de silice permet d'obtenir diverses propriétés à l'état frais ou durci, selon l'application finale et les performances souhaitées. Néanmoins, la formulation des mortiers est fondée fortement sur l'expérimentation pour fixer le dosage des ajouts souvent mal maîtrisé.

Parmi ces ajouts, la fumée de silice qui fait actuellement partie des développements le plus récent car leur utilisation apporte une amélioration des propriétés mécaniques des matériaux cimentaire comme le mortier, d'autre part leurs utilisation ont pour objectif de réduire la consommation de clinker, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés a l'environnement.

Ce travail expérimental consiste à étudier un mortier de chamotte avec la substitution partielle de ciment par un certain pourcentage de fumée de silice (0%, 5%,10%.....). Cette étude sera la base de plusieurs conclusions de l'effet des ajouts et de la chamotte sur les propriétés physique et mécanique du mortier.

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

Le premier chapitre : une revue bibliographique pour initialiser et entamé le monde de béton et des matériaux cimentaire et granulaires (le ciment ; les mortiers ; la chamotte ; la fumée de silice...etc.).

Le deuxième chapitre : présent une description des caractéristiques physiques, chimiques, et minéralogiques des matériaux (ciment, eau, sable, chamotte et la fumée de silice) utilisés dans ce travail.

Introduction générale

Le troisième chapitre : se focalise sur les moyens expérimentaux et les essais effectués sur les mortiers afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques de ces derniers.

Le quatrième chapitre : consiste à interpréter les résultats expérimentaux, on prenant comme référence le mortier ordinaire (témoin) ; on peut comparer les résultats des mortiers traités avec des différents dosages des mélanges de chamotte et de la fumée de silice.

Finalement, à partir des résultats obtenus et leurs interprétations, on achèvera notre étude par une conclusion générale et on donnera quelques recommandations afin d'améliorer les performances des mortiers.

CHAPITRE 1**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE****1.1. Introduction :**

Il est nécessaire de connaître les lois de comportement des matériaux du mortier.

Ce qui suit, on passera en revue l'ensemble des lois et des caractéristiques mécaniques de ces matériaux

Dans ce chapitre on parle d'une manière générale sur les matériaux utilisés dans le mortier :

Le ciment et ses caractéristiques, le mortier et ses différents types, l'eau utilisée, d'où provient la chamotte et enfin la fumée de silice.

1.2. Historique et naissance du ciment :

La fabrication du ciment est toujours plus ancienne mais en réalité ; le français Louis Vicat en 1817, a étudié et découvert scientifiquement et non plus empiriquement, les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur. En 1824, l'anglais Aspdin prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de Portland, mais celui-là comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement en 1845 que l'anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit. À la fin du XIX^{ème} siècle, en France, Le Chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'américain Bogue au XX^{ème} siècle. En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granulé ajouté au ciment, et après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention plus récente: le ciment alumineux fut découvert par Bied en 1908 [1].

1.2.1. Industrie cimentière :

La première usine de ciment a été créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer. Le développement n'a pu se faire que grâce à l'apparition de matériels nouveaux, comme le four rotatif et le broyeur à boulets. Les procédés de fabrication se perfectionnèrent sans cesse, et le temps nécessaire pour produire une tonne de clinker est passé de quarante heures en 1870, à environ trois minutes actuellement [1].

1.2.2 Définition du ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 C° , température de fusion .Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pate liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est du à l'hydratation de certain composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [2]



Figure 1.1. Poudre de ciment courant [2]

1.2.3. Principe de fabrication des ciments courants :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant: calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker. [2]

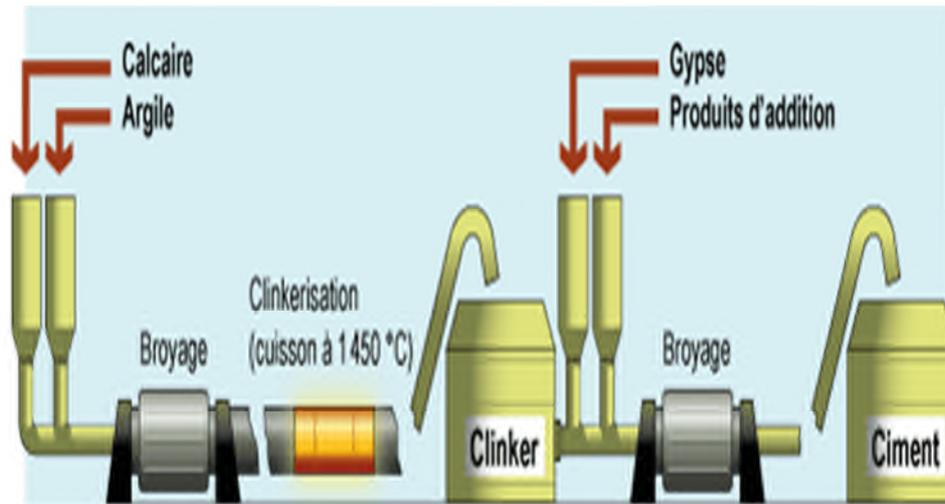


Figure 1.2. Fabrication du ciment. [2]

1.2.4. Constituants du ciment :

Les ciments sont constitués de:

1.2.4.1 Le clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃). Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [2]

Les éléments simples (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I. 3)) :

- Silicate tricalcique (C3S): 3CaO.SiO₂ (Alite).
- Silicate bicalcique (C2S): 2CaO.SiO₂ (Belite).
- Aluminate tricalcique (C3A): 3CaO.Al₂O₃.
- Ferro aluminate calcique (C4AF): 4CaO .Al₂O₃ .Fe₂O₃ (Célite).

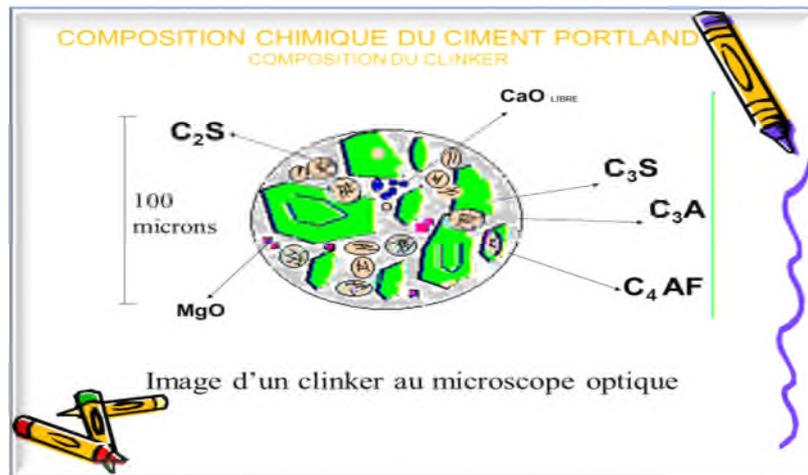


Figure 1.3. Microphotographie d'un clinker [2]

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (1.1) ci –dessous :

Le Tableau 1.1. Composition chimique et minéralogique du clinker. [2]

Composants Minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne (%)
C3S	40-70	60
C2S	00-30	15
C3A	02-15	08
C4AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO2	18-24	21
AL2O3	04-08	06
Fe2O3	01-08	03
MgO	< 05	02
K2O, Na2O3	< 02	01
SO3	< 03	01

1.2.4.2 -Le gypse (CaSO4) :

Le gypse dénommé aussi gypsite est une roche saline commune des bassins sédimentaires soumis à subsidences, elle est composée principalement du minéral gypse, minéral salin très

commun des séries sédimentaires, et de sulfate doublement hydraté de calcium. Ce dernier est à la fois une espèce chimique et une espèce minérale, décrite par la formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le gypse est la roche qui permet de fabriquer industriellement le plâtre. [2]

Tableau 1.2. Composition chimique du gypse.

Composant	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-
%	10,05	2,99	1,55	26,90	3,86	0,41	0,05	30,33	0,007

1.2.5. Catégories des ciments :

1.2.5.1. Classification des ciments courants :

La classification des ciments se fait selon trois critères [2]:

- **Selon leur composition:** CPA/CPJ/CPZ/CHF/CLK/CLC ou CEM I, II, III.
- **Selon leur résistance:** 32,5, 42,5, 52,5 N/mm².
- **Selon la vitesse de prise:** N pour une prise normale et R pour une prise plus rapide.

1.2.5.2. Types des ciments les plus courants :

- **Ciments Portland composés (CEM II - Norme NF EN 197-1)**

Les ciments Portland composés résultent du mélange de clinker en quantité au moins égale à 65% et d'autres constituants tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes, fumée de silice, dont le total ne dépasse pas 35%. Ces types de ciment sont bien adaptés pour les travaux massifs exigeant une élévation de température modérée, les routes et le béton manufacturé. [2]

- **Ciments au laitier (Norme NF EN 197-1)**

Selon le pourcentage du laitier, il y en a trois types dont la notation est respectivement % du clinker, % du laitier de haut fourneau:

- CEM III/A 35-64 36-65.
- CEM III/B 20-34 66-80.
- CEM III/C 5-19 81-95.

Ces ciments sont bien adaptés aux travaux suivants:

- Travaux hydrauliques, souterrains, fondations, injections.
- Travaux en eaux agressives: eaux de mer, eaux séléniteuses, eaux industrielles, eaux pures.
- Ouvrages massifs: fondations, piles d'ouvrages d'art, murs de soutènement, barrages.

Les bétons de ciment au laitier sont sensibles à la dessiccation; il faut les maintenir humides pendant le durcissement. [2]

- **Ciments à maçonner (CM - Norme NF P 15-307)**

C'est un Liant hydraulique pulvérulent fabriqué en usine et dont le développement de résistance est essentiellement due à la présence de clinker portland. Selon la résistance minimale à 28 jours, il existe trois classes de résistance (MC 5, MC 12,5 et MC 22,5). Le temps de début de prise ne doit pas être inférieur à 60 min. La teneur en SO₃ est limitée à 3,5% pour les classes 12,5 et 22,5 et à 2,0% pour la classe 5. Ces ciments, dont les résistances sont volontairement limitées par rapport aux ciments classiques, conviennent bien pour la confection des mortiers utilisés dans les travaux de bâtiment (maçonnerie, enduits, crépis ...). Ils peuvent être également utilisés pour la fabrication ou la reconstitution de pierres artificielles. Ces ciments ne conviennent pas pour les bétons à contraintes élevées ou les bétons armés. Ils ne doivent pas être employés dans les milieux agressifs. [2]

- **Ciment prompt naturel (CNP - Norme NF P 15-314)**

Le ciment prompt naturel est obtenu par cuisson, à température modérée entre 1000 et 1200°C d'un calcaire argileux d'une grande régularité. La mouture est plus fine que celle des ciments portland. Le début de prise commence à environ 2 min, s'achève pratiquement à 4 min, mais il est plus réglable de 3 à 15 min en utilisant l'adjuvant Tempo (livré avec chaque sac de 25kg) qui ne modifie pas l'évolution du durcissement. Le ciment prompt naturel est utilisé en mortier avec un dosage de ciment double du volume de sable, et éventuellement en béton. Dans les cas d'urgences nécessitant une prise immédiate (aveuglements de voies d'eau), il est possible de l'employer en pâte pure. Parmi les nombreux emplois, on peut citer:

- ✓ Scellements.
- ✓ Travaux spéciaux et travaux de réparation.

- ✓ Enduits de façade (en mélange aux chaux naturelles).
- ✓ Bétons projetés, moulages.
- ✓ Revêtements et enduits résistants aux eaux agressives et à bon nombre d'attaques chimiques, en particulier à l'acide lactique et aux déjections (bâtiments pour l'élevage, silos).
- ✓ Colmatage et travaux à la mer.
- ✓ Projection, travaux souterrains. [2]

- **Ciment alumineux fondu (CA - Norme NF P 15-315)**

Le ciment alumineux fondu résulte de la cuisson jusqu'à fusion d'un mélange de calcaire et de bauxite, suivie d'une mouture sans gypse à une finesse comparable à celle des ciments portland (début de prise minimum 1h 30min). Il développe des résistances à court terme élevées grâce à un durcissement rapide. Il est très résistant aux milieux agressifs et acides (jusqu'à des PH de l'ordre de 4). Il est normalisé pour les travaux à la mer (PM) et en eaux à haute teneur en sulfate (ES). Une chaleur d'hydratation élevée, liée à son durcissement rapide, permet au ciment fondu d'être mis en œuvre par temps froid (jusqu'à 10°C). C'est également un ciment réfractaire (bon comportement jusqu'à 1300°C). [2]

- **Ciments blancs**

La teinte blanche est obtenue grâce à des matières premières très pures (calcaire et kaolin) débarrassées de toutes traces d'oxyde de fer. Les caractéristiques sont analogues à celles de ciment portland gris (norme NF EN 197-1). Grâce à sa blancheur, le ciment blanc permet la mise en valeur des teintes des granulats dans les bétons apparents. La pâte peut être elle-même colorée à l'aide de pigments minéraux, ce qui fournit des bétons avec une grande variété de teintes tant pour les bétons de structure que pour les bétons architectoniques et les enduits décoratifs. La composition du béton doit être bien étudiée en fonction des granulats et des effets recherchés. [2]

1.2.6. Caractéristique physiques du ciment :

1.2.6.1. Gâchage du ciment :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- ✓ Silicate tricalcique : C3S.
- ✓ Silicate bicalcique : C2S.
- ✓ Aluminate tricalcique : C3A.
- ✓ Aluminoferrite tétracalcique: C4AF.

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent. Les anhydres du ciment vont réagir avec l'eau du gâchage pour former des hydrates. Ces anhydres se sont principaux minéraux de clinker purs. Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau (1.3) ci-dessous :

Tableau 1.3. Les anhydres et les hydrates de ciment. [2]

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	dénomination
C3S	$(\text{CaO})_3\text{-SiO}_2$	Silicate tricalcique
C2S	$(\text{CaO})_2\text{-SiO}_2$	Silicate bicalcique
C3A	$(\text{CaO})_3\text{-Al}_2\text{O}_3$	Aluminate tricalcique
C4AF	$(\text{CaO})_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Alumino ferrite tétracalcique
CH	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portlandite
C-S-H	$(\text{CaO})_x\text{-SiO}_2\text{-(H}_2\text{O)}_y$	Silicate de calcium hydraté
C3A.(C-S)3.H32	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)_3\text{-(H}_2\text{O)}_{32}$	Ettringite ou "Aft"
C3A.(C-S) .H12	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)\text{-(H}_2\text{O)}_{12}$	Mono sulfoaluminate de calcium hydrate ou "Afm"
C2AH8	$(\text{CaO})_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_8$	Aluminate dicalcique hydraté
C3AH6	$(\text{CaO})_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_6$	Aluminate tricalcique hydraté
C4AH13	$(\text{CaO})_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_{13}$	Aluminate tétracalcique hydraté

1.2.6.2. Prise :

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

- ✓ 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R.
- ✓ 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

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

1.2.6.3. Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours des quelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances. [2]

1.2.6.4. Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on s'intéresse à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.8. [2]

1.2.6.5. Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment, elle est d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont

un Blaine supérieure à 4500 cm²/g .Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'éventement du Ciment sont accrus.[2]

1.2.6.6. Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% .La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

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

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

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

1.2.6.7. Gonflement :

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

Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes. [2]

1.2.7. Caractéristiques chimiques du ciment :

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le (tableau 1.4) .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau 1.4. Caractéristique chimique de ciment courante. [2]

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en% de la masse
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Oxyde de magnésium	CPA-CEM I	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO3 limite supérieure	CPA-CEM I	32,5	$\leq 3,5$
	et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 R 42,5	
	CPZ – CEM IV et CLC – CEM V	42,5 52,5	≤ 4
	CHF-CEM III	52,5 R toutes classes	≤ 4
Chlorures	tous types de ciment (CHFCEMIII/A et B et les CLKCEMIII/C)	52.5 R	$\leq 0,05$
		toutes les autres classes	$\leq 0,10$

1.2.8. Caractéristiques mécaniques des ciments courants :

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

Tableau 1.5. Caractéristique mécanique des ciments courants. [2]

Classe des ciments	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jour (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32,5		$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,5$	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,5$	-
52,5R	≥ 30	$\geq 52,5$	-

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

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent), la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le (tableau 1.6) ci-dessous :

Tableau 1.6. Résistances garanties des ciments courants. [2]

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

1.3. Les mortiers :

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présentèrent les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait. [1]

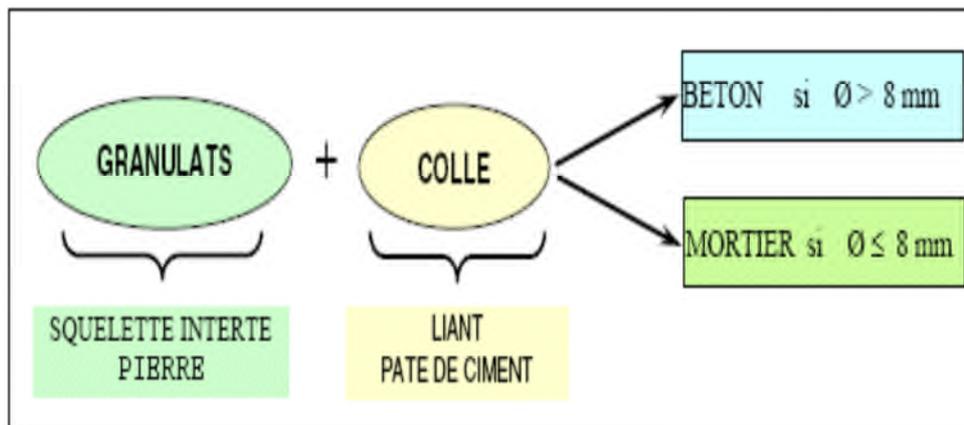


Figure 1.4. Constituants des mortiers. [1]

1.3.1. Classification générale des mortiers :

1.3.1.1. Selon la composition [1]:

Les mortiers se partagent en différents types :

- **Les mortiers de ciment :**

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement de plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courant sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³ de sable.

- **Les mortiers de chaux :**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

• Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

• Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues ...

• Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

• Mortier industriel :

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 mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

1.3.1.2. Selon leur domaine d'utilisation :

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes [1]:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres.

1.3.2. Constituants des mortiers :

1.3.2.1. Le Liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [1]. Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes. [1]

1.3.2.2. Le sable :

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. [1]

a) Origines du sable :

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques

(vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho-scopie) au cours des temps géologiques. Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. [1]

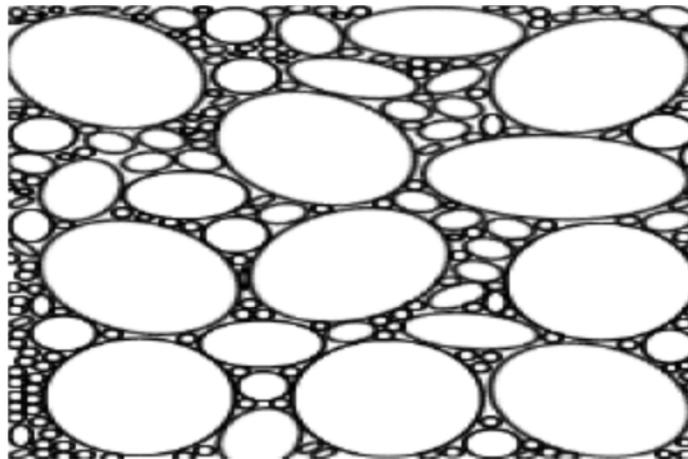


Figure 1.5. Sable roulé (naturel). [1]

b) Granulométrie :

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est [1]:

- ✓ Extra-fins: jusqu'à 0,08 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- ✓ Fins: jusqu'à 1,6 mm.
- ✓ Moyens: jusqu'à 3,15 mm.
- ✓ Gros: jusqu'à 5 mm.

1.3.2.3. Rôle de sable dans le mortier :

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant de ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [1]

1.3.2.4. Exigences sur le sable d'usage général :

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable L'indice fourni par cet essai (ESV) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 3mm. En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m³ de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0% à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m³ de sable soit modifié, c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable.

1.4. L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme

NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [1]

1.5. Les additifs :

1.5.1. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé, pour les raisons suivantes:

- On ajoute les adjuvants qui servent à aérer en vue d'améliorer la maniabilité et la durabilité du mortier. Toutefois, des recherches ont démontré que des contenus d'air dans le mortier en excès de 12 % augmentent la probabilité que l'humidité y pénètre en plus de diminuer l'adhérence.
- On utilise quelque fois un antigel ou autre produit semblable pour abaisser le point de congélation du mortier afin de poser de la brique par temps froid. Toutefois, pour que cette méthode soit efficace, il faut ajouter une quantité considérable et cela diminue considérablement l'adhérence, en plus de contribuer à l'efflorescence et à l'effritement des surfaces du briquetage.
- Les accélérateurs comme le chlorure de calcium servent à accélérer l'hydratation du mortier par temps froid en vue d'éviter de chauffer les matériaux du mortier. Toutefois, le chlorure de calcium chlorite tend à corroder l'armature dans le mortier. Les accélérateurs, même ceux qui ne contiennent pas de chlorure de calcium, ont tendance à causer de l'efflorescence.
- Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide. Par contre, une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants. Selon l'effet recherché, on peut distinguer trois grandes familles d'adjuvants.[1]

Tableau 1.7. Différentes actions des adjuvants. [1]

Action	Rôle	Domaine d'emploi
La prise	Il diminue le temps ou prise ou durcissement du ciment.	Bétonnage pour temps froid, décoffrage rapide, travaux sous l'eau.
	Il augmente le temps de prise.	Bétonnage par temps chaud, avec coffrage glissant.
L'ouvrabilité	A teneur en eau égale, il augmente l'ouvrabilité du béton et mortier.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	A même maniabilité, il augmente les résistances.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	Il provoque un fort accroissement de maniabilité.	Fondation, dalles, raiders, béton pompé.
Les résistances aux agents extérieurs	Il entraîne la formation de microbulles d'air uniformément.	Béton exposé au gel, bétons routiers
	Ils diminuent l'absorption capillaire des bétons et mortiers.	Ouvrage hydraulique, mortiers d'étanchéité.

1.5.2. Les ajouts :

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le métakaolin sont des matériaux qui, combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortiers durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois. [1]

a. Les cendres volantes

Il existe quatre classes qui sont [9]:

Classe F: moins de 10% de CaO ; Grande proportion de Silice et d'Alumine, structure: verre d'Aluminosilicate, Composition: cristaux de mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), quartz, hématite, magnétite.

Classe C: de 15 à 35% de CaO , Plus réactif que la classe F.

Classe F et C: 60 à 85% de verre ; 10% à 30% phases cristallines ; 10% carbone non calciné et diamètre de $1\mu m$ à $100\mu m$.

b. Le laitier de haut fourneau

Laitier acide: Pourcentage élevé de la silice fondue de 50 à 60%, Alumine et 25 à 30% de chaux. Le rapport pondéral (Silice/Chaux) ≤ 1.10 .

Laitier basique: Rapport pondéral: $\text{CaO/SiO}_2 \geq 1.3$, composé de 40 à 55% de CaO, 25 à 35% de SiO₂, 12 à 25% d'Al₂O₃.

c. Les pouzzolanes

Pouzzolane naturelle: L'argile calcinée, le schiste calciné et le métakaolin.

Pouzzolane artificielle: Matière essentiellement composée de silice, d'alumine, d'oxyde de fer et de schiste cuit.

d. Les colorants

On peut donner la couleur au mortier par des granulats ou des pigments minéraux. Ces derniers devraient avoir la composition d'oxydes minéraux et ne pas représenter plus de 6% du poids du ciment portland. On doit soigneusement choisir les pigments et ne pas en employer plus qu'il n'en faut pour obtenir la couleur désirée. L'ajout d'une trop grande quantité de pigment diminuera la résistance et la durabilité. Le poids maximal de pigment ne devra pas dépasser, en poids, 1% du ciment, sauf dans le cas de noir de carbone qui ne devrait pas représenter plus de 2%. [1]



Figure 1.6. Différents ajouts cimentaires (Avec: 1: cendre volante classe C, 2: métakaolin, 3: fumée de silice, 4: cendre volante classe F, 5: laitier, 6: schiste. [1]

e. Les calcites

Ce sont des ajouts incolores de couleur blanche, jaune, brune, rouge, et noire. Elles se composent de CaCO_3 , leur densité varie entre 2,6 et 2,8, leur Indice de réfraction varie entre 1,48 et 1,65. Elles éclatent dans la flamme et libèrent CO_2 , le CaO naissant colore la flamme en orange, bouillonne dans HCl . [1]



Figure 1.7. Une calcite dans le système rhomboédrique. [1]

f. Les fillers : Ce sont des éléments fins de diamètre inférieur à 2 mm, provenant du concassage et de broyage de la roche naturel.

1.6. La chamotte :**1.6.1. Définition de la chamotte :**

La chamotte, Ou tesson broyé, est une argile brute cuite à une température de 1300 - 1 400 °C, broyée et tamisée (pour contrôler la granulométrie des grains obtenus).

La terre chamottée est une terre lisse dans laquelle s'ajoute de la chamotte. Dans certains cas, l'argile peut être mélangée avec du sable de rivière si l'on ne dispose pas de chamotte. [3]

1.6.2. La chamotte réfractaire :

La chamotte réfractaire est une argile, broyée et cuite, utilisée pour la fabrication des bétons réfractaires. Essentiellement utilisée pour faire vos soles (dalles de cuisson) de vos fours maçonnés. Fabriquez votre propre four à pizza avec une sole en chamotte réfractaire mélangée avec un ciment adéquat et votre voûte en brique réfractaire simple du commerce. Vous pouvez également réaliser vous-même vos dalles de fours en tôle. Résistance gyroscopique est de 1750°C. Grande résistance à l'abrasion. Possède une très grande résistance aux chocs thermiques. Vendu par 6Kg, 14Kg ou 29Kg. Les professionnels l'utilisent. Notre chamotte est pure, non coupée au sable, à la chaux...etc. [3]

1.6.3. Utilisation de la chamotte :

La chamotte est utilisée pour la fabrication de briques réfractaires. Elle est mélangée à de l'argile broyée. En mouillant ce mélange on obtient une pâte plastique dont on peut façonner les briques. Ce mélange est ensuite séché et cuit. Les briques sont ainsi rendues résistantes à l'eau. [3]

1.6.4. Rôle de la chamotte dans la terre de modelage :

La chamotte donne de la structure à la terre de modelage ; Les pièces montées tiennent mieux, sans s'affaisser durant leur confection, pour autant que le degré d'hygrométrie et la plasticité de l'argile ne soient pas trop importants. La présence de la chamotte diminue le retrait au séchage et à la cuisson. Elle permet également, si sa granulométrie est importante, de pouvoir modifier la structure de la pièce en ajoutant des parties nouvelles alors que la pièce est pratiquement sèche. [3]

La présence de la chamotte facilite le séchage et évite les déformations et les fentes, qui se retrouvent souvent après la cuisson, lors de la réalisation d'objets plus ou moins volumineux.

1.6.5. Caractéristiques principales de la chamotte :

- La chamotte possède la même densité que le béton.
- Elle est souvent utilisée pour les poêles à accumulation.
- C'est un matériau réfractaire résistant. [3]

1.6.6. Les matières premières réfractaires :

Les matières premières couramment utilisées dans l'industrie des matériaux réfractaires sont essentiellement les argiles réfractaires (Kaolins et hallohysites), les chamottes et les minéraux de synthèse. [3]

1.6.6.1. Les argiles réfractaires :

L'argile est l'une des matières premières de base pour la fabrication des produits céramiques. Pour le céramiste, le terme « argile » désigne un matériau donnant après humidification une pâte plastique. Pour le minéralogiste, « argile » désigne un minéral ayant une structure phylliteuse, en particulier des matières tels que le talc, la vermiculite, le mica... entrent sous cette appellation. [3]

Les argiles utilisées pour la fabrication des réfractaires sont constituées principalement par des kaolinites purs cuites à une réfractaire de 1785°C. Les argiles contenant de l'alloysite ressemblent apparemment à la kaolinite, mais elles sont plus plastiques et donnent après cuisson un matériau plus dense. La présence des impuretés comme le fer par exemple tend à réduire la réfraction. Par ailleurs, la présence de grains de quartz peut diminuer le retrait sans provoquer une réduction notable de la température de fusion. [3]

1.6.6.2. Comportement des argiles à la cuisson :

En chauffant une argile, il se produit des réactions chimiques qui jusqu'à une température de 1200°C peuvent être contrôlées par l'ATD (analyse thermique différentielle) ; La courbe idéale d'une argile kaolinitique soumise à l'ATD peut présenter jusqu'à quatre effets : deux effets endothermiques et deux effets exothermiques. Le premier a son point maximum à 150°C et correspond à l'élimination de l'eau absorbée. Le deuxième effet a son point maximum à 600°C et correspond à la transformation de la kaolinite en metakaolinite avec perte de l'eau de cristallisation (eau OH). Le troisième crochet a son point maximum à 980°C. [11]

Il est dû à la transformation de la metakaolinite en alumine et en mullite dit primaire. Le quatrième crochet se situe vers 1200°C et il correspond à la transformation rapide de la silice en cristoballite et à la réaction entre l'alumine et la silice donnant la mullite dite secondaire. [11]

La composition de phases dans un échantillon d'argile cuite est déterminée en traitant l'échantillon avec HF. La phase vitreuse entre en solution et le résidu cristallin est pesé après calcination à 1000°C. De l'analyse chimique de ce résidu, on détermine le pourcentage approximatif de la mullite par son rapport $(Al_2O_3/SiO_2) = 2.55$.

Le quartz demeure presque inaltéré aux basses températures de cuisson et se transforme avec l'élévation de la température en cristoballite ou bien il est fondu dans le verre riche en alcalis. La cristoballite est considérablement influencée par la présence des impuretés : En effet à partir de 1300-1400°C, sa teneur se réduit rapidement à cause de sa fusion dans le verre. [3]

La mesure de la résistance mécanique peut donner des indications sur le degré de cuisson. En effet cette caractéristique augmente parallèlement à la diminution de la porosité. Il est donc évident que la résistance mécanique la plus élevée correspondra au développement maximal de la phase cristalline et au développement optimal de la phase vitreuse, dans la mesure où celle-ci ne doit pas être en excès mais en quantité suffisante pour permettre une bonne cimentation des grains cristallins. A des températures de cuisson trop élevées, la résistance mécanique diminue pour diverses raisons notamment le gonflement et la phase vitreuse qui entraînent la fragilité du matériau. [3]

1.7. La fumée de silice :

1.7.1. Définition de la fumée de silice :

La fumée de silice est une poudre amorphe finement divisée résultant de la production d'alliages de silicium ou contenant du silicium. Elle est entraînée depuis la zone de combustion des fours par les gaz, vers le système de captage.

La norme distingue deux classes A et B ; les fumées de silice de classe A étant les plus riches en silice et sont plus fines. Une fumée de silice de classe A ou B, conforme à la norme est une addition du type II au sens de la norme EN 206-1 et est substituable au ciment au sens et aux conditions de cette norme. [4]

Toute fois, compte tenu de la très grande finesse de ces additions et de leur très grande réactivité avec la portlandite libérée par l'hydratation du ciment, leur proportion est limitée à 10 % et leur emploi réservé aux bétons contenant un super plastifiant.

L'incorporation de fumée de silice dans les bétons conduit à des améliorations remarquables des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons. Pour les bétons frais, la fumée de silice comble le fuseau granulaire et supprime les tendances au ressuage ou à la ségrégation tout en réduisant les chaleurs d'hydratation. Pour les bétons durcis, la finesse de la fumée de silice permet de créer une microstructure très dense qui conduit à des bétons extrêmement compacts, à caractéristiques mécaniques élevées en réduisant les teneurs en eau grâce à l'adjuvantation. Ces bétons ont ainsi une résistance nettement renforcée vis-à-vis des agents ou des phénomènes agressifs : attaques chimiques, acides, sulfates, abrasion gel/dégel, en réduisant significativement la porosité et la perméabilité, la carbonatation, les phénomènes d'alcali-réaction et de réaction sulfatique interne. [4]

1.7.2. Principe de fabrication :

La fumée de silice est obtenue pendant la production du silicium et des alliages de ferrosilicium. Ces produits sont fabriqués dans un four à arc, en réduisant le quartz par un apport approprié de carbone, à une température d'environ 2 000 °C. La fumée de silice est extraite en surface du four de réduction par des ventilateurs principaux et résulte de la condensation du gaz SiO, intermédiaire réactionnel du procédé de carboréduction. Elle est ensuite récupérée et filtrée dans un filtre à manches, avant d'être densifiée pour en faciliter la manipulation. Certaines impuretés contenues dans les matières premières (alcalines par exemple) sont également réduites, volatilisées et oxydées dans le four. [4]

1.7.3. Caractéristiques techniques et contrôle de production :

Les caractéristiques de la fumée de silice dépendent de plusieurs facteurs. Le type de production en four à arc (Si ou FeSi) peut par exemple influencer sur la teneur en SiO₂ et les différentes impuretés de la fumée de silice. Le mélange de réducteurs utilisé dans le four peut, quant à lui, conduire à des colorations différentes du produit (de gris clair à gris foncé), sans pour autant en changer les performances. Enfin, la dernière étape de densification permet d'ajuster la densité apparente du produit. [4]

La fumée de silice se présente sous la forme de particules individuelles, avec un diamètre compris entre 50 et 200 nanomètres. Ces sphères contiennent majoritairement du SiO₂, avec des quantités variables en oxydes de Ca, Al, Na, K comme impuretés principales. La fumée de silice est un produit amorphe et non cristallin. [4]

1.7.4. Les différents aspects d'une fumée de silice :

La fumée de silice non densifiée (ND) a une densité apparente faible, ce qui rend sa manipulation difficile. Par un traitement de densification, il est possible d'augmenter sa densité apparente et ainsi faciliter son transport. La densité apparente dépend du mode de densification qui peut être mécanique (DM) ou pneumatique (DP). Elle est généralement comprise entre 400 et 650 kg/m³. En augmentant la densité du produit, on améliore la coulabilité et la manipulation du produit, mais on diminue sa capacité à se disperser dans l'eau. L'utilisateur doit donc trouver un compromis entre la manipulation et la dispersion potentielle du produit. La densification ne change pas les propriétés physico-chimiques du produit. La fumée de silice est aussi disponible sous une forme prête à l'emploi : le slurry, suspension aqueuse avec environ 50 % en masse de fumée de silice. Le slurry est un produit stable dans le temps, avec une basse viscosité et donc facile à pomper et à utiliser. Son procédé de fabrication conduit à un produit très finement dispersé dans l'eau et donc dans le béton lors du malaxage. [4]

1.7.5. Mode d'utilisation :

La fumée de silice est principalement utilisée dans tous les bétons et les mortiers de hautes performances et dans la préparation de :

- coulis de protection ;
- coulis pour injection de consolidation ;
- coulis expansifs ;
- bétons et mortiers à haute résistance mécanique ;
- bétons et mortiers à haute imperméabilité ;
- bétons pré comprimés résistants à l'action chimique ;
- bétons et mortiers pour utilisation sous-marine, spécialement en milieu agressif ;
- mortiers thixotrope pour réfection et réparation Et dans toutes les configurations où il est demandé aux mortiers ou aux bétons des caractéristiques supérieures, telles que :
 - Résistances mécaniques ;
 - Résistances chimiques ;
 - Résistances à l'usure et à l'abrasion ;
 - Imperméabilité ;
 - Stabilité et cohésion ;
 - Durabilité Il est aussi utilisé pour réduire le ressuage des bétons.

Elle est conseillée aussi, pour compléter et corrigé la courbe granulométrique d'une composition de mélanges hydrauliques. [4]

1.7.6. Avantages de la fumée de silice :

1.7.6.1. Performances à l'état frais :

- **Maniabilité :**

Les bétons formulés avec la fumée de silice ont une rhéologie différente des bétons courants. Ils sont thixotropes et ont donc un comportement visqueux et compact au repos et deviennent fluides dès qu'on leur applique une pression. Cette particularité offre en particulier les avantages suivants :

- Moins de ségrégation (nids de cailloux et ressuage) ;
- Transfert par pompes ou pression possible sur de grandes distances ;
- Projection sur des parois sans perte de produit dans le cas de béton projeté. [4]

1.7.6.2. Performances à l'état durci :

La fumée de silice permet d'optimiser l'empilement granulaire et ainsi d'améliorer l'adhésion des différents constituants d'un béton, ce qui a un impact direct sur ses propriétés mécaniques, en particulier sur les résistances mécaniques en compression. Ces dernières sont directement liées à la quantité de fumée de silice ajoutée au ciment. L'utilisation de fumée de silice pour un béton de même qualité permet d'augmenter la proportion de granulats grossiers par rapport aux granulats fins. [4]

1.7.6.3. Durabilité :

L'utilisation de fumée de silice limite la porosité des bétons en réduisant la taille des pores. Cette baisse de la porosité et de la perméabilité empêche la pénétration d'agents agressifs comme notamment les acides, les sulfates, le dioxyde de carbone et les chlorures marins. L'utilisation de la fumée de silice est un atout pour prévenir la corrosion dans un environnement contraignant : ports, aéroports, plateformes industrielles, ouvrages en bord de mer. [4]

1.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu que le mortier est l'un des matériaux de construction de grande importance et d'utilisation dans la construction grâce à leur diversité.

L'utilisation de quelques ajouts comme le cas de la chamotte et du fumée de silice dans le mortier à pour but tout simplement de savoir l'apport de ces derniers aux mortiers vis-à-vis la résistance ainsi que les couts de production.

CHAPITRE 2**CARACTERISATION DES MATERIAUX ET CONFECTION
DES MORTIERS****2.1 Introduction :**

Un matériau désigne toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface des différentes matières premières, qui sont à la base des matériaux, leur confèrent des propriétés particulières.

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes et connaître leur effet sur les propriétés mécaniques des mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEMII/B 32, 5R).

2.2. Caractéristiques des matériaux :**2.2.1 Le ciment :**

Le ciment utilisé dans tous les essais provient de la cimenterie de LAFRAGE, c'est un ciment portland composé CPJ, de classe ou famille II (CEM II/B) et d'une résistance minimale à la compression égale à 32,5 MPa, ce ciment à une résistance rapide à court terme (Figure 2.1) ; une couleur grise, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson, il 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. [5]



Figure. 2.1. Le type de ciment utilisé

Il présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 et la norme EN 197-1 (tableau 2.1).

Tableau 2.1. Caractéristiques techniques de ce ciment CHAMIL. [5]

Analyse chimiques	Perte au feu (%) (NA5042)	13.0 ± 2
	Teneur en sulfate (SO ₃) %	2.5 ± 0.5
	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	1.7 ± 0.5
	Teneur en chlorures (NA5042) %	0.02 -0.04
Composition minéralogique du clinker (bogue)	C3S (%)	60 ± 3
	C3A (%)	7.5 ± 1
Propriétés physiques	Consistance normale (%)	27 ± 2.0
	Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	4300 à 5500
	Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
	Expansion (mm)	≤ 3
Temps de prise à 20° C	Début de prise (min)	150 ± 30
	Fin de prise (min)	250 ± 50
Résistance à la compression	2 jours (MPa)	≥ 10
	28 jours (MPa)	≥ 32.5

Le ciment CHAMIL, est dédié aux constructions de masse. C'est un ciment de haute qualité pour tous les usages courants. Il représente le choix idéal pour des constructions à usage habitation et commercial: construction général, finitions, éléments préfabriqués. Prise rapide, meilleure maniabilité, forte résistance initiale sont ses attributs importants. [5]

2.2.2 Le sable

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton et du mortier. Dans notre étude expérimentale, nous avons utilisé un sable naturel, provenant de la carrière de Guelta Laghouat, 291 Km de la wilaya de TIARET.

Les essais d'identification ont été réalisés selon les normes algériennes et les normes européennes.[6]



Figure 2.2. Le sable utilisé.

2.2.2.1 Masses volumiques :

On appelle masse volumique, la masse de l'unité de volume du matériau à l'état naturel (pores et vides compris), caractérisée par le rapport entre la masse au repos et son volume naturel. [6]

a. Masse volumique absolue :

La masse volumique, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de la matière par unité de volume. Elle est généralement notée par les lettres grecques ρ (rhô) [10]. La masse volumique est un indice pour savoir et faire le choix d'un matériau par rapport à un autre.

La Méthode de mesure est celle de l'éprouvette graduée (norme NA 255), elle est très simple et très rapide. Il consiste à remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau, Peser un échantillon sec M de sable (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. Le liquide monte dans l'éprouvette soit V_2 [6]. La différence de volume ($V_2 - V_1$) représente le volume réel du matériau (figure 2.3).



Figure 2.3. La masse volumique absolue (d'éprouvette graduée)

b. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules [6]. Il suffit de remplir un volume de 1dm^3 , et en déterminer sa masse. (Figure. 2.4)



Figure 2.4. Essai de la masse volumique apparente.

2 .2.2.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage c'est l'ensemble des opérations qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas (NA 456 équivalente à EN 933-8). Le matériau analysé est placé dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de l'ensemble de la colonne des tamis. L'équipement nécessaire pour l'analyse granulométrique est des tamis qui sont constitués d'un maillage métallique définissant des trous carrés de dimensions normalisés. La colonne de tamis est placée dans une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire [7]. La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille qui est la grandeur de l'ouverture carrée. (Figure 2.5).



Figure 2.5. Équipements d'analyse granulométrique

2.2.2.3 L'équivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :

Est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable . Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains [10]. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d' « essai d'équivalent de sable piston ». L'essai et selon la norme (NA 456 équivalente à EN 933-8) consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable (figure 2.6). Après 20 min, les hauteurs (du sable propre et total (sable propre et flocculat) sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport entre ces deux hauteurs, exprimé en pourcentage. [10]



Figure 2.6. Essai d'équivalent de sable

On a conclu après tous les essais d'identification fait au niveau de laboratoire que ce sable est un sable de granulométrie à majorité de grains fins, avec une classe granulaire ($d/D = 0/3\text{mm}$) (figure 2.7), de module de finesse égale à 1.9 et un pourcentage de fine égale à 0.6%.

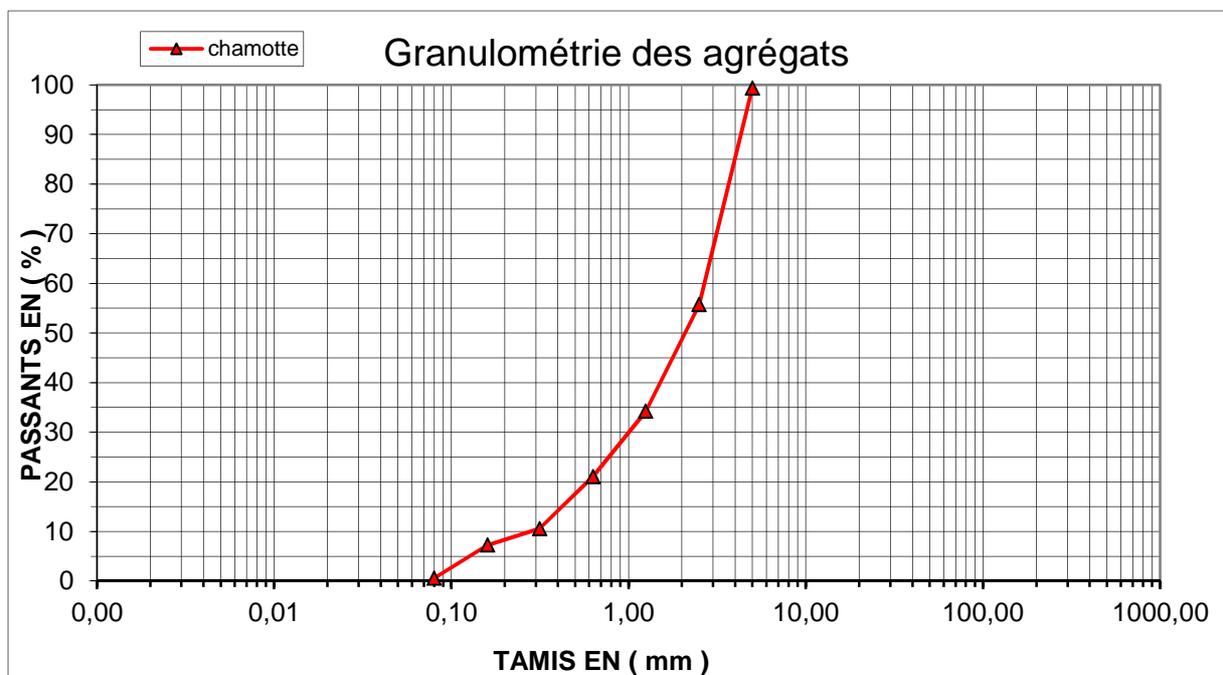


Figure 2.7. Courbes granulométriques de sable (Laghouat).

La masse volumique apparente de l'ordre de 1370 Kg/m^3 et la masse volumique absolue est d'ordre 2500 Kg/m^3 . Les valeurs optimales de foisonnement (Masse volumique optimale $M_v = 925 \text{ kg/m}^3$, teneur en eau optimale $w = 5\%$), (figure 2.8).

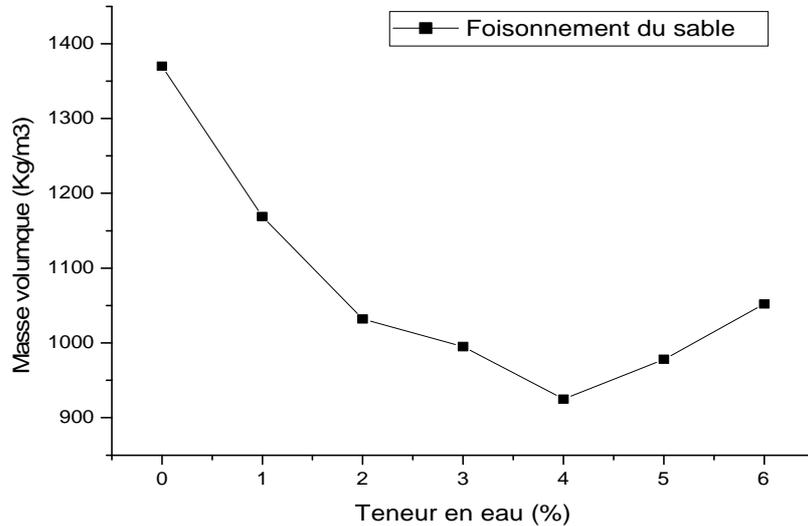


Figure 2.8. Courbe de foisonnement du sable

Ce sable présente un équivalent de sable ($ES = 70\%$) qui indique que c'est un sable propre de faible à légèrement argileux, utilisable pour un béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.

Comme conclusion sur ce matériau, le sable choisi de Guelta est un sable utilisable pour fabriquer les bétons et les mortiers pour des constructions de Génie civil. [7]

2.3 Eau de gâchage :

Eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au mortier sa plasticité, donc son ouvrabilité. La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme algérienne NA 1966 équivalente à la norme européenne EN 1008. [8]

2.3.1 Importance du rapport eau/ciment :

Les dosages de l'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet, l'ouvrabilité et la résistance sont grandement affectées par ces deux paramètres. Plus le rapport eau/ciment est grand, plus l'ouvrabilité sera grande. En effet, plus il y a d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport des masses E/C « moyen » est normalement fixé à

0,55. C'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance.

Le phénomène de ressuage est dû à un rapport eau sur ciment trop élevé. Il se manifeste par l'apparition d'une flaque au-dessus du béton frais. Au niveau des granulats, on observe la présence d'eau à l'interface entre les granulats et la pâte de ciment. La résistance en est réduite, car l'eau s'évapore et il y a des vides entre le granulat et la pâte. [8]

L'eau de gâchage utilisé est celui de l'eau distribué par les réseaux publics. L'analyse chimique de cette eau de gâchage est résumée dans le tableau 2.2 suivant.

Tableau 2.2. Composition de l'eau de gâchage (mg/l). [08]

Cl ⁻	75
NO ₃ ⁻	0
PH	7
Zn ⁺²	0
SO ₃ ⁻²	0

2.4. Adjuvant utilisé :

L'adjuvant ajouté dans ce mélange a pour but de minimiser la quantité d'eau pour avoir un rapport E/C moyen ou faible et obtenir une meilleure résistance.

L'adjuvant utilisé MEDAFLOW 3041 R sika (figure 2.9), est un super plastifiant haut réducteur d'eau, il est fabriqué à GRANITEX, zone industrielle à Oued Smar, Alger, il est formulé à base de polymères de synthèse et combinés ce qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 3041 R représente un effet retardataire comme action secondaire [07]. Cet adjuvant est commercialisé selon les exigences de la norme algérienne NA 774 équivalente à la norme EN 934-2. [12]



Figure 2.9. Adjuvant sika.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton ou mortier, après que 50 à 70 % de l'eau de gâchage ait déjà été introduit. L'adjuvant peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur. Le MEDAFLOW 3041 R est conditionné dans des bidons de 10 kg en futs. Il peut être conservé durant une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$). Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer. [12]

Les caractéristiques de l'adjuvant utilisé sont présentées dans le (tableau 2.3) suivant :

Tableau 2.3. Les caractéristiques du Le MEDAFLOW 3041 R. [12]

Caractéristiques	Aspect	Couleur	Extrait sec	Densité	pH	Teneur en chlore
valeur	Liquide	Brun clair	30% +1	1.08 ± 0.01	6 – 6.5	< 0.1 g/l

2.5. Chamotte :

La chamotte utilisée au cours de cette étude est une chamotte de brique qui provient de Rahouia commune de la Wilaya de Tiaret, sous état grenue elle est broyée au sien de notre laboratoire de génie civil (figure 2.10).



Figure 2.10. La chamotte utilisée

La fiche technique de la chamotte se présente sous le (tableau 2.4) suivant :

Tableau 2.4. Fiche Technique de la chamotte. [9]

Analyse chimique	Valeur en pourcentage (%)
Al ₂ O ₃	41.0%
SiO ₂	52.9%
Fe ₂ O ₃	1.3%
TiO ₂	1.6%
K ₂ O	0.5%
Na ₂ O	0.1%
CaO	0.3%
MgO	0.3%

2.5.1 Broyage de la chamotte :

Le broyage a été fait au laboratoire de génie civil en utilisant la machine Los Angeles (figure 2.11).



Figure 2.11. Broyage de la chamotte dans la machine Los Angeles.

2.5.2 Tamisage :

Le tamisage se fait à l'aide des tamis et de la tamiseuse comme la montre la figure (figure 2.12).



Figure 2.12. Tamisage de la chamotte

2.5.3 Analyse granulométriques :

Les résultats de l'analyse granulométriques sont présentés dans le (tableau 2.5) et (la figure 2.13) suivants :

Tableau 2.5. Analyse granulométrique de la chamotte

Masse sèche « chamotte » M =2kg				
tamis (mm)	refus Mi (g)	refus cumulés Mc(g)	refus cumulés (%)	tamisât cumulés Pt=100-P1 (%)
6.3	13g	13g	0.65%	99.35%
4	266g	279g	13.95%	86.05%
2.5	607g	886g	44.3%	55.7%
2	125g	1011g	50.55%	49.45%
1.6	128g	1139g	56.95%	43.05%
1.25	176g	1315g	65.78%	34.22%
0.8	178g	1493g	74.65%	25.35%
0.63	86g	1579g	78.95%	21.05%
0.5	64g	1643g	82.15%	17.85%
0.315	146g	1789g	89.45%	10.55%
0.2	34g	1823g	91.15%	8.85%
0.16	32g	1855g	92.75%	7.25%
0.125	109g	1964g	98.2%	1.8%
0.1	10g	1974g	98.7%	1.3%
0.080	14g	1988g	99.4%	0.6%
0.063	4g	1992g	99.6%	0.4%
Fond	8g	2000g	100 %	0.0 %

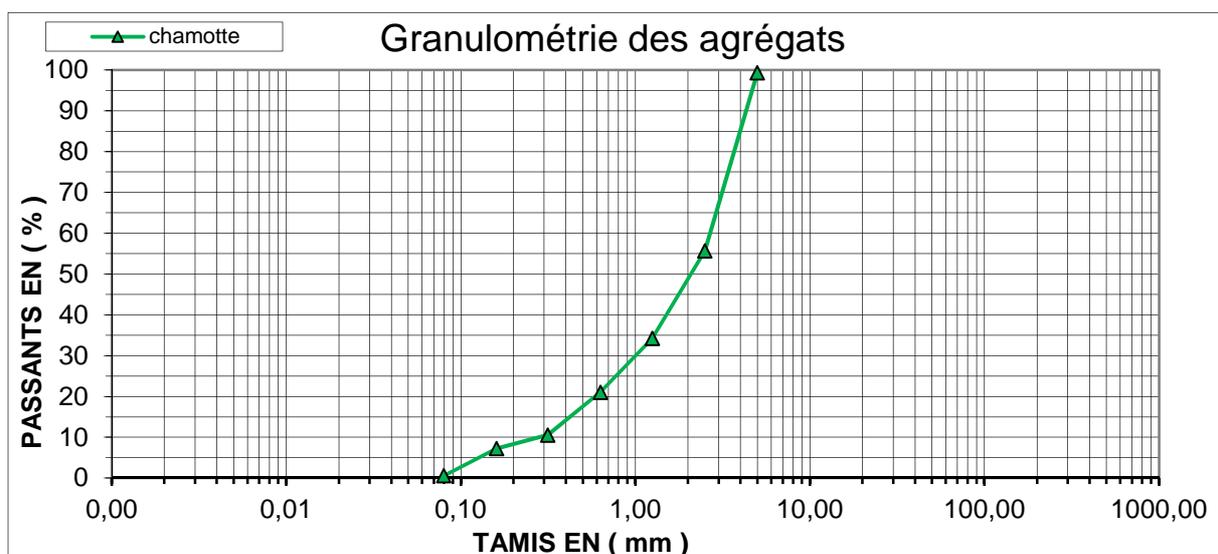


Figure 2.13. Analyse granulométrique de la chamotte.

A partir de la courbe granulométrique on constate que la chamotte obtenue est de classe 0/3, le pourcentage des éléments fins (fines) est d'environ 0.6% avec un module de finesse égale à 2.08 qui indique que cette chamotte est de majoritairement de grain fin (Mf compris entre 1.8 et 2.2).

2.5.4 Masse volumique :

Les résultats de la masse volumiques sont présentés dans le (tableau 2.6) suivant:

Tableau 2.6. Masse volumique apparente de la chamotte

Masses volumiques	Mesures	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Apparente	Masse de l'échantillon M1 (g)	1182	1178	1187
	Volume d'échantillon V (litre)	1 litre	1 litre	1 litre
	Masse Volumique apparente M/Vaps (kg/m3)	1182	1178	1187
		1182		
Absolue	Volume d'eau V1 (ml)	400	400	400
	Masse de l'échantillon M1 (g)	350	350	350
	Volume d'échantillon V2 (ml)	550	548	550
	Masse Volumique absolue M/Vaps (kg/m3)	2333	2360	2333
		2342		

2.6 Fumée de silice :

La fumée de silice incorporée dans notre mortier (figure 2.14) provienne de l'usine TEKNACHEM zone industrielle de Sidi Bel Abbes, est principalement utilisé dans tous les bétons et les mortiers de hautes performances. [11]



Figure 2.14. Fumée de silice utilisée

Elle est utilisée aussi dans la préparation de [11] :

- coulis de protection ;
- coulis pour injection de consolidation ;
- coulis expansifs ;
- bétons et mortiers à haute résistance mécanique ;
- bétons et mortiers à haute imperméabilité.
- bétons pré comprimés résistants à l'action chimique.
- bétons et mortiers pour utilisation sous-marine, spécialement en milieu agressif ;
- mortiers thixotrope pour réfection et réparation Et dans toutes les configurations où il est demandé aux mortiers ou aux bétons des caractéristiques supérieures, telles que :
 - Résistances mécaniques ;
 - Résistances chimiques ;
 - Résistances à l'usure et à l'abrasion ;
 - Imperméabilité ;
 - Stabilité et cohésion ;
 - Durabilité Il est aussi utilisé pour réduire le ressuage des bétons.

La composition chimique de la fumée de silice est présentée dans le tableau (2.7) ci-dessous :

Tableau 2.7. Composition chimique de la fumée de silice. [11]

compositions	Valeur
SiO ₂	>95%
CaO	<0.5%
MgO	<1.0%
Fe ₂ O ₃	<1.0%
Al ₂ O ₃	<0.5%
Autres composants	Des traces

Les données techniques de la fumée de silice sont présentées dans le tableau (2.8) :

Tableau 2.8. Données techniques de la fumée de silice [11].

Etat physique	Poudre
Couleur	Argent
Granulométrie	de 0,05 à 0,15 µm
Densité	environ 0,3 kg/dm ³
Solubilité dans l'eau	Insoluble
surface spécifique	220.000cm ² /g

La marge de dosage moyenne préconisé par le fabricant est de 3 à 5% du poids du ciment en fonction du mélange et des caractéristiques voulues. D'autres dosages peuvent être utilisés, après des essais préliminaires.

La fumée de silice doit être introduite avec le ciment. Afin de tirer toutes les performances, il est indispensable de défloculer complètement les micro-particules de silice. Pour cela, la fumée de silice doit être systématiquement associée avec un super-plastifiant / haut réducteur d'eau. [11]

2.7 Conclusion :

Les essais d'identification des matériaux effectués au laboratoire donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers. Ces derniers permettent à faire le choix entre les différents matériaux vis-à-vis la

qualité recherchée et aide d'une façon significative à commenter et argumenter les résultats des essais expérimentaux.

CHAPITRE 03**CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MECANIQUES****3.1 Introduction :**

Dans ce chapitre on va bien détailler le cadre expérimentale pour la réalisation des mortiers d'essai, l'obtention des éprouvettes ,leurs conservation, conditionnement et la mesure des comportements mécaniques des mortiers, dans le but de mettre en évidence l'influence des ajouts sur les propriétés physico-mécanique des mortiers confectionnés à base de ciment, de chamotte et de la fumée de silice. Ce travail a été en parties :

1. Au laboratoire des PFE du département de génie civil ;
2. Au Laboratoire LTPO- TIARET.

3.2. Conception de campagne expérimentale**3.2.1. Confection des mortiers et programme:**

Pour atteindre l'objectif visé par l'étude, on a confectionné un mortier de référence sans additions dont la composition est inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1, avec une quantité d'eau ajustée afin d'obtenir une consistance de référence, (Figure 3.1), celui-ci est confectionné avec un rapport $E/C= 0.55$, pour définir certaines caractéristiques notamment la résistance avec $E/C=0.55$; Le second mortier est obtenu simplement en remplaçant la moitié de la masse de sable par la chamotte on gardant toujours le même rapport E/C , (Figure 3.1).

Le troisième mortier, revient principalement à augmenter le pourcentage de la chamotte à 100% et à diminuer celui du sable à 0%. Le rapport E/C était toujours maintenu à 0.55 et pour avoir une bonne plasticité un adjuvant a été introduit avec une quantité inférieure à 1%. Il est a noté que le rapport E/C et le dosage en adjuvant a été fixé après gâchée d'essai.

Par la suite, une fraction de ciment a été remplacé par la fumée de silice avec les rapports suivants : (2.5 ; 5 ; 7.5 et 10%).

**Mortier témoin****Mortier à base de chamotte****Figure 3.1. Mortier fabriqués**

3.2.2. Procédure expérimentale :

Le programme expérimental à suivre est présenté dans le tableau ci-dessous (tableau 3.1), sous forme des phases accomplies pour chacun des objectifs généraux du projet. Les différents mélanges des mortiers produits pour chacune des phases réalisées dans le cadre de ce projet y sont également présentés. Nous utiliserons des mortiers normaux, selon la norme **NFP 15-403** dont la composition est dans le (tableau 3.1) suivant :

Tableau 3.1. Programme expérimental

Essai n°01 : mortier témoin.	Sable=1350g (100%) ; ciment=675g ; eau=371,25g ; E/C=0.55 ; chamotte=0% ; adjuvant=0%.
Essai n°01 : 50% chamotte	sable =50 % (675g) ; ciment=675g ; chamotte = 50% (675g) ; eau=371,25g ; E/C=0.55; adjuvant=0.148%=1g.
Essai n°02 100% chamotte	chamotte=100% ; ciment=675g ; eau=371,25g ; E/C=0.55 ; ; adjuvant=0.148%=1g ; Sable= (0%).
Essai n°04 Fumée de silice 2.5%	chamotte=100% ; ciment=658g ; eau=371,25g ; E/C=0.55 ; adjuvant=0 ; fumée de silice=17g (2.5%de poids du ciment); Sable= (0%).
Essai n°05 Fumée de silice 5 %	chamotte=100% ; ciment=641g ; eau=371,25g ; E/C=0.55 ; adjuvant=0.148%=1g ; fumée de silice=34g (5%de poids du ciment) ; Sable= (0%).
Essai n°06 Fumée de silice 7.5 %	chamotte=100% ; ciment=624g ; eau=371,25g; E/C=0.55 ; adjuvant=0.148%=1g ; fumée de silice=51g (7.5%du poids du ciment) ; Sable= (0%).
Essai n°07 Fumée de silice 10 %	chamotte=100% ; ciment=607g ; eau=371,25g ; E/C=0.55 ; adjuvant=0.148%=1g ; fumée de silice=68g (10%du poids de ciment) ; Sable= (0%).

3.3. Préparation des mortiers et conservation :

L'eau et le ciment avec ou sans additions sont introduits dans le récipient à l'arrêt, puis le malaxeur (figure 3.2.) est mis en marche à vitesse lente pendant 60 secondes, puis à vitesse rapide pendant 30 secondes ; le sable étant introduit les premières 30 secondes. Pendant l'arrêt du malaxeur pendant 90 secondes, un raclage manuel des parois du récipient est effectué pendant les premières 15 secondes d'arrêt, puis le malaxeur est remis en marche à vitesse rapide pendant 60 secondes.



Figure 3.2. Le malaxeur

3.3.1. Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes utilisées sont de forme prismatique de section carrée (40 x 40 x 160) mm, (figure 3.3).



Figure 3.3. Éprouvettes prismatiques

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai :

1. Enduire les faces latérales intérieures et le fond du moule d'une légère couche d'huile de décoffrage.
2. Fixer le moule et la hausse sur la table à vibrante ;
3. Remplir le moule (4 x 4 x 16) (figure 3.4), le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en mettre la table vibrante en marche ;
4. Arasé la surface du moule avec la règle plate à araser ;
5. Etiqueter les moules (date/groupe...etc.) et couvrir la surface par une plaque de verre ;
6. Après 24 heure ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20\text{ C}^\circ \pm 1\text{ C}^\circ$ jusqu'au moment de l'essai de rupture (noter les informations de l'étiquète sur les éprouvettes) ;

7. 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 ;



Table vibrante

moule rempli

Figure 3.4. Coulage des éprouvettes

Remarque :

Nous avons utilisée la table vibrante au lieu de la table à choc a cause d'une panne de l'appareil pendant quelques secondes.

3.3.2. Conservation des éprouvettes :

Le démoulage a été effectué à un jour après. Une fois démoulée, les échantillons conçus pour la résistance mécanique (Figure 3.5)

Ont les a conservés dans un bac rempli d'eau potable à une température et humidité ambiante statée à $20 \pm 1^\circ\text{C}$, afin de laisser les effets des retraits thermique et endogène se dissiper, et de laisser la maturation du mortier se faire complètement jusqu'à l'échéance déterminée (28 jours). (Figure 3.5).



Figure 3.5. Le démoulage des éprouvettes et la Conservation des éprouvettes.

3.4. Caractéristiques mécaniques des éprouvettes :

3.4.1. Essais de résistances mécaniques :

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm.

3.4.2. Résistance à la traction par flexion :

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à rupture.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion.

Rf (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1.5 * P * L}{b^3}$$

D'où :

Rf : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

P : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

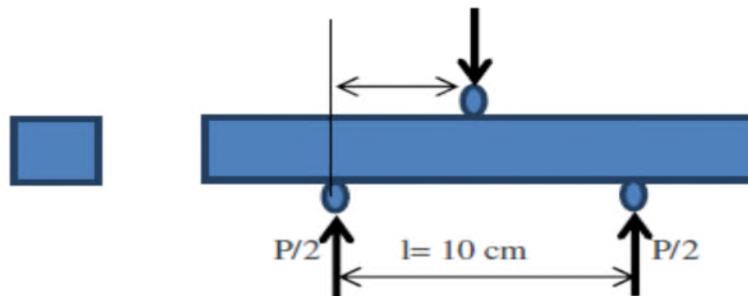


Figure 3.6. Dispositif pour l'essai de résistance a la flexion.

La machine utilisée est la machine de flexion trois points (deux appuis et un une force concentré au milieu), elle est représentée dans la figure ci-dessous (figure 3.7).



Figure 3.7. L'essai de flexion.

3.4.3. Résistance à la compression :

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

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

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

D'où :

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

b^2 : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

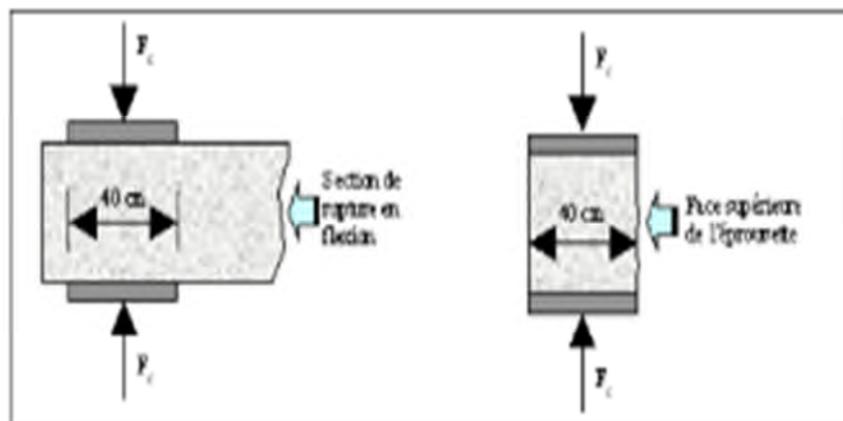


Figure 3.8. Dispositif pour la résistance a la compression.

La machine utilisée est la machine de compression, conforme à la norme EN 12390-4 avec un dispositif de surface 4x4 cm². Elle est représentée dans la figure ci-dessous (Figure 3.9).



Figure 39. L'essai de compression.

3.5. Comportement des éprouvettes à la température :

Les éprouvettes ont été mit au four pour connaitre la résistance des mortiers vis-à-vis de la température, ils ont été confrontés a une température de 1100 °C pendant 4 heures ; Le four utilisé est celui de l'entreprise algérienne des fonderies de Tiaret, (figure3.10).



Figure 3.10. Chauffage du four a 1100 °C.

Remarque :

Après 1 heure et 30 minutes passées on remarque une panne d'électricité puis baissement de la température a 800 °C. Après de retirer les éprouvettes du four, ils ont été refroidis par l'air froid. (Figure 3.11).



Figure 3.11. Éprouvettes ayant subi un traitement thermique puis refroidi.

3.6 Conclusion

Ce chapitre représente la partie la plus importante de notre travail de recherche qui présente en sa totalité un travail expérimental. Cette partie expérimentale nous a permis de revoir une bonne partie des essais qu'on a vu durant notre graduation et de maîtriser encore

mieux ces derniers : calcul de composition, fabrication des mortier, malaxage, choix de la proportion de l'adjuvant et les essais mécaniques.

Le choix du programme expérimental reste la clé de réussite de ce travail, il nous a permis de confectionnés plusieurs types de mortiers de différentes compositions et de voir de près la différence entre tel ou tel mortier.

Aussi le travail expérimental effectué au niveau de l'entreprise algérienne des fonderies de Tiaret, nous a permis de piétonnier la vie professionnelle.

CHAPITRE 04**RESULTATS ET INTERPRETATION****4.1 Introduction :**

Ce chapitre est consacré à l'étude, l'analyse et l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus durant notre programme expérimental. Notre travail est de savoir le comportement du mortier composé de différents pourcentages de chamotte et de fumée de silice substitué de la masse de ciment. Pour donner une meilleure lisibilité aux résultats ces derniers seront présentés dans des tableaux et par des courbes. Des conclusions seront exploitées dans ce chapitre.

4.2 Résultats :**4.2.1 Mortier témoin :**

Les résultats des essais de flexion et de compression sur le mortier ordinaire témoin « mortier MO1 » sont représentés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Les Résultats du mortier ordinaire témoin après 28 jours.

Mortier	Force de Traction (N)	Contrainte de traction (Mpa)	Force de Compression (MPa)	Contrainte de compression Rc (MPa)
MO1	2500	5.00	61.16	38.23

4.2.2 Mortier : mélange (50% chamotte / 50% sable)

Le deuxième paramètre est confectionné avec un pourcentage de 50% de chamotte et 50 % de sable avec les mêmes conditions que ce soit les pourcentages des ajouts et d'eau ou les conditions de conservation, les résultats des essais sont représentés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Les résultats des essais sur le mortier 50/50 après 28 jours.

Mortier	Force de Traction (N)	Contrainte de traction (Mpa)	Force de Compression (MPa)	Contrainte de compression Rc (MPa)
M2	1662	3.32	45.25	28.28

4.2.3 Mortier à 100% de chamotte :

Les résultats des essais sur le mortier 100% de chamotte sont indiqués dans le tableau 4.3, avec un pourcentage d'adjuvant retenu égale à 0.3% et un rapport E/C= 0.55.

Tableau 4.3 : Les résultats des essais sur le mortier 100% chamotte après 28 jours.

Mortier	Force de Traction (N)	Contrainte de traction (Mpa)	Force de Compression (MPa)	Contrainte de compression Rc (MPa)
M3	1610	3.22	39.70	24.81

4.2.4 Mortier à base de chamotte et différents pourcentage de la fumée de silice :

Les autres mortiers sont confectionnés avec un pourcentage varié de fumée de silice substitué de la quantité de ciment. Les mortiers concernés sont (M4, M5, M6, M7, M8) de pourcentage de la fumée de silice successive de (2.5 % ; 5 % ; 7.5 % et 10 %). Les résultats des essais sont représentés dans le tableau suivant (tableau 4.4).

Tableau 4.4 : Les résultats des essais sur les mortiers chamotte-fumée de silice après 28 jours.

Mortiers		Force de Traction (N)	Contrainte de traction (Mpa)	Force de Compression (MPa)	Contrainte de compression Rc (MPa)
M4	0% fumée de silice	1610	3.22	39.70	24.81
M5	2.5% fumée de silice	1870	3,74	49,05	30,66
M6	5% fumée de silice	1875	3,75	53,35	33,34
M7	7.5 % fumée de silice	1435	2,87	50,75	31,72
M8	10% fumée de silice	1400	2,8	45,15	28,22

Ces mortiers sont confectionnés avec les mêmes conditions que ce soit les pourcentages des ajouts et d'eau ou les conditions de conservation.



Figure 4.1. Les éprouvettes après 28 jours.

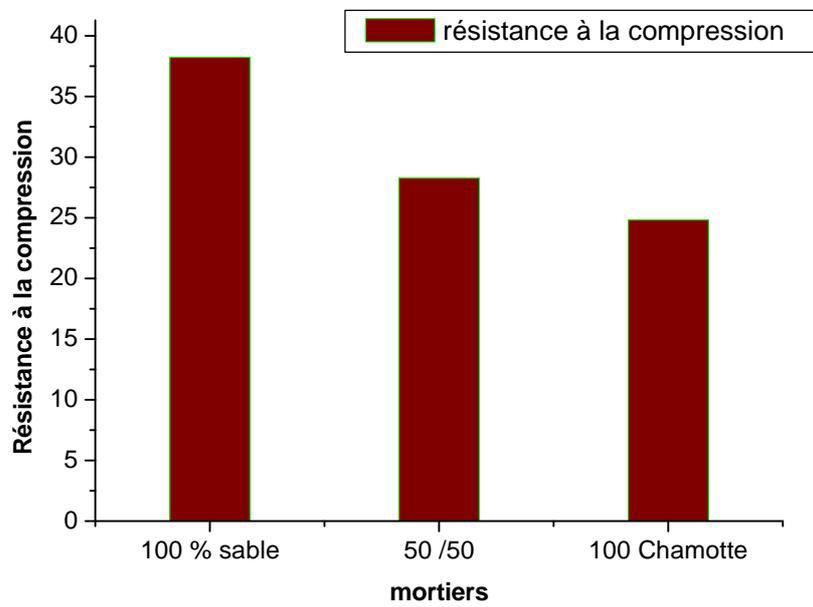


Figure 4.2 : Effet de la chamotte sur la résistance à la compression.

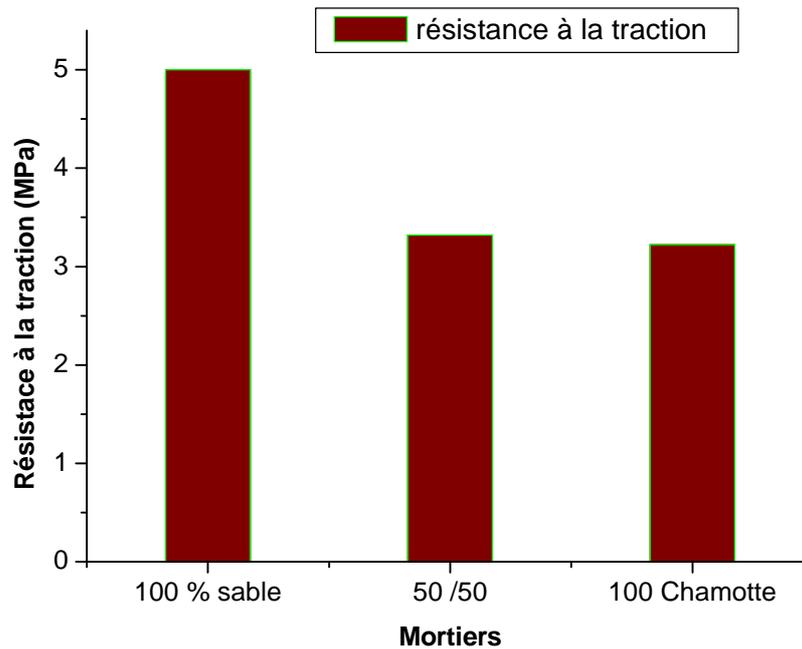


Figure 4.3 : Effet de la chamotte sur la résistance à la traction.

Nous constatons tous d'abord que les résistances ont diminué en remplaçant partiellement ou complètement le sable par la chamotte. Donc les résistances d'un mortier de chamotte ne donnent pas une résistance meilleure par rapport un mortier de sable normale. Cette diminution est estimée à plus de 35.5 % pour la résistance à la compression et à plus de 30 % pour la résistance à la traction. Un autre résultat peut retenir ici, tel que l'ajout du sable dans un mortier de chamotte réagit positivement pour la qualité de ce dernier.

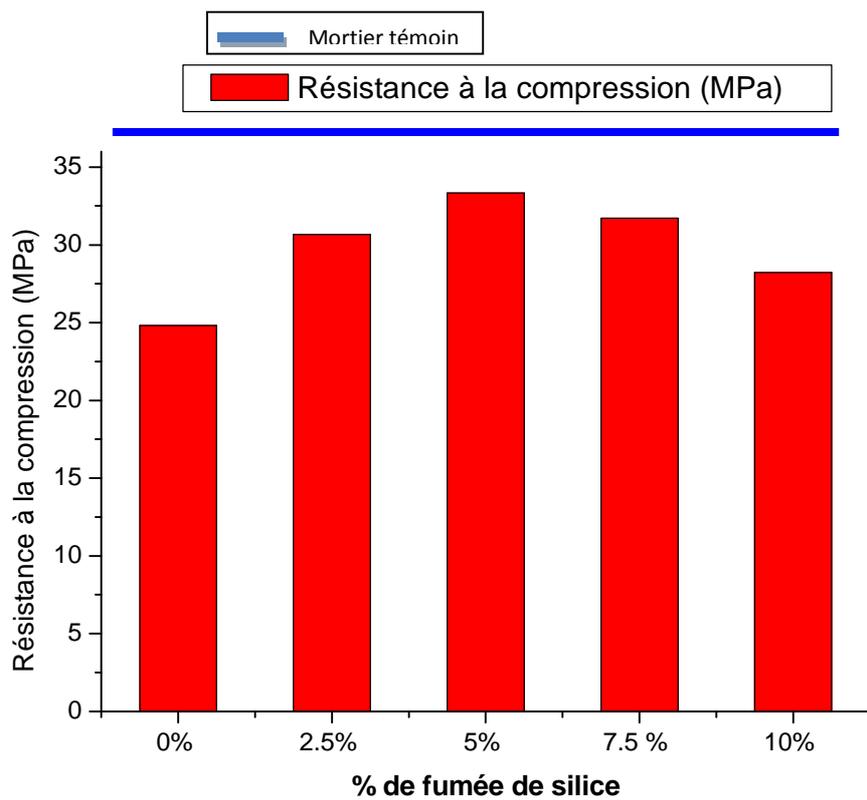


Figure 4.4 : Influence de pourcentage de la fumée de silice sur la résistance à la compression.

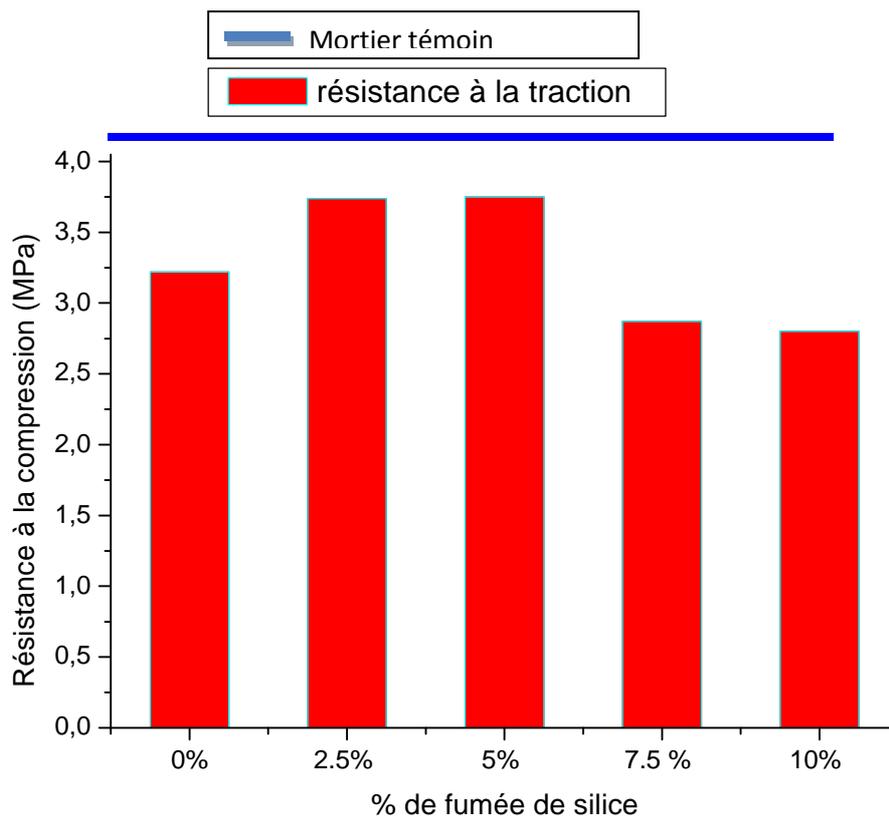


Figure 4.5 : Influence de pourcentage de la fumée de silice sur la résistance de traction.

Les figure 4.4 et 4.5 ; représentent respectivement la variation des résistances à la compression et à la traction des mortiers de chamotte en fonction du dosage en fumée de silice.

Nous constatons tous d'abord qu'on faisant varier le dosage en fumée de silice de 0 à 10 %, les résistances augmentent puis diminuées pour les deux cas de la résistance, en compression et en traction :

De 0 à 5 % : l'augmentation est estimée à plus de 34 % (de 24.81 à 33.34.53 MPa) pour le cas de la résistance à la compression, tandis que l'augmentation de la résistance à la traction est un peu faible estimée à plus de 16 % (de 3.22 à 3.75 MPa).

De 5 à 10 % : la diminution est estimée à plus de 15 % (de 33.34 à 28.22 MPa) pour le cas de la résistance à la compression tandis que la diminution de la résistance à la traction est estimée à 25 % (de 3.75 à 2.8 MPa).

Aussi, on remarque que malgré ces pertes de résistance à partir des pourcentages de fumée de silice supérieure à 5 %, les résistances restent valables et suffisantes mais n'apportent pas d'amélioration.

Comme conclusion, on peut dire que l'ajout de la fumée de silice dans un mortier de chamotte est avantageux et bénéfique pour toute quantité de fumée de silice égale à 5 %.

4.2.5 Les éprouvettes chauffées :

Les résultats des éprouvettes chauffées sont représentés dans le tableau 4.5 ci-dessous :

Tableau 4.5 : Les résultats des essais sur les mortiers chamotte-fumée de silice après 28 jours.

Mortier	Force de Traction (N)	Contrainte de traction (Mpa)	Force de Compression (MPa)	Contrainte de compression Rc (MPa)
100% sable	0	0	0	0,0
50%/50%	600	1,2	30,0	18,8
0% fumée de silice	800	1,6	34,0	21,3
2.5% fumée de silice.	900	1,8	37,0	23,1
5% fumée de silice.	1100	2,2	40,0	25,0
7.5 % fumée de silice.	650	1,3	33,0	20,6
10% fumée de silice.	500	1	29,0	18,1

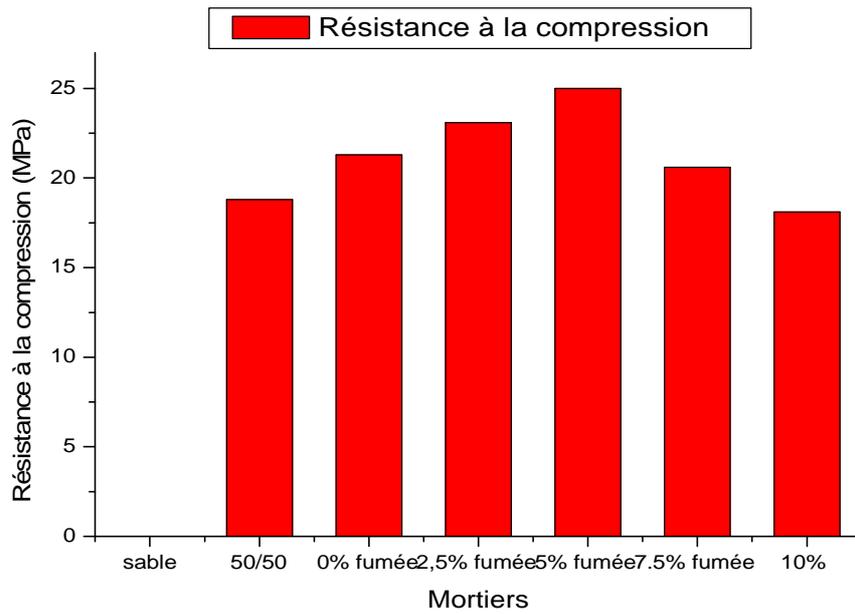


Figure 4.6 : Effet de la température sur la résistance à compression des mortiers

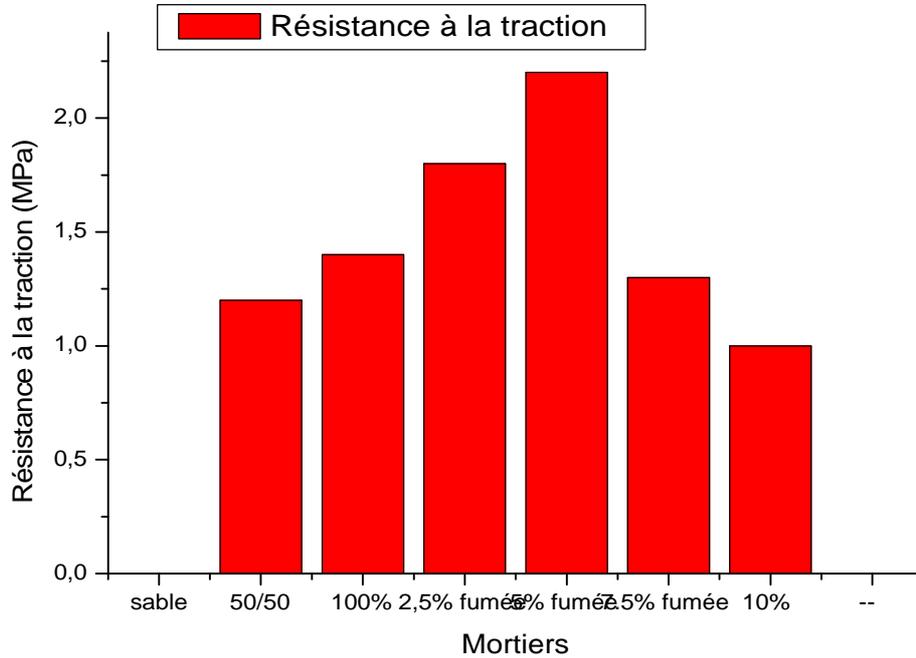


Figure 4.7 : Effet de la température sur la résistance à la traction des mortiers

Les résultats du tableau 4.5 et les figure 4.6 ; et 4.7, ont montré que les mortiers fabriqués ne présentent pas de bon résistances mécanique après un chauffage de plus de 1000°C

Le mortier témoin, composé seulement du a été complètement endommagé, par contre, les autres mortiers de chamotte ont gardé leurs géométries initiales, mais ils présents des résistances faible avec une valeur maximale égale à 25.0 MPa de compression et 2.2 MPa de traction.

Il faut noter que la température de 1000⁰C est une température très élevée, pour titre de comparaison, pour fabriquer la chaux, le calcaire argileux et cuit à une température de 950 ⁰C.

Comme conclusion on peut dire que l'emploi de la chamotte empêche l'endommagement des éprouvettes malgré que la résistance de ce dernier devienne très faible par la suite.

4.3 Conclusion :

On conclusion, on peut dire que le mortier de chamotte est un mortier d'une résistante représente d'environ 70 % de la résistance d'un mortier ordinaire de sable et que l'ajout du sable améliore la qualité de ce dernier.

Les résistances peuvent être augmentées de plus de 34 % pour la compression et de plus de 16 % pour le cas de la traction en ajoutant la fumée de silice à environ de 5 % ; au de la de cette valeur la résistance commence à chuter lentement. Cette chute est estime à 15 % pour la compression et à 25% pour la traction on passant de 5 % à 10 % de fumée de silice.

L'emploi de chamotte permette aux mortiers de résister à des hautes températures (1000°C) et empêche leur endommagement. Les résistance sont affectées par la température et deviennent faible.

Conclusion generale

Le travail présenté dans ce mémoire, nous a permis dans sa partie théorique d'apprendre beaucoup d'informations et cumulé une banque de donnée relative aux mortiers.

La recherche expérimentale nous a permis de savoir la résistance d'un mortier confectionné avec un mélange constitué de pourcentage différent de la chamotte et de la fumée de silice et une quantité d'adjuvant inférieur à 1% ; dont le but d'avoir un nouveau matériau de comportement répondant à certaines exigences et en même temps économique.

Après un long travail subdivisé en plusieurs lieux : laboratoire de matériaux de construction et de projet de fin d'étude (MDC - PFE) de notre université de Tiaret, l'usine de la fonderie de Tiaret et le laboratoire de travaux publics Tiaret « LTPO », on a pu terminer notre programme expérimental et retenir les résultats et les conclusions suivantes :

Une bonne identification des matériaux effectués au laboratoire permis d'avoir une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers et aide d'une façon significative à commenter et argumenter les résultats des essais expérimentaux.

La résistance des mortiers à base de chamotte seule, reste faible par rapport aux mortiers du sable ordinaire. La substitution de chamotte par une quantité de sable améliore la résistance de ce type de mortiers dans les mêmes conditions que ce soit de composition (adjuvant et du rapport E/C) ou de conservation.

L'ajout de la fumée de silice de 2.5 % à 10 %, augmente les résistances mécaniques des mortiers, et la valeur optimale est de 5 %, après cette valeur la résistance diminuera légèrement.

La cuisson « brûlure » des éprouvettes sous une température de plus de 1000°C et de temps de maintien environ 4 heures nous a donné une résistance très faible à la traction et à la compression. Le résultat intéressant est que le mortier de chamotte résiste bien à cette température (pas de d'endommagement) contrairement au mortier confectionné avec le sable qui est endommagé dans le four.

À la fin on peut dire que les mortiers à base d'un mélange de chamotte et de la fumée de silice peuvent être utilisés à la place des mortiers ordinaires à base de ciment et cela pour but de réutiliser la chamotte recyclée.

Conclusion generale

En perspective, le présent travail peut être accompli par d'autres travaux comme la fabrication des bétons et des éléments réfractaires à base de chamotte et de fumée de silice.

Référence :

- [01]BOUALI. K. Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. Mémoire de master. Université de M'Hamed BOUGARA-BOUMERDE 2013/2014.
- [02] BELHOCINE. A & NAGOUDI. N. Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux. Mémoire de master. Université KASDI Merbah – Ouargla 2013/2014.
- [03] Mr AMRANE. B. élaboration et caractérisation d'un matériau réfractaire thermorésistant pour supports de cuisson rapide des produits céramiques. Mémoire de magister. Université LMMC – Boumerdes 2002/2003.
- [04] solution béton La fumée de silice : l'addition incontournable pour des bétons durables dans la norme Béton NF EN 206-1 version Mars 2011.
- [05]GHRGOUR. R & BOUAKKA. M. Influence de la concentration d'un milieu salin sur le mortier à base de ciment local. Mémoire de master .université de Tiaret 2016.
- [06]BENSLIMANE.W & BENAMAR.F. Comportement du mortier a base de ciment à différents dosage en filler calcaire : cas de l'ENG. Tlemcen. Mémoire de master .université de Tiaret 2016.
- [07]BOURBAI. D. & BOUNOUIRA K. Fabrication et étude du comportement du béton auto-plaçant a différents dosage en filler calcaire : cas de l'ENG. Tlemcen. Mémoire de master .université de Tiaret 2016.
- [08]BENHASSINE EL. & MESSABIH.A. Influence du squelette granulaire sur le comportement du béton auto-plaçant. Mémoire de master .université de Tiaret 2016.
- [09] BELMAHI. S. Cours matériaux de construction. Licence 2& 3, Génie civil. Université de Tiaret. 2016.
- [10] BELMAHI. S. polycopie de travaux pratiques- matériaux de construction. Licence 2 & 3, Génie civil. Université de Tiaret. 2016.
- [11] TEKNACHEM ALGERIE SARL Sidi Bel Abbes. Fumée de silice active sélectionnée à haute pureté .Fiche technique Version Mars 2010.

[12] SIKA S95 DM Fumée de silice densifiée pneumatiquement pour bétons hautes performances et haute durabilité Conforme à la norme NF P 18-502 et NF EN 13263-1. Notice technique Numéro 2.82 Version n°68.2004 SIKA S95 DM. Edition avril 2004