



Département de Génie de Procédés

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

De Licence professionnalisant en :

Génie de la Formulation.

Thème :

Etude des propriétés physico-mécaniques et chimiques des mortiers élaborés à base d'ajouts du déchet de brique réfractaire (MTA).

Réalisé par :

NABI Imane

Tuteur de l'Institut :

BENHOURIA Assia

Soutenu devant le Jury :

- | | |
|----------------|---------------|
| - Présidente | ZAINI Salima |
| - Examinatrice | DAIRI Nassima |

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah tout puissant pour nous avoir donné le privilège d'étudier et de suivre le chemin de la science et pour sa bénédiction.

Je tiens à remercier Madame Assia BENHOURIA, qui a encadré ce travail, notamment pour la confiance et l'indépendance qu'elle m'a accordé.

Je remercie notre encadreur de l'entreprise Monsieur Mahmoud KENANE qui nous a consacré beaucoup de son temps, ainsi que pour ses précieux conseils et sa grande patience.

Je remercie les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

J'en profite pour remercier tous le personnel de la cimenterie de Sour El Ghozlane pour leur accueil et leur amabilité. Je pense notamment à Madame Fouzia MAMERI, responsable du laboratoire de la cimenterie de Sour El Ghozlane, pour sa gentillesse et son aide.

Ma reconnaissance ira aussi à ma chère famille et à mes amis pour leur amour et leur soutien dans les moments difficiles.

ملخص

الغرض الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في إعادة تدوير نفايات الطوب الحرارية في تصنيع قذائف الهاون. مهمتنا إذن هي دراسة الخصائص الفيزيائية الكيميائية لهذه النفايات ، وتوصيف المكونات المختلفة وتوصيف قذائف الهاون الطازجة والمصلدة.

الكلمات المفتاحية: استرداد النفايات ، الطوب الحراري ، الهاون.

Résumé

Le présent travail a pour but principal de contribuer à la valorisation des déchets de briques réfractaires dans la fabrication des mortiers. Notre travail consiste à étudier les propriétés physico-chimiques de ces déchets, la caractérisation des différents constituants et la caractérisation des mortiers frais et durcis.

Mots clés: Valorisation de déchets, briques réfractaires, mortiers.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Etude bibliographique 2

I.1. Présentation de la société 2

I.1.1. Historique..... 2

I.1.2. Situation géographique 2

I.1.3. Identification de l'usine 2

I.2. Le ciment..... 3

I.2.1. Historique..... 3

I.2.2. Définition du ciment portland 3

I.2.3. Constituants du ciment..... 3

I.2.3.1. Le clinker..... 3

I.2.3.2. Le gypse(CaSO_4) 3

I.2.3.3. Les additifs 4

I.2.4. Etapes de fabrication du ciment 4

I.2.4.1. L'extraction et la préparation des matières premières..... 5

I.2.4.2. Le séchage et le broyage 5

I.2.4.3. Cuisson 5

I.2.4.4. Broyage du ciment 6

I.2.5. Définition des ajouts cimentaires 6

I.2.6. L'intérêt de l'utilisation des ajouts..... 7

I.3. Les matériaux réfractaires 8

I.3.1 Définition des produits réfractaires 8

I.3.2	Différentes familles des produits réfractaires	8
I.3.2.1.	Les réfractaires façonnés	8
I.3.2.2.	Les réfractaires non-façonnés.....	9
I.3.3	Valorisation des déchets inertes	9
I.3.3.1.	Réutilisation	9
I.3.3.2.	Recyclage	10
I.3.3.3.	Elimination des déchets inertes	10
I.3.4	Briques réfractaires.....	10
I.3.4.1.	Définition	10
I.3.5	Principaux types de briques réfractaires	11
I.3.5.1.	Briques ordinaires	11
I.3.5.2.	Briques poreuses	11
I.3.5.3.	Briques d'argiles creuses à perforations	11
I.3.6	Brique réfractaire à base de bauxite	11
I.3.6.1.	La bauxite.....	11
I.3.7	Caractéristique des Briques moyenne teneur en alumine à base de bauxite (MTA)...	12
I.3.7.1.	Caractéristique chimique.....	12
I.3.7.2.	Caractéristique physique	12
I.4.	Les mortiers.....	13
I.4.1.	Définition des mortiers	13
I.4.2.	Constituants des mortiers.....	13
I.4.2.1.	Le liant.....	13
I.4.2.2.	Le sable	13
I.4.2.3.	L'eau de gâchage.....	13
I.4.2.4.	Les adjuvants.....	14
I.4.2.5.	Les ajouts.....	14
I.4.3.	Différents types des mortiers	14

I.4.3.1. Les mortiers de ciment	14
I.4.3.2. Les mortiers de chaux	14
I.4.3.3. Les mortiers bâtards	14
I.4.3.4. Mortier réfractaire	14
I.4.3.5. Mortier rapide.....	14
I.4.3.6. Mortier industriel.....	14
Chapitre II : Méthodes et matériels.....	15
II.1. Détermination des caractéristiques chimiques	15
II.1.1. Détermination de la perte au feu selon NF-EN 196-2	15
II.1.2. Détermination de l'anhydrite sulfurique par fluorescence X selon NF EN 196-2	16
II.1.3. Détermination de la chaux libre	16
II.1.4. Les éléments chimiques	17
II.1.4.1. Détermination de la silice selon NA 234.....	18
II.1.4.2. Dosage d'oxyde de fer	19
II.1.4.3. Dosage d'oxyde d'alumine.....	19
II.1.4.4. Détermination de la CaO	20
II.1.4.5. Détermination de MgO.....	21
II.2. Détermination des caractéristiques physico-mécanique	22
II.2.1 Refuse	22
II.2.2 Mesure la surface spécifique de Blaine selon NA 231	22
II.2.3 Stabilité (expansion) selon la Norme NA 230.	24
II.2.4 Essais de prise selon NA 230.....	25
II.2.4.1. Détermination De la consistance Normale	25
II.2.4.2. Détermination du temps de début et fin de prise	25
II.2.5 Mesure de la masse volumique absolue selon NA-231	26
II.2.6 Préparation des mortiers (selon la norme NA 234)	26

II.2.6.1.	Composition du mortier.....	26
II.2.6.2.	Démontions des éprouvettes.....	26
II.2.6.3.	Malaxage du mortier.....	27
II.2.6.4.	Démoulage des éprouvettes.....	27
II.2.6.5.	Conservation des éprouvettes.....	28
II.2.6.6.	Age des éprouvettes des essais de résistance mécanique.....	28
II.2.7	Essais sur éprouvettes de ciment durci selon NA 234.....	29
 Chapitre III : Résultats et discussions.....		30
III.1.	Caractérisation des constituants de mortier.....	30
III.1.1.	Caractérisation de Ciment.....	30
III.1.2.	Sable normalise CEN EN 196-1.....	31
III.1.3.	L'eau de gâchage.....	31
III.1.4.	Déchet de briques réfractaires (B.R).....	31
III.1.4.1.	Analyse chimique des déchets de brique réfractaire (MTA) par fusion.....	32
III.2.	Déférentes proportion utilisée dans les mortiers étudiés.....	33
III.2.1.	Représentation des différentes proportions en secteur.....	33
III.3.	Les caractéristique physico-mécanique et chimique des Différentes proportions utilisée substituant (déchet B.R -ciment).....	34
Conclusion générale.....		37

Liste des figures

Liste des figures

Figure I. 1 : Schéma de fabrication du ciment portland selon les différentes voies.....	4
Figure I. 2 : Broyeur sécheur a boulets.	5
Figure I. 3 : Différents ajouts cimentaires.....	6
Figure I. 4: Différents types d'ajouts cimentaires.....	7
Figure II. 1 : Four a moufle.	15
Figure II. 2: Les creusets dans le four à moufle.	15
Figure II. 3: Spectromètre à rayons X.	16
Figure II. 4: Pastilleuse.....	16
Figure II. 5: Filtrer sous vide immédiatement.	17
Figure II. 6: Bain-marie.....	17
Figure II. 7: La filtration.	18
Figure II. 8: Creuset sur un bac maker.	18
Figure II. 9: Matériels de dosage des oxydes.	21
Figure II. 10: Alpine.....	22
Figure II. 11: Les matériels utilisées pour mesure la surface spécifique de Blaine.	23
Figure II. 12: Le Chatelier.....	24
Figure II. 13: Le bain d'eau.	24
Figure II. 14: Appareil à VICAT automatique.	25
Figure II. 15: Appareil à VICAT.....	25
Figure II. 16: Un densimètre.	26
Figure II. 17: Le moule prismatique 4X4X16 cm.	26
Figure II. 18: Malaxeur.	27
Figure II. 19: Table à choc.	27
Figure II. 20: Aplanir les moules.	27
Figure II. 21: Démoulage des éprouvettes.....	28
Figure II. 22: Conservation des éprouvettes.....	28
Figure II. 23: Essais de flexion.....	29
Figure II. 24: Essais de compression.....	29
Figure III. 1: Sable normalise (1350g).....	31
Figure III. 2: Déchet de brique réfractaire.....	31
Figure III. 3: Déchet de B.R finement broyé.....	31
Figure III. 4: Différents constituants de déchet de brique réfractaire (MPa).....	32

Figure III. 5: 0%,10% substitution (déchet B.R- ciment).	33
Figure III. 6: 15%,20% substitution (déchet B.R- ciment).	33
Figure III. 7: Les résultats de résistance mécanique a la compression des différents types des mortiers.....	35
Figure III. 8: Les résultats de résistance mécanique a la flexion des différents types des mortiers.....	36

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Composition chimique de brique MTA.	12
Tableau I. 2: Caractéristique physique de brique MTA.	12
Tableau II.1: Gâchage mortier.	26
Tableau III. 1: Les caractéristique chimique, minéralogique, physique, mécanique de ciment portland CPA (CEM I 52.5 MPa).....	30
Tableau III. 2: Composition granulométrique du sable normalise CEN.....	31
Tableau III. 3: Analyse chimique des déchets de brique réfractaire (MTA).....	32
Tableau III. 4: Différents proportion utiliser substitution (déchet B.R -ciment).	33
Tableau III. 5: Les caractéristiques chimiques des différentes proportions utilisées substitution (déchet B.R -ciment).	34
Tableau III. 6: Les caractéristique physique des différentes proportions utiliser substitution (déchet B.R- ciment).	34
Tableau III. 7: Résistance mécanique des déférents mortiers en fonction du temps.....	35

Introduction générale

Introduction générale

Les mortiers ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans des divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales,... les liants hydrauliques sont les composés essentiels de ces derniers, ce sont des systèmes rendus complexes par l'incorporation de nombreux adjuvants, sous-produits et déchets issus des Industries de fabrication des matériaux de construction, dont les effets, bénéfiques et parfois antagonistes ne sont pas encore totalement compris.

Dans ce contexte, les laboratoires de recherche des matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de ces déchets, dans le but économique (réduire le coût de réalisation), écologique (éliminer ces déchets de l'environnement) et technique (améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers). Parmi ces déchets, les déchets des briques réfractaires peuvent être broyés et utilisés comme ajouts pour la fabrication des mortiers qui peuvent être exploités dans certains domaines comme:

- Montage et assemblage des cheminées à foyers ouverts ou fermés, des barbecues, des Fours à pains ou à pizzas à usage privé.
- Réalisation de conduites d'évacuation des fumées.

L'étude décrite dans ce rapport a pour objectif de faire le point sur la valorisation des déchets de briques réfractaires qui sont en abondance dans les cimenteries et les briqueteries Algériennes pour la confection des mortiers afin d'améliorer certaines propriétés physicomécaniques et thermiques.

Ceci nous a amené à étudier, dans un premier temps, les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques des différents constituants utilisés pour l'élaboration des mortiers, dans la troisième partie de ce rapport nous avons formulé et considéré ces derniers à l'état frais et durci sur le plan physico-mécanique. Enfin, la dernière partie dans cette étape consiste à l'étude des propriétés physico-mécaniques et chimiques des différentes variantes et enfin une conclusion générale.

Chapitre I : Etude bibliographique

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Présentation de la société

I.1.1. Historique

L'usine de Sour-El-Ghozlane est une cimenterie qui utilise la voie sèche. La réalisation de cette usine a été confiée à une société danoise F-L Smith avec laquelle la S.N.M.C a signé le contrat le 26 novembre 1979 avec des délais de réalisation de 38 mois. Le début des travaux a été fixé le 26 février 1980. La première production de ciment s'est réalisée le 20 octobre 1983 et le 26 février fut la date de la réception définitive de la cimenterie.

I.1.2. Situation géographique

La cimenterie de Sour-El-Ghozlane est située à 120 Km au sud d'Alger, et 27 Km de Bouira, chef lieu de la wilaya. La société occupe une position géographique stratégique, En effet, implantée aux limites du tell et des hauts plateaux, cette position lui permet de jouer un rôle économique important dans la région du centre du pays. Elle assure ainsi la satisfaction des besoins en ciment de plusieurs wilayas, Au nord : Médéa, Tizi-Ouzou, Bejaia, au centre : Djelfa, Laghouat. Au sud Ghardaïa, Illizi, Ouargla.

I.1.3. Identification de l'usine

La société du ciment de Sour El-Ghozlane est une société par action et filiale de groupe E.R.C.C (Entreprise Régionale des Ciment et Dérives du Centre).

- Constructeur : F.L smithien, Danemark.
- Qualité du Ciment : CPJ CEMII /A 42.5MPa.
- Production annuelle : 1.000.000 tonnes.
- Superficie totale : 41 Hectares.
- Superficie occupé : 11 Hectares.
- L'investissement est de =1.354 Milliards de Dinars.
- L'effectif employé se répartie comme suit (selon la synthèse de fin mars 2008) :
- Cadres supérieures =110.
- Maîtrise=298.
- Exécution=189.
- Totale=590.

I.2. Le ciment

I.2.1. Historique

En leur temps, les romains furent les premiers à fabriquer un liant hydraulique capable de faire prise sous l'eau en mélangeant de la chaux à des cendres volcaniques. Bien que connues depuis l'antiquité, les propriétés d'hydraulicité de ce mélange sont restées inexplicées pendant des siècles.

Ce n'est qu'en 1817 que Louis Vicat en établit la théorie et révéla les principes de fabrication du ciment artificiel que nous utilisons encore aujourd'hui. En 1824, l'écossais Aspdin augmente la température de cuisson du ciment jusqu'en début de fusion des matériaux de base et donne au ciment le nom de Portland en référence à la pierre de cette région dont les propriétés étaient comparables.

I.2.2. Définition du ciment portland

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker portland, de gypse et éventuellement d'additifs tels que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles ... [1].

I.2.3. Constituants du ciment

Les ciments sont constitués, par mélange et broyage. Ils se composent de:

I.2.3.1. Le clinker

Le constituant principal des ciments industriels actuels est le clinker, mot anglais signifiant scorie. Il est obtenu en cuisant, vers 1450°C, des mélanges appropriés de calcaire et d'argile, appelés crus. L'argile, principalement composée de silicates d'alumine, se scinde sous l'effet de la chaleur en ses constituants, silice et alumine, qui se combinent ensuite à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de chaux.

I.2.3.2. Le gypse(CaSO_4)

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.

I.2.3.3. Les additifs

On les ajoute éventuellement afin d'améliorer certaines propriétés. Les additifs ne doivent pas présenter des actions nocives sur les propriétés des ciments mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques. Il peut s'agir d'agents de mouture, fréquemment employés, qui sont des sels organiques solubles utilisés à des doses extrêmement faibles. Il peut s'agir également de sels solubles, tels certains adjuvants pour mortier, béton ou coulis. La proportion d'additifs doit toujours rester très faible, le pourcentage admis ne doit pas dépasser 0.5% de la masse totale, valeur dans laquelle se trouve comprise la proportion d'agent de mouture, et ceci pour tous les ciments à l'exception des CEM III/A ou B et des CEM III/C, pour lesquelles la proportion de sels chlorés (NaCl) est autorisée jusqu'à 1% [2].

I.2.4. Etapes de fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Ce procédé comporte les étapes de fabrication suivantes :

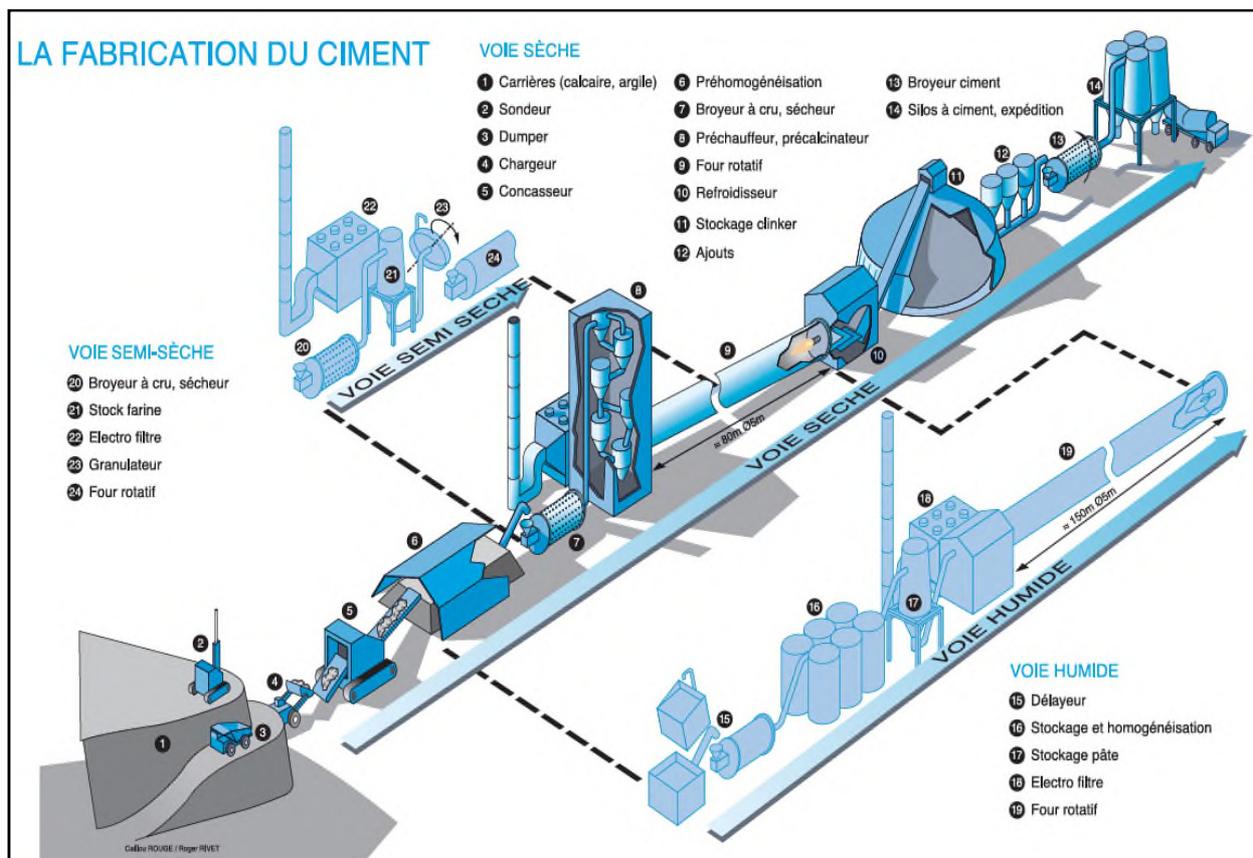


Figure I. 1 : Schéma de fabrication du ciment portland selon les différentes voies.

I.2.4.1. L'extraction et la préparation des matières premières

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage. Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière dans le temps.

I.2.4.2. Le séchage et le broyage

Pour favoriser les réactions chimiques qui suivent, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement (quelques microns) dans des broyeurs à boulets comme le montre la figure I.2 ou dans des broyeurs à meules verticaux. Ces derniers, plus récents, sont plus économiques en énergie et permettent un séchage plus efficace. Il est possible de fabriquer un ciment portland selon trois voies: la voie humide, la voie sèche et semi-sèche. La première est plus ancienne et implique une grande consommation d'énergie pour évaporer l'eau excédentaire. Dans ces procédés, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées lors de l'opération de broyage afin d'obtenir la farine. Celle-ci peut être introduite directement dans le four sous forme pulvérulente (voie sèche), ou préalablement transformée en "granules" par humidification (voie semi-sèche).



Figure I. 2 : Broyeur sécheur a boulets.

I.2.4.3. Cuisson

Une fois le cru préparé, il sera acheminé directement à l'entrée du four, qui est souvent constitué d'un grand cylindre d'environ 3 à 6 m de diamètre et de 50 à 150 m de longueur, incliné par rapport à l'horizontale de 3 à 5% de façon à permettre une descente progressive des matières en rotation autour de son axe. La partie inférieure du four est équipée d'une flamme entretenant une température de l'ordre de 1450°C; en s'approchant de cette zone, le cru subi des transformations successives qui le conduisent au produit fini qui est le clinker. A la sortie du

four, le clinker tombe sur une grille de refroidissement rapide à travers laquelle est soufflé par l'air froid (la trempe). Le refroidissement après cuisson joue un rôle important sur la forme et la réactivité des constituants du clinker.

I.2.4.4. Broyage du ciment

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps broyant sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 80µm. A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise du ciment.

Les ciments aux ajouts sont obtenus par des éléments minéraux comme thermiques, les fillers calcaires, les pouzzolanes naturelles ou artificielles. Ainsi sont les différentes catégories de ciments qui permettront la réalisation d'ouvrages allant du plus courant au plus exigeant [3].

I.2.5. Définition des ajouts cimentaires

Les ajouts sont des matières premières naturelles, artificielles, sous produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine creux, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de l'addition et le rôle qu'elle peut jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts : inertes et actifs [4].



Figure I. 3 : Différents ajouts cimentaires.

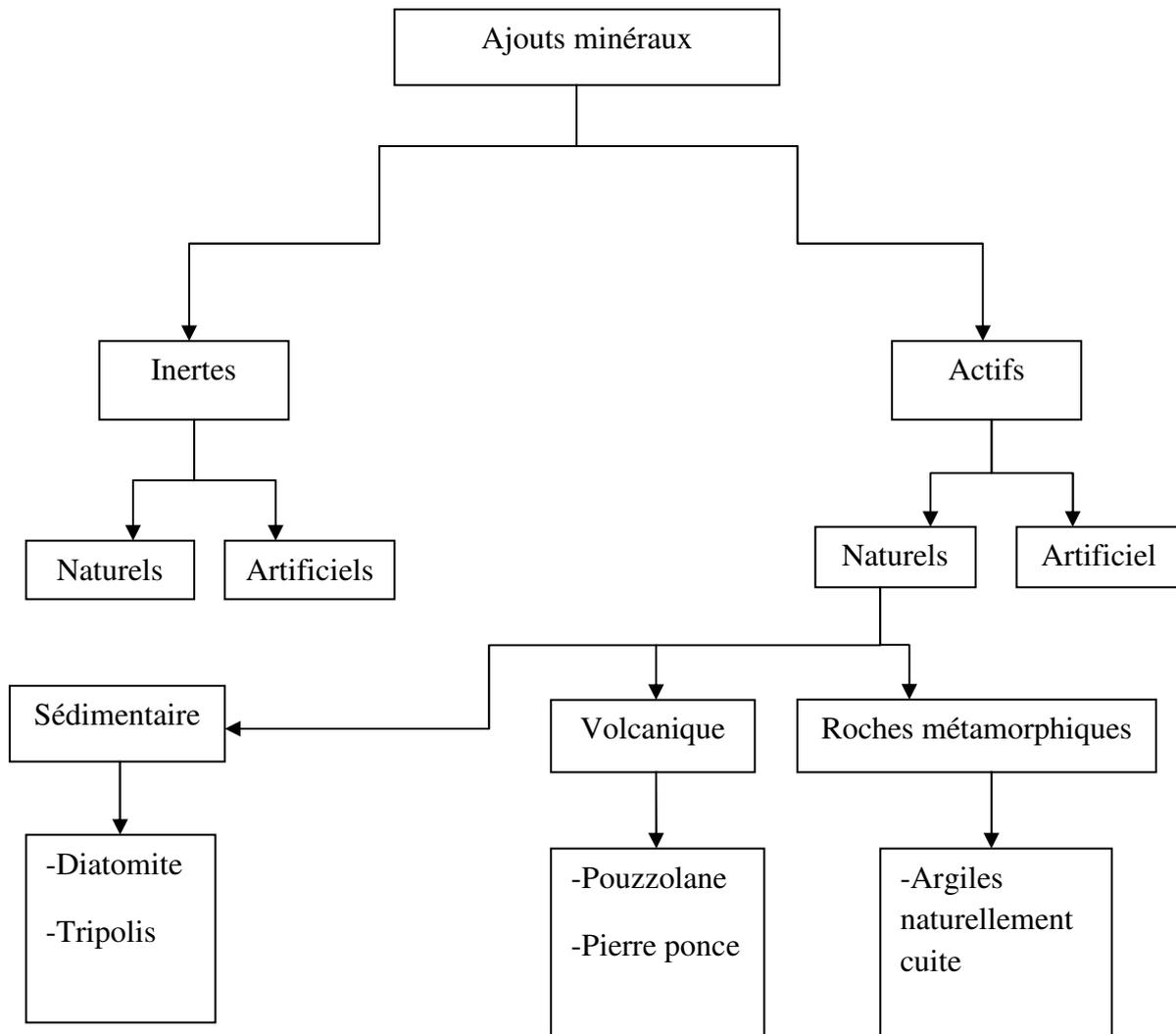


Figure I. 4: Différents types d'ajouts cimentaires.

I.2.6. L'intérêt de l'utilisation des ajouts

L'introduction des ajouts dans la confection du ciment présente un facteur bénéfique car la consommation en clinker baisse en fonction des taux d'ajouts. En effet, le clinker étant obtenu par transformation de la crue (argile+calcaire) nécessite une dépense d'énergie très importante pouvant être réduite par l'introduction des ces ajouts.

I.3. Les matériaux réfractaires

I.3.1 Définition des produits réfractaires

Un matériau réfractaire est un produit qui conserve ses caractéristiques physico-chimiques sous hautes températures, la fusion du matériau n'apparaissant qu'au-delà des conditions d'emploi. La norme ISO 1927 de 1984 ne stipule que « les matériaux réfractaires sont des matières et produits autres que les métaux et alliages (sans que soient exclus ceux contenant un constituant métallique), dont la résistance pyroscopique est équivalente à 1500°C au minimum ». En plus de cette résistance pyroscopique élevée, on exige souvent des réfractaires qu'ils aient: [5]

- Une bonne résistance aux chocs thermiques.
- Une faible conductivité thermique.
- Une bonne résistance à la corrosion (aciéries, four de verrerie ...) et à l'érosion à hautes températures.

I.3.2 Différentes familles des produits réfractaires

Les réfractaires sont divisés en deux grandes familles. Façonnés et non-façonnés (ou monolithique). Les matériaux façonnés sont livrés sous forme de briques, tuiles et pièces de forme. Leur consolidation a lieu par frittage, réaction chimique (liant hydraulique ou chimique), ou par solidification (matériaux électro-fondus). Les matériaux non-façonnés sont livrés en vrac pour être moulés ou appliqués sur place comme les bétons réfractaires, les mortiers ou les masses plastiques. Nous parlerons par la suite principalement des matériaux réfractaires non façonnés et plus particulièrement des briques réfractaires car ce sont les matériaux qui nous intéressent dans cette étude [6].

I.3.2.1. Les réfractaires façonnés

Les bétons et mortiers à prise hydraulique constituent la majorité des réfractaires monolithiques. Les bétons et mortiers réfractaires denses peuvent être divisés en trois catégories bien distinctes, dont la différence essentielle est la teneur en ciment:

- **Bétons classiques:** teneur en ciment comprise entre 15 et 25% suivant la nature de l'agrégat et sa densité.
- **Bétons basse teneur en ciment:** teneur comprise généralement entre 4 et 10%.

Le développement de bétons et mortiers réfractaires contenant de moins en moins de ciment s'est fait pour différentes raisons. Tout d'abord l'examen du diagramme d'équilibre $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ fait nettement apparaître que la présence de CaO dans ce système fait

augmenter de façon très sensible la quantité de phase liquide. Par ailleurs, la mise en place d'un béton ou mortiers classique avec 15 à 25% de ciment, sans adjuvant particulier, nécessite entre 8 et 15% d'eau, suivant la nature de son agrégat (densité). L'eau liée sera comprise entre 4 et 8% suivant la teneur en ciment et le reste constituera l'eau d'humidité qui sera évacuée par séchage. On aura donc, après étuvage, une porosité raisonnable (~15%) mais en fait, après déshydratation complète (après 600°C) une porosité de l'ordre de 25%. Ces deux facteurs condamneraient ces bétons et mortiers à être des sous-produits des briques équivalentes, d'où la démarche vers les tentatives de réduction:

- De la teneur en ciment.
- De la porosité.

I.3.2.2. Les réfractaires non-façonnés

Avant le début du XXème siècle, les matériaux réfractaires se présentaient tous sous la forme de briques cuites. Aujourd'hui, de plus en plus d'applications industrielles nécessitent des matériaux non-façonnés et élaborés par d'autres méthodes. On observe alors un changement fondamental dans le domaine des réfractaires qui est le remplacement progressif de ces matériaux façonnés par des matériaux non façonnés, appelés communément matériaux monolithiques. Le terme monolithique englobe tous les matériaux qui ne sont pas mis en forme avant leur application et qui constituent une entité à eux seuls. Par abus de langage, on confond souvent monolithique et béton. Ils s'opposent aux matériaux plus conventionnels, façonnés et cuits avant leur utilisation. Ils sont constitués par le mélange d'un ou plusieurs types de granulats réfractaires avec une phase liante (liant hydraulique, liant phosphatique, silicates alcalins, liaison carbonée,...). Contrairement aux réfractaires façonnés, leurs caractéristiques ne sont pas figées et dépendent fortement de leur mise en œuvre et de leur première montée en température.

I.3.3 Valorisation des déchets inertes

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique. Elle ouvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière.

I.3.3.1. Réutilisation

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques. Lors de

travaux de construction, le béton pré-mélangé en excès peut être utilisé dans la fabrication de bordures de terrains de stationnement, de jardinières ou dans réaménagement paysager.

I.3.3.2. Recyclage

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle .Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse la brique , le béton et le mortier peuvent être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai , pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de construction .

I.3.3.3. Elimination des déchets inertes

Le dernier maillon de la chaîne dans un plan de gestion de déchets inertes est leur élimination contrôlée, le produit final devra être dans la mesure du possible un déchet ultime, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, par l'extraction de la part valorisable.

I.3.4 Briques réfractaires

I.3.4.1. Définition

Les briques réfractaires se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permet de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement? La brique réfractaire est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions. En plus de résister à la chaleur, la brique réfractaire a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique réfractaire [7].

La brique réfractaire est utilisée principalement pour les constructions destinées à résister à une source de chaleur directe ou indirecte:

- Le barbecue fixe.
- Les foyers de cheminée.
- Les cheminées.
- Les fours (à cuisson clinker, à pain, à pizza ...).
- Les chaudières.
- Les murs proches d'un poêle ou d'une source importante de chaleur.

I.3.5 Principaux types de briques réfractaires

Les principaux types des briques réfractaires sont [8]:

I.3.5.1. Briques ordinaires

Une brique d'argile est une roche artificielle ayant la forme parallélépipédique rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant deux procédés: procédé plastique (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25%) et procédé demi-sec (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12%). Après moulage et séchage, les briques sont cuites pour qu'elles deviennent assez dures. La cuisson est faite soit dans le four périodique soit dans le four continu. En général, les dimensions d'une brique ordinaire sont: 250x120x5mm.

I.3.5.2. Briques poreuses

Les briques poreuses peuvent être fabriquées par la technologie traditionnelle en utilisant les argiles ordinaires, auxquelles on ajoute des additions fusibles (sciure de bois, tourbe pulvérisée, charbon pulvérisé). L'emploi des briques poreuses permet de réduire les dépenses de transport et donc le prix des murs. Cependant la résistance d'une brique poreuse étant faible, ce type de briques ne peut pas être utilisé pour construire des murs supportant de fortes charges. Elles seront plutôt employées pour le remplissage des bâtiments à ossature métallique ou béton armé.

I.3.5.3. Briques d'argiles creuses à perforations

Les briques creuses qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes: (250x120x88) mm ou bien (250x120x65) mm. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35 à 45 mm et de 17 à 18 mm. Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60% de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40% de la section totale. La capacité d'absorption d'eau d'une brique creuse à la même valeur que pour la brique ordinaire donc >8%.

I.3.6 Brique réfractaire à base de bauxite

I.3.6.1. La bauxite

C'est un minerai rouge à forte teneur en alumine hydratée, a été découverte par Berthier en 1821. Les gisements les plus importants actuellement exploités pour la production de réfractaires sont répartis dans trois pays: la France (Guyane), la Chine et le Brésil. Ce minerai est constitué essentiellement de trois hydroxydes d'aluminium: la gibbsite ($7Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), la

bohémite ($7\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$) et la diaspore ($\text{AlO}(\text{OH})$). Les impuretés les plus communes sont la kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$), le quartz (SiO_2), l'anastase (TiO_2), l'hématite (Fe_2O_3) et la goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$). En sortie de mine, l'alumine est extraite de la bauxite par le procédé Bayer pour la production de l'aluminium. Le minerai siliceux et pauvre en fer, couramment appelé «bauxite blanche», est utilisé comme matière première pour les réfractaires du système alumine - silice. Ce matériau est calciné à haute température ($>1400^\circ\text{C}$).

I.3.7 Caractéristique des Briques moyenne teneur en alumine à base de bauxite (MTA)

I.3.7.1. Caractéristique chimique

Tableau I. 1: Composition chimique de brique MTA.

Composition chimique	Valeur (%)
Al_2O_3	52.0
Fe_2O_3	2.5
SiO_3	38.5
TiO_2	3.0

I.3.7.2. Caractéristique physique

Tableau I. 2:Caractéristique physique de brique MTA.

Caractéristique physique	Valeur	Norme
Densité apparente g/cm^3	2.34	EN 933-1
Porosité apparente (%)	22.00	EN 933-1
Résistance a l'écrasement a froid (N/mm^2)	45.00	EN 933-5
Dilatation thermique linéaire à 1500°C (%)	1.30	EN 933-10
Résistance aux chocs thermique eau [cycles]	>30	DIN 51068-1

I.4. Les mortiers

I.4.1. Définition des 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,...

I.4.2. Constituants des mortiers

I.4.2.1. 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 [9].

I.4.2.2. 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 [10]. L'introduction des sables dans le mortier est 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.

I.4.2.3. 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.

I.4.2.4. Les adjuvants

Les adjuvants du béton ou des mortiers sont des produits chimiques, liquides pour la plupart, utilisés en solution dans l'eau de gâchage. Incorporé au moment du malaxage du béton ou des mortiers a une dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange a l'état frais et /ou durci.

I.4.2.5. Les ajouts

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice 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.

I.4.3. Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en différents types [11].

I.4.3.1. 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 courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³de sable.

I.4.3.2. 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.

I.4.3.3. Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités des ces deux liant. 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 et la qualité recherchée.

I.4.3.4. 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 ...

I.4.3.5. Mortier rapide

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

I.4.3.6. Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, conditionnés en sacs.

Chapitre II :

Méthodes et matériels

Chapitre II : Méthodes et matériels

II.1. Détermination des caractéristiques chimiques

II.1.1. Détermination de la perte au feu selon NF-EN 196-2

- **Matériels utilisés**

- Creuset en platine.
- Balance de précision.
- Four a moufle.

- **Mode opératoire**

- Assurer que les conditions et les matériaux de travail sont adéquats.
- Peser ($1,00 \pm 0,05$) g de l'échantillon (m_1) dans un creuset qui a été préalablement calciné et taré. Placer le creuset couvert dans le four électrique régler à (950 ± 25) °C. Après 5 min de chauffage, retirer le couvercle et laisser le creuset dans le four pendant 10 min supplémentaires. Laisser refroidir le creuset à température ambiante dans le dessiccateur.



Figure II. 1 : Four a moufle.



Figure II. 2: Les creusets dans le four à moufle.

On calcule la perte au feu L observée, en pourcentage, par la formule:

$$L = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} * 100 \quad (1)$$

m_1 : la masse de la prise d'essai initiale, en grammes.

m_2 : la masse de la prise d'essai calcinée, engrammes.

II.1.2. Détermination de l'anhydrite sulfurique (SO_3) par fluorescence X selon NF EN 196-2

- **Appareillage**

- Spectromètre à rayons X.
- Micro-ordinateurs (Logiciels (BlendXpert et SuperQ).
- Pastilleuse.
- Pastille de 37 mm de diamètre.

- **Mode opératoire**

- Peser 7 g de l'échantillon ciment et les presser à 10 tonnes par une pastilleuse.
- Mettre la pastille de l'échantillon dans le spectromètre à rayons X pour analyse par fluorescence X.
- Ouvrir la fenêtre de mesures analyse dans le logiciel SuperQ et démarrer le programme d'analyse de l'échantillon par le logiciel BlendXpert.



Figure II. 3: Spectromètre à rayons X.



Figure II. 4: Pastilleuse.

Les résultats de l'analyse de l'échantillon sont calculés par le CubiX XRF et affichés dans le micro-ordinateur.

II.1.3. Détermination de la chaux libre

- **Produits chimiques utilisés**

- Ethylène glycol.
- Acide chlorhydrique (HCl) à 0.1 N.
- Vert de bromocrésol.

- **Matériels utilisés**

- Bain-marie avec thermostat et agitation magnétique.
- Erlenmeyer.
- Agitateur magnétique.
- Entonnoir en porcelaine.
- Papier filtre rapide.

- **Mode opératoire**

- Assurer que les conditions générales d'essai sont respectées.
- Peser (1.000 ± 0.005) g près de l'échantillon et le mettre dans l'Erlenmeyer contenant déjà un agitateur.
- Mesurer 50 mL d'éthylène glycol et les verser dans l'erenmeyer, fermer cette dernière avec un bouchon.
- Agiter au bain-marie à 65-70 °C pendant 30 minutes après avoir atteint cette température.
- Filtrer sous vide immédiatement à l'aide d'un papier filtre.
- Rincer l'erenmeyer avec 30 mL d'éthylène glycol.
- Titrer le filtrat avec une solution de HCl à 0.1 N en présence de 4 à 5 gouttes du vert de bromocrésol , observer le virage du bleu au jaune paille.



Figure II. 5: Filtrer sous vide immédiatement.



Figure II. 6: Bain-marie.

Avec le volume écoulé, déterminer le taux de chaux libre dans la courbe d'étalonnage de la solution HCl.

II.1.4. Les éléments chimiques

Peser 1g de l'échantillon étudié dans un bécher en lui ajoute une certaine quantité de l'eau puis 5 mL de HCL en mettre ce bécher sur une plaque chauffante a 600°C a peu près on le laisse jusqu'à séchage complet lorsque on remarque un séchage complet on met 10 mL de HCL et de l'eau chaude et on filtre sur un papier de filtration jusqu'à trait de jauge.



Figure II. 7: La filtration.

II.1.4.1. Détermination de la silice selon NA 234

- **Matériels utilisés**

- Creuset en platine.
- Bec maker.
- Four à moufle.

- **Mode opératoire**

Placer le filtre et son contenu dans un creuset en platine préalablement séché, calciné et taré soit P_1 . Faire le creuset sur le bec maker, introduire le creuset dans le four à 1000°C pendant 30 min jusqu'à une masse constante P_2 .



Figure II. 8: Creuset sur un bec maker.

- **Calculs et expression des résultats**

$$(\%) \text{SiO}_2 = \frac{P_2 - P_1}{P} * 100 \quad (2)$$

P_2 : Poids du creuset.

P_1 : Poids total du creuset après calcination.

P : Prise d'essai.

II.1.4.2. Dosage d'oxyde de fer

- **Matériels utilisés**

- Fiole 100mL.
- Bécher de 600mL.
- Agitateur électrique.
- Plaque chauffante.
- Thermomètre.

- **Produits chimiques utilisés**

- Bleu de bromophénol.
- NH_4OH .
- Acide chlorhydrique (0,1 N).
- Solution E.D.T.A.
- Acide salicylique (indicateur de fer).
- Solution tampon.

- **Mode opératoire**

Prélever 100 mL du filtrat, le mettre dans un bécher de 600mL. Mettre le bécher et son contenu sur un agitateur. Ajuster le pH à 3.6 en ajoutant 3 à 4 gouttes de bleu de bromophénol et NH_4OH jusqu'à l'apparition d'une teinte bleue fugitive. Ajouter 20mL d'acide chlorhydrique de 0,1 N et 15mL de solution tampon à pH égale à 1.5, on obtient une coloration jaune pale. Additionner 15 gouttes d'acide salicylique, on obtient une coloration violette plus ou moins intense. Chauffer jusqu'à 40-50°C (ne jamais dépasser 50°C). Titrer rapidement avec la solution E.D.T.A. Noter le volume V (mL) de la solution E.D.T.A utilisé pour le titrage.

- **Calculs et expression des résultats**

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = V_{\text{E.D.T.A}} (\text{écoulé}) * T_{\text{E.D.T.A}} * 1.4286 \quad (3)$$

II.1.4.3. Dosage d'oxyde d'alumine

- **Matériels utilisés**

- Bécher de 600 mL.
- Agitateur électrique.
- Bec maker.

- **Réactifs utilisés**

- Acide acétique.

- Indicateur PAN.
- Solution E.D.T.A.
- Complexonate de cuivre
- Acétate d'ammonium.

- **Mode opératoire**

Porter à ébullition la solution ayant servi à doser le Fe_2O_3 . Ajouter de l'acétate d'ammonium jusqu'à virage bleu de bromophénol. Ajouter 5mL d'acide acétique, trois(03) gouttes de complexonate de cuivre, on obtient une coloration rose violette. Attendre une ébullition et titrer à l'E.D.T.A jusqu'à virage jaune pâle persistant après une Minute d'ébullition.

- **Calcule et expression des résultats**

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = V_{\text{E.D.T.A}} (\text{écoulé}) * T_{\text{E.D.T.A}} * 0.9107 \quad (4)$$

II.1.4.4. Détermination de la chaux

- **Matériels utilisés**

- Fiole de 100 mL.
- Bécher de 600 mL.
- Agitateur électrique.

- **Produits chimiques utilisés**

- Hélianthine.
- Triéthanolamine T.E.A.
- Calcon carboxylique.
- Solution NH_4OH et Solution NaOH .

- **Mode opératoire**

Prélever 100 mL du filtrat, l'introduire dans un bécher de 600 mL. Mettre le bécher sur un agitateur. Ajouter quelque gouttes d'hélianthine, additionner goutte à goutte le NH_4OH jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune. Ajouter 15 mL de Triéthanolamine (T.E.A) « masquage de Fe_2O_3 et Al_2O_3 ». Réajuster le pH avec 40 mL de NaOH (2N) à $\text{pH}=12.5$. Ajouter une pincée de calcon carboxylique. Titrer avec la solution E.D.T.A jusqu'à le virage de la couleur violet au bleu claire persistant.

- **Calcule et expression des résultats**

$$\% \text{CaO} = V_{\text{E.D.T.A}} (\text{écoulé}) * T_{\text{E.D.T.A}} \quad (5)$$

II.1.4.5. Détermination de MgO

- **Matériels utilisés**

- Bécher de 600 mL.
- Agitateur électrique.
- Bec maker.
- Fiole de 100 mL.

- **Réactifs utilisés**

- Héliantine.
- Triéthanolamine (T.E.A).
- Indicateur de l'MgO.
- Ammoniaque (NH₃).
- Solution NH₄OH.

- **Mode opératoire**

Prélever 100 mL du filtrat, l'introduire dans un bécher de 600 mL. Mettre le bécher sur un agitateur. Mettre quelques gouttes d'héliantine, additionner goutte à goutte le NH₄OH jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune. Ajouter 30 mL de Triéthanolamine (T.E.A) « masquage de Fe₂O₃ et Al₂O₃ ». Réajuster le pH avec 10 mL 'ammoniaque (NH₃) à pH=10,5. Ajouter 15 gouttes de l'indicateur de MgO. Titrer avec la solution E.D.T.A jusqu'à la disparition de la couleur violet.

- **Calculs et expression des résultats :**

$$\%MgO = (V_2 - V_1) * T_{E.D.T.A} * 0.7143 \quad (6)$$

V₁ : Volume de l'E.D.T.A écoulé pour le titrage du CaO.

V₂ : Volume de l'E.D.T.A écoulé pour le titrage de MgO.



Figure II. 9: Matériels de dosage des oxydes.

II.2. Détermination des caractéristiques physico-mécaniques

II.2.1. Refus

- **Matériels utilisés**

- Tamis d'essai.
- Balance de précision.
- Tamiseur à jet d'air (Alpine).

- **Mode opératoire**

- Etaler 20 g de la poudre de ciment pesée sur le tamis normalisé 45 μm .
- Mettre le couvercle sur le tamis.
- S'assurer que le temps affiché est correct (5mn) et la dépression de l'ordre de 2500 pascal.
- Démarrer le tamisage.
- A la fin du tamisage, récupérer le refus et peser la masse récupérée.



Figure II. 10: Alpine.

- **Calcule et expression des résultats**

Soit P la masse résiduelle , Refus (%) = $P \cdot 5$ (7)

II.2.2. Mesure la surface spécifique de Blaine selon NA 231

- **Matériels utilisés**

- Cellule de perméabilité.
- Disque perforé.
- Piston plongeur.
- Balance de précision.
- Manomètre.
- Chronomètre.
- Papier filtre.
- Entonnoir.

- **Produits chimiques utilisés**

- Graisse légère.
- Liquide manométrique.

- **Mode opératoire**

Peser dans une balance de précision le poids de la matière déterminée après calibrage de l'appareil.

Former le lit de la matière comme suit :

- Mettre le disque perforé dans la cellule de perméabilité en assurant qu'il soit plat.
- Poser un papier filtre dessus.
- Introduire la quantité de matière à l'intérieur de la cellule en se servant d'un entonnoir.
- Aplatir la quantité par un papier filtre et en pressant par un piston plongeur.
- Mettre la cellule dans le manomètre, remonter le liquide par la poire d'aspiration puis fermer le manomètre.
- Démarrer le chronomètre une fois le premier repère atteint, laisser écouler le liquide jusqu'au deuxième repère puis arrêter le chronomètre.
- Assurer toujours que les conditions générales des essais sont respectées.

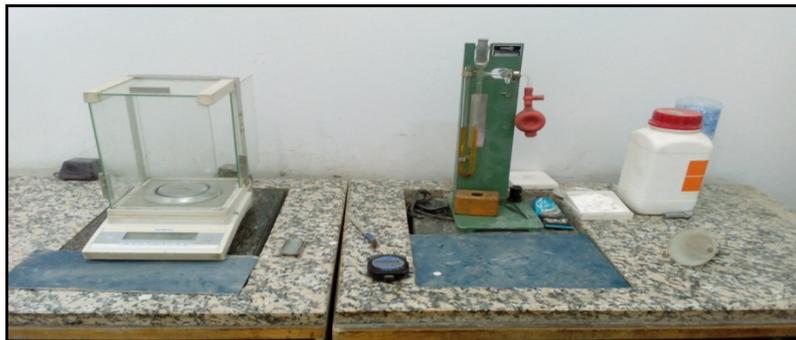


Figure II. 11: Matériels utilisés pour mesurer la surface spécifique de Blaine.

- **Calculs et expression des résultats :**

$$SSB = K \frac{\sqrt{e^3 t}}{\rho(1-e)\sqrt{\mu}} \quad (9)$$

SSB : Surface spécifique de Blaine (cm²/g).

K : Constante de l'appareil.

t : Temps mesuré en secondes (s).

e : La porosité de la couche tassée (%).

ρ : La masse volumique absolue de la matière (g/cm³).

μ : La viscosité de l'air. $\mu = 0.0001798$ (en poises) .

II.2.3. Stabilité (expansion) selon la Norme NA 230.

- **Mode opératoire**

- Préparer une pâte de ciment de consistance normalisée.
- Placer un moule de Chatelier légèrement huilé sur la plaque inférieure légèrement huilée également et remplir le moule immédiatement, à la main uniquement, sans tassement ni vibration excessive, et utilisant si besoin un outil à bord droit pour araser la surface supérieure.
- Couvrir le moule avec la plaque supérieure légèrement huilée, ajouter le poids supplémentaire si nécessaire, et placer immédiatement l'appareil complet dans la salle où l'armoire humide, le laisser pendant $24\text{ h} \pm 30\text{ min}$ à une température de $(20 \pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$ et à une humidité relative minimale de 90 %.
- Le moule peut être placé, entre ses deux plaques, avec le poids supplémentaire, si nécessaire, dans un bain d'eau et maintenu immergé pendant $24\text{ h} \pm 30\text{ min}$ à $20\text{ }^\circ\text{C}$.
- Au bout de $24\text{ h} \pm 30\text{ min}$, mesurer l'écartement (A) entre les pointes des aiguilles. Chauffer le moule progressivement pour le porter à l'ébullition pendant $(30 \pm 5)\text{ min}$ et maintenir le bain d'eau à la température d'ébullition pendant $3\text{h}+5\text{mn}$.
- A la fin de la période d'ébullition on peut mesurer l'écartement (B) entre les pointes des aiguilles.
- Retirer du bain chaud et laisser refroidir le moule à température ambiante. Mesurer l'écartement (C) entre les pointes des aiguilles.



Figure II. 12: Le Chatelier



Figure II. 13: Le bain d'eau.

Enregistre les valeurs mesurées (A) et (C) et calculer la différence(C-A) au millimètre près.

II.2.4. Essais de prise selon NA 230

- **Appareillage**

- Appareil à VICAT.
- Armoire humide maintenue à $(20 \pm 01) ^\circ\text{C}$ et 90% d'humidité relative.

- **Composition de la pâte**

500 g de ciment, 125 mL d'eau doivent être mélangés dans le malaxeur pendant 150 secondes.

II.2.4.1. Détermination de la consistance normale

On place la pâte au dessus de la sonde et réglant cette dernière jusqu'à zéro, ensuite on abaisse la sonde jusqu'au contact de la pâte, lâcher rapidement les parties mobiles jusqu'à pénétration verticale de la sonde au centre de la pâte, on note la norme indiquée sur la graduation. Si la sonde pénètre d'une valeur de (5 ± 2) cm la quantité d'eau est exacte sinon l'essai est à refaire. Conserver l'éprouvette pendant les essais de pénétration dans une armoire humide.

II.2.4.2. Détermination du temps de début et fin de prise

Le début de prise : est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant où le liants hydraulique a été mis en contact avec l'eau de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat de (300 ± 1) g ne pénètre plus au fond du moule conique.

La fin de prise : C'est le moment où la pate pure supporte le poids de l'aiguille de Vicat sans que celle-ci ne laisse pas trace visible.



Figure II. 14: Appareil à VICAT automatique.



Figure II. 15: Appareil à VICAT.

II.2.5. Mesure de la masse volumique absolue selon NA-231

- **Mode opératoire**

- Etuver l'échantillon du ciment à une température de 80°C pendant 45 min.
- Remplir le densimètre avec d'éther de pétrole.
- Jauger le liquide jusqu'à zero. Contrôler après quelques minutes la jauge.
- Peser avec précision 64.00g de la matière et l'introduire dans le densimètre sans aucune perte à une température (20 ±1) °C.
- Après 30 min, on lit le volume soit (V en cm³).



Figure II. 16: Un densimètre.

- **Calculs et expression des résultats :**

La masse volumique obtenu : $\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm³) (10)

II.2.6. Préparation des mortiers (selon la norme NA 234)

II.2.6.1. Composition du mortier

Les proportions en masse sont comme suit : un gâchée pour trois éprouvettes

Tableau II.1: Gâchage mortier.

Un gâchée	Ciment	sable	Eau
	450 g	1350g	225g

II.2.6.2. Dimension de l'éprouvette

L'éprouvette doit être de forme prismatique de (40x40x160) mm.



Figure II. 17: Le moule prismatique (40x40x160) mm.

II.2.6.3. Malaxage du mortier

Peser 450 g de ciment, 1350 g de sable et 225 g d'eau, les opérations de malaxage sont effectuées automatiquement, on peut effectuer l'opération de malaxage manuellement, le taux de l'eau de gâchage a été maintenu constant pour l'ensemble des gâchées étudiées eau /ciment =0.5 et le mode opératoire doit être le suivant :

- Introduire l'eau et le ciment dans le bol dès que le ciment et l'eau entre en contact, mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage ,après 30s introduire régulièrement tout le sable pendant les 30s suivantes, passer le malaxeur sur grande vitesse pendant 30s ce qui fait le temps de malaxage total= 1min et 30s , après enlever au moyen d'une raclette en fer le mortier et le mettre dans l'éprouvette jusqu'à la moitié, lancer la table à choc pendant 60s et ensuite en rajoute la 2^{ème} couche et relancé la table à choc à nouveau pendant 60s
- Aplanir les moules à l'aide d'une règle.
- Etiqueter ou marquer les moules pour identifier les éprouvettes et leur position relative sur la table à choc.
- Le moule doit être construit et enduit (d'huile industrielle légère model Téska 68 et 32) de façon à faciliter le démoulage des éprouvettes sans risque de détérioration.

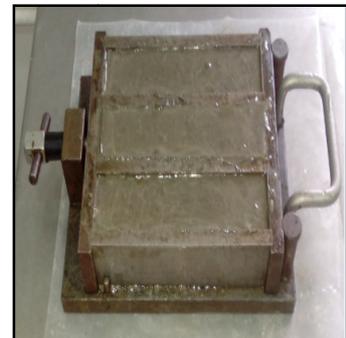


Figure II. 18: Malaxeur. **Figure II. 19:** Table à choc. **Figure II. 20:** Aplanir les moules.

II.2.6.4. Démoulage des éprouvettes

Effectuer le démoulage, pour essais à 24h, après démoulage, marquer convenablement les éprouvettes à conserver dans l'eau, pour l'identification ultérieure, par exemple avec une encre ou un crayon résistant à l'eau.

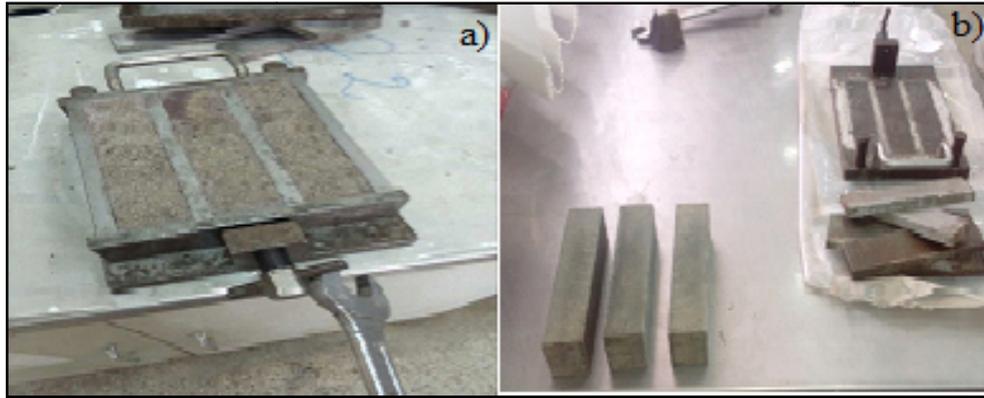


Figure II. 21: Démoulage des éprouvettes, a) avant le démoulage, b) après le démoulage.

II.2.6.5. Conservation des éprouvettes

Immerger sans retard les éprouvettes marquées, de manière convenable, soit horizontalement soit verticalement, dans l'eau à $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ et dans des récipients adéquats.



Figure II. 22: Conservation des éprouvettes.

II.2.6.6. Age des éprouvettes des essais de résistance mécanique

Compter l'âge des éprouvettes à partir du moment de confection de l'échantillon.

Effectuer les essais de résistance à différents âges dans les limites suivante :

2 Jours \pm 15 Minutes.

7 Jours \pm 2 Heures.

28 Jours \pm 8 Heures.

II.2.7. Essais sur éprouvettes de ciment durci selon NA 234

L'essai a pour but de déterminer la résistance mécanique à la flexion et compression aux âges 2 j, 7j, 28j.

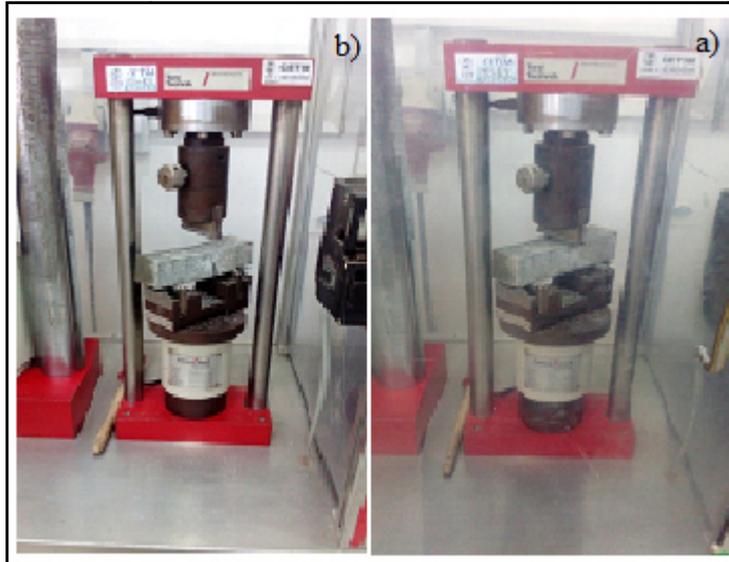


Figure II. 23: Essais de flexion, a) avant la casse, b) après la casse.

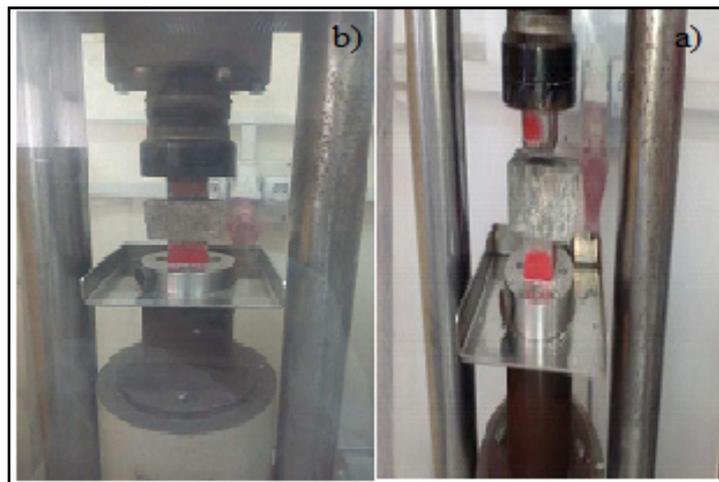


Figure II. 24: Essais de compression, a) avant la casse, b) après la casse.

Chapitre III :

Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Caractérisations des constituants des mortiers

- Ciment de Sour-El-Ghozlane.
- Sable normalisé.
- Eau de gâchage.
- Déchets de briques réfractaires.

III.1.1. Caractérisation de Ciment

Le ciment utilisé pour la préparation du notre mortier est (CPA) CEM I 52.5 MPa.

Les essais physiques, chimiques, mécaniques permettent de déterminer qualitativement et quantitativement les caractéristiques du ciment.

Tableau III. 1: Les caractéristiques chimiques, minéralogiques, physiques, mécaniques de ciment portland CPA (CEM I 52.5 MPa).

Les caractéristiques chimiques								
Oxyde	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO _I	SO ₃	SiO ₂	PAF
Teneur en %	62.80	1.86	3.80	4.00	1.22	2.52	21.51	1.19
Les caractéristiques minéralogiques								
Constituants	C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF	
Pourcentage %	54.86		20.32		4.17		11.55	
Les caractéristiques physiques								
Caractéristiques	Début de prise (min)	Fin de prise (min)	Masse volumique (g / cm ³)	SSB (cm ³ /g)	Expansion (cm)	Consistance Normale (%)		
Résultats	155	300	3.15	3488	0.2	26		
Les caractéristiques mécaniques								
Résistance mécaniques	Résistance a la flexion en MPA			Résistance a la compression en MPA				
Age (jour)	2	7	28	2	7	28		
Résultats	5.56	6.49	7.07	28.10	45.65	57.10		

D'après ces résultats, on déduit que les valeurs de la résistance mécanique ainsi que les caractéristique physicochimiques du ciment utilisés sont compatibles avec les exigences d'un ciment portland CEM I 52.5 MPa (Selon la norme NF EN 197-1).

III.1.2. Sable normalise CEN EN 196-1



Figure III. 1: Sable normalise (1350g).

Tableau III. 2: Composition granulométrique du sable normalise CEN

Dimensions des mailles carrées (mm)	Refus cumulés sur les tamis (%)
2.00	0
1.60	7±5
1.00	33±5
0.50	67±5
0.16	87±5
0.08	99±1

III.1.3. L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage, est l'eau potable.

III.1.4. Déchet de briques réfractaires (B.R)



Figure III. 2: Déchet de brique réfractaire.



Figure III. 3: Déchet de B.R finement broyé.

La brique utilisée dans notre étude est la bauxite, elle se caractérise par sa moyenne teneur en alumine composé principalement de Al_2O_3 , qui résiste à de très hautes températures.

La Masse volumique ρ de déchet de brique réfractaire $\rho = 3.62 \text{ g / cm}^3$.

La poudre de déchets brique réfractaire est un ajout cimentaire obtenu par broyage des déchets de brique réfractaire avec une finesse de $5000 \text{ cm}^3/\text{g}$.

III.1.4.1. Analyse chimique des déchets de brique réfractaire (MTA) par fusion

Tableau III. 3: Analyse chimique des déchets de brique réfractaire (MTA).

Composé	Valeur (%)
Al_2O_3	49.11
SiO_2	32.84
SO_3	00.01
Ca O	6.06
Fe_2O_3	02.88
MgO	00.43
PAF	0.62

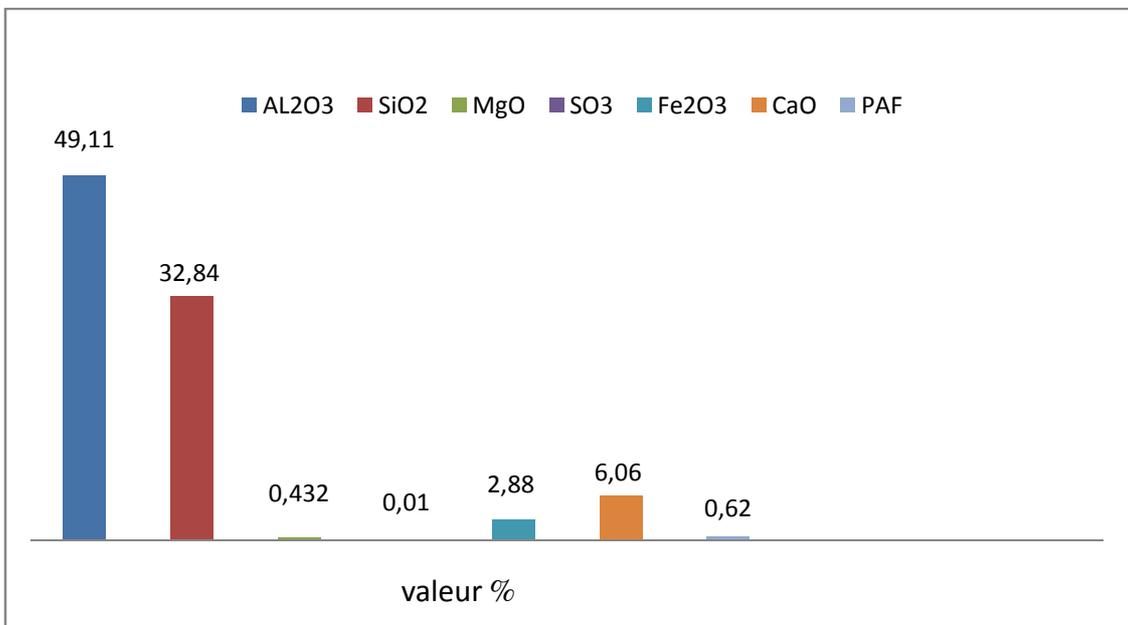


Figure III. 4: Différents constituants de déchet de brique réfractaire (MTA).

III.2. Différentes proportion utilisées dans les mortiers étudiés

Tableau III. 4: Différents proportion utilisées substituant (déchet B.R -ciment).

Proportion d'ajouts de déchet B.R en %	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (g)	Déchet B.R (g)
0	450	1350	225	0
10	405	1350	225	45
15	382.5	1350	225	67.5
20	360	1350	225	90

III.2.1. Représentation des différentes proportions en secteur

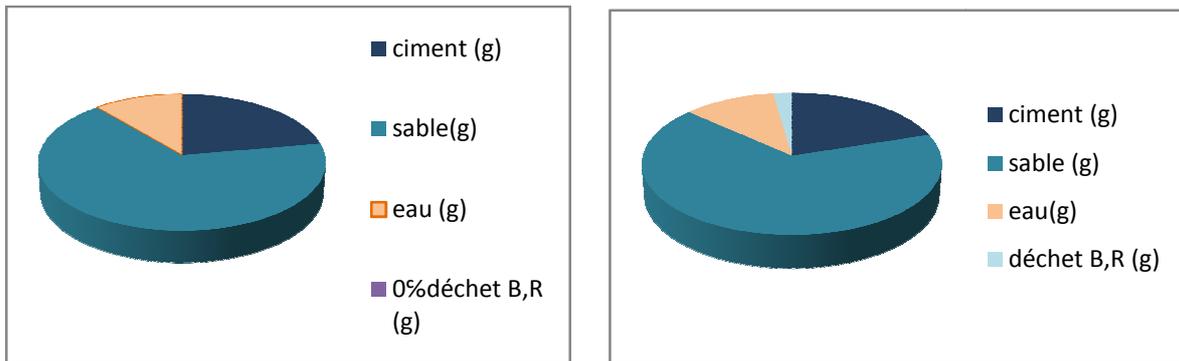


Figure III. 5: 0%,10% substituant (déchet B.R- ciment).

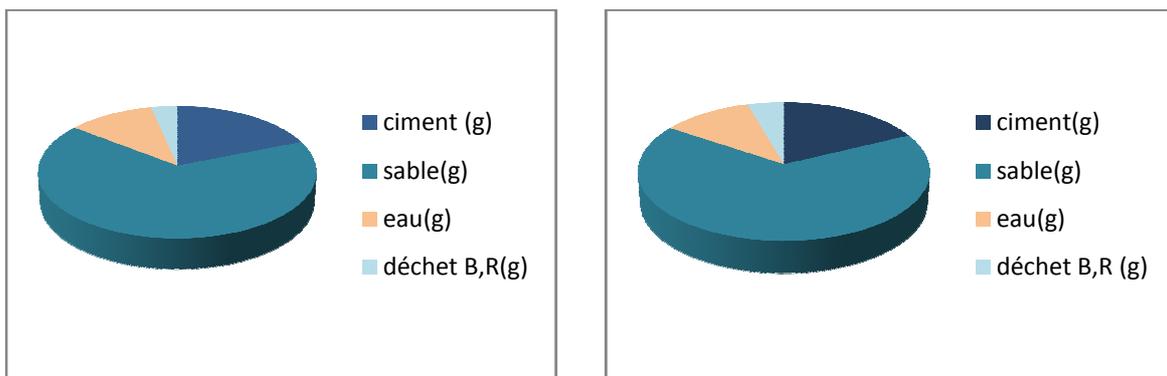


Figure III. 6: 15%,20% substituant (déchet B.R- ciment).

III.3. Les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques des différentes proportions utilisées substituant (déchet B.R -ciment)

Tableau III. 5: Les caractéristiques chimiques des différentes proportions utilisées substituant (déchet B.R -ciment).

Les caractéristiques chimiques de 10% substituant (déchet B.R- ciment)								
oxyde	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO _l	SO ₃	SiO ₂	PAF
Teneur en %	57.02	1.74	3.76	4.15	0.95	2.13	28.42	1.18
Les caractéristiques chimiques de 15% substituant (déchet B.R- ciment)								
oxyde	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO _l	SO ₃	SiO ₂	PAF
Teneur en %	54.17	1.44	3.61	4.25	0.92	1.93	32.03	1.17
Les caractéristiques chimiques de 20% substituant (déchet B.R- ciment)								
oxyde	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO _l	SO ₃	SiO ₂	PAF
Teneur en %	49.70	1.38	3.55	4.68	1.05	1.91	35.66	1.12

Tableau III. 6: Les caractéristiques physiques des différentes proportions utilisées substituant (déchet B.R- ciment).

Les caractéristiques	Début de prise (min)	Fin de prise (min)	Refus (%), (Dimensions des mailles carrées 0.045 mm)	SSB (cm ³ /g)	Expansion (cm)	Consistance Normale (%)
substituant (D.B.R –ciment)						
10%	150	230	16.55	3511	0	26.4
15%	145	210	16.75	3692	0	26.7
20%	140	200	17.10	3842	0	27.2

D’après ces résultats, on déduit que les caractéristiques physicochimiques des différentes proportions utilisées substituant (Déchet B.R - ciment) sont compatibles avec les exigences d’un ciment portland CMII /A 42.5 MPa (Selon la norme NF EN 197-1).

Tableau III. 7: Résistance mécanique des différents mortiers en fonction du temps.

Ajouts de déchet de brique (%)	2j		7j		28j	
substituant (Déchet B.R - ciment)	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
0	5.56	28.10	6.49	45.65	7.07	57.10
10	4.71	21.22	6.41	36.2	6.77	48.32
15	3.86	17.27	6.08	33.45	6.45	46.95
20	3.06	15.16	5.50	28.85	6.02	43.55

Les résultats sont présentés graphiquement sous forme des courbes sur les figures suivantes.

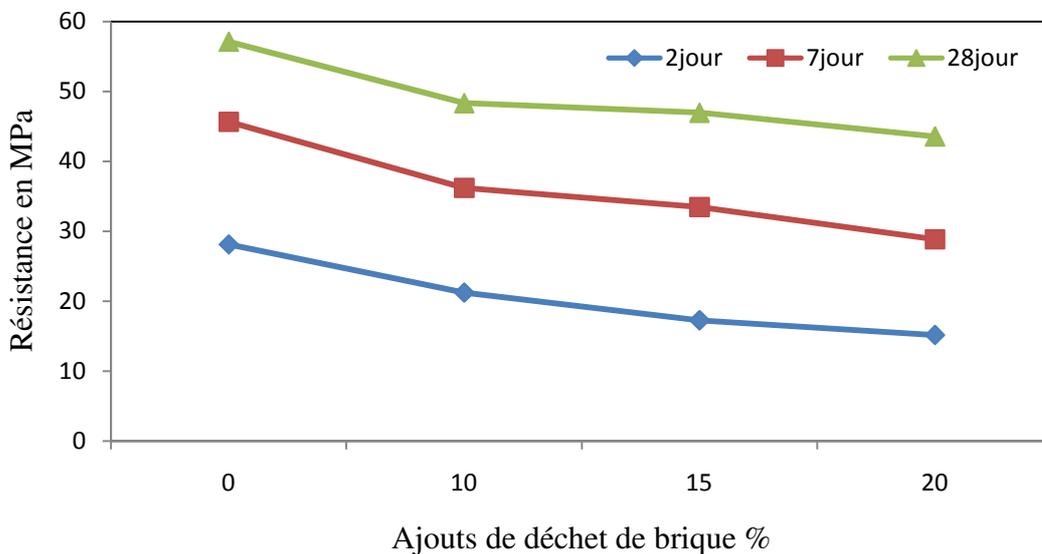


Figure III.7: Les résultats des résistances mécaniques à la compression des différents types des mortiers.

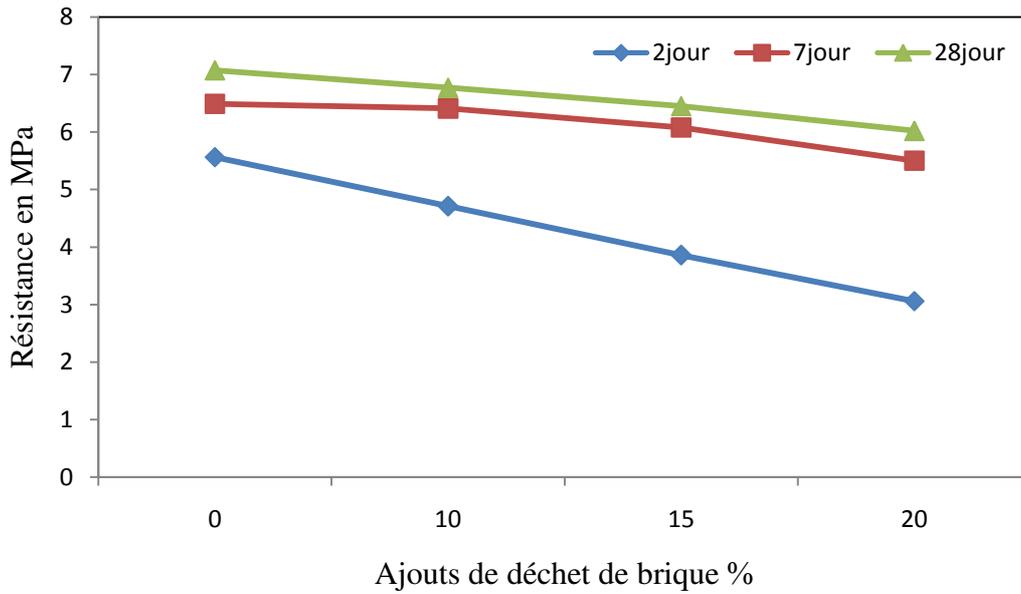


Figure III.8: Les résultats des résistances mécaniques à la flexion des différents types des mortiers.

D'après les résultats obtenu on remarque que plus on augmente le pourcentage de l'ajout de déchet de brique réfractaire MTA (10%,15%,20%) incorporé dans le ciment plus les résistances mécaniques des mortiers à 28 jour chutes mais elle reste dans la classe (CPJ CMII/A 42.5 MPa) selon la norme NF EN 197-1 cela en déduit que le déchet de brique réfractaire est un ajout inerte.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux de recherche dans ce domaine sont encore peu avancés car ils demandent un investissement important, mais ils s'inscrivent dans une véritable volonté de développer des outils d'aide à la conception.

Le recyclage des déchets de briques réfractaires comme agrégats est moins coûteux et ne demande pas pour son élaboration un matériel ou des stations spéciales comme celles conçues à l'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.

Le recyclage des déchets inertes pour produire des granulats contribue à limiter:

- La mise en décharge de ces déchets,
- Le déficit en granulats de la région,
- Les transports des granulats vierges et les transports de déchets (en sens inverse).

L'étude des caractéristiques des ajouts à base de déchets de briques réfractaires et les Propriétés des mortiers à base de ces ajouts ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- Il est possible de valoriser les déchets de briques réfractaires comme ajouts pour la Fabrication des ciments.
- Les mortiers élaboré a base d'ajout des déchets de brique réfractaire a différents Pourcentage 10%,15%,20% nous ont donné des résistances mécanique a la Compression supérieure a 42.5 MPa a 28 jour , donc la classe de ce ciment est (CPI CMII /A 42.5 MPa) Selon la norme NF EN 197-1.
- Les ajouts à base de déchets de briques réfractaires broyées conviennent bien pour les Mortiers réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, conduites de fumées, sols d'usines sidérurgiques, parties de fours,...
- En général, il est possible d'exploiter les mortiers à base de déchets de briques Réfractaires MTA.

Cette étude peut être améliorée par:

- L'étude des autres propriétés telles que: propriétés thermiques.

- Déterminer les caractéristiques chimiques par fluorescence X pour avoir des résultats plus correctes et plus précises.
- L'étude sur la durabilité chimique des mortiers à base d'ajouts de déchet des briques réfractaire.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] J. P Olivier : livre de " Durabilité des bétons ". (A.NONAT :chapitre2; V. BAROGHELBOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS: chapitre9; A. CARLES-GIBERGUES, H.HORNAIN :chapitre11; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12 (Edition: Presse de l'école nationale des ponts et chaussées-2008).
- [2] Erik B Nelson, Jean-François Baret and Michel Michaux (1990), « Cement Additives and Mechanisms of Action ».
- [3] CHIHAOUI Ramdane: Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister-USTMB d'Oran-2008).
- [4] Georges Dreux, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris, Edition Eyrolles, 2009.
- [5] Jacques Lachnitt, Les matériaux réfractaires, Que sais-je?, Presses Universitaires de France, Paris, 1983, 128 pages, ISBN 2130379427
- [6] THUMMEN Frédéric, thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [7] Peyroux Jean (Arts et métiers), Dictionnaire des mots de la technique et des métiers, Librairie Blanchard, Paris, 1985.
- [8] A.JOURDIN, « la technologie des produits céramique réfractaires », Paris Gauthier-Villard. p315-329, 1966.
- [9] WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modulu Editeur, 2001.
- [10] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- [11] GCI712 « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.