

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : ALMALEKI Abdulrahman

Intitulé

**CARACTERISATION EXPERIMENTALE DES MORTIERS
A BASE DES DECHETS DE BRIQUES**

Le : 13 Juin 2018

Pr. NACERI Abdel Ghani	Université de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. TEBBAL Nadia	Université de M'sila	Co- Encadreur
Dr. DJEBRI Noura	Université de M'sila	Examineur
Dr. ZITOUNI Salim	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire: 2017/2018

الإهداء

إلى فترة عملي وتاج رأسي والديا الحبيبان

إلى من سقنتني حنانا والممتني صبرا، إلى من طيبت جراحي بعطفها، إلى من هدأت

نفسي بدعواتها، إلى من كانت الشمعة التي انارت دربي: أمي الحبيبة:

"نصره المالكي"

إلى الذي اعتمز به مدى الحياة، إلى الذي علمني حب الخير والفضيلة، علمني معنى

النجاح، معنى التعدي، إلى رمز الخلود أبي العزيز أمك الله في عمره: "محمد المالكي"

إلى من كانوا لي زاداً وعموناً وسنداً، إلى إخوتي الأبناء "محي الدين، عائشة، كوكب"

إلى كل أفراد عائلتي الكريمة

إلى من شاركوني فرحي وحزني، ووقفوا بجانبني ودعموني بشتا الوسائل بغريتي اخواني

اليمنيين والفلسطينيين في البرج والمسيلة خاصة والجزائر عامة

إلى كل أصدقائي وصدقائي الذين تعرفت عليهم خلال فترة تواجدي بأرض الجزائر إلى

كل من شاركني في هذا العمل وساندني ودعمني زملاء دراستي ومشرفين مختبرات

الهندسة المدنية

أهدي لهم ثمرة عملي هذا.

عبد الرحمن المالكي

شكر وتقدير

بداية الحمد لله تعالى وأشكره شكراً عظيماً يليق بمقام التعظيم والإجلال له على ان اعانني

لإتمام هذا العمل المتواضع وإخراجه بأحسن صورة

واتقدم بجزيل الشكر والعرفان وأسمى التقدير إلى استاذي الفاضل البروفيسور

"زين العابدين رحومني" والاستاذة الدكتورة "طبال نادية"

على تحملهما أعباء هذا الإشراف، فكانا نعم الآباء، واللذان لم يبخلوا عليا بتوجيهاتهم القيمة

ونصائحهم وفقهم الله وجزاهم عندي كل خير

كما أتوجه بالشكر والعرفان للسادة الافاضل أعضاء لجنة المناقشة الموقرين

وكما أتوجه بالشكر الجزيل إلى اساتذتي الذين أناروا دربي خلال مرحلة دراستي وأخص

منهم بالذكر الأستاذ الدكتور "هازا مكي"

وإلى كل أصدقائي اليمينين وإلى كل من ساعدني ولو بحرفه او كلمة سرور ادخلها إلى

قلبي

إلى كل هؤلاء أسمى معاني الشكر والامتنان.

عبد الرحمن المالكي

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
RESUME	
ABSTRACT	
INTRODUCTION GENERALE	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHPITRE I : CIMENT ET AJOUT MINERAUX	3
1^{er} Partie : Le Ciment	3
I.1- Définition de ciment	3
I.2-Les Constituants du ciment	3
I.2.1-Clinker	3
I.2.1.1-Composition du clinker	4
I.2.1.2-Composition chimique du clinker	4
I.2.2-Le gypse(CaSO₄)	5
I.3 -Classification des ciments courants	5
I.4- Propriétés des ciments	6
I.4.1-Caractéristique physiques	6
I.4.1.1-Comportement physico – chimique de la pâte	6
I.4.1.2-Prise	7
I.4.1.3-Durcissement	7
I.4.1.4-Chaleur d’hydratation	8
I.4.1.5-Finesse de mouture	8
I.4.1.6-Retrait	8
I.4.1.7-Gonflement	9
I.4.2- Caractéristiques chimiques du ciment	9
I.4.3- caractéristiques mécaniques des ciments courants	10
I.5- L’hydratation du ciment	10

I.5.1- Hydratation des composants du ciment portland	10
I.5.2- Conclusion	12
2ème Partie : Les ajouts minéraux	13
I.6- Les ajouts minéraux	13
I.6.1-Introduction	13
I.6.2-Classification des ajouts minéraux	13
I.6.2.1-Principaux ajouts minéraux inertes	13
I.6.2.1.1-Fillers calcaires	13
I.6.2.1.2- La poussière	14
I.6.2.2- Les ajouts minéraux actifs	14
I.6.2.2.1- La pouzzolane	14
I.6.2.2.2- La fumée de silice	15
I.6.2.2.3- Le laitier de haut fourneau	16
I.6.3-L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil	17
I.6.3.1-Intérêt du point de vue technique	17
I.6.3.2- Intérêt du point de vue économique	17
I.6.3.3- Intérêt du point de vue environnemental	17
I.6.4-Effets des ajouts sur les propriétés des bétons	17
I.6.4.1- Amélioration de l'ouvrabilité	17
I.6.4.2-Chaleur d'hydratation	18
I.6.4.3-Durabilité	18
I.6.4.4-Développement des résistances	18
I.6.4.5-Développement des bétons à haute résistance	19
I.6.5- L'utilisation des ajouts en Algérie	19
I.7-Conclusion	20

CHPITRE II: Les Mortiers

II.1. Introduction	21
II.2. Différents types de mortiers	21
II.2.1 Les mortiers de ciment	21
II.2.2. Les mortiers de chaux	21
II.2.3. Les mortiers bâtards	21
II.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier	22
II.2.5. Mortier industriel	22

II.3. Classification des mortiers	22
II.3.1. Classification générale des mortiers	22
II.4- Caractéristiques principales	23
II.5- Application du mortier	24
II.6- Conclusion	25

Chapitre III : Méthodes d'essais et matériaux utilisés

III.1- Introduction	26
III.2. Matériaux utilisés	26
III.3- Caractéristiques des matériaux	26
III.3.1- Le sable	27
III.3.1.1- Analyse granulométrique	27
III.3.1.2- Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598)	28
III.3.1.3- Masse volumique absolue	29
III.3.1.4- La masse volumique apparente	30
III.3.2- Eau	31
III.3.3- Brique	31
III.3.3.1- Introduction	32
III.3.4- ciment	32
III.3.4.1- Caractéristiques physiques	32
III.3.4.2- Caractéristique chimiques	33
III.3.5- Adjuvants	33
III.3.5.1- Le superplastifiant (SP 40)	33
III.4- Formulation de mortier normal	34
III.5- Essais de résistances mécaniques	34
III.5.1- Résistance à la traction par flexion	35
III.5.2 - Résistance à la compression	36
III.6- Essais de porosité	37
III.7- Conclusion	38

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1- Introduction.	39
IV.2- Caractérisation des mortiers.	39
IV.2.1- Résultat des essais sur le sable.	39

IV.2.1.1-Analyse granulométrique du sable.	40
IV.2.1.2-Equivalent du sable.	41
IV.2.1.3-Masse volumique absolue du sable.	41
IV.2.1.4-Masse volumique apparente du sable.	41
IV.2.1.5-Foisonnement et teneur en eau.	42
IV.2.1.6-La teneur en eau.	42
IV.2.2-Résultat des essais sur la brique.	42
IV.2.2.1-Masse volumique absolue de brique.	42
IV.2.2.2-Masse volumique apparente de brique.	43
IV.2.3- Résultats de l'essai mécaniques.	43
IV.2.3.1- Résistance à la traction par flexion et compression.	43
IV.2.4- Résultats de l'essai de la porosité.	49
IV.3- Conclusion.	50
CONCLUSION GENERALE	51
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure (I.1) :Poudre de ciment courant.	3
Figure (I.2) : Microphotographie d'un clinker.	4
Figure (I.3) :Pouzzolane naturelle.	14
Figure (I.4) : La fumée de silice.	15
Figure (I.5) :Le laitier de haut fourneau.	16
Figure (II.1) :Application des mortiers.	25
Figure (III.1) :Colonne de tamis.	28
Figure (III.2) : Tamiseur électrique.	28

Figure (III.3) : Essai d'équivalent de sable.	29
Figure (III.4) : Essai de détermination de la masse volumique apparente.	30
Figure (III.5) : Schéma de fabrication des briques.	32
Figure (III.6) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	35
Figure (III.7) : L'appareil de résistance à la flexion.	36
Figure (III.8) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.	37
Figure (III.9) : L'appareil de compression.	37
Figure (IV.1) : La courbe granulométrique du sable.	40
Figure (IV.2) : Résistance à la compression des mortiers avec adjuvant.	44
Figure (IV.3) : Résistance à la compression des mortiers sans adjuvant.	44
Figure (IV.4) : Résistance en compression des mortiers à 14 jours.	45
Figure (IV.4) : Résistance en compression des mortiers à 14 jours.	45
Figure (IV.5) : Résistance à la flexion des mortiers avec adjuvant.	46
Figure (IV.6) : Résistance à la flexion des mortiers sans adjuvant.	46
Figure (IV.8) : Résistance à la flexion des mortiers avec et sans adjuvant.	47
Figure (IV.9) : Résistance à la traction des mortiers avec adjuvant.	48
Figure (IV.10) : Résistance à la traction des mortiers sans adjuvant.	48
Figure (IV.11) : La Courbe de la porosité avec superplastifiant.	49
Figure (IV.12) : La Courbe de la porosité sans superplastifiant.	49

LISTE DE TABLEAUX

Tableau (I.1) :Composition chimique du clinker.	4
Tableau (I.2) :Composition minéralogiques du clinker.	5
Tableau (I.3) :Les différents types de ciment courants.	6
Tableau (I.4) :Caractéristique chimique de ciment courante.	9
Tableau (I.5) :Caractéristique mécanique des ciments courants.	10
Tableau (I.6) :Résistances garanties des ciments courants.	10
Tableau (I.7) :Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.	15
Tableau (I.8) :Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle.	15
Tableau (I.9) : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.	16
Tableau (I.10) :Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.	19
Tableau (III.1) : Analyse chimique de l'eau de gâchage.	31
Tableau (III.2) :Résumé certaines Caractéristiques physiques de ciment utilisé.	32
Tableau (III.3) :Analyse chimique du ciment Matine.	33
Tableau (III.4) :Analyse minéralogique du ciment Matine.	33
Tableau (III.5) :Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant (SP 40).	33
Tableau (IV.1) : Résultats d'analyse granulométrique du sable.	40
Tableau (IV.2) :Résultats d'équivalent de sable.	41
Tableau (IV.3) : Résultats de masse volumique absolue de sable.	41

Tableau (IV.4) : Résultats de masse volumique apparente du sable.	41
Tableau (IV.5) : Résultats de foisonnement.	42
Tableau (IV.6) : Résultats de la teneur en eau.	42
Tableau (IV.7) : Résultats de la masse volumique absolue de la brique.	42
Tableau (IV.8) : Résultats de masse volumique apparente de la brique.	43
Tableau (IV-9) : Evolution de la résistance à flexion par traction et compression du mortier étudié.	43

ملخص

لقد أصبح تطوير مواد بناء جديدة، مشكلة الوقت الذي يحاول فيه الباحثون العثور على مادة غير مكلفة تتناسب مع مجال الاستخدام، يستمر استخدام مواد إضافية في صناعة الإسمنت زيادة وغالبا ما يطلق على هذه المواد الإضافات المعدنية، والتي نحصل عليها من مصادر طبيعية أو مخلفات المواد الصناعية. بالإضافة إلى ذلك ، يؤدي الاستخدام إلى تقليل استهلاك الكنكر ويساعد في حل المشكلات البيئية بطريقة بسيطة واقتصادية. الهدف الرئيسي من هذا العمل التجريبي هو دراسة نسبة مسحوق نفايات الطوب على السلوك الفيزيائي والميكانيكي للإسمنت المركب والمونة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن تعويض الطوب الجزئي لمسحوق الإسمنت بنسبة 5% يعطي أفضل القيم.

الكلمات المفتاحية: المونة ، الاسمنت ، مسحوق القرميد ، المدنات الفائقة ، إعادة التدوير ، مقاومة ميكانيكية.

Résumé

Le développement de nouveaux matériaux de construction, est devenu un sujet d'actualité où les chercheurs essaient de trouver un matériel peu coûteux adapté au domaine d'utilisation, L'utilisation d'ajouts dans l'industrie du ciment continue d'augmenter et souvent appelé ces matériaux ajouts métalliques, que nous obtenons à partir de sources naturelles ou des déchets de matériaux industriels. De plus, l'utilisation conduit à une réduction de la consommation de clinker et de contribuer à résoudre les problèmes d'environnement d'une manière simple et économique. L'objectif principal de ce travail expérimental est d'étudier l'introduction de poudre de déchet de brique sur le comportement physique et mécanique du ciment composite et de mortier. Les résultats obtenus montrent que la compensation partielle de déchet de brique de 5% de la poudre de ciment donne les meilleurs résultats.

Mots clés : mortier, ciment, poudre de brique, superplastifiant, recyclage, résistance mécanique.

Abstract

It has become the development of new building materials, the problem of the time when researchers trying to find an inexpensive material suited in line with the field of use, the use of additional materials in the cement industry continues to increase and is often called on these materials metal additions, which we get from natural sources or remnants of industrial materials. In addition, the use leads to a reduction in clinker consumption and helps to solve environmental problems in a simple and economical way. The main objective of this experimental work is to study the proportion of brick waste powder on the physical and mechanical behavior of composite cement and mortar. The results obtained show that partial compensation of brick waste 5% cement powder give the best values.

Key words: mortar, cement, brick powder, superplasticizer, recycling, mechanical resistance.

Introduction Général

Introduction générale

Contexte générale de l'étude:

Le ciment est nécessaire à la fabrication du béton. En termes d'énergie nécessaire à sa production, le ciment se classe au troisième rang de tous les matériaux, devancé seulement par l'acier et l'aluminium. Selon certaines études, la fabrication d'une tonne de ciment génère environ une tonne de CO₂. Il est responsable d'environ 5% des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement et le maintien de l'activité humaine. L'utilisation de résidus industriels récupérés et recyclés, tels que les ajouts cimentaires et les gisements de ressources naturelles tels que la pouzzolane et le calcaire, comme produits de remplacement partiel du ciment Portland dans le béton, permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre et se traduit par la fabrication d'un béton non polluant et durable sur le plan environnemental. La minimisation de l'élimination de ces résidus industriels et la diminution de la demande en ressources présente généralement une durée de vie plus longue que le béton « traditionnel »

L'utilisation de la poudre de déchet de brique en remplacement du clinker présente une voie prometteuse pour valoriser et recycler les déchets. Certains ajouts cimentaires finement broyés ont une influence plus au moins marquée sur les caractéristiques physico – mécaniques des liants en fonction de leur composition minéralogique, leur finesse et leur pourcentage. Nous traitons à partir de cette étude l'influence de l'addition de la poudre de brique sur le comportement physique et mécanique du ciment composé et du mortier.

Objectif de l'étude :

L'étude entreprise dans ce mémoire vise à atteindre un objectif principal suivant :
Caractérisation expérimentale des mortiers à base du déchet de brique.

Organisation du mémoire :

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :
Une introduction générale.

Le premier chapitre :

Ce chapitre destiné à la synthèse bibliographique.

Dans cette partie nous avons exposé le ciment et les ajouts minéraux.

Le deuxième chapitre :

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur les mortiers.

Le troisième chapitre :

Ce chapitre est consacré à l'expérimentation. Nous présentons dans cette partie la caractérisation des matériaux utilisés (poudre de déchet de brique) et les méthodes d'essais réalisés sur les ciments préparés et mortiers.

Le quatrième chapitre :

Présente les résultats expérimentaux obtenus et les discussions tirées lors de cette étude.

Enfin, dans la conclusion générale, on présente les principaux résultats dégagés lors de cette étude ainsi en terme d'expérimentation pour une meilleure utilisation de l'addition (ajout poudre de déchet de brique) pour la confection des ciments avec ajouts secondaires, ainsi que des perspectives relatives à ce sujet

Enfin une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives.

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE I

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Le ciment et les ajouts minéraux

1^{ère} partie : le ciment

I.1-Définition de ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton.

Le ciment hydraté constitue un liant entre des gravillons (dans les bétons), entre des blocs (mortiers de pose de blocs béton, mortier-colle de carrelages...)[1].



Figure (I.1) : Poudre de ciment courant.

I.2-Les Constituants du ciment :

I.2.1-Clinker

Le clinker est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % d'aluminosilicates (notamment des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer). La « farine » ou le « cru » est formée du mélange de poudre de calcaire et d'argile. Cette cuisson, la clinkerisation se fait à une température d'environ 1 450 °C qui explique la forte consommation énergétique de ce

processus[2].

I.2.1.1-Composition du clinker :

Les principaux composants du clinker (ciment anhydre) sont : [3]

- Le silicate tricalcique $3CaO.SiO_2$ (C3S) 50-70%
- L'aluminate tricalcique $2CaO.SiO_2$ (C2S) 15-30%
- L'aluminate tricalcique $3CaO.Al_2O_3$ (C3A) 5-10%
- L'aluminoferritetétracalcique $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (C4AF) 5-15%

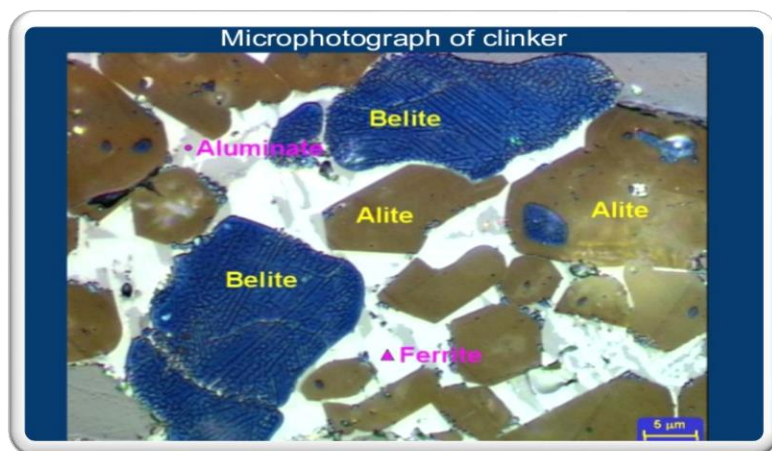


Figure (I.2) : Microphotographie d'un clinker.

I.2.1.2-Composition chimique du clinker :

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par le tableau (I.1 et I.2) ci-dessous :[4]

Tableau (I.1) : Composition chimique du clinker.

	Minimum	Maximum
Perte au feu	0.2	1.1
SiO ²	20.0	24.3
Al ² O ³	3.7	7.1
Fe ² O ³	1.7	5.7
CaO	61.0	68.1
MgO	1.7	4
SO ³	0.05	1.3
K ² O	0.05	1.4

Na²O	0.05	0.7
TiO²	0.15	0.4
Mn²O³	0.05	1.2
P²O₅	0.05	0.6
Cl	0	0.1
F	0.01	0.3
CaO libre	0.6	2.8
Module silicique	1.8	3.9
Module aluminoferrique	0.7	2.8
Indice de saturation	84.8	100.8

Tableau (I.2) : Composition minéralogiques du clinker.

		Minimum	Maximum
Alite	C ³ S	45.0	79.7
Bélite	C ² S	5.7	29.8
Aluminate	C ³ A	1.1	14.9
Aluminoferrite	C ₄ AF	2.0	16.5
Périclase	MgO	0	5.8
Chaux libre	CaO	0.6	2.8

I.2.2-Le gypse(CaSO₄) :

Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique CaSO₄ et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé dihydraté, CaSO₄·2H₂O, minéral emblématique des roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse »². Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral hémihydraté, CaSO₄·1/2H₂O, il s'agit de la bassanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage[5].

I.3 -Classification des ciments courants :

Selon les constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des

opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (I.2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent[6].

Tableau (I.3) : Les différents types de ciment courants [6].

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un de constituants suivants : laitier- pouzzolanes- cendres-calcaires- schistes- fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
CPA-CEMI	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
CPJ-CEMII/A	Ciment portland Composite	80 à 94%	-de 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5%
CPJ-CEMII/B		65 à 79%		0 à 5%
CHF-CEMIII/A	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	-35 à 65% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%
CHF-CEMIII/B		20 à 34%	-66 à 80% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%
CLK-CEMIII/C		5 à 19%	-81 à 95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%
CPZ-CEMIV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10%. -36 à 55% comme ci-dessus	0 à 5%
CPZ-CEMIV/B		45 à 64%		0 à 5%
CLC-CEMV/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	-18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%
CLC-CEMV/B		20 à 39%		0 à 5%

I.4- Propriétés des ciments :

I.4.1- Caractéristiques physiques:

I.4.1.1-Comportement physico –chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicatetricalcique: C_3S
- Silicatebicalcique: C_2S
- Aluminatetricalcique-: C_3A
- Aluminoferritetétracalcique: C_4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent et il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise[7].

I.4.1.2-Prise :

C'est un phénomène physique et chimique lorsque le ciment anhydre est mélangé avec de l'eau. La prise commence grâce à l'hydratation et aux changements des propriétés de

la pâte dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée, la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prennent de plus en plus d'importance parce que le mélange a changé de viscosité. On dit qu'il se fait priser.

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[8].

I.4.1.3-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 au cours desquelles les résistances mécaniques continuent décroître.

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 résistance [8].

I.4.1.4-Chaleur d'hydratation :

La chaleur dégagée est particulièrement importante pour les ouvrages massifs, tels que les barrages. La température à l'intérieur des grandes masses de béton peut augmenter de plus de 50°C par rapport à la température du béton lors de sa mise en place. Le retrait est la principale cause des fissures qui peuvent apparaître dans les bétons de grande masse. Le retrait thermique se produit lorsque la température baisse. Pour éviter une augmentation de température trop importante, on peut refroidir artificiellement le béton (mortier) à l'aide de tuyaux noyés dans la masse et dans lesquels on fait circuler de l'eau froide. D'autre part, on peut également utiliser des ciments spéciaux à basse 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 évite à 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].

I.4.1.5-Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm²/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 cm²/g, certains ciments prompts naturels « CNP » ont une Blaine supérieure à 4500 cm²/g [8].

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'événement du Ciment sont accrus.

I.4.1.6-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% [8].

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.

I.4.1.7-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. Ceci entraîne l'apparition des tensions internes.

I.4.2- Caractéristiques chimiques du ciment :

Ciments courants:

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans **le tableau (I.4)** .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau (I.4) : Caractéristique chimique de ciment courante. [9]

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
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO₃ limitesupérieure	CPA-CEM I et	32,5 32,5R	$\leq 3,5$
	CPJ-CEM II (A et B)	42,5	
	CPZ – CEM IV	42,5	≤ 4
	et CLC – CEM V	52,5	
	CHF-CEM III	52,5 R	
		toutes classes	≤ 4
Chlorures	Tous types de ciment (CHF- CEM III/A et B et les CLK- CEM III/C)	52.5 R toutes autres classes	$\leq 0,05$ $\leq 0,10$

I.4.3- 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. [9]

Classe de 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 (I.6) : Résistances garanties des ciments courants [9].

Classe des ciments	Résistances garanties à 2 jours (MPa)	Résistances garanties à 7 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

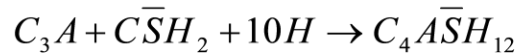
I.5- L'hydratation du ciment :

I.5.1-Hydratation des composants du ciment portland : [10]

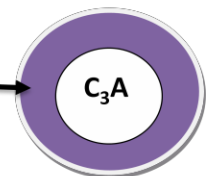
a) Hydratation des aluminates C_3A et C_4AF

$C_3A + \text{Eau} \rightarrow$ Réaction prompte ; induit une prise rapide limitant le temps de mise en œuvre.

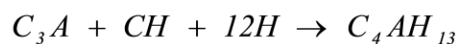
Mais, en présence de **gypse** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la réaction suivante se produit :



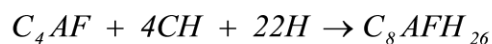
Couche protectrice d'**Ettringite**



Après consommation de gypse (2 à 3 heures) ;



aluminates de calcium hydraté

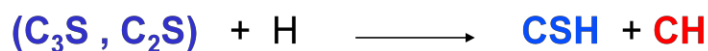


(CAH).

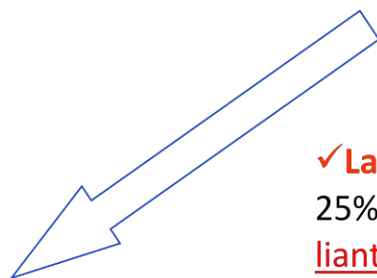
b) Hydratation des silicates : C_3S et C_2S

Les deux silicates s'hydratent immédiatement en présence de l'eau

L'**hydratation des silicates** conduit à 2 types d'hydrates :



$\approx 80\%$ $\approx 20\%$



✓ La **portlandite** occupe de 20 à 25%. Structure cristallisée. (non-liant)

- ✓ Les **C-S-H** : peu cristallisés ("gel") et liants, ce sont les hydrates les plus importants. (50% à 60% du volume de pâte de ciment hydratée)

I.5.2-Conclusion :

La réaction d'hydratation du ciment combine les réactions d'hydratation des principaux composants du clinker et, éventuellement, celles de ses composants secondaires. Cependant, les réactions sont plus complexes du fait des interactions chimiques et thermiques qui se produisent au cours du processus d'hydratation et du fait des impuretés présentes dans la solution solide qui influencent beaucoup l'hydratation de chaque phase.

2ème partie : les ajouts minéraux

I.6- les ajouts minéraux

I.6.1-Introduction :

L'utilisation des ajouts minéraux en remplacement du linker est très bénéfique, car en plus des économies d'énergie et de la diminution du con. Les ajouts peuvent améliorer les propriétés du béton, en augmentant changeant sa micro sa compacité et en structure. Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les gendres volantes, la fumée de silice la...etc. sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilité[11].

I.6.2-Classification des ajouts minéraux :

Selon la ENV 2006 paragraphe 3.1.5, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés normeen actifs et inertes. On distingue quatre classes d'ajouts minéraux :

I.6.2.1-Principaux ajouts minéraux inertes :

Selon certains chercheurs, les dimensions supérieure à 60 µm ne particules de clinker de subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (NF P 18- 305).

En outre, les plus fin d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de particules lesciments, ils jouent le rôle de micro agrégats. Synthétiques spécialement Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou physiques du sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau,...) Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière[11].

I.6.2.1.1-Fillers calcaires :

Des poudres fines a Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par

broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes...).

I.6.2.1.2- La poussière :

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g . Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le nuage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout[11].

I.6.2.2- Les ajouts minéraux actifs :

I.6.2.2.1- Lapouzzolane :

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes[12].

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans fabrication des ciments :

Pouzzolane naturelle:

Est produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique.



Figure (I.3) : Pouzzolane naturelle.

Tableau (I.7) :Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle [13].

Caractéristiques physiques	valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.98
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.75
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	58.70
Porosité (%)	57.10
Humidité (%)	2.50
Perte au feu (%)	5.60

Tableau (I.8) :Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle [13].

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs (%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	0.21	100.29

Pouzzolane artificielle:

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés po Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et moler.

I.6.2.2.2-La fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, d'alliages de ferrosilicium ou de zircon. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de ferrosilicium), Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique un composé gazeux. Sion se forme [14] et s'échappe vers la partie supérieure du four. Il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO₂, ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage.

**Figure (I.4) :**La fumée de silice

I.6.2.2.3-Le laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut être mieux l'appeler est un sous-produit de fonte brusquement refroidi par aspersion la fabrication de la d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il se présente sous forme de nodules est activé. Il dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium l'ordre dans des proportions de de 40 à 50 de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments les mêmes étant pratiquement que ceux du clinker.

D'un point de vue chimique (**tableau I.9**), les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puis que tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des coûts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte.

Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible (de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte (qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au-dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.



Figure (I.5) :Le laitier de haut fourneau.

Tableau (I.9) : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau [11].

OXYDES	Laitier français	Laitier nord U S A	Laitier algérien
SiO₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al₂O₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe₂O₃	4%	0.3 à 20	2.0
MgO	6%	3 à 12	4.7
S	1.5%		0.15

I.6.3-L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

I.6.3.1-Intérêt du point de vue technique :

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

Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration [15].

I.6.3.2- Intérêt du point de vue économique :

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucune, et sont moins coûteux que le ciment Portland [15].

I.6.3.3- Intérêt du point de vue environnemental :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO₂. Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO₂ [15].

I.6.4-Effets des ajouts sur les propriétés des bétons :

I.6.4.1- Amélioration de l'ouvrabilité :

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des

cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépend de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules $> 45 \mu\text{m}$ à un maximum de 34 % [16].

I.6.4.2-Chaleur d'hydratation :

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

I.6.4.3-Durabilité :

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolaniques ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH. Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Les conditions pour que cette réaction se passe sont. La perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange à cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de C3A dans le ciment. Les ajouts pouzzolaniques tels que le laitier, diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout [16].

I.6.4.4-Développement des résistances :

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajout. Cette augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H.

I.6.4.5-Développement des bétons à haute résistance :

L'utilisation des ajouts, pour des raisons d'ordre économique ainsi que pour améliorer la durabilité des bétons, en remplacement d'une partie du ciment, tend à diminuer les résistances initiales et à augmenter les résistances finales. Les pouzzolanes très réactives, comme les fumées de silice, sont capables de donner des bétons à haute résistance, tant à jeune âge d'eau. Tous les ajouts utilisés qu'à long terme, surtout si la quantité d'eau est diminuée par l'addition d'un agent réducteur en remplacement partiel des granulats fins augmentent les résistances à tous les âges. Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment, tandis que celles à long terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement du CH par du C-S-H [16].

I.6.5- L'utilisation des ajouts en Algérie :

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau (I.10) (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes).

Tableau (I.10) : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [17].

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	HammaBouziane	
	H'djarEssaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	RaïssHamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	BeniSaf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

I.7-Conclusion :

Un des arguments souvent avancés en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation des matériaux dans les mortiers et les bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages techniques considérables. En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécaniques des mortiers et bétons à l'état durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments [16].

الإهداء

إلى قرة عيني وتاج رأسي والديا الحبيبين

إلى من سقنتني حنانا والممتني صبرا، إلى من طيبت جراحي بعطفها، إلى من هدأت

نفسي بدعواتها، إلى من كانت الشمعة التي انارت دربي: أمي الحبيبة:

"نصره المالكي"

إلى الذي اعتمز به مدى الحياة، إلى الذي علمني حب الخير والفضيلة، علمني معنى

النجاح، معنى التحدى، إلى رمز الخلود أبي العزيز أمد الله في عمره: "محمد المالكي"

إلى من كانوا لي زاداً وعموناً وسنداً، إلى إخوتي الأبناء "محي الدين، عائشة، كوكب"

إلى كل أفراد عائلتي الكريمة

إلى من شاركوني فرحي وحزني، ووقفوا بجانبني ودعموني بشتا الوسائل بغربتني اخواني

اليمنيين والفلسطينيين في البرج والمسيلة خاصة والجزائر عامة

إلى كل أصدقائي و صديقاتي الذين تعرفت عليهم خلال فترة تواجدي بأرض الجزائر إلى

كل من شاركني في هذا العمل وساندني ودعمني زملاء دراستي ومشرفين مختبرات

الهندسة المدنية

اهدي لهم ثمرة عملي هذا.

محمد الرحمن المالكي

شكر وتقدير

بداية الحمد لله تعالى وأشكره شكرا عظيما يليق بمقام التعظيم والإجلال له على ان اعانني

لإتمام هذا العمل المتواضع وإخراجه بأحسن صورة

واتقدم بجزيل الشكر والعرفان وأسمى التقدير إلى استاذي الفاضل البروفيسور

"زين العابدين رحومني" والاستاذة الدكتورة "طبال نادية"

على تحملهما أعباء هذا الإشراف، فكانا نعم الآباء، والذان لم يبغلا عليا بتوجيهاتهما القيمة

ونصائحهم وفقهم الله وجزاهم عندي كل خير

كما أتوجه بالشكر والعرفان للسادة الافاضل أعضاء لجنة المناقشة الموقرين

وكما أتوجه بالشكر الجزيل إلى اساتذتي الذين أثاروا دربي خلال مرحلة دراستي وأخص

منهم بالذكر الأستاذ الدكتور "هاذا مكي"

وإلى كل أصدقائي اليمينين وإلى كل من ساعدني ولو بحرفه او كلمة سرور ادخلها إلى

قلبي

إلى كل هؤلاء أسمى معاني الشكر والامتنان.

محمد الرحمن المالكي

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCTION GENERALE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHPITRE I : CIMENT ET AJOUT MINERAUX 3

1^{er} Partie : Le Ciment 3

I.1- Définition de ciment 3

I.2-Les Constituants du ciment 3

I.2.1-Clinker 3

I.2.1.1-Composition du clinker 4

I.2.1.2-Composition chimique du clinker 4

I.2.2-Le gypse(CaSO₄) 5

I.3 -Classification des ciments courants 5

I.4- Propriétés des ciments 6

I.4.1-Caractéristique physiques 6

I.4.1.1-Comportement physico – chimique de la pâte 6

I.4.1.2-Prise 7

I.4.1.3-Durcissement 7

I.4.1.4-Chaleur d'hydratation 8

I.4.1.5-Finesse de mouture 8

I.4.1.6-Retrait 8

I.4.1.7-Gonflement 9

I.4.2- Caractéristiques chimiques du ciment 9

I.4.3- caractéristiques mécaniques des ciments courants 10

I.5- L'hydratation du ciment	10
I.5.1- Hydratation des composants du ciment portland	10
I.5.2- Conclusion	12
2ème Partie : Les ajouts minéraux	13
I.6- Les ajouts minéraux	13
I.6.1-Introduction	13
I.6.2-Classification des ajouts minéraux	13
I.6.2.1-Principaux ajouts minéraux inertes	13
I.6.2.1.1-Fillers calcaires	13
I.6.2.1.2- La poussière	14
I.6.2.2- Les ajouts minéraux actifs	14
I.6.2.2.1- La pouzzolane	14
I.6.2.2.2- La fumée de silice	15
I.6.2.2.3- Le laitier de haut fourneau	16
I.6.3-L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil	17
I.6.3.1-Intérêt du point de vue technique	17
I.6.3.2- Intérêt du point de vue économique	17
I.6.3.3- Intérêt du point de vue environnemental	17
I.6.4-Effets des ajouts sur les propriétés des bétons	17
I.6.4.1- Amélioration de l'ouvrabilité	17
I.6.4.2-Chaleur d'hydratation	18
I.6.4.3-Durabilité	18
I.6.4.4-Développement des résistances	18
I.6.4.5-Développement des bétons à haute résistance	19
I.6.5- L'utilisation des ajouts en Algérie	19
I.7-Conclusion	20

CHPITRE II: Les Mortiers

II.1. Introduction	21
II.2. Différents types des mortiers	21
II.2.1 Les mortiers de ciment	21
II.2.2. Les mortiers de chaux	21
II.2.3. Les mortiers bâtards	21
II.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier	22

II.2.5. Mortier industriel	22
II.3. Classification des mortiers	22
II.3.1. Classification générale des mortiers	22
II.4- Caractéristiques principales	23
II.5- Application du mortier	24
II.6- Conclusion	25

Chapitre III : Méthodes d'essais et matériaux utilisés

III.1- Introduction	26
III.2. Matériaux utilisés	26
III.3-Caractéristiques des matériaux	26
III.3.1-Le sable	27
III.3.1.1-Analyse granulométrique	27
III.3.1.2-Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598)	28
III.3.1.3-Masse volumique absolue	29
III.3.1.4- La masse volumique apparente	30
III.3.2-Eau	31
III.3.3-Brique	31
III.3.3.1-Introduction	32
III.3.4- ciment	32
III.3.4.1- Caractéristiques physiques	32
III.3.4.2- Caractéristique chimiques	33
III.3.5- Adjuvants	33
III.3.5.1- Le superplastifiant (SP 40)	33
III.4-Formulation de mortier normal	34
III.5-Essais de résistances mécaniques	34
III.5.1-Résistance à la traction par flexion	35
III.5.2 -Résistance à la compression	36
III.6-Essais de porosité	37
III.7- Conclusion	38

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1- Introduction.	39
IV.2- Caractérisation des mortiers.	39

IV.2.1-Résultat des essais sur le sable.	39
IV.2.1.1-Analyse granulométrique du sable.	40
IV.2.1.2- Equivalent du sable.	41
IV.2.1.3-Masse volumique absolue du sable.	41
IV.2.1.4-Masse volumique apparente du sable.	41
IV.2.1.5-Foisonnement et teneur en eau.	42
IV.2.1.6- La teneur en eau.	42
IV.2.2-Résultat des essais sur la brique.	42
IV.2.2.1-Masse volumique absolue de brique.	42
IV.2.2.2-Masse volumique apparente de brique.	43
IV.2.3- Résultats de l'essai mécaniques.	43
IV.2.3.1- Résistance à la traction par flexion et compression.	43
IV.2.4- Résultats de l'essai de la porosité.	49
IV.3- Conclusion.	50
CONCLUSION GENERALE	51
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure (I.1) : Poudre de ciment courant.	3
Figure (I.2) : Microphotographie d'un clinker.	4
Figure (I.3) : Pouzzolane naturelle.	14
Figure (I.4) : La fumée de silice.	15
Figure (I.5) : Le laitier de haut fourneau.	16
Figure (II.1) : Application des mortiers.	25
Figure (III.1) : Colonne de tamis.	28
Figure (III.2) : Tamiseur électrique.	28
Figure (III.3) : Essai d'équivalent de sable.	29
Figure (III.4) : Essai de détermination de la masse volumique apparente.	30
Figure (III.5) : Schéma de fabrication des briques.	32
Figure (III.6) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	35
Figure (III.7) : L'appareil de résistance à la flexion.	36
Figure (III.8) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.	37
Figure (III.9) : L'appareil de compression.	37
Figure (IV.1) : La courbe granulométrique du sable.	40
Figure (IV.2) : Résistance à la compression des mortiers avec adjuvant.	44
Figure (IV.3) : Résistance à la compression des mortiers sans adjuvant.	44
Figure (IV.4) : Résistance en compression des mortiers à 14 jours.	45

Figure (IV.4) : Résistance en compression des mortiers à 14 jours.	45
Figure (IV.5) : Résistance à la flexion des mortiers avec adjuvant.	46
Figure (IV.6) : Résistance à la flexion des mortiers sans adjuvant.	46
Figure (IV.8) : Résistance à la flexion des mortiers avec et sans adjuvant.	47
Figure (IV.9) : Résistance à la traction des mortiers avec adjuvant.	48
Figure (IV.10) : Résistance à la traction des mortiers sans adjuvant.	48
Figure (IV.11) : La Courbe de la porosité avec superplastifiant.	49
Figure (IV.12) : La Courbe de la porosité sans superplastifiant.	49

LISTE DE TABLEAUX

Tableau (I.1) : Composition chimique du clinker.	4
Tableau (I.2) : Composition minéralogiques du clinker.	5
Tableau (I.3) : Les différents types de ciment courants.	6
Tableau (I.4) : Caractéristique chimique de ciment courante.	9
Tableau (I.5) : Caractéristique mécanique des ciments courants.	10
Tableau (I.6) : Résistances garanties des ciments courants.	10
Tableau (I.7) : Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.	15
Tableau (I.8) : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle.	15
Tableau (I.9) : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.	16
Tableau (I.10) : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.	19
Tableau (III.1) : Analyse chimique de l'eau de gâchage.	31
Tableau (III.2) : Résumé certaines Caractéristiques physiques de ciment utilisé.	32
Tableau (III.3) : Analyse chimique du ciment Matine.	33
Tableau (III.4) : Analyse minéralogique du ciment Matine.	33
Tableau (III.5) : Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant (SP 40).	33
Tableau (IV.1) : Résultats d'analyse granulométrique du sable.	40
Tableau (IV.2) : Résultats d'équivalent de sable.	41
Tableau (IV.3) : Résultats de masse volumique absolue de sable.	41
Tableau (IV.4) : Résultats de masse volumique apparente du sable.	41
Tableau (IV.5) : Résultats de foisonnement.	42

Tableau (IV.6) : Résultats de la teneur en eau.	42
Tableau (IV.7) : Résultats de la masse volumique absolue de la brique.	42
Tableau (IV.8) : Résultats de masse volumique apparente de la brique.	43
Tableau (IV-9) : Evolution de la résistance à flexion par traction et compression du mortier étudié.	43

ملخص

لقد أصبح تطوير مواد بناء جديدة، مشكلة الوقت الذي يحاول فيه الباحثون العثور على مادة غير مكلفة تتناسب مع مجال الاستخدام، يستمر استخدام مواد إضافية في صناعة الإسمنت زيادة وغالبا ما يطلق على هذه المواد الإضافات المعدنية، والتي نحصل عليها من مصادر طبيعية أو مخلفات المواد الصناعية. بالإضافة إلى ذلك ، يؤدي الاستخدام إلى تقليل استهلاك الكلنكر ويساعد في حل المشكلات البيئية بطريقة بسيطة واقتصادية. الهدف الرئيسي من هذا العمل التجريبي هو دراسة نسبة مسحوق نفايات الطوب على السلوك الفيزيائي والميكانيكي للإسمنت المركب والمونة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن تعويض الطوب الجزئي لمسحوق الإسمنت بنسبة 5% يعطي أفضل القيم.

الكلمات المفتاحية : المونة ، الاسمنت ، مسحوق القرميد ، الملدنات الفائقة ، إعادة التدوير ، مقاومة ميكانيكية.

Résumé

Le développement de nouveaux matériaux de construction, est devenu un sujet d'actualité où les chercheurs essayent de trouver un matériel peu coûteux adapté au domaine d'utilisation, L'utilisation d'ajouts dans l'industrie du ciment continue d'augmenter et souvent appelé ces matériaux ajouts métalliques, que nous obtenons à partir de sources naturelles ou des déchets de matériaux industriels. De plus, l'utilisation conduit à une réduction de la consommation de clinker et de contribuer à résoudre les problèmes d'environnement d'une manière simple et économique. L'objectif principal de ce travail expérimental est d'étudier l'introduction de poudre de déchet de brique sur le comportement physique et mécanique du ciment composite et de mortier. Les résultats obtenus montrent que la compensation partielle de déchet de brique de 5% de la poudre de ciment donne les meilleures résultats.

Mots clés : mortier, ciment, poudre de brique, superplastifiant, recyclage, résistance mécanique.

Abstract

It has become the development of new building materials, the problem of the time when researchers trying to find an inexpensive material suited in line with the field of use, the use of additional materials in the cement industry continues to increase and is often called on these materials metal additions, which we get from natural sources or remnants of industrial materials. In addition, the use leads to a reduction in clinker consumption and helps to solve environmental problems in a simple and economical way. The main objective of this experimental work is to study the proportion of brick waste powder on the physical and mechanical behavior of composite cement and mortar. The results obtained show that partial compensation of brick waste 5% cement powder give the best values.

Key words: mortar, cement, brick powder, superplasticizer, recycling, mechanical resistance.

Introducción Général

Introduction générale

Contexte générale de l'étude:

Le ciment est nécessaire à la fabrication du béton. En termes d'énergie nécessaire à sa production, le ciment se classe au troisième rang de tous les matériaux, devancé seulement par l'acier et l'aluminium. Selon certaines études, la fabrication d'une tonne de ciment génère environ une tonne de CO₂. Il est responsable d'environ 5% des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement et le maintien de l'activité humaine. L'utilisation de résidus industriels récupérés et recyclés, tels que les ajouts cimentaires et les gisements de ressources naturelles tels que la pouzzolane et le calcaire, comme produits de remplacement partiel du ciment Portland dans le béton, permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre et se traduit par la fabrication d'un béton non polluant et durable sur le plan environnemental. La minimisation de l'élimination de ces résidus industriels et la diminution de la demande en ressources présente généralement une durée de vie plus longue que le béton « traditionnel »

L'utilisation de la poudre de déchet de brique en remplacement du clinker présente une voie prometteuse pour valoriser et recycler les déchets. Certains ajouts cimentaires finement broyés ont une influence plus au moins marquée sur les caractéristiques physico – mécaniques des liants en fonction de leur composition minéralogique, leur finesse et leur pourcentage. Nous traitons à partir de cette étude l'influence de l'addition de la poudre de brique sur le comportement physique et mécanique du ciment composé et du mortier.

Objectif de l'étude :

L'étude entreprise dans ce mémoire vise à atteindre un objectif principal suivant :
Caractérisation expérimentale des mortiers à base du déchet de brique.

Organisation du mémoire :

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :
Une introduction générale.

Le premier chapitre :

Ce chapitre destiné à la synthèse bibliographique.

Dans cette partie nous avons exposé le ciment et les ajouts minéraux.

Le deuxième chapitre :

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur les mortiers.

Le troisième chapitre :

Ce chapitre est consacré à l'expérimentation. Nous présentons dans cette partie la caractérisation des matériaux utilisés (poudre de déchet de brique) et les méthodes d'essais réalisés sur les ciments préparés et mortiers.

Le quatrième chapitre :

Présente les résultats expérimentaux obtenus et les discussions tirées lors de cette étude. Enfin, dans la conclusion générale, on présente les principaux résultats dégagés lors de cette étude ainsi en terme d'expérimentation pour une meilleure utilisation de l'addition (ajout poudre de déchet de brique) pour la confection des ciments avec ajouts secondaires, ainsi que des perspectives relatives à ce sujet

Enfin une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives.

Synthèse
Bibliographique

CHAPITRE I

Synthèse

Bibliographique

Chapitre I

Le ciment et les ajouts minéraux

1^{ère} partie : le ciment

I.1- Définition de ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton.

Le ciment hydraté constitue un liant entre des gravillons (dans les bétons), entre des blocs (mortiers de pose de blocs béton, mortier-colle de carrelages...) [1].



Figure (I.1) : Poudre de ciment courant.

I.2-Les Constituants du ciment :

I.2.1-Clinker

Le clinker est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % d'aluminosilicates (notamment des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer). La « farine » ou le « cru » est formée du mélange de poudre de calcaire et d'argile. Cette cuisson, la clinkerisation se fait à une température d'environ 1 450 °C qui explique la forte consommation énergétique de ce processus [2].

I.2.1.1-Composition du clinker :

Les principaux composants du clinker (ciment anhydre) sont : [3]

- Le silicate tricalcique $3CaO.SiO_2$ (C3S) 50-70%
- L'aluminate tricalcique $2CaO.SiO_2$ (C2S) 15-30%
- L'aluminate tricalcique $3CaO.Al_2O_3$ (C3A) 5-10%
- L'aluminoferrite tétracalcique $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (C4AF) 5-15%

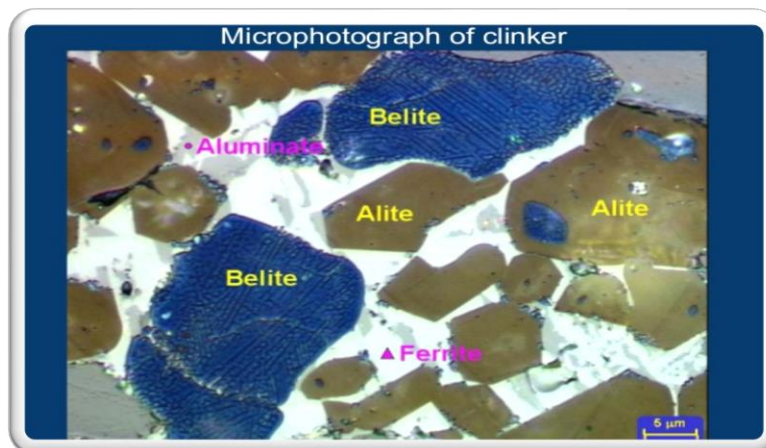


Figure (I.2) : Microphotographie d'un clinker.

I.2.1.2-Composition chimique du clinker :

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par le tableau (I.1 et I.2) ci-dessous : [4]

Tableau (I.1) : Composition chimique du clinker.

	Minimum	Maximum
Perte au feu	0.2	1.1
SiO ²	20.0	24.3
Al ² O ³	3.7	7.1
Fe ² O ³	1.7	5.7
CaO	61.0	68.1
MgO	1.7	4
SO ³	0.05	1.3
K ² O	0.05	1.4
Na ² O	0.05	0.7
TiO ²	0.15	0.4
Mn ² O ³	0.05	1.2
P ² O ⁵	0.05	0.6

Cl	0	0.1
F	0.01	0.3
CaO libre	0.6	2.8
Module silicique	1.8	3.9
Module aluminoferrique	0.7	2.8
Indice de saturation	84.8	100.8

Tableau (I.2) : Composition minéralogiques du clinker.

		Minimum	Maximum
Alite	C ³ S	45.0	79.7
Bélite	C ² S	5.7	29.8
Aluminate	C ³ A	1.1	14.9
Aluminoferrite	C ₄ AF	2.0	16.5
Périclase	MgO	0	5.8
Chaux libre	CaO	0.6	2.8

I.2.2-Le gypse(CaSO₄) :

Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique CaSO₄ et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé dihydraté, CaSO₄·2H₂O, minéral emblématique des roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse »². Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral hémihydraté, CaSO₄·1/2H₂O, il s'agit de la bassanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage [5].

I.3 -Classification des ciments courants :

Selon les constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (I.2) ci – dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent [6].

Tableau (I.3) : Les différents types de ciment courants [6].

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivants : laitier- pouzzolanes- cendres-calcaires- schistes- fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A	Ciment portland Composé	80 à 94%	-de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5%
CPJ-CEMII/B		65 à 79%		0 à 5%
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	-35à65% de laitier de haute-fourneau	0 à 5%
CHF-CEM III/B		20 à 34%	-66à80% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%
CLK-CEMIII/C		5 à 19%	-81 à95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%
CPZ-CEMIV/A	ciment pouzzolanique	65 à 90%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36 à 55% comme ci-dessus	0 à 5%
CPZ-CEMIV/B		45 à 64%		0 à 5%
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	-18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%
CLC-CEM V/B		20 à 39%		0 à 5%

I.4- Propriétés des ciments :

I.4.1-Caractéristique physiques :

I.4.1.1-Comportement physico –chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique: C_3S
- Silicate bicalcique: C_2S
- Aluminate tricalcique-: C_3A
- Aluminoferrite tétracalcique: C_4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise [7].

I.4.1.2-Prise :

C'est un phénomène physique et chimique lorsque le ciment anhydre est mélangé avec de l'eau. La prise commence grâce à l'hydratation et aux changements des propriétés de la pâte dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée, la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prennent de plus en plus d'importance parce que le mélange a changé de viscosité. On dit qu'il se fait priser.

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 [8].

I.4.1.3-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 au cours desquelles 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 résistance [8].

I.4.1.4-Chaleur d'hydratation :

La chaleur dégagée est particulièrement importante pour les ouvrages massifs, tels que les barrages. La température à l'intérieur des grandes masses de béton peut augmenter de plus de 50°C par rapport à la température du béton lors de sa mise en place. Le retrait est la principale cause des fissures qui peuvent apparaître dans les bétons de grande masse. Le retrait thermique se produit lorsque la température baisse. Pour éviter une augmentation de température trop importante, on peut refroidir artificiellement le béton (mortier) à l'aide de tuyaux noyés dans la masse et dans lesquels on fait circuler de l'eau froide. D'autre part, on peut également utiliser des ciments spéciaux à basse 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 évite à 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].

I.4.1.5-Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm²/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 cm²/g, certains ciments prompts naturels « CNP » ont une Blaine supérieure à 4500 cm²/g [8].

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'événement du Ciment sont accrus.

I.4.1.6-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% [8].

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5R.
- 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 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.

I.4.1.7-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.

I.4.2- Caractéristiques chimiques du ciment :

Ciments courants:

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le **tableau (I.4)** .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau (I.4) : Caractéristique chimique de ciment courante. [9]

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
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO₃ limite supérieure	CPA-CEM I	32,5	$\leq 3,5$
	et	32,5 R	
	CPJ-CEM II (A et B)	42,5	
	CPZ – CEM IV	42,5	≤ 4
	et CLC – CEM V	52,5	
	CHF-CEM III	52,5 R	
		toutes classes	≤ 4
Chlorures	Tous types de ciment (CHF-CEM III/A et B et les CLK-CEM III/C)	52.5 R toutes autres classes	$\leq 0,05$ $\leq 0,10$

I.4.3- 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 (I.5) : Caractéristique mécanique des ciments courants. [9]

Classe de 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 (I.6) : Résistances garanties des ciments courants [9].

Classe des ciments	Résistances garanties à 2 jours(MPa)	Résistances garanties à 7 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

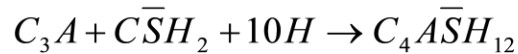
I.5- L'hydratation du ciment :

I.5.1- Hydratation des composants du ciment portland : [10]

a) Hydratation des aluminates C_3A et C_4AF

$C_3A + \text{Eau} \rightarrow$ Réaction prompte ; induit une prise rapide limitant le temps de mise en œuvre.

Mais, en présence de **gypse** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la réaction suivante se produit :

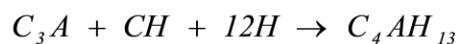


Couche protectrice d'**Ettringite**

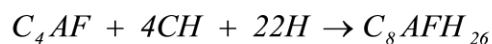
C_3A



Après consommation de gypse (2 à 3 heures) ;



aluminates de calcium hydraté

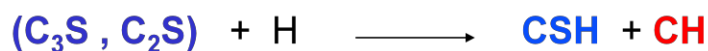


(CAH).

b) Hydratation des silicates : C_3S et C_2S

Les deux silicates s'hydratent immédiatement en présence de l'eau

L'**hydratation des silicates** conduit à 2 types d'hydrates :



$\approx 80\%$ $\approx 20\%$

✓ La **portlandite** occupe de 20 à 25%. Structure cristallisée. (non-liant)

- ✓ Les **C-S-H** : peu cristallisés ("gel") et liants, ce sont les hydrates les plus importants. (50% à 60% du volume de pâte de ciment hydratée)

I.5.2- Conclusion :

La réaction d'hydratation du ciment combine les réactions d'hydratation des principaux composants du clinker et, éventuellement, celles de ses composants secondaires. Cependant, les réactions sont plus complexes du fait des interactions chimiques et thermiques qui se produisent au cours du processus d'hydratation et du fait des impuretés présentes dans la solution solide qui influencent beaucoup l'hydratation de chaque phase.

2ème partie : les ajouts minéraux

I.6- les ajouts minéraux

I.6.1-Introduction :

L'utilisation des ajouts minéraux en remplacement du linker est très bénéfique, car en plus des économies d'énergie et de la diminution du con. Les ajouts peuvent améliorer les propriétés du béton, en augmentant changeant sa micro sa compacité et en structure. Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les gendres volantes, la fumée de silice la...etc. sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilité [11].

I.6.2-Classification des ajouts minéraux :

Selon la ENV 2006 paragraphe 3.1.5, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés norme en actifs et inertes. On distingue quatre classes d'ajouts minéraux :

I.6.2.1-Principaux ajouts minéraux inertes :

Selon certains chercheurs, les dimensions supérieure à 60 μm ne particules de clinker de subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (NF P 18- 305).

En outre, les plus fin d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de particules les ciments, ils jouent le rôle de micro agrégats. Synthétiques spécialement Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou physiques du sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau,...) Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière [11].

I.6.2.1.1-Fillers calcaires :

Des poudres fines a Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par

broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes...).

I.6.2.1.2- La poussière :

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g . le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le nuage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout [11].

I.6.2.2- Les ajouts minéraux actifs :

I.6.2.2.1- La pouzzolane :

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes [12].

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans fabrication des ciments :

Pouzzolane naturelle:

Est produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique.



Figure (I.3) : Pouzzolane naturelle.

Tableau (I.7) : Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle [13].

Caractéristiques physiques	valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.98
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.75
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	58.70
Porosité (%)	57.10
Humidité (%)	2.50
Perte au feu (%)	5.60

Tableau (I.8) : Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle [13].

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs (%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	0.21	100.29

Pouzzolane artificielle:

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés po Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et moler.

I.6.2.2.2- La fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, d'alliages de ferrosilicium ou de zircon. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de ferrossilicium), Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique un composé gazeux. Sion se forme [14] et s'échappe vers la partie supérieure du four. Il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO₂, ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage.

**Figure (I.4) :** La fumée de silice

I.6.2.2.3- Le laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut être mieux l'appeler est un sous-produit de fonte brusquement refroidi par aspersion la fabrication de la d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il se présente sous forme de nodules est activé. Il dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium l'ordre dans des proportions de de 40 à 50 de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments les mêmes étant pratiquement que ceux du clinker.

D'un point de vue chimique (**tableau I.9**), les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puis que tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des couts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte.

Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible(de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte(qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au-dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.



Figure (I.5) : Le laitier de haut fourneau.

Tableau (I.9) : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau [11].

OXYDES	Laitier français	Laitier nord U S A	Laitier algérien
SiO₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al₂O₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe₂O₃	4%	0.3 à 20	2.0
MgO	6%	3 à 12	4.7
S	1.5%		0.15

I.6.3-L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

I.6.3.1-Intérêt du point de vue technique :

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

Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration [15].

I.6.3.2- Intérêt du point de vue économique :

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucune, et sont moins coûteux que le ciment Portland [15].

I.6.3.3- Intérêt du point de vue environnemental :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO₂. Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO₂ [15].

I.6.4-Effets des ajouts sur les propriétés des bétons :

I.6.4.1- Amélioration de l'ouvrabilité :

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des

cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépend de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules $> 45 \mu\text{m}$ à un maximum de 34 % [16].

I.6.4.2-Chaleur d'hydratation :

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

I.6.4.3-Durabilité :

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolaniques ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH. Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Les conditions pour que cette réaction se passe sont. La perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange à cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de C3A dans le ciment. Les ajouts pouzzolaniques tels que le laitier, diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout [16].

I.6.4.4-Développement des résistances :

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajout. Cette Augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H.

I.6.4.5-Développement des bétons à haute résistance :

L'utilisation des ajouts, pour des raisons d'ordre économique ainsi que pour améliorer la durabilité des bétons, en remplacement d'une partie du ciment, tend à diminuer les résistances initiales et à augmenter les résistances finales. Les pouzzolanes très réactives, comme les fumées de silice, sont capables de donner des bétons à haute résistance, tant à jeune âge d'eau. Tous les ajouts utilisés qu'à long terme, surtout si la quantité d'eau est diminuée par l'addition d'un agent réducteur en remplacement partiel des granulats fins augmentent les résistances à tous les âges. Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment, tandis que celles à long terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement du CH par du C-S-H [16].

I.6.5- L'utilisation des ajouts en Algérie :

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau (I.10) (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes).

Tableau (I.10) : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [17].

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djar Essaoud	
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	Raïss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

I.7-Conclusion :

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation des matériaux dans les mortiers et les bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages technique considérables. En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécanique des mortiers et bétons à état durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments [16].

CHAPITRE II

LES MORTIERS

II-Les mortiers :

II.1. Introduction :

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, au cours des quarante dernières années, 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 mortiers sont maintenant présents dans tous les secteurs du BTP. En France, leur utilisation n'a fait qu'augmenter depuis 1970 pour arriver à une production proche de 4 millions de tonnes en 2011 [SNMI 2013]. De plus, la complexité des mortiers entraîne une augmentation constante des mortiers préformulés, dits « industriels » ou « prêts à l'emploi », face aux mortiers réalisés sur chantier. L'emploi d'adjuvants permet d'obtenir diverses propriétés à l'état frais ou durci, selon l'application finale et les performances souhaitées. Néanmoins, la formulation des mortiers étant fondée fortement sur l'empirisme, l'emploi et le dosage des adjuvants sont souvent mal maîtrisés [18].

II.2. Différents types des mortiers:

II.2.1 Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement Imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [19].

II.2.2. Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment.

II.2.3. Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide [19].

II.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier :

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

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables [19].

II.2.5. 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 :

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

II.3. Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suite : [20].

II.3.1. Classification générale des mortiers :

➤ 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 :

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

➤ **Selon la nature du liant:**

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

✚ **Mortier de ciment portland**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

✚ **Mortier de chaux :**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la

chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air ; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide.

Mortier bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées.

Mortier à base de ciment de maçonnerie

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants.

II.4- Caractéristiques principales :

Les caractéristiques principales des mortiers sont : [16].

- Ouvrabilité.
- Prise.
- Résistances mécaniques.
- Retraits et gonflements, etc.

II.5- Application du mortier :

Dans la maçonnerie en fondation ou en élévation, on emploie normalement le mortier moyen de chaux hydraulique, de liant à maçonner ou de ciment à maçonner ou le mortier maigre de ciment de fer.

- ✓ Pour les maçonneries peu chargées, on pourra utiliser le mortier maigre de chaux de liant ou de ciment à maçonner ; en revanche, pour les maçonneries fortement chargées, le mortier moyen de ciment portland sera recommandé. Le mortier moyen de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation, il y a sera même recommandé en présence d'eaux nocives, mais il ne devra pas être employé en élévation.
- ✓ Pour le jointoiement on utilisera un mortier gras du même liant qui a servi à hourder la maçonnerie.

- ✓ Pour les enduits aériens et crépis, le mortier moyen est recommandé, car il protégera mieux que le mortier maigre et il sera moins susceptible de décollement, fissuration et faïençage que le mortier gras. On utilise principalement le mortier de chaux hydraulique et de mortier portland.
- ✓ Pour les enduits mouillés ou enterrés, n'importe quel mortier moyen convient.
- ✓ Pour les enduits étanches, le mortier devra être gras on peut utiliser le ciment de laitier ou de haut fourneau, mais on emploie surtout le portland ou le ciment de fer. Pour les chapes ordinaires, on utilisera le même mortier que pour les enduits aériens, mais pour les chapes de dallages, soumise à une usure rapide, et pour les chapes étanches, il faudra un mortier gras de ciment de fer ou portland.
- ✓ Pour les enduits et chapes étanches, soumis à la forte sous-pression le mortier très gras de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation [21].



Figure (II.1) : Application des mortiers [18].

II.6- Conclusion :

Les mortiers sont composés de : liant, sable, chaux, eau et adjuvant, se différencient par leur composition et leur consistance d'où la différence du domaine d'utilisation.

Partie
Expérimentale

CHAPITRE III

METHODES D'ESSAIS ET MATERIAUX UTILISES

Chapitre III

Méthodes d'essais et matériaux utilisés

III.1- Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes, pour connaître l'effet des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEMII/B 42,5N).

Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire de département de Génie Civil d'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila.

III.2. Matériaux utilisés :

- Sable.
- Eau.
- Ciment (CEM II/B).
- Poudre de brique.
- Les adjuvants ; superplastifiant Médaplast (SP40).

III.3- Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite. Connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certaines interprétations ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

III.3.1-Le sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

III.3.1.1-Analyse granulométrique :

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

A-But de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).

B-Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant 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. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

C- Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (**Figure (III.2)**). La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

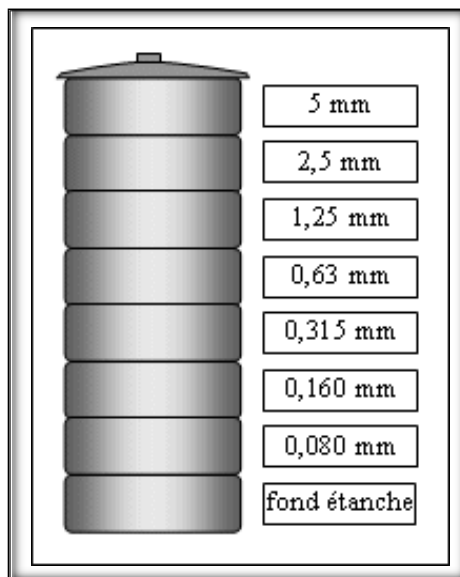


Figure (III.1) : Colonne de tamis.



Figure (III.2) : Tamiseur électrique.

III.3.1.2-Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

A-But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

B-Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h1**: sable propre +élément fins.
- **Hauteur h2** : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \dots \dots \dots (III. 1)$$



Figure (III.3) : Essai d'équivalent de sable.

III.3.1.3-Masse volumique absolue :

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

A-But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en

particulier, de détermination la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

B-Conduite de l'essai:

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s de granulats (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

$$\rho_{absolu} = \frac{m_{mat}}{V_{absolu}} = \frac{m_{mat}}{V_{réel} - V_{pores}} \dots \dots \dots (III. 2)$$

III.3.1.4- 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.

$$\rho_{app} = \frac{m_{mat}}{V_{app}} = \dots \dots \dots (III. 3)$$

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.



Figure (III.4) : Essai de détermination de la masse volumique apparente.

III.3.2-Eau :

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fournie au laboratoire de génie-civil à l'université de M'sila. L'analyse chimique a été effectuée au laboratoire de la société Epidemia de M'Sila. En référence à la norme NF EN 1008.

Tableau (III.1) : Analyse chimique de l'eau de gâchage [19].

Paramètres physico-chimique	Unité	Résultat
PH	-	7.94
Potentiel redox EH	Mv	-60.6
Conductivité à 20°C	S / cm	1926
Turbidité	NTU	2.05
Oxygène dissous	Mg / l	5.47
Salinité	%	09
CO₂ libre	Mg / l	9.26
CO₂ total	Mg / l	223.96

III.3.3-Brique :**III.3.3.1-Introduction :**

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction. Les briques se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliant des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permette de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement ? La brique 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 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 [23].

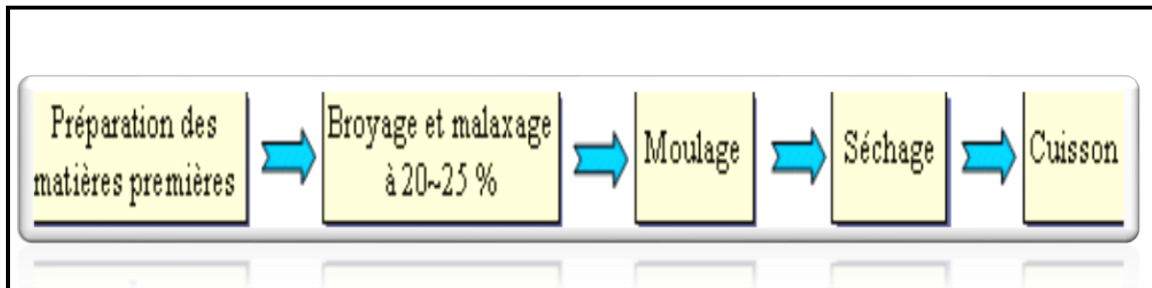


Figure (III.5) : Schéma de fabrication des briques [24].

III.3.4- ciment :

Le ciment utilisé dans notre projet dit ELMATINE est un ciment portland composé C.P .J CEMII/B 42,5N selon la norme NA442, provenant de la cimenterie Hammam Eddalaa M'sila, la fiche technique du ciment est donnée en annexe A.

III.3.4.1- Caractéristiques physiques :

Tableau (III.2) : Résume certaines Caractéristiques physiques de ciment utilisé.

Refus 45 μ		9.1
Refus 90 μ		0.9
%H ₂ O		28.4
Début de prise		195.0 min
Fin de prise		260.0 min
Exp		1.0
Résistance à la flexion (MPa)	2j	4.4
	7j	6.1
	28j	7.3
Résistance à la compression (MPa)	2j	22.1
	7j	36.1
	28j	46.6
Prism poids 2j		572.0
Prism poids 7j		571.9
Prism poids 28j		572.0

III.3.4.2- Caractéristique chimiques :

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants :

Tableau (III.3) : Analyse chimique du ciment Matine.

Analyses Chimiques				
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
17,8	4,4	2,6	61,2	1,8
SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Pert f
2,6	0,6	0,1	0	9,3
Total				
100,4				

Tableau (III.4) : Analyse minéralogique du ciment Matine.

Analyse minéralogique de ciment Matine					
Alite_sum	Belite_beta	Alum sum	Ferrite	Portlandite	Calcite
45.8	14.3	2.6	10.0	0.2	19.8

III.3.5- Adjuvants :

III.3.5.1- Le superplastifiant (SP 40) :

Le superplastifiant MEDAPLAST SP 40 produit par la société de GRANITEX (W. Alger). C'est un haut réducteur d'eau pour le béton prêt à l'emploi conforme à la norme EN 934-2, noté (P).

Tableau (III.5) : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).

Superplastifiant	extrait sec	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Médaplast (SP) (40)	40%	Liquide	Marron	8.2	1,20 ± 0,01	< 1g/L

III.4-Formulation de mortier normal :

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau, Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

Dans notre cas en a utilisé pour le mortier :

- 1350g de sable
- 450g de ciment
- 270g d'eau
- E/C = 0.60

Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (4 x 4 x 16) cm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 30 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 30 chocs. Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.

Conservation des éprouvettes:

Après le démoulage d'échantillons ont laissé pendant 24 heures pour sécher relativement, après sa nous mettons échantillons (4 x 4 x 16) cm, dans l'eau de la nappe phréatique, pendant 14 et 28 jours.

III.5-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 4 cm x 4 cm.

III.5.1-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 $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression .La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule:

$$R_f = \frac{1.5pl}{b^3} \dots \dots \dots (III.4)$$

Avec:

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètres carrés ou en MPa.

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

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

L : est la distance entre les appuis en millimètres.

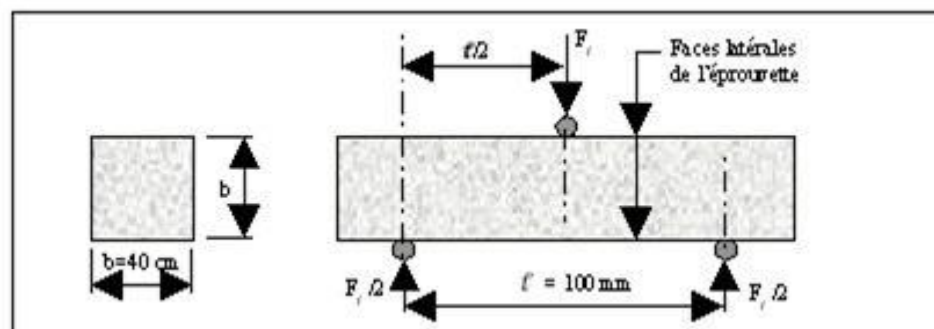


Figure (III.6) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.



Figure (III.7) : L'appareil de résistance à la flexion.

III.5.2 -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 :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots \dots \dots (III.5)$$

Avec :

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : charge de rupture en (N).

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

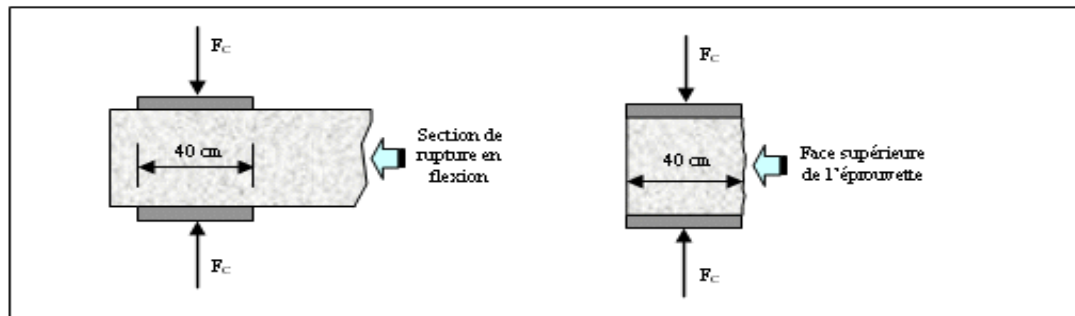


Figure (III.8) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Figure (III.9) : L'appareil de compression.

III.6-Essais de porosité :

L'essai de la porosité est réalisé sur des éprouvettes de dimension $4 \times 4 \times 16$ et $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$, en appliquant les étapes suivantes :

- ✚ Séchage à l'étuve à 105°C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu'à obtention d'une masse constante, afin de faire évaporer toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est notée "A".
- ✚ Immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.
- ✚ Chauffage jusqu'à ébullition pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillon à l'air (soit "C" ce poids) puis pesage à l'eau (pesée hydrostatique).

✚ La porosité est calculée par la formule (loi d'ASTEM C642) [D. Whiting, 1988]

$$V_p = \frac{C-A}{C-D} \cdot 100 \dots \dots \dots (III.6)$$

Avec :

V_p : volume des vides (%).

A : poids de l'échantillon après étuvage (g).

C : poids à l'air après immersion et ébullition (g).

D : poids à l'eau après immersion et ébullition (g).

III.7- Conclusion :

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre IV

Résultats et Discussions

IV.1- Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers confectionnés avec et sans ajout de brique.

On a utilisé les abréviations suivantes :

- ✚ **MT** : Mortier de référence (témoin) ;
- ✚ **M5A** : Mortier adjuvanté avec 5% de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M5S** : Mortier sans adjuvant et 5% de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M10A** : Mortier adjuvanté et 10 % de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M10S** : Mortier sans adjuvant et 10 % de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M15A** : Mortier adjuvanté et 15 % de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M15S** : Mortier sans adjuvant et 15 % de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M20A** : Mortier adjuvanté et 20 % de filler de poudre de brique ;
- ✚ **M20S** : Mortier sans adjuvant et 20 % de filler de brique.

Ces résultats portent sur les résistances mécaniques aux échéances 14 et 28 jours, ainsi que les résultats de la porosité.

IV.2- Caractérisation des mortiers :

IV.2.1-Résultat des essais sur le sable :

Les résultats de l'analyse granulométrique, équivalent de sable et la masse volumique absolue et apparente, sont représentés dans les tableaux : IV.1, IV.2, ..., IV.6

IV.2.1.1-Analyse granulométrique du sable :

Tableau (IV.1) : Résultats d'analyse granulométrique de sable.

Tamis (mm)	Tares (g)	Refus + tares(g)	Refus partiels(g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât (%)
5	857.9	877.9	20	20	1.3	98.7
2.5	753.0	771.3	17.3	37.3	2.4	97.6
1.25	653.2	715.4	62.2	99.5	6.6	93.4
0.63	622.9	1263.2	640.3	739.8	49.3	50.7
0.315	559.1	1105.6	546.5	1286.3	85.7	14.3
0.16	517.4	697.7	180.3	1466.6	97.7	2.3
0.08	507.4	537.3	29.9	1496.5	99.7	0.3
Fond	561.2	564.3	3.1	1499.6	99.9	0.1

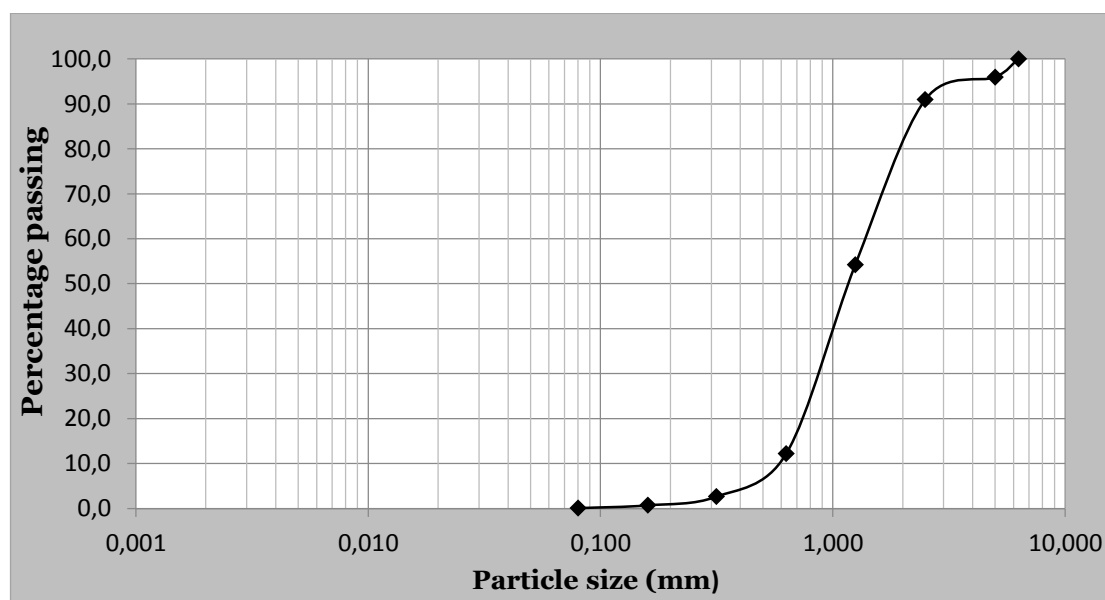


Figure (IV.1) : La courbe granulométrique de sable.

$D_{30} =$	0.45	mm
$D_{10} =$	0.28	mm
$D_{60} =$	0.71	mm
$C_u =$	2.54	mm
$C_c =$	1.02	mm

IV.2.1.2- Equivalent de sable :

Tableau (IV.2) : Résultats d'équivalent de sable.

Essai	h_1	h_2 (cm)	E.I.V %	E.I.V _{moy}	H'_2 (cm)	E.I.P %	E.L.P _{moy}
1	10.2	8.5	83.33		8.2	80.39	
2	10.1	8.35	82.67	83.16	8.3	82.17	81.52
3	10	8.35	83.5		8.2	82	

IV.2.1.3-Masse volumique absolue de sable:

Tableau (IV.3) : Résultats de la masse volumique absolue de sable.

N ⁰	Masse utilisée M (g)	Volume utilisée V_e (ml)	V_2 (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	300	300	415	2.60	
2	300	300	417	2.56	2.58
3	300	300	415	2.60	

IV.2.1.4-Masse volumique apparente du sable :

Tableau (IV.4) : Résultats de la masse volumique apparente de sable.

N ⁰ d'essai	Volume de récipient (ml)	M_1 (g)	M_2 (g)	γ_{APP} (g/ml)	γ_{moy}
1	900	115	1526	1.567	
2	900	115	1524.2	1.565	1.569
3	900	115	1533.7	1.576	

IV.2.1.5-Foisonnement :**Tableau (IV.5) :** Résultats de foisonnement.

I (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hi	149	195	197	193	190	178	172	168	160
C_f	1.24	1.63	1.64	1.60	1.58	1.48	1.43	1.4	1.33
V%	24.16	62.5	64.16	60.83	58.33	48.33	43.33	40	33.33

IV.2.1.6- La teneur en eau :**Tableau (IV.6) :** Résultats de la teneur en eau.

N ⁰ d'essai	M _h (g)	M _s (g)	W (%)	W _{moy} (%)
1	500	499.2	0.16	0.17
2	500	499.1	0.18	
3	500	499.1	0.18	

IV.2.2-Résultat des essais sur la poudre de brique :

Les résultats de l'analyse granulométrique, équivalent du sable, masse volumique absolue et apparente, sont représentés dans les tableaux IV.7 et IV.8.

IV.2.2.1-Masse volumique absolue de poudre de brique :**Tableau (IV.7) :** Résultats de la masse volumique absolue de la poudre de brique.

N ⁰	Volume utilisée V _e (ml)	M1	M2	M3	M4	ρ (g/ml)	ρ _{moy} (g/ml)
1	100	69.1	101.9	25	118.5	1.06	1.11
2	100	69.1	102.5	25	119.8	1.07	
3	100	69.1	103.2	25	121.3	1.2	

IV.2.2.2-Masse volumique apparente de poudre de brique :

Tableau (IV.8) : Résultats de la masse volumique apparente de la poudre de brique.

N ^o d'essai	Volume de récipient (ml)	M ₁ (g)	γ_{APP} (g/ml)	γ_{moy}
1	180	176.8	1.01	1.04
2	180	170.1	1.06	
3	180	171.4	1.05	

IV.2.3- Résultats des essais mécaniques :

IV.2.3.1- Résistance à la traction par flexion et compression :

Les résultats de l'essai de la résistance à la traction par flexion et à la compression sont résumés dans le **tableau (IV -9)** suivant :

Tableau (IV-9) : Evolution de la résistance à flexion par traction et compression du mortier étudiée.

Dimension		Résistance en (Mpa)					
Nomination	Pourcentages de poudre de brique %	Compression		Flexion		Traction	
		14 jours	28 jours	14 jours	28 jours	14 jours	28 jours
MT	0	18.25	22.5	3.06	-	2.6	-
M5A	5	23.3	24.5	3.2	3.45	2.75	2.9
M5S	5	20.1	21.5	2.75	2.9	2.4	2.55
M10A	10	21.25		3		2.55	
M10S	10	10.1	17.3	2.2	2.5	2.13	2.15
M15A	15	14.3	19.5	2.5	2.7	2.45	2.3
M15S	15	7.8		2.24		2.03	
M20A	20	9.3	17.1	2.2	2.55	1.88	2.2
M20S	20	7.5	12.3	2.11	2.3	1.8	2

- **Résistance à la compression**

Les essais de résistance en compression des mortiers sont présentés dans les figures suivantes :

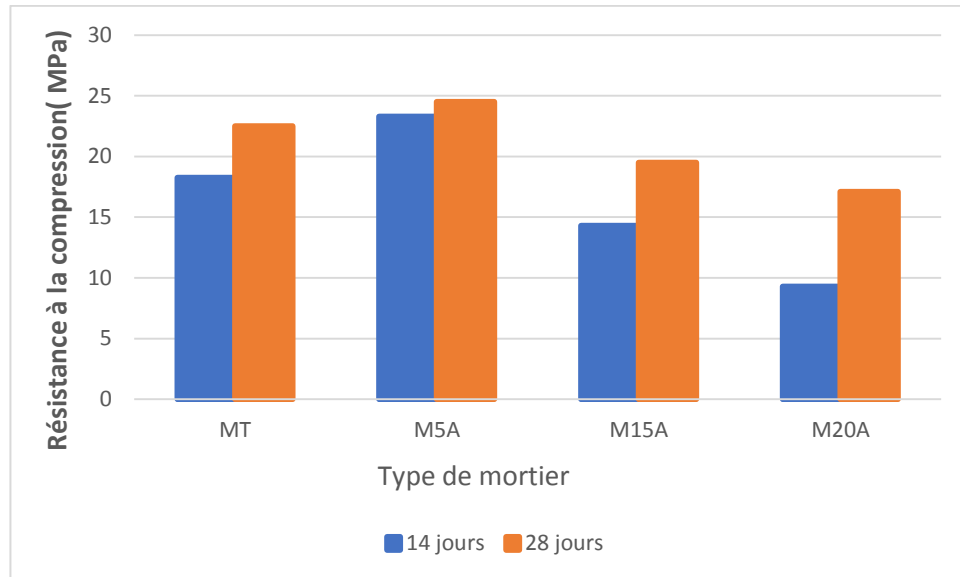


Figure (IV.2) : Résistance à la compression des mortiers avec adjuvant.

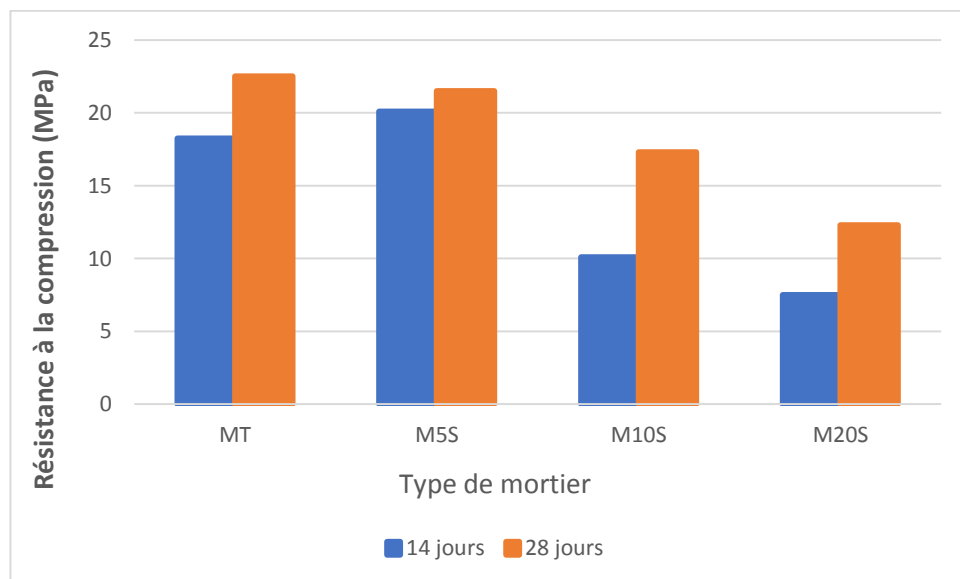


Figure (IV.3) : Résistance à la compression des mortiers sans adjuvant.

Les essais de résistance en compression des mortiers ont conduit aux résultats suivants :

Au niveau des figures IV. 2, IV.3, IV.4 et IV.5, on constate que l'utilisation d'ajout de poudre de brique a donné des résultats bénéfiques par rapport au mortier de référence (sans ajout : MT) même à jeune âge. Les meilleures performances sont

obtenues par le mélange M5. Cela est dû à l'utilisation de poudre de brique comme poudre fine et aussi à l'utilisation des adjuvants surtout ceux de la nouvelle génération. L'utilisation de ces ajouts permet aussi d'améliorer la rhéologie des mortiers à l'état frais.

Les mélanges à base des trois pourcentages de poudre de brique donnent des résultats inférieures à celle de M5 et MT à savoir M10 M15 et M20.

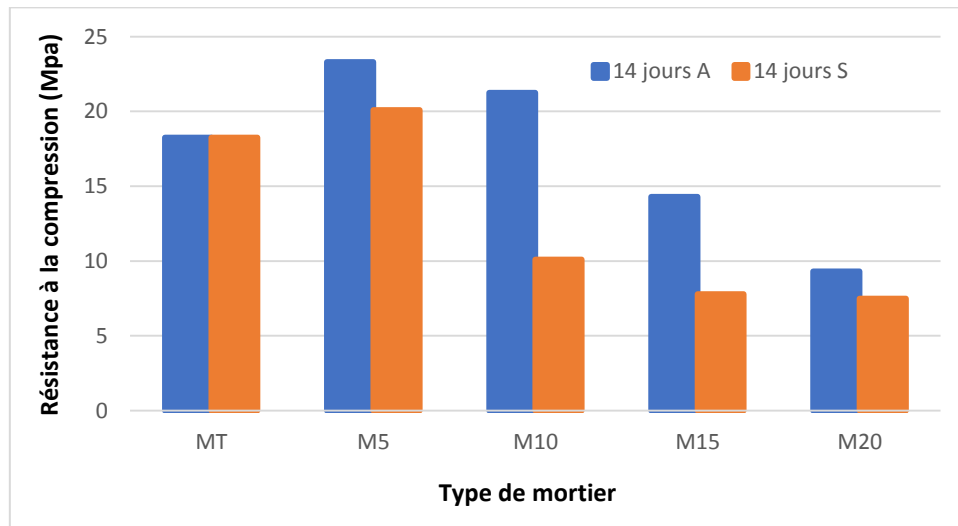


Figure (IV.4) : Résistance en compression des mortiers à 14 jours.

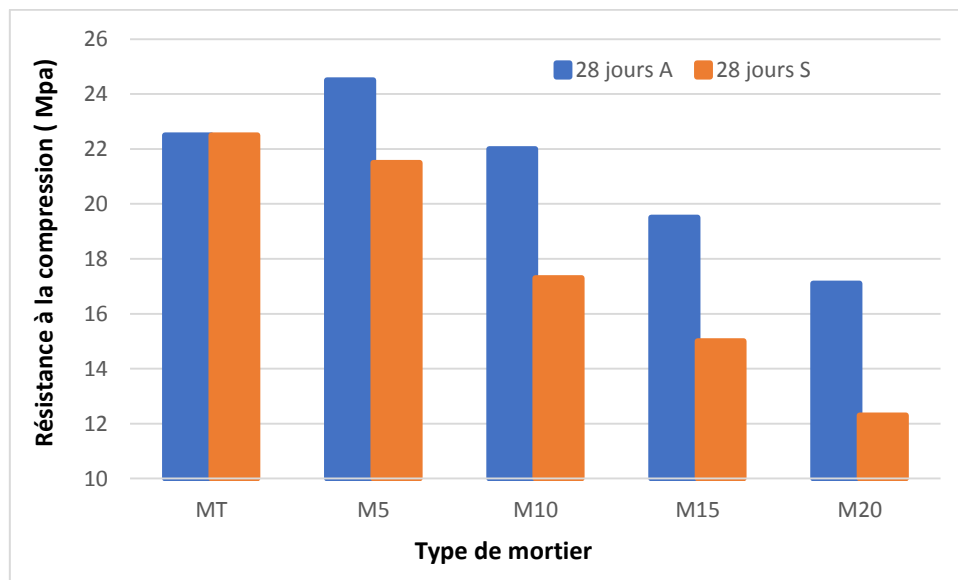


Figure (IV.5) : Résistance en compression des mortiers à 28 jours.

On constate aussi, que la résistance des mortiers avec poudre de brique diminue on fonction de pourcentage de poudre de brique par rapport au mortier témoin. Mais avec 5% de

poudre de brique et 2% superplastifiant les résistances mécaniques des mortiers connues une amélioration avec 14% à 14 jours et 13% à 28 jours.

- **Résistance à la flexion**

Les essais de résistance en flexion des mortiers sont présentés dans les figures ci-dessous :

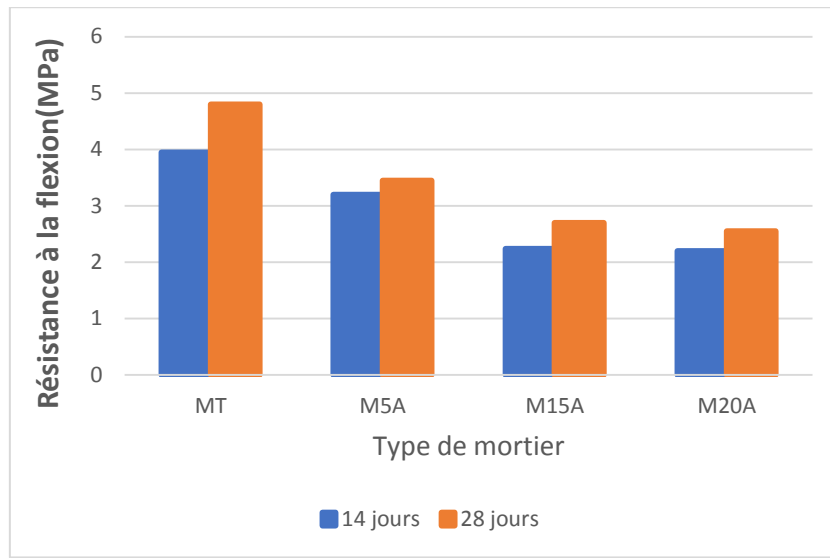


Figure (IV.6) : Résistance à la flexion des mortiers avec adjuvant.

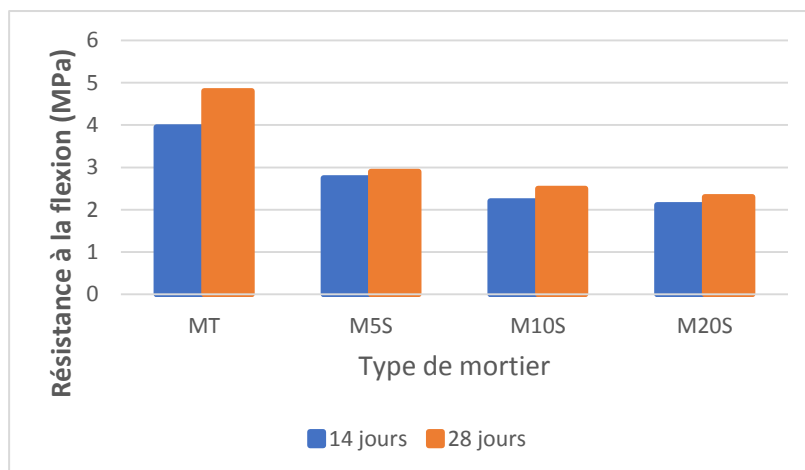


Figure (IV.7) : Résistance à la flexion des mortiers sans adjuvant.

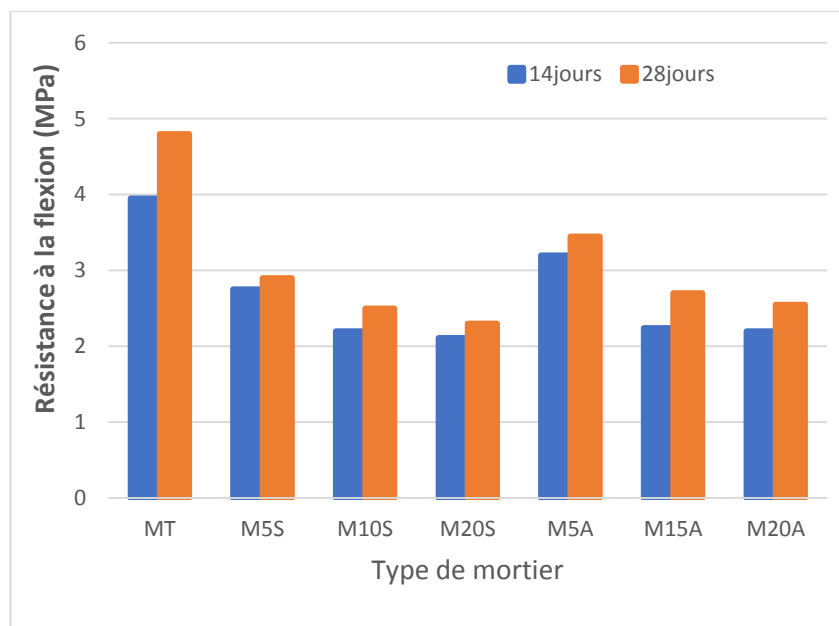


Figure (IV.8) : Résistance à la flexion des mortiers avec et sans adjuvant.

Les figures IV.6 et 7, présentent l'effet de poudre de brique sur la résistance à la flexion des mortiers aux différents âges : 14 et 28.

Les mêmes résultats précédents à 14 jours et 28 jours sont observés dans la figure IV. 6 et 7 diminution de la résistance en compression. On peut observer aussi que les mortiers M10 et M20 ont presque les mêmes valeurs, tandis que le mortier M5 donne toujours la meilleure résistance.

Les résistances à la flexion des mortiers ont connues une augmentation de 14% à 16% entre 14 jours et 28 jours.

La figure IV.8 montre clairement que, l'utilisation de super plastifiant aussi d'améliorer légèrement la résistance des mortiers à l'état durcis.

- **Résistance à la traction**

Les figures IV.9 et 10 présentent l'effet des fillers de poudre de brique sur la résistance à la traction des mortiers aux différents âges : 14 et 28 jours.

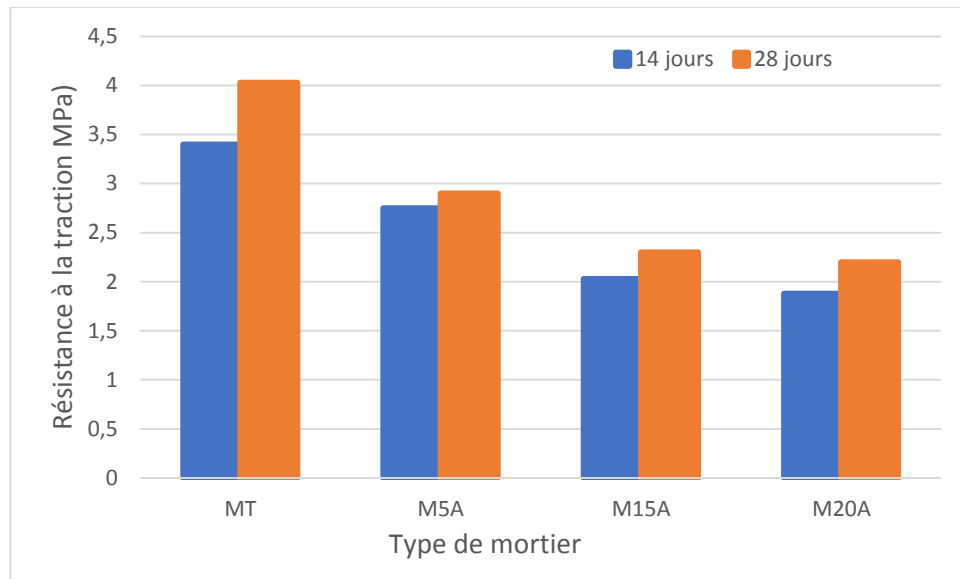


Figure (IV.9) : Résistance à la traction des mortiers avec adjuvant.

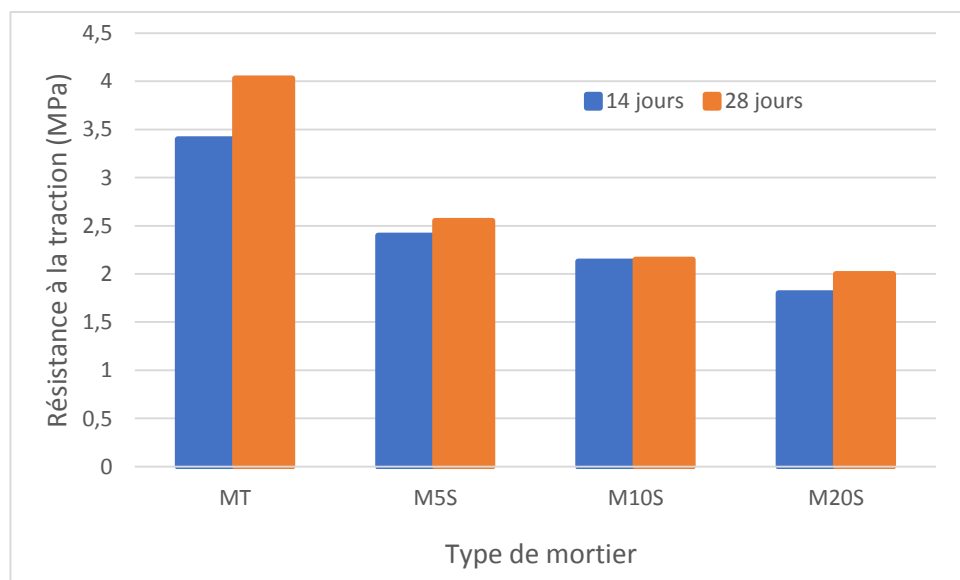


Figure (IV.10) : Résistance à la traction des mortiers sans adjuvant.

On remarque que la résistance à la traction du mortier avec poudre de brique diminue en fonction du pourcentage de poudre de brique par rapport au mortier témoin.

Mais avec 5% de poudre de brique et 2% superplastifiant les résistances mécaniques des mortiers connues une amélioration avec 1% à 14 jours et à 28 jours.

IV.2.4- Résultats de l'essai de la porosité :

Les résultats de l'essai de la porosité sont résumés dans les figures (IV .11) et (IV .12) .

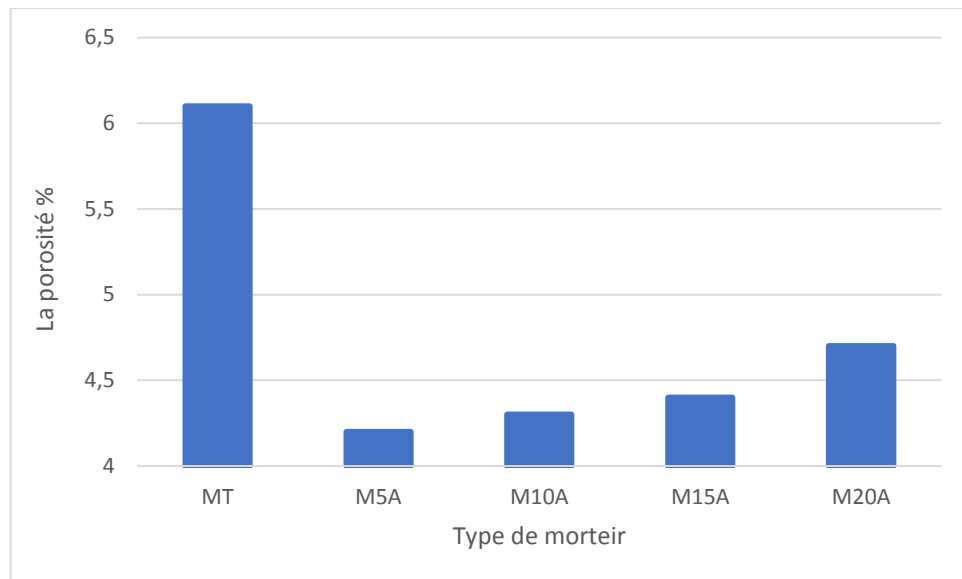


Figure (IV.11) : La porosité des mortiers avec superplastifiant.

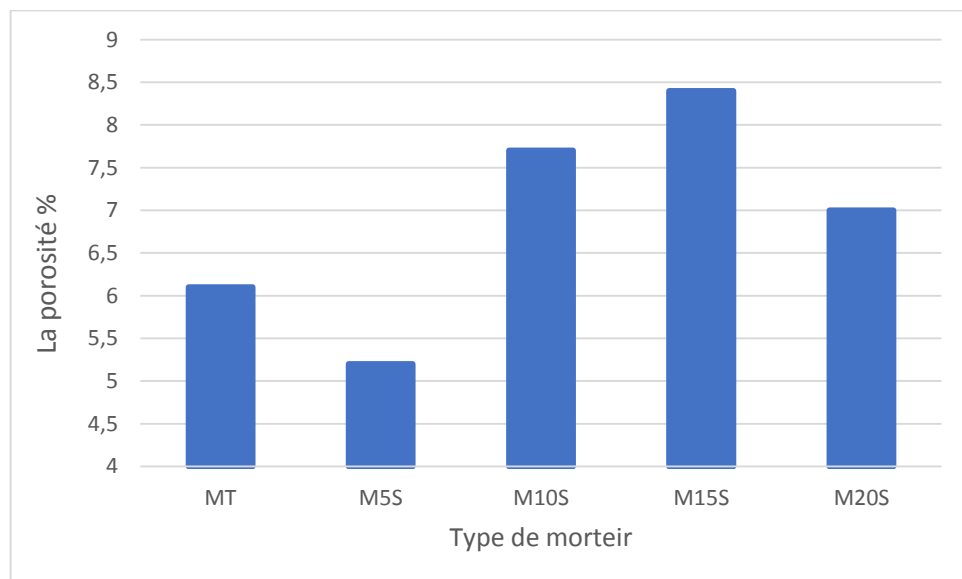


Figure (IV.12) : La porosité des mortiers sans superplastifiant.

On remarque que, la porosité des différents type de mortier augmente avec l'augmentation de pourcentage de poudre de brique est atteint 8.5% pour M15S. La porosité des mortiers MS5 et M5A reste toujours inférieure par rapport aux autres porosités.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats des travaux expérimentaux sur l'effet de la température sur les mortiers formulés du point de vue :

- o Caractéristiques mécaniques en compression et en flexion,
- o La porosité des mortiers,

Conclusión Général

Conclusion générale

L'incorporation d'une grande quantité d'ajout au ciment et les mortiers est très importante du point de vue économique. De plus l'ajout de déchet de brique qui est une matière inerte ne modifie pas grandement les performances mécaniques de ciment de base.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes:

- ✚ L'influence de la finesse des ciments aux ajouts cimentaire (poudre de déchet de brique) sur les propriétés physique et mécanique des matériaux (ciment, mortier) diffère d'un ciment à un autre (type et nature de l'ajout minérale).
- ✚ Le temps de début et la fin de prise augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la finesse des ciments composés.
- ✚ La résistance à la traction par flexion et la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout poudre de déchet de brique.

Perspectives :

A la lumière des conclusions rapportées précédemment, nous recommandons quelques perspectives et axes de recherches suivants :

- ✚ Etude des mortiers avec l'incorporation des ajouts minéraux inertes (calcaires) et actifs (Pouzzolane – Laitier de haut fourneau, fumé de silice) au ciment CPJ type (ELMATINE)
- ✚ Elargir l'étude de la durabilité des mortiers avec ajouts.

Référence
Bibliographique

[1]. pdf_Cours_UCB_2009_B_Albert.

http://lmi.cnrs.fr/IMG/pdf_Cours_UCB_2009_B_Albert.pdf

[2]. Wikipédia

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Clinker>

[3]. **PLANÈ, D. (2002)**. Précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique des Bétons (Doctoral dissertation, Université de Marne La Vallée).

[4]. Chapitre III La composition chimique des clinkers - SCAEK.

<http://www.scaek.dz/documents/16.pdf>.

[5]. Wikipédia

https://fr.wikipedia.org/wiki/Sulfate_de_calcium

[6]. **Abdessamed, M. M., Ouargla, U. K. M., Mohamed, M. D., & Abdelaziz, M. L.** Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux.

[7]. **GUETTAB Abdenour et BISSET Mokhtar.** Mortier Au Ciment Blanc Avec Filler De Marbre (thèse de Master), université de M'sila Année universitaire 2016/2017.

[8]. **Zoubida, S., & Hanane, C.** Master en Génie Civil. Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux (thèse de Master), université de Ouargla, Année universitaire 2010/2011.

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

[10]. **Chapitre II ; Le ciment Portland - ENSH**

<https://www.ensh.dz/files/Cours/1011/Mat%C3%A9riaux%20de%20construction/Chapitre%20II%20-%20Le%20Ciment.pdf>

[11]. **DAHMANI Salah.** Effet de l'association laitier-calcaire sur les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de ciments (thèse de Master), université de M'sila Année universitaire 2016/2017.

[12]. **M Venuat** -La pratique des ciments , mortier et béton- Tom1 : « Caractéristiques des liants et des béton , mise en œuvre des coulis et mortiers »-édition2- Collection Moniteur. - 277p-1989.

[13]. **Benkaddour, M., Aoual, F. K., & Semcha, A.** (2009). Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle. *Revue Nature et Technologie*. N, 1, 1.

[14]. **Documentation de la cimenterie de Hamma dalaa**, Hydratation de ciment Portland.

[15]. **DJOBBO YANKWA Jean Noël**, effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinères a base scories volcanique.

[16]. **Ahmed Abdo Al-Eyani**, Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier, (thèse de Master), université de M'sila Année universitaire 2016/2017.

[17]. **ALI AICHOUBRA.A**, effets des pouzzolanes naturelles sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire thèse de Magister , IGCM ORAN 2005.

[18]. **Thomas Point**. Influence des hydroxypyguars sur les propriétés du mortier de ciment à l'état frais 27 juin 2014. Disponible sur :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00936958/document>

[19]. **CHADI Lamis Rabiaa**, Etude de l'influence d'un adjuvant entraîneur d'air sur la rhéologie des mortiers, (thèse de Master), université de M'sila, Année universitaire 2016/2017.

[20]. **P. Sylver**, science des matériaux, université pierre et marie curie 2005, 2006

[21]. **M. Nicot Pierre**. Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier, thèse de doctorat, université de Toulouse. 2008.

[22]. **BOUALI Khaled**, Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques, (thèse de Master), université de Boumerdes, Année universitaire 2013/2014.

[23]. **Nacéri, Abdelghani, and Makhloufi Chikouche Hamina**. "Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar." *Waste management* 29.8 (2009): 2378-2384.

[24]. **Nacéri, A., and HAMINA M. CHIKOUCHE**. "Effects of pozzolanic admixture (waste bricks) on mechanical response of mortar." (2008): 1-8..

ANNEXE

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1 , 3.1

et 3.2 NA 774

Super plastifiant - haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

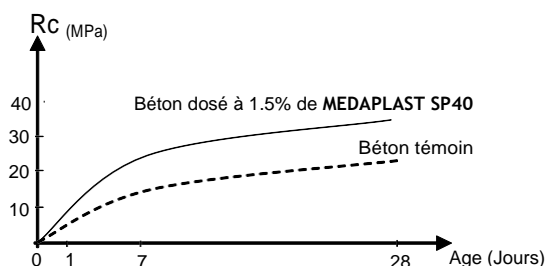
- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- pH 8,2
- Densité 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore < 1g/L
- Extrait sec 40%



Evolution des résistances en compression

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

PV d'essais conforme aux normes, établi par le

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C3S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C2S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C3A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C4AF (%):	10,00 – 12,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPA)

Hamman: Djalaa, Mosta (ACC)
Tel: +213 35 50 78 20
Fax: +213 35 55 70 26

Direction générale

33, Rue des Pêcheurs, Hydra, Alger
Tél: +213 (0) 21 48 16 65
Fax: +213 (0) 21 46 10 71

Ciment Blanc Algérie (SPA)

Usine Oujda (CIBA)
BP 67, 20360, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 40 04 65 68

LAFARGE
لافارج