

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

Melle. MERIKHI LOUBNA

Melle. BEN NADJA NEDJMA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Etude d'un mortier cellulaire léger**

**Devant le jury composé de :**

Kennouche Salim	MCB	UAMOB	Président
Hami Brahim	MCB	UAMOB	Encadreur
Aribi Chouaib	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

- *Mes chers parents Mohamed et Samia, qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études jusqu'à atteindre ce stade de formation.*
- *Mes chères sœurs Roba et Chahd , mes chers frères Aymen et Akram et Djamel*
- *A toute ma famille BENNADJA*
- *A Mes amies Loubna et Houda , A toute la Promotion 2022.*
- *Tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite.*

*BEN NADJA NEDJMA*

## *Dédicace*

*Je remercie le dieu le tout puissant de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail.*

*Je dédie ce travail à*

- *A Mon père Haroune el Rachide qui a sacrifié SA vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement.*
- *Ma très chère mère Houria, qui m'a accompagné durant les moments les plus rudes de ce long parcours de mon éducation.*
- *Ma chère grand-mère Fatima et mon grand père Miloud que dieu les garde pour moi*
- *Mes chères oncles fayçel et Houssam.*
- *Mes chères sœurs Rima, Salma et mon chère frère Haithem*
- *A Mes chères nièces Ranime, siradj et massi*
- *Ma chère copine Nedjma*
- *A Tous mes enseignants du primaire à l'université*
- *A Ma famille et mes proches.*

*LOUBNA MERIKHI*

## Remerciements

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté et d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de l'encadrement de Mr HAMI BRAHIM, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour son patience, son rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Notre remerciement s'adresse à Mme SAOUDI NACIRA, pour quelques informations et son soutien moral et ses encouragements.*

*Nos remerciements s'adresse également à tout nos professeurs pour leurs générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académique et professionnelles*

*Nos remerciements aussi à LNHC de BOUIRA et surtout madame Saliha pour ses aides pour faciliter notre stage*

## **Résumé**

Le mortier cellulaire est un matériau de construction utilisé pour l'isolation thermique et phonique, il résulte d'un mélange d'eau, de sable, de ciment, de chaux et de poudre d'aluminium.

Dans ce mémoire, l'objectif principal est la création de bulles d'air dans le mortier donc nous avons formulés six formulations avec différents pourcentages de la poudre d'aluminium (0.8% à 1.6%) pour une étude comparative des propriétés physico-mécaniques et thermiques. Les résultats obtenus montrent que la masse volumique diminue avec l'augmentation de la poudre d'aluminium. La résistance mécanique à la flexion et à la compression diminue avec l'augmentation de la porosité. Parmi les avantages du mortier cellulaire élaboré, sa bonne isolation thermique traduit par sa conductivité thermique qui diminue avec l'augmentation de dosage de la poudre d'alumine.

### **Les mots clés**

Mortier cellulaire, poudre d'aluminium, isolation thermique, porosité, bulles d'aires et conductivité thermique.

**Abstract**

Cellular mortar is a construction material used for thermal and sound insulation; it results from a mixture of water, sand, cement, lime and aluminum powder.

In this thesis, the main objective is the creation of air bubbles in the mortar so we have formulated six formulations with different percentages of the aluminum powder (0.8% to 1.6%) for a comparative study of physic-mechanical and thermal proprieties.

The results obtained show that the density decreases with the increase in aluminum powder. the mechanical resistance to bending and compression decreases with the increase in porosity .among the advantages of the cellular mortar produced .it's good insulation temperature translated by its thermal conductivity which decreases with the increase in the dosage of the alumina powder .

**Key words**

Cellular mortar, aluminum powder, thermal insulation, porosity, air bubble, thermal conductivity

## الملخص

الخليط الخلوي هو مادة بناء تستخدم للعزل الحراري والصوتي. وينتج من خليط من الماء والرمل والاسمنت والجير ومسحوق الألمنيوم في هذه المذكرة الهدف الرئيسي هو إنشاء فقاعات الهواء في الخليط لذلك أنجزنا ستة عينات مع نسب مختلفة من مسحوق الألمنيوم (0.8-1.6%) لمقارنة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الكثافة تتناقص مع زيادة مسحوق الألمنيوم حيث تقل المقاومة الميكانيكية للانحناء والضغط مع زيادة المسامية من بين مزايا الخليط الخلوي المنتج تترجم درجة حرارة عزلها الجيدة من خلال التوصيل الحراري الذي يتناقص مع زيادة جرعة مسحوق الألمنيوم

## الكلمات المفتاحية

الخليط الخلوي مسحوق الألمنيوم العزل الحراري. المسامية. فقاعات الهواء. التوصيل الحراري

# Sommaire

## Chapitre I Généralités sur les mortiers

Introduction Générale.....	1
I. Généralités sur les mortiers.....	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Définition du mortier .....	2
I.3. Composants du mortier .....	2
I.3.1. Le sable .....	3
I.3.2. Le liant.....	3
I.3.2.1. Le ciment de maçonnerie.....	3
I.3.2.2. La chaux .....	3
I.3.3 L'eau.....	3
I.3.4. Les adjuvants.....	3
I.4. Les types des mortiers.....	3
I.4.1. Les mortiers de ciment .....	3
I.4.2. Les mortiers de chaux .....	4
I.4.3. Mortiers bâtards.....	4
I.4.4. Le Mortier réfractaire .....	4
I.4.5. Mortier rapide.....	4
I.4.6. Mortier industriel.....	4
I.5. Classifications des mortiers .....	5
I.5.1. Classification selon leur domaine d'utilisation .....	5
I.5.2. Classification selon la nature du liant .....	5
I.6. Le rôle d'utilisation de mortier .....	5
I.7. Fonctions d'un mortier.....	6
I.8. Les principales applications des mortiers .....	6
I.8.1. Le hourdage de maçonnerie .....	6
I.8.2. Les enduits.....	6
I.8.3. Les chapes .....	7
I.8.4. Les scellements et les calages .....	7
I.9. Méthodes de préparation des mortiers .....	7
I.9.1. Préparation manuelle.....	7
I.9.2. Préparation mécanique .....	8



I.10. Caractéristiques des mortiers .....	8
I.10.1. Ouvrabilité.....	9
I.10.1.1. Table à secousses.....	9
I.10.1.2. Maniabilimètre du LCPC.....	9
I.10.1.3. Essai au cône d'Abrams .....	10
I.10.2. Essai de prise .....	10
I.10.3. Résistance mécanique .....	11
I.10.4. Retraits et gonflements.....	12
I.10.4.1. Le Retrait .....	12
I.10.4.2. Le Gonflement.....	12
I.10.5. Masse volumique apparente .....	13
I.10.6. Masse volumique absolue .....	13
I.10.7. Porosité et compacité .....	13
I.10.7.1. La porosité .....	13
I.10.7.2. La compacité.....	13
I.11. Conclusion .....	13

## **Chapitre II Généralités sur les bétons légers et les bétons cellulaires**

II. Les bétons légers et les bétons cellulaires .....	14
II.1.Introduction .....	14
II.2.Les bétons légers .....	14
II.2.1.Définition du béton léger .....	14
II.2.2.Classification des bétons légers .....	14
II.2.3. Propriétés des bétons légers .....	16
II.2.3.1.Légèreté.....	16
II.2.3.2. La porosité.....	16
II.2.3.3. Les propriétés mécaniques .....	17
II.2.3.4. Propriétés thermiques.....	17
II.2.4. Domaine d'utilisation des bétons légers .....	17
II.3. Les bétons cellulaires.....	18
II.3.1. Introduction.....	18
II.3.2.Définition .....	18
II.3.4.Matières premières.....	19
II.3.5. Fabrication du béton cellulaire.....	19

II.3.6. Avantages du béton cellulaire.....	21
II.3.7. Propriétés du béton cellulaire.....	21
II.3.7.1. La structure.....	21
II.3.7.2. La densité .....	22
II.3.7.3. La résistance à la compression .....	22
II.3.7.4. La résistance à la traction .....	23
II.3.7.5. Résistance aux agents chimiques .....	23
II.3.7.6. Résistance au gel et dégel.....	24
II.3.7.7. Le retrait au durcissement .....	24
II.3.7.8. Absorption d'eau et capillarité du béton cellulaire .....	25
II.3.7.9. Conductivité thermique .....	25
II.3.7.10. Conductivité acoustique .....	25
II.3.7.11. Résistance au feu .....	25
II.3.7.12. Légèreté.....	26
II.3.8. Impact environnementale et économique du béton cellulaire.....	26
II.4. Conclusion .....	28

### **Chapitre III Méthode des essais et élaboration du mortier cellulaire**

III.1. Introduction .....	29
III.2. Méthode des essais .....	29
III.2.1. Essais sur sable .....	29
III.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage .....	29
III.2.1.2. Le module de finesse .....	31
III.2.1.3. Teneur en fines.....	31
III.2.1.4. Evaluation des fines (équivalent de sable à 10% de fines).....	32
III.2.1.4.1. Equivalent de sable visuel (E.S.V) .....	33
III.2.1.4.2. Equivalent de sable piston (E.S.P).....	33
III.2.1.5. La masse volumique.....	35
III.2.1.5.1. Masse volumique apparente .....	35
III.2.1.5.2. Masse volumique absolue .....	36
III.2.2. Essai sur ciment .....	36
III.2.3. L'eau de gâchage .....	37
III.2.4. La poudre d'aluminium .....	37
III.2.5. La chaux .....	37

III.3.6.Les essais destructifs sur mortier cellulaire.....	38
III.3.6.1.La résistance à la compression (essai d'écrasement) .....	38
III.3.6.2.La résistance a la flexion.....	39
III.3.7.L'essai thermique : .....	39
III.4.Elaboration du mortier cellulaire.....	40
III.4.2.Mode opératoire.....	40
III.4.3.Mode de conservation.....	41
III.5.Conclusion.....	42

### **Chapitre IV Présentation et analyse des résultats**

IV. Présentation et analyse des résultats .....	44
IV.1.Introduction.....	44
IV.2.Résultats et discussion .....	44
IV.2.1. Gonflement des éprouvettes après démoulage .....	44
IV.2.2.La masse volumique.....	44
IV.2.2.1. Interprétation.....	45
IV.2.3. La conductivité thermique.....	45
IV.2.3.1. Interprétation.....	46
IV.2.4. Résistance mécanique à la flexion.....	47
IV.2.4.1. Interprétation.....	48
IV.2.5. Résistance a la compression .....	48
VI.2.5.1. Interprétation.....	49
IV.2.6.variation de la résistance a la compression en fonction de la conductivité thermique .....	50
IV.2.6.1. Interprétation.....	50
IV.2.7.variation de la résistance a la compression en fonction de la masse volumique.....	50
IV.2.7.1. Interprétation.....	51
IV.2.8.variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique .....	51
IV.2.8.1. Interprétation.....	52
IV.3.Conclusion .....	52
Conclusion générale et perspectives.....	53



## Liste des figures

Figure I.1. Le mortier .....	2
Figure I.2. Constituants de mortier et du béton .....	2
Figure I.3. Les types du mortier .....	4
Figure I.4. Utilisation du mortier dans la maçonnerie .....	6
Figure I.6. Photo de la chape .....	7
Figure I.7. Scellement d'un poteau avec un mortier .....	7
Figure I. 5. Utilisation du mortier comme enduit .....	7
Figure I.8. Scellement d'un poteau avec un mortier .....	8
Figure I . 9. Table à secousses .....	9
Figure I. 10. Principe de fonctionnement du Maniabilimètre .....	9
Figure I. 11. Schéma de l'essai de Cône d'abrams .....	10
Figure I.12. Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge.....	10
Figure I.14. Dispositif de rupture en compression .....	11
Figure I. 13. Moule pour moulage des éprouvettes de mortier .....	11
Figure I. 15. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion .....	12
Figure I.16. Appareillage pour la mesure du retrait .....	13
Figure I.17. Volume quelconque et le volume unitaire .....	13
Figure II.1. Classification des bétons légers .....	14
Figure II. 2. Porosité de béton .....	17
Figure II.3. Structures des bétons cellulaires .....	22
Figure II. 4. Comparaison de retrait dû au séchage pour différents matériaux .....	25
Figure II. 6. Légèreté d'un béton cellulaire .....	26
Figure II. 5. La résistance au feu .....	26
Figure II. 7. Consommation de matières première et d'énergie nécessaire à la production de matériaux de construction .....	27
Figure III. 1. Série des tamis. ....	30
Figure III.2. Préparation de sable. ....	31
Figure III.3. Détermination de l'équivalent de sable .....	32
Figure III.4. Essai d'équivalent de sable. ....	32
Figure III.5. Détermination du l'équivalent de sable.....	34
Figure III.6. Essai d'équivalent de sable visuel et par piston.....	34
Figure III.7. Détermination de l'équivalent de sable par piston.....	34
Figure III.8. La poudre d'aluminium.....	37
Figure III.9. Sac de 2 kg de la chaux.....	38

Figure III.10. Presse hydraulique. ....	38
Figure III.11. Presse (flexion trois point). ....	39
Figure III.12. Le CT METRE. ....	39
Figure III.13. Malaxage des constituants de mortier cellulaire. ....	41
Figure III.14. Éprouvette prismatique (4x4x16) pour les essais physicomécaniques. ....	41
Figure III.15. Éprouvette (10x10x2) pour les essais thermique ....	41
Figure III.16. Mode de conservation des éprouvettes. ....	42
Figure IV.1. Avant et après le gonflement. ....	44
Figure IV.2. Les vides sur les surfaces du l'éprouvette. ....	44
Figure IV.3. Histogramme de la masse volumique des mortiers élaborés. ....	45
Figure IV.4. Histogramme de conductivité thermique des mortiers. ....	46
Figure IV.5. Essai de la résistance mécanique à la flexion trois points après 28 jours. ....	47
Figure IV. 6. Histogramme de la résistance mécanique à la flexion 3 points des mortiers élaborés. ...	48
Figure IV.7. L'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j. ....	48
Figure IV. 8. Histogramme de la résistance mécanique à la flexion 3 points des mortiers élaborés. ...	49
Figure IV.9. Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la conductivité thermique. ....	50
Le Figure IV.10.représente la Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la masse volumique. ....	50
Figure IV.11. Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la masse volumique. ....	51
Le Figure IV.12.représente la Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique. ....	51
Figure IV.12. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique. ....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1.</b> Classification des bétons légers selon la masse volumique.....	15
<b>Tableau II. 2.</b> Classification des bétons légers selon l'utilisation dans la construction. ....	15
<b>Tableau II. 3.</b> Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité.....	23
<b>Tableau II. 4.</b> Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion . ....	23
<b>Tableau II.5.</b> Comparaison entre le béton cellulaire et les autres matériaux de construction [9].....	27
<b>Tableau III.1.</b> Les valeurs des passants exprimés en %.....	30
<b>Tableau III.2.</b> Le module de finesse de sable utilisé.....	31
<b>Tableau III.3.</b> Le teneur en fine en % de sable utilisé. ....	31
<b>Tableau III. 4.</b> Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP [9].....	35
<b>Tableau III.5.</b> Équivalent de sable à 10% de fines. ....	35
<b>Tableau III.6.</b> La masse volumique de sable utilisé.....	36
<b>Tableau III.7.</b> Les caractéristiques physiques de ce sable. ....	36
<b>Tableau III.8.</b> Caractéristiques physico-chimiques et mécanique du ciment utilisé selon la fiche technique. ....	37
<b>Tableau III.9.</b> Résistance à la compression sur mortier. ....	37
<b>Tableau III. 10.</b> Première formulation du mortier cellulaire sans chaux ( $M_1$ ).....	40
<b>Tableau III.12.</b> Formulation du mortier cellulaire avec chaux et des différents pourcentages de la poudre d'aluminium. ....	40
<b>Tableau IV.1.</b> La masse volumique des éprouvettes (10x10x2) après 28 jours.....	45
<b>Tableau IV.2.</b> Résultats des essais thermiques.....	46
<b>Tableau IV.3.</b> Résultat du l'essai de flexion trois points après 28 jours. ....	47
<b>Tableau IV.4.</b> Les résultats de l'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j.....	49

# **Introduction générale**



### Introduction Générale

Les techniques de production de béton cellulaire sont maîtrisées depuis plusieurs décennies et l'utilisation de tels bétons pour réaliser l'enveloppe de bâtiments est commune. La fabrication du béton cellulaire repose sur une synthèse hydrothermale d'un liant de type silicate de calcium obtenu à partir d'un mélange de chaux et de silice. L'aspect alvéolaire est induit par l'ajout de poudre d'aluminium dans le mélange basique, ce qui conduit à la libération d'hydrogène. Le bullage est accompagné de la formation d'hydrates  $C_3AH_6$  produits par réaction de l'hydroxyde d'aluminium avec la chaux, conduisant à un raffermissement suffisant de la pâte permettant de stabiliser la forme du matériau en expansion. Un traitement de cure, généralement une synthèse hydrothermale, favorise ensuite la formation de tobermorite  $C_5S_6H_5$  (silicate de calcium) par réaction de la chaux sur la silice. Dans leur gamme courante de masse volumique (400 à 600 kg/m<sup>3</sup>), ces matériaux présentent un compromis acceptable en termes d'isolation thermique et de performances mécaniques. La conductivité thermique de tels matériaux reste comprise entre 0,1 et 0,2 W/(m.°K). Les propriétés mécaniques sont suffisantes pour garantir une utilisation du béton cellulaire en bloc constructif assurant le rôle structurel sur une à deux hauteurs d'étage (résistance en compression de 4 à 7 MPa) [1].

L'objectif de cette étude est consacré à la formulation d'un mortier cellulaire léger, le plus important dans ce travail est la création d'une structure cellulaire dans la pâte par réaction chimique entre la poudre d'aluminium et la chaux.

Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres, le **premier chapitre** est consacré à des généralités sur les mortiers. Le **deuxième chapitre** constitue une revue bibliographique sur les bétons légers et les bétons cellulaires, Le **troisième chapitre** présente l'élaboration du mortier cellulaire et les essais réalisés, le **dernier chapitre** est consacré pour l'analyse et la discussion des résultats expérimentaux relatifs au comportement physico-mécanique et thermique du mortier cellulaire.

Enfin, et sur la base des résultats obtenus, une conclusion générale et des perspectives pour les recherches à venir sont présentées.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les mortiers**

## I. Généralités sur les mortiers

### I.1. Introduction

Le mortier est un matériau composite, obtenu par mélange homogène d'une matière inerte (sable) avec une matière active (liant), le tout gâché avec certaine quantité d'eau. Le mortier pouvant satisfaire à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Toutefois, il n'existe pas de mortier universel, convenant à toutes les situations.

Le concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés [2].

### I.2. Définition du mortier

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données ; se différent selon les réalisations et d'adjuvant [3].



Figure I.1. Le mortier [3].

### I.3. Composants du mortier

Les composants principaux des mortiers sont : le sable, de liant et d'eau. Le liant le plus courant depuis le début du 20e siècle est le ciment Portland, mais l'ancien mortier de chaux liante est toujours utilisé dans certaines nouvelles constructions [3].

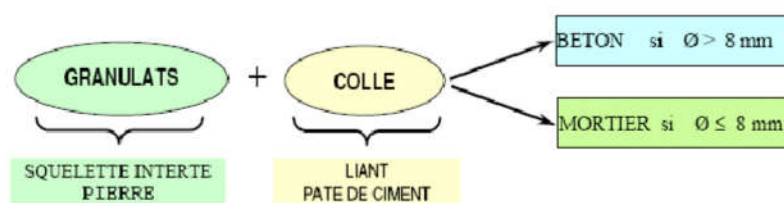


Figure I.2. Constituants de mortier et du béton [3].

### **I.3.1. Le sable**

Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches, la dimension des grains de sable est comprise entre 0,063mm et 2 mm [4].

### **I.3.2. Le liant**

Quel qu'il soit, le liant employé doit être de bonne qualité. Son choix pour la confection d'un mortier est très important.

Il peut-être du ciment portland, du ciment de maçonnerie, de la chaux [3].

#### **I.3.2.1. Le ciment de maçonnerie**

Le ciment de maçonnerie 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.

#### **I.3.2.2. La chaux**

La chaux est le composant traditionnel du mortier, possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente [3].

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 temps froid et humide.

### **I.3.3 L'eau**

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser [3].

### **I.3.4. Les adjuvants**

Les adjuvants sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé. Ils donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment et chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec en plus des adjuvants [3].

## **I.4. Les types des mortiers**

### **I.4.1. Les mortiers de ciment**

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 [5].

#### I.4.2. 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 [5].

#### I.4.3. Mortiers 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 [5].

#### I.4.4. Le Mortier réfractaire

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées.

Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues [5].

#### I.4.5. Mortier rapide

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [5].

#### I.4.6. 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 [5].

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.

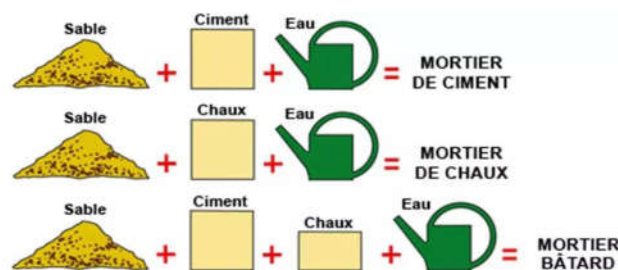


Figure I.3. Les types du mortier

## **I.5. Classifications des mortiers**

### **I.5.1. Classification selon leur domaine d'utilisation**

Généralement les mortiers varient suivant leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes [5] :

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

### **I.5.2. Classification selon la nature du liant**

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en [5] :

- ✓ Mortier de ciment portland.
- ✓ Mortier de chaux.
- ✓ Mortiers bâtards.
- ✓ Mortier à base de ciment de maçonnerie.

## **I.6. Le rôle d'utilisation de mortier**

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels [6] :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Être le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection.

### **I.7. Fonctions d'un mortier**

La fonction principale d'un mortier est de liaisonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc.

Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène. Le rejointoiement doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments. Les mortiers sont des éléments indispensables à toute construction. Il peut être utile pour la plupart des travaux de construction et de rénovation en maçonnerie [2].

- Lier des briques ou des pierres entre elles,
- Effectuer l'enduit d'un mur,
- Sceller des éléments,

### **I.8. Les principales applications des mortiers**

#### **I.8.1. Le hourdage de maçonnerie**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche [2].



**Figure I.4.** Utilisation du mortier dans la maçonnerie [2].

#### **I.8.2. Les enduits**

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants [2].



**Figure I. 5.** Utilisation du mortier comme enduit [2].

### **I.8.3. Les chapes**

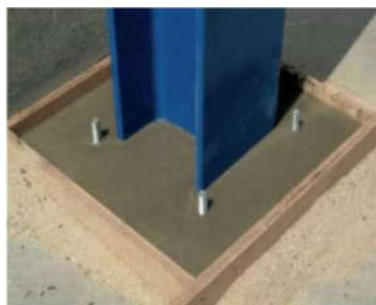
Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol [2].



**Figure I.6.** Photo de la chape [2].

### **I.8.4. Les scellements et les calages**

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite [2].



**Figure I.7.** Scellement d'un poteau avec un mortier [2].

## **I.9. Méthodes de préparation des mortiers**

### **I.9.1. Préparation manuelle**

Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et liant aussi parfaitement que possible et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage.



La masse est humectée progressivement puis malaxée à l'aide d'un robot à mortier. Cependant il faut savoir [2] :

- Que le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse du sable.
- Que l'eau doit être versée en plusieurs fois, d'abord pour la commodité et la qualité du mélange, ensuite parce qu'il est facile d'ajouter un peu d'eau alors qu'on ne peut pas enlever.



**Figure I.8.** Scellement d'un poteau avec un mortier [2].

### I.9.2. Préparation mécanique

La fabrication des mortiers se fait à l'aide des engins appelés bétonnières. Avec certains modèles, le mélange doit être fait à sec, en partie avant l'introduction dans le tambour mélangeur où il est mouillé convenablement. D'autres font elles-mêmes le mélange complet : on introduit soit directement dans le tombeur, soit dans une benne, l'ensemble des éléments constitutifs du mortier. L'opération ne dure que quelques minutes, elle est beaucoup plus rapide et moins pénible qu'à la main [2].



**Figure I.9.** Malaxeur [2].

### I.10. Caractéristiques des mortiers

Les caractéristiques principales des mortiers sont [7] :

### I.10.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils.

Les plus connus sont :

#### I.10.1.1. Table à secousses

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 (D_r - D_i / D_i)$$

Avec :  $D_r$ : diamètre final ;

$D_i$ : diamètre initial.

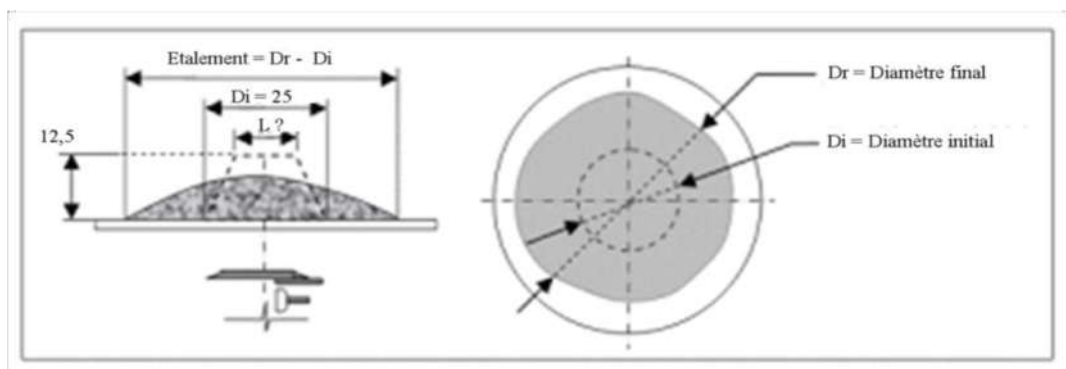


Figure I. 9. Table à secousses [7].

#### I.10.1.2. Maniabilimètre du LCPC

Est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule [7].

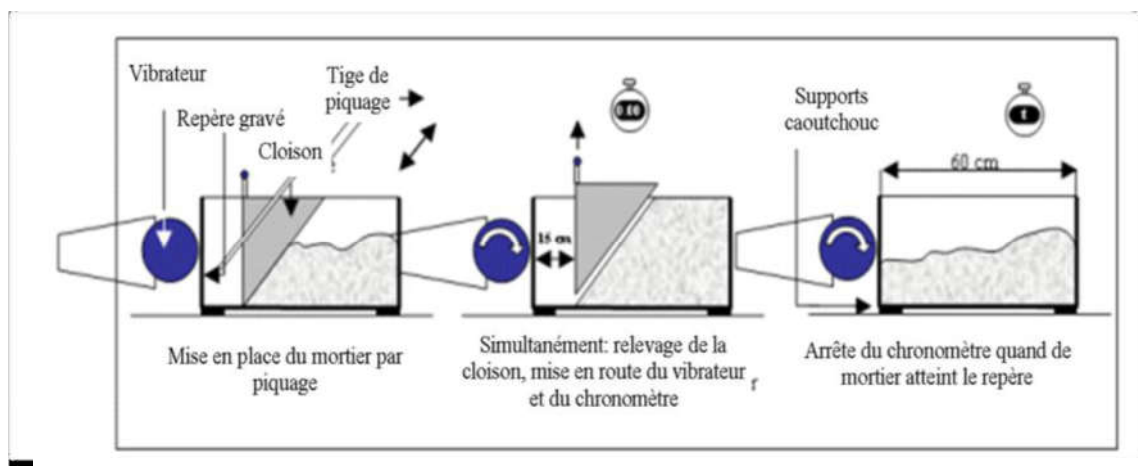


Figure I. 10. Principe de fonctionnement du Maniabilimètre [7].

### I.10.1.3. Essai au cône d'Abrams

L'essai d'affaissement au cône d'abrames est un essai simple qui permet de mesurer et contrôler la fluidité du béton frais.

La grandeur qui caractérise la fluidité du béton est la consistance. Sa mesure peut être facilement effectuée avec la méthode du cône d'abrames ou « slump test », qui est un essai d'affaissement d'un volume de béton de forme tronconique [8].

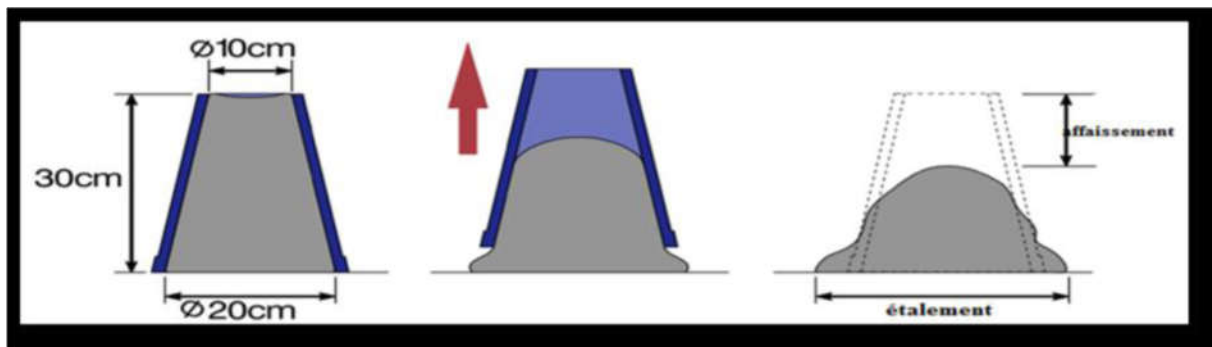


Figure I. 11. Schéma de l'essai de Cône d'abrams [7].

### I.10.2. Essai de prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur [7]

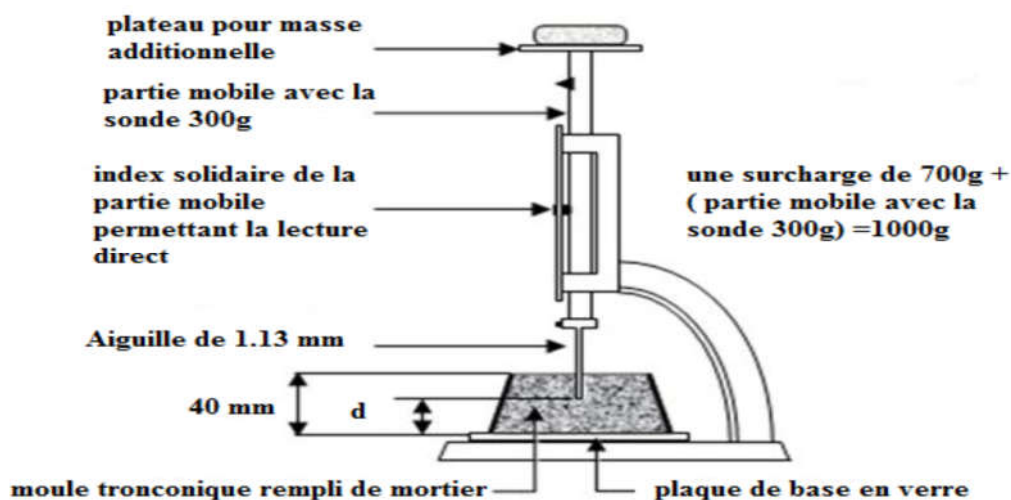


Figure I.12. Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge [7].

### I.10.3. Résistance mécanique

Les résistances du mortier sont mesurées sur des éprouvettes fabriquées à partir des moules Normalisés de différentes dimensions et matériaux (plastique ou, métal) [7].

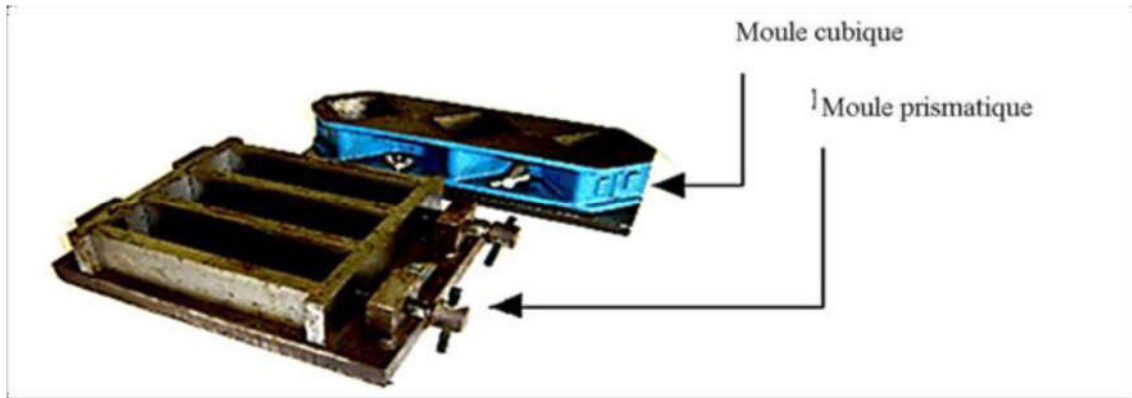


Figure I. 13. Moule pour moulage des éprouvettes de mortier [7].

-La résistance à la compression du mortier est déterminée par des essais directs selon la norme NF EN 196-1. Il y a deux types de résistance : la résistance mesurée sur **cyndres** et la résistance mesurée sur demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion **cube**, elle est exprimée en MPa ou en  $N/mm^2$ .

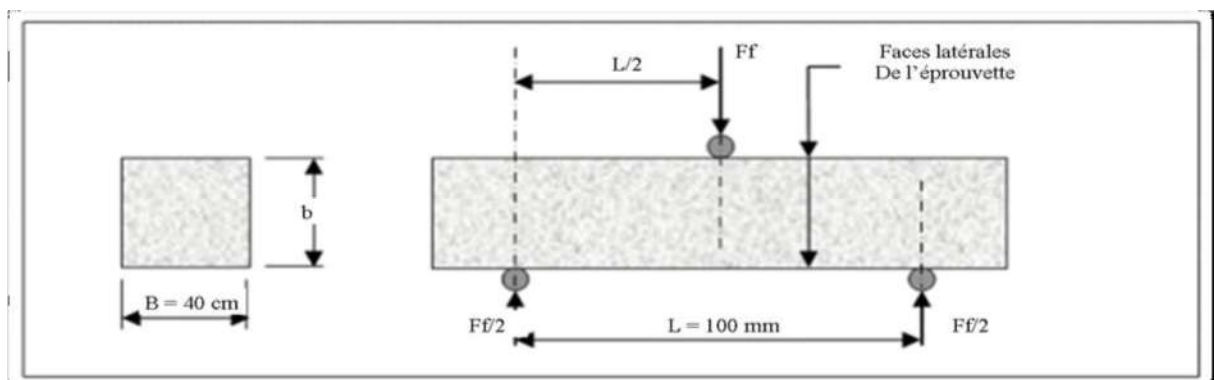
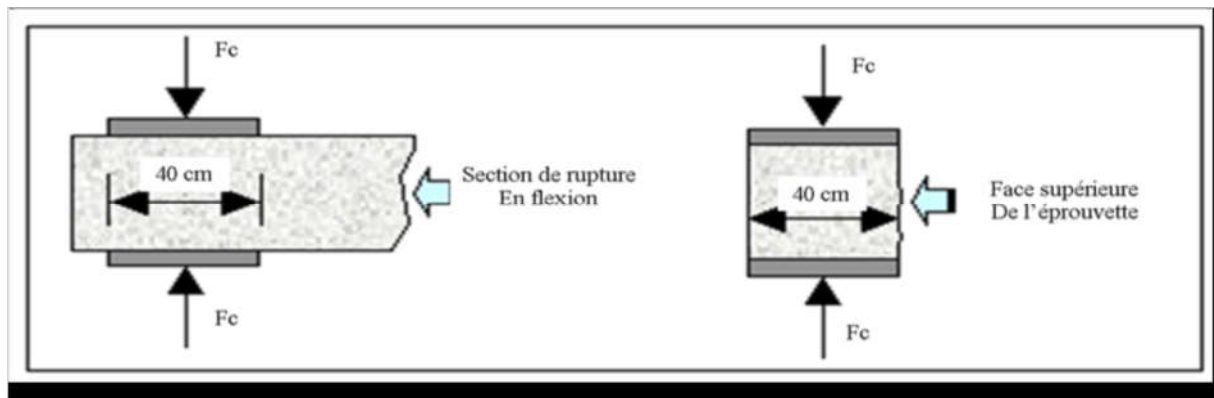


Figure I.14. Dispositif de rupture en compression [7].

-La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration. Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées.



**Figure I. 15.** Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [7].

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

- Nature et dosage en ciment ;
- Rapport C/E ;
- Granulométrie et nature du sable ;
- Energie de malaxage et mise en œuvre ;
- Protection les tous premiers jours [7].

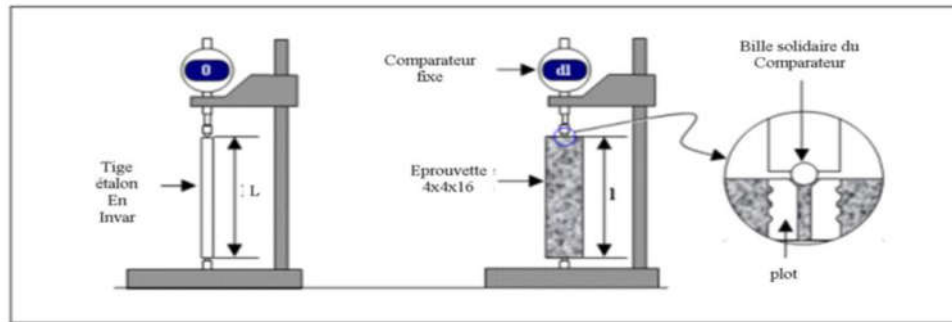
#### **I.10.4. Retraits et gonflements**

##### **I.10.4.1. Le Retrait**

Les retraits se mesurent sur des prismes (4x4x16) cm<sup>3</sup> en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours ; puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment) [7].

##### **I.10.4.2. Le Gonflement**

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10mm) [7].



**Figure I.16.** Appareillage pour la mesure du retrait [7].

### I.10.5. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou  $\text{t}/\text{m}^3$ ) [7].

### I.10.6. Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou  $\text{t}/\text{m}^3$ ) [7].

### I.10.7. Porosité et compacité

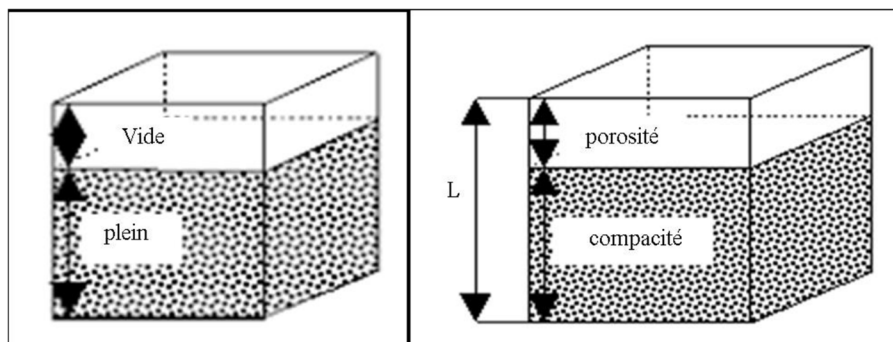
#### I.10.7.1. La porosité

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total [7].

$$P = \text{volume de vide} / \text{volume total}$$

#### I.10.7.2. La compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total [7].



**Figure I.17.** Volume quelconque et le volume unitaire [7].

## I.11. Conclusion

Ce premier chapitre est une étude théorique sur les mortiers, dont lequel nous avons présenté une définition sur les mortiers, les matériaux constituant les mortiers, les différents types des mortiers, classification des mortiers, les principales applications des mortiers et nous avons terminé ce chapitre en énonçant les différentes caractéristiques des mortiers.

## **Chapitre II**

# **Les bétons légers et les bétons cellulaires**

## II. Les bétons légers et les bétons cellulaires

### II.1.Introduction

Les bétons dits légers sont obtenus par incorporation d'air, trois types de bétons légers sont classiquement distingués selon la façon dont l'air est introduit dans le béton, lorsque l'air est incorporer dans la pâte de ciment, le béton est qualifié de béton cellulaire, lorsqu'il vient remplacer les granulats fins entre les gros granulats, le béton est qualifié de béton sans fines ou béton caverneux et enfin lorsque les granulats sont eux-mêmes allégés, le béton est alors qualifié de béton de granulats légers[9], la première catégorie( béton cellulaire)est la thématique de notre recherche que nous allons étudier dans la partie expérimentale.

### II.2.Les bétons légers

#### II.2.1.Définition du béton léger

Les bétons légers comme étant des bétons dont la masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m<sup>3</sup> [RILEM, ACI, DIN].Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciales caractéristiques, suggèrent de nouvelles applications, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique, en effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 kg/m<sup>3</sup>, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 kg/m<sup>3</sup>[10].

#### II.2.2.Classification des bétons légers

Il existe trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton [11]:

- La matrice : le béton, dans ce cas, est appelé « *béton cellulaire* ». Les bulles d'air sont créés, lors du malaxage, soit par réaction chimique, soit par action physique.
- Entre les gros granulats : le béton, dans ce cas, est appelé « *béton caverneux* » (ou sans fines, c.-à-d. sans sable).
- Dans les granulats : le béton, dans ce cas, est appelé « *béton de granulats légers* ».

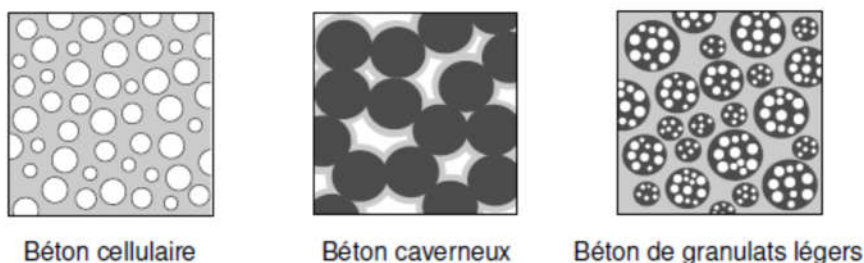


Figure II. 18. Classification des bétons légers [11].



**Tableau II.1.** Classification des bétons légers selon la masse volumique [12].

Classification	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
Béton léger de structure	1350-1900	> 17
Béton léger de résistance modérée	800-1350	7-17
Béton de faible résistance	300-800	< 7

De même **Kas J.L** et **CampbellD** [19], en Australie, ont adopté une classification fonctionnelle des bétons légers selon leur utilisation dans la construction. Cette classification a été recommandée par la suite par les RILEM [12], selon le tableau II.2 :

**Tableau II. 2.** Classification des bétons légers selon l'utilisation dans la construction [12].

Type de béton léger	De construction	De construction et d'isolation	d'isolation
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	< 1800	Non précise	Non précisée
Résistance à la compression (M Pa)	> 15	> 3.5	> 0.5
Conductivité thermique (W/m. K)	–	< 0.75	< 0.30

Selon leur utilisation dans les structures, les bétons légers peuvent être classés en fonction de leurs masses volumiques apparentes comme suit :

- Des bétons de remplissage

Leur masse volumique apparente est comprise entre 300 et 1000 kg/m<sup>3</sup>, leurs résistances en compression sont souvent faibles et leurs caractéristiques thermiques sont bonnes.

- Des bétons porteurs isolants

Leur masse volumique apparente est comprise entre 1000 et 1400 kg/m<sup>3</sup>, leurs résistances mécaniques sont nettement meilleures que celles des précédents et leurs caractéristiques thermiques sont acceptables. On les utilise généralement pour des éléments préfabriqués.

- Des bétons de structure

Leur masse volumique est comprise entre 1400 et 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ils sont destinés à la constitution des structures grâce à leurs résistances mécaniques qui peuvent être du même ordre que celles des bétons ordinaires. Leur pouvoir isolant est relativement faible [12].

### II.2.3. Propriétés des bétons légers

#### II.2.3.1. Légèreté

L'emploi des bétons Légers a pour première conséquence une diminution de 20 à 30 % de la masse volumique des bétons. La masse volumique d'un béton hydraulique est de l'ordre de 2300 kg/m<sup>3</sup> alors qu'elle se situe autour de 1600 kg/m<sup>3</sup> pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m<sup>3</sup> pour un béton de bois et elle varie entre 350 et 650 kg/m<sup>3</sup> pour un béton cellulaire. L'intérêt est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturer sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction [13].

#### II.2.3.2. La porosité

Le béton est constitué de plusieurs éléments solides (granulat, liant) et de plusieurs familles de vides dont la taille varie de quelques dizaines d'Angstrom (Å) à quelques millimètres selon l'origine de ces porosités. Les granulats possèdent une porosité intrinsèque appelée  $p_g$ , due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de  $\mu m$ ), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique [14].

La matrice de liant contient également des vides d'air qui apparaissent au moment de la prise des hydrates et du séchage du matériau. On parle d'air intra-liant qui permet de définir la porosité intrinsèque du liant  $p_l$ . La taille caractéristique des pores présents entre les hydrates de Ca(OH)<sub>2</sub> ou de C-S-H, varie entre 0,01  $\mu m$  et 5  $\mu m$  et la taille des pores générés par un entraîneur d'air varie entre 5  $\mu m$  et 1000  $\mu m$  [14].

L'air intra-liant sera également considéré comme de l'air microscopique.

$$p_l = V_{\text{vide}} / V_{\text{liant}}$$

$V_{\text{vide}}$  : volume des vides contenus dans la matrice de liant (m<sup>3</sup>) ;

$V_{\text{liant}}$  : volume total occupé par la pâte de liant (m<sup>3</sup>).

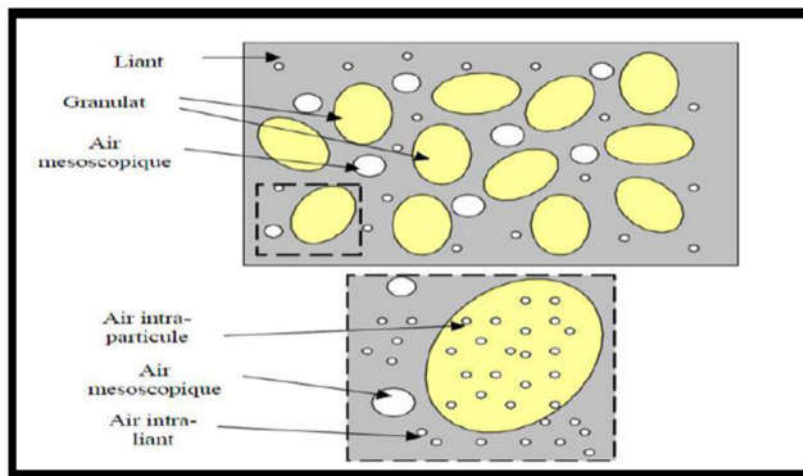
Enfin, l'arrangement plus ou moins compact des différents constituants entre eux (empilement de granulats et du liant) crée des vides supplémentaires, à l'origine de la porosité mésoscopique du matériau.

$$p_{\text{meso}} = V_{\text{vide}} / V_t$$

Avec :

$V_{\text{vides}}$ : volume des vides contenus dans le matériau autres que l'air intra-liant et intra-particule ( $\text{m}^3$ );

$V_t$ : volume total occupé par le matériau ( $\text{m}^3$ ).



**Figure II. 19.** Porosité de béton [13].

La porosité est de l'ordre de 9% d'un béton hydraulique, de 36% d'un béton d'argile expansé, de 75 à 82 % d'un béton cellulaire et 52% d'un béton de bois [14].

### II.2.3.3. Les propriétés mécaniques

Parmi les propriétés mécaniques, on retrouve la résistance à la compression, à la flexion et à la traction. Ces propriétés sont des paramètres secondaires dans la conception d'un béton ultra- léger puisque leur importance est relativement mineure pour ce type de béton. Toutefois, on ne peut les négliger puisque tous les bétons, peu importe l'application, nécessitent un minimum de résistance mécanique [15]

### II.2.3.4. Propriétés thermiques

La conductivité thermique est la grandeur physique caractérisant le comportement d'un matériau de transmettre la chaleur par conduction.

Elle est mesurée par coefficient  $\lambda$ .

Plus le  $\lambda$  est grand plus le matériau est conducteur.

Plus le  $\lambda$  est petit plus le matériau est isolant.

Le  $\lambda$  est exprimé en watts par mètre et par degré Celsius  $\text{w/mC}$  [16].

### II.2.4. Domaine d'utilisation des bétons légers

Selon leur résistance, les bétons légers sont utilisés soit comme :

-**Béton de structure** : c'est le cas des bétons légers de haute performance, les bétons aux laitiers expansés, à l'argile frittée expansée, aux cendres volantes...etc.

-**Isolants porteur** : c'est le cas des bétons à la pierre ponce, béton à l'argile expansé...etc.

-**Isolants** : leur résistance est faible, dans cette catégorie on peut citer : les bétons cellulaires.

Dans la construction on les utilise comme :

- Bloc de maçonnerie.
- Panneau préfabriqué.
- Mur antibruit.
- Bardage.
- Ouvrage extérieur.
- Élément de cave.
- Les pavés.

Le béton léger est utilisé dans toutes les étapes de la construction, de l'intérieur comme en extérieur (murs, cloisons, plafonds,...), du gros œuvre extérieur aux divers aménagements et finitions intérieurs [13].

### **II.3. Les bétons cellulaires**

#### **II.3.1. Introduction**

Le Béton cellulaire est un matériau de construction minéral et massif. Ses propriétés physiques (Légèreté & solidité, isolation thermo acoustique, ininflammabilité) en font un matériau d'exception. Grâce à sa structure contenant des millions de pores, il présente une faible masse volumique tout en assurant une solidité optimale, ce qui lui permet d'être un matériau simple à construire à usage multiple (résidentiel et industriel) [9].

#### **II.3.2. Définition**

Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice ou granulats légers) et de ciment Portland [10] et d'un agent expansif tels que [9] :

- Poudre d'aluminium ;
- Agent moussant ;
- Entraîneur d'air.

Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important.

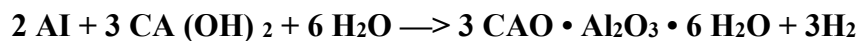
On cite parmi ces agents, la poudre d'aluminium ou soit par gâchage avec de l'eau savonneuse La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles. Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier.

### II.3.4. Matières premières

Les matières premières nécessaires à la fabrication du béton cellulaire sont [9] :

- Du sable blanc très pur (95% de silice) ;
- La chaux ;
- Le ciment ;
- La poudre d'aluminium ;
- L'eau.

A noter qu'il s'agit uniquement de matières minérales présentes en abondance dans la nature. En présence d'eau, la chaux réagit avec la silice du sable pour former des silicates de calcium hydratés (tobermorite). Chaux et ciment servent de liants. La poudre d'aluminium extrêmement fine (env. 50  $\mu$  m), utilisée en très faible quantité (+/-0,05%), sert de levain, en cours de fabrication, pour faire lever la pâte et créer les cellules. En milieu alcalin, la poudre d'aluminium réagit comme suit :



C'est l'hydrogène ainsi libéré qui crée les cellules. En cours de durcissement de la pâte, l'hydrogène se libère et les cellules se remplissent d'air.

### II.3.5. Fabrication du béton cellulaire

Les produits en béton cellulaire sont fabriqués dans des unités de production hautement industrialisées. L'emploi de matières premières stables, l'automatisation de la fabrication ainsi que le contrôle permanent, tant interne qu'externe, sont les garants d'une qualité de produits constante et de haut niveau. Les phases importantes de la fabrication sont [17] :

- La préparation, le dosage et le malaxage des matières premières
- La fabrication et le traitement anticorrosion des armatures nécessaires à la production des éléments armés.
- La préparation des moules.
- La coulée, la levée et le durcissement de la pâte.
- Le découpage et le profilage des produits.
- L'autoclavage.
- La mise sur palettes et sous housses plastiques rétractables (blocs).

Le béton cellulaire appartient au groupe des bétons légers, autoclaves. Les matières premières entrant dans sa préparation sont le ciment, le sable pur (95% de silice), la chaux et l'eau.

Le sable est broyé finement soit à sec, soit en présence d'eau. On y ajoute ensuite le ciment, la chaux, la poudre d'aluminium et l'eau.

Le produit obtenu, après mélange intime des constituants, est coulé dans des moules d'une capacité de 4,5 à 8 m<sup>3</sup> que l'on remplit à mi-hauteur environ.

Pour la production d'éléments armés, avant remplissage des moules, des treillis d'armature préalablement traités contre la corrosion y sont déposés avec précision et maintenus par entretoises. Pour la production de blocs, les moules sont remplis uniquement du mélange.

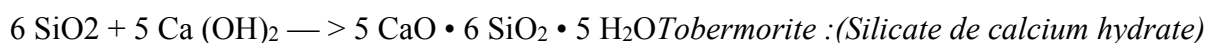
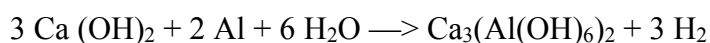
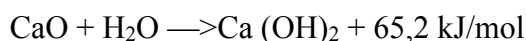
L'aluminium réagit avec les autres constituants, réaction qui produit un dégagement d'hydrogène permettant la formation des cellules sphériques et fermées qui caractérisent le Béton cellulaire.

Après quelques heures, la masse cellulaire a acquis une dureté telle (on parle à juste titre d'un "gâteau") qu'elle peut être démoulée. Elle est alors découpée au moyen de fils en acier, soit dans le sens de la longueur s'il s'agit d'éléments armés, soit longitudinalement et transversalement s'il s'agit de blocs. [17]

Malgré la coupe, le "gâteau" conserve la forme qu'il a reçue dans le moule. Le produit semi-fini ainsi obtenu subit ensuite un traitement thermique en autoclave, sous une pression d'environ 10 bars et à une température de 180°C environ.

Dans ces conditions, a lieu une autre réaction chimique au cours de laquelle le sable se lie à la chaux, formant des cristaux de forme et de composition bien particulière (Tobermorite).

Les réactions chimiques simplifiées, depuis le mélange des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sont les suivantes :



C'est à la Tobermorite -  $\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$  ou  $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$  (appellation industrielle) – que les fines parois cellulaires ont emprunté leur grande solidité.

Bien que les composants soient les mêmes, le béton cellulaire est un matériau entièrement différent du béton dans lequel, on le sait, le sable ne participe pas à la réaction chimique et donc à la formation des cristaux. C'est le traitement thermique en autoclave qui confère au béton cellulaire ses propriétés définitives.

La variation des masses volumiques s'obtient en adaptant, de façon minutieuse et rigoureuse, le dosage des matières premières.

Chaque catégorie massive, possédant ses caractéristiques spécifiques, répond aux exigences des normes NBN B 21-002 et EN 771-4 (blocs) ou NBN B 21-004 et EN 12602 (éléments armés) [17].

**II.3.6. Avantages du béton cellulaire**

Le béton cellulaire est un produit que l'on classe dans la catégorie des matériaux de construction dits « Propres », dans la mesure où 100 kg de matière suffisent à produire 1 m<sup>2</sup> de maçonnerie de 25 cm d'épaisseur conforme aux réglementations en vigueur pour la construction de maisons individuelles.

La fabrication de 1 m<sup>3</sup> de béton cellulaire ne nécessite que 250 kWh.

Le béton cellulaire est un matériau non polluant : la fabrication du béton cellulaire ne libère aucun produit polluant, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans la terre. De plus, grâce à un recyclage à chaque phase de la fabrication, il n'y a pas de gaspillage de ressources (Matières premières, eau, énergie).

Le béton cellulaire est un matériau moderne : la fabrication du béton cellulaire est industrialisée et permet la production d'un matériau de construction fini aux dimensions précises, aisé à mettre en œuvre.

Le béton cellulaire est un matériau léger, solide et isolant : le béton cellulaire est rempli d'une multitude de bulles d'air emprisonnées dans des cellules qui lui confèrent légèreté, pouvoir d'isolation thermique et acoustique, ainsi qu'une solidité permettant la réalisation de constructions d'une grande diversité.

Le béton cellulaire est un matériau isotrope : les propriétés physiques et mécaniques du matériau sont conservées quelles que soient l'orientation ou les découpes faites sur le produit. Ainsi l'homogénéité de la structure est parfaite.

Ce matériau, à la fois traditionnel et moderne, est adapté à la majorité des constructions, aussi bien pour l'habitat individuel ou collectif que pour les bâtiments industriels.

Le volume d'air représente 80% du volume total du béton cellulaire, tandis que la masse solide est de 20%. 1 m<sup>3</sup> de matières premières permet donc de produire 5 m<sup>3</sup> de matériau de maçonnerie en béton cellulaire. Cette très grande économie de matières premières est l'un des aspects écologiques du béton cellulaire.

A titre d'information, la surface des cellules dans 1kg de béton cellulaire est de 20m<sup>2</sup>; reportée au m<sup>3</sup> [17].

**II.3.7. Propriétés du béton cellulaire****II.3.7.1. La structure**

La structure de béton cellulaire est caractérisée par sa matrice microporeuse solide et microporeuse. Les microscopes sont formés en raison de l'expansion de la masse causée par le dégagement du gaz et les microscopes apparaissent dans les parois entre les microscopes.

Les microscopes sont des pores avec un diamètre de plus de 60  $\mu\text{m}$  [13]

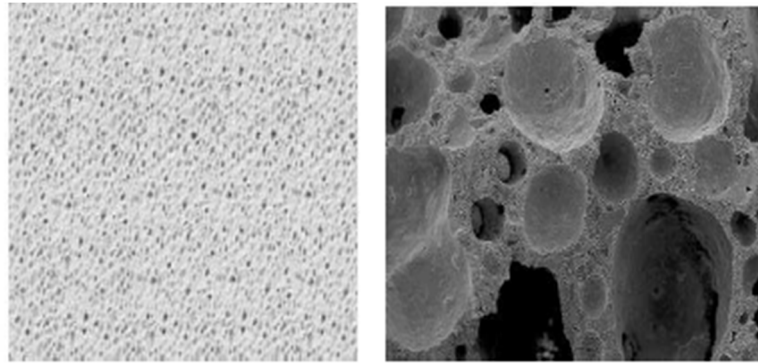


Figure II.20. Structures des bétons cellulaires [13].

### II.3.7.2. La densité

Le béton cellulaire dépend de la densité (300-1800  $\text{kg/m}^3$ ), il est essentiel que ses propriétés soient qualifiées avec la densité. En spécifiant la densité, les conditions d'humidité, (C'est-à-dire, séchage à l'étuve ou à l'air libre) doivent être indiqués. Le béton cellulaire avec une vaste gamme de densité pour des applications spécifiques peut être fabriqué avec la variation de la composition qui à son tour influe sur la structure, la taille et la distribution des pores. Une structure cellulaire stable et de préférence sphérique est nécessaire pour des propriétés structurelles et fonctionnelles optimales [18]. Aussi les pores doivent être distribués uniformément dans la masse pour obtenir des produits de densité uniforme. Le développement des macrospores dans la matrice est influencé par la densité d'une façon significative [19-20]. En termes conventionnels, la densité du béton cellulaire est liée à sa compacité et porosité.

### II.3.7.3. La résistance à la compression

La résistance à la compression du béton cellulaire augmente avec une augmentation de la densité [19,21]. La valeur moyenne des résistances mécaniques utilisant des éprouvettes cubiques de densité sèche de 400  $\text{kg/m}^3$  a été rapportée égale environ 2 MPa ; pour une densité sèche de 700  $\text{kg/m}^3$ , elle a été rapportée à environ 6 MPa [22]. Un autre rapport a montré que pour une gamme de densité de 500 à 700 la résistance à la compression était de 2 à 4 MPa [23]. L'autoclavage améliore les résistances mécaniques d'une façon significative sous des températures et pressions élevées ce qui donne une forme stable de la tobermorite. La résistance mécanique du BCNA augmente 30-80% entre 28 jours et 6 mois et marginalement au-delà de cette période une partie de cette augmentation est attribuée au processus de carbonatation. Avec le contenu de l'humidité de 5 et 10%, la résistance à la compression est réduite environ 20 et 25% respectivement.



La résistance de **BCNA** et **BCA** utilisant les cendres volantes comme un remplacement partiel/complet des fillers a prouvé que l'utilisation des cendres volantes a abouti à un rapport résistance/densité plus élevé [24, 20, 21,25].

La résistance à la compression augmente en fonction de la masse volumique du béton cellulaire comme en attestent les tableaux extraits des normes belges **NBN B 21-002** et **NBN B 21 004**. Les cellules sont plus petites dans un béton cellulaire de forte densité, ce qui accroît la largeur de leur paroi, et par conséquent leur résistance. Cette caractéristique essentielle est clairement précisée dans le complément national à la norme **EN 771-4**.

**Tableau II. 3.** Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité [9].

<b><math>\rho</math></b> <b>Kg/m<sup>3</sup></b>	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
<b>R<sub>c</sub></b> <b>Mpa</b>	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0

#### II.3.7.4. La résistance à la traction

La résistance à la traction du béton cellulaire est normalement égale 1/6 à 1/4 de la résistance à la compression. Un gradient d'humidité dans l'échantillon de test a un grand effet sur le résultat de test de la résistance à la traction. La mesure de cette propriété est encore plus sensible pour les conditions de test que la mesure de la résistance à la compression [26].

Pour le béton cellulaire, la résistance caractéristique à la traction pure représente 12% de la résistance en compression. ( $R_t = 0,12 R_c$ ). La résistance caractéristique à la traction par flexion est de 22% de la résistance en compression :  $R_t = 0,22 R_c$  (**EN 12602**), les valeurs de la résistance à la traction par flexion sont montrées dans le **Tableau II.4**.

**Tableau II. 4.** Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion [9].

<b>Classe</b>	<b>R<sub>t</sub> (Mpa)</b>
f <sub>2</sub>	0.44
f <sub>3</sub>	0.66
f <sub>4</sub>	0.88
f <sub>5</sub>	1.10
f <sub>6</sub>	1.32

#### II.3.7.5. Résistance aux agents chimiques

La résistance aux agents chimiques du béton cellulaire est similaire à celle du béton lourd.

L'un et l'autre résistent toutefois moins bien aux acides puissants que l'on ne trouve habituellement pas en habitation ou en construction industrielle.

Grace à son alcalinité élevée, le béton cellulaire résiste aux pluies acides. Seuls quelques mm peuvent être légèrement altérés [17].

#### **II.3.7.6. Résistance au gel et dégel**

En général, les cycles gel et dégel ne causent pas de dégâts au béton cellulaire. Uniquement pour quelques constructions spéciales, des précautions doivent être prises, par exemple, la construction de chambres froides. En général, les matériaux poreux ne résistent pas au gel au-dessus d'une teneur en humidité critique. Ceci est le cas tant pour le béton lourd que pour le béton cellulaire. Le seuil d'humidité critique pour un béton cellulaire, type C4 n'est atteint qu'au taux de 45% du volume [17].

#### **II.3.7.7. Le retrait au durcissement**

Le retrait arrive en raison de la perte d'eau adsorbée du béton, et il est significatif dans le béton cellulaire à cause de sa haute porosité total (40-80%) et la surface spécifique de pores (au tour de 30 m<sup>2</sup>/g) [22]. La diminution dans les tailles de pores, avec un pourcentage élevé des micropores augmente le retrait. La théorie de tension capillaire de retrait de matériaux déconstruction poreux affirme que l'eau dans les pores existe sous tension et ceci crée une force attractive entre les parois des pores [27]. Le retrait du béton cellulaire avec seulement le ciment comme liant est restitué plus important que cela produit avec la chaux ou le mélange (chaux ciment), le retrait du mélange est le moindre. Les spécimens durcis à l'air libre ont un retrait très élevé [28]. D'autre part les spécimens durcis en milieu humide ont des valeurs de retrait s'étendant de 0,06 à plus de 3% quand séché aux températures ordinaires, les valeurs les plus basses du retrait étant associées à la densité la plus haute et les pourcentages élevés de sable [18]. Ta da [29] attribuent le plus grand retrait au **BCNA** à cause du plus grand volume de micropores. Cependant, quand le même produit est autoclave, des changements fondamentaux ont lieu dans la constitution minérale, qui peut réduire le retrait à 1/4 ou même 1/5 de celui de produit durci à l'air. Ceci intervient en cours d'autoclavage lors de la formation des cristaux de silicate de calcium hydraté (Tobermorite) qui lui donne sa résistance caractéristique. A sa sortie de l'autoclave, le processus de durcissement est terminé et tout retrait ultérieur n'est plus à craindre. Il n'y a donc pas lieu d'en tenir compte lors de la mise en œuvre.

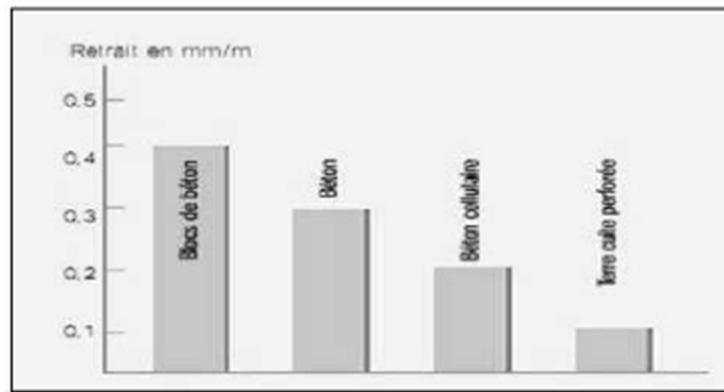


Figure II. 21. Comparaison de retrait dû au séchage pour différents matériaux [26].

### II.3.7.8. Absorption d'eau et capillarité du béton cellulaire

Le béton cellulaire étant poreux, il y a une forte interaction entre l'eau, la vapeur d'eau et le système poreux et il existe divers mécanismes de transport d'humidité. Dans les conditions normales d'humidité, la migration d'humidité est principalement par la diffusion :

Avec un accroissement du taux d'humidité la migration est donc par capillarité [30]. La succion capillaire prédomine pour un élément en contact avec l'eau. La capillarité est importante pour le mouillage et le dessèchement des matériaux. La succion capillaire est lente dans le béton cellulaire comparé avec d'autres matériaux poreux comme les briques d'argile.

Les phénomènes de transport d'humidité dans les matériaux poreux, en absorbant et transmettant l'eau par capillarité, ont été définis par une propriété facilement mesurable appelé la sportivité, qui est basé sur la théorie de flux non saturée [30].

### II.3.7.9. Conductivité thermique

La conductivité thermique relativement basse du béton cellulaire est due aux pores remplie d'air [26]. La conductivité thermique  $\lambda$ , du béton cellulaire dépend principalement de sa densité. D'autres facteurs comme le contenu d'humidité, le niveau de température, la structure poreuse et des matières premières influent aussi la conductivité thermique [29].

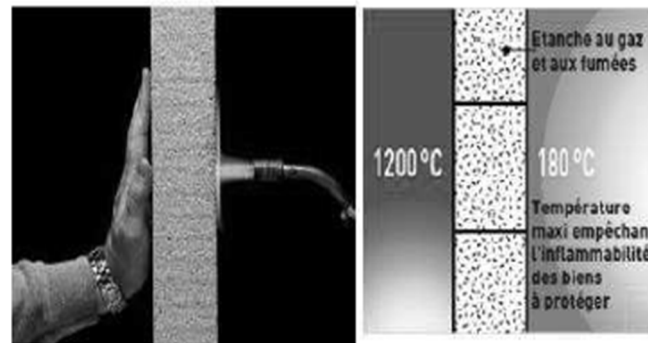
### II.3.7.10. Conductivité acoustique

Le Béton Cellulaire répond aux exigences de la nouvelle réglementation acoustique en vigueur, celui-ci permet une parfaite isolation phonique aussi bien pour les bruits intérieurs qu'extérieurs à l'habitation [9].

### II.3.7.11. Résistance au feu

Le béton cellulaire est une garantie de sécurité contre le feu. Grâce à son matériau minéral naturel, il est incombustible et coupe-feu de 1 heure à 6 heures selon l'épaisseur. Il assure une

protection exceptionnelle et remarquable contre le feu tant pour les bâtiments industriels que pour l'habitation individuelle sans dégagement des fumées ou gaz toxiques [9].



**Figure II. 22.** La résistance au feu [9].

### II.3.7.12. Légèreté

Le Béton cellulaire présente un poids léger par rapport aux autres matériaux de construction. Cette propriété donne l'avantage d'un transport et d'une construction plus facile. Sa légèreté permet une économie de masse sur les structures et les fondations [9].



**Figure II. 23.** Légèreté d'un béton cellulaire [9].

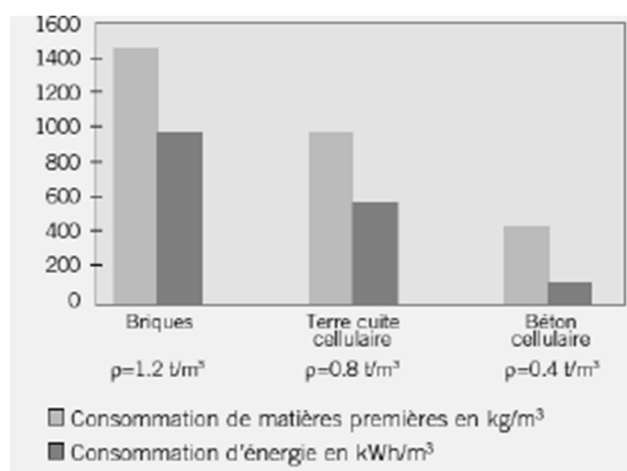
### II.3.8. Impact environnementale et économique du béton cellulaire

Le béton cellulaire a plus d'un titre au respect de l'environnement du fait que son industrie s'engage sur la voie de l'économie des ressources naturelle et de l'énergie, ainsi qu'à l'importance du recyclage et le traitement des déchets de fabrication et de chantier.

Ses qualités environnementales ont fait de lui un produit favorable dit « propre » ou « vert » un label décerné par le laboratoire de l'analyse environnementale des matériaux de construction Outre-Rhin en Allemagne [31].

- Les matières premières nécessaires à la fabrication de béton cellulaire existent en abondance dans la nature et le béton cellulaire n'en abuse pas, puisque 500 kg à peine suffisent à produire 1m<sup>3</sup> de produit fini, soit 1/3 environ de ce qui est nécessaire pour fabriquer d'autres matériaux de gros œuvre.

- Grâce au procédé d'autoclavage utilisé en cours de fabrication, 200 kWh/m<sup>3</sup> suffisent à produire 1m<sup>3</sup> de béton cellulaire.
- Près de 90% de la vapeur d'eau produite pour l'autoclavage est réinjectée dans le circuit.
- Grâce à la légèreté du matériau, le transport est réduit tant pour ce qui concerne les matières premières que pour les livraisons sur le chantier.
- La fabrication du béton cellulaire ne dégage aucun gaz toxique et n'entraîne aucune pollution de l'eau.
- Par ses qualités d'isolation et d'inertie thermiques, le béton cellulaire assure non seulement des économies d'énergie et le respect de l'environnement, mais contribue également à un confort de l'habitat tout à fait particulier, tant en été qu'en hiver.



**Figure II. 24.** Consommation de matières première et d'énergie nécessaire à la production de matériaux de construction [9].

**Tableau II.5.** Comparaison entre le béton cellulaire et les autres matériaux de construction [9].

désignation	Epaisseur (cm)	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermique $\lambda$ (w/m.k)	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> .k/w)	Affaiblissement acoustique Rw (db)
<b>Béton cellulaire</b>	20	400	0.12	1.54	47
<b>Brique creuse</b>	20	700-1000	0.35	0.57	47
<b>Parpaing creuse</b>	20	100	1.10	0.18	54

**II.4.Conclusion**

Nous avons présenté dans le deuxième chapitre une synthèse bibliographique sur le béton léger et le béton cellulaires, qui est l'objet de notre étude expérimentale. Les bétons cellulaires sont caractérisés par les propriétés physico-mécaniques qui se résument comme suit :

- Leurs masses volumiques peut être comprise suivant les formulations 400 et 800 kg /m<sup>3</sup>.
- La résistance à la compression des bétons cellulaires est fonction de la densité. Celle-ci peut être améliorée par des ajouts tels que la fumée de silice. Généralement, la résistance à la compression varie entre 3 et 7 M Pa.
- Les bétons cellulaires sont caractérisés par leur pouvoir isolant, leurs conductivités thermiques sont assez faibles et pouvant descendre jusqu'à 0,02 W.m-1K<sup>-1</sup>.

## **Chapitre III**

### **Méthode des essais et élaboration du mortier cellulaire**

**III.1.Introduction**

Ce chapitre est composé de deux parties :

La première partie, consacrée à la description des essais réalisés pour concrétiser ce travail expérimental, et les mortiers étudiés.

Les essais physiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires Suivants :

- Laboratoire de LCTP BOUIRA.
- Laboratoire LNHC BOUIRA.
- Laboratoire de département de Génie Civil de l'université AKLI MOUHAND OU LHADJ BOUIRA.
- Laboratoire de CNERIB de SOUIDANIA Alger.

Les matériaux utilisés dans cette partie sont énumérés comme suit :

- Le sable de carrière de la Région de Beni Mansour BOUIRA.
- L'eau de robinet de la région de BOUIRA.
- Le ciment portland composé **CPJ-CEMII / A-L42, 5N SOUR EL GHOZLANE**.
- Poudre d'aluminium.
- la chaux.

La deuxième partie : elle est consacrée à la formulation des différentes variantes élaborées par l'addition du poudre d'aluminium à des taux de (0.8 %, 1 %, 1.2% 1.4 %, 1.6% ), qui seront comparés aux échantillons de mortier témoins (sans chaux), puis une présentation des résultats d'essais physicomécaniques, à savoir (la masse volumique, la résistance mécanique en flexion et compression) et d'essai thermique ,obtenus après les essais sur les différentes variantes étudiées.

**III.2.Méthode des essais****III.2.1.Essais sur sable**

Le sable utilisé au cours de cette expérimentation, provient de la région BENI MANSOUR BOUIRA.

**III.2.1.1.Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-1].****- But de l'essai**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages Pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

**- Principe de l'essai**

L'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, Emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du Haut



vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

#### - Matériels utilisés

Une colonne de tamis propres et correspondants à chaque fraction.



Figure III. 25. Série des tamis.

L'essai consiste à séparer par tamisage, au moyen d'une série de tamis, un matériau en classes granulaires de dimensions décroissantes.

On appelle **passant** le matériau qui passe au travers du tamis et **refus** celle qui y retenue.

Tableau III.6. Les valeurs des passants exprimés en %

Tamis (mm)	0/4	3/8	8/15	15/25	Mélange
25.0				100.0	100.0
20.0			100.0	89.6	97.9
16.0			94.9	60.4	90.6
12.5			58.7	15.4	71.1
10.0		100.0	27.6	3.7	59.6
8.0		98.9	7.9	0.3	52.5
6.3		91.9	1.6		47.4
5.0	100.0	59.2	0.3		43.6
4.0	97.4	25.3	0.0		40.8
2.5	72.6	8.8			30.1
1.25	47.4	3.6			19.4
0.63	24.6	0.1			10.1
0.315	18.6	0.0			7.6
0.16	11.4				4.7
0.08	9.6				3.9

#### - Préparation de l'échantillon

L'échantillon de sable est préparé selon la norme NF EN 933-1. La masse  $M$  de l'échantillon pour l'essai doit être supérieure à  $0,2 D$ , avec  $M$  exprimée en kilogrammes et  $D$  plus grande dimension spécifiée en millimètres.

### - Mode Opérateur

L'opération du tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse ou on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. La vibration se fait 03 fois durant 10 minutes à chaque fois.



Figure III.26. Préparation de sable.

#### III.2.1.2. Le module de finesse

Le module de finesse MF est défini comme étant la somme des pourcentages ramenés au refus cumulés sur la série de tamis d'ouverture suivants : 0.16 - 0.63 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.0.

$MF = \frac{\sum \text{refus cumulée en \% pondéral des tamis (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5mm)}}{100}$

Tableau III.7. Le module de finesse de sable utilisé.

Classe granulaire	FM	Spécifications	
0/4 Gravex	3.25	1.8 à 2.2	un peu trop fin
		2.2 à 2.8	préférentiel
		2.8 à 3.2	un peu trop grossier

#### III.2.1.3. Teneur en fines

La teneur maximale en fines dans les sables mesurée sur la fraction 0/4mm.

Tableau III.8. Le teneur en fine en % de sable utilisé.

Classe granulaire	teneur en fine
Gravex 0/4	9.6%

#### III.2.1.4. Evaluation des fines (équivalent de sable à 10% de fines)

##### • Equivalent de sable (NF P 18-597).

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée. Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins. L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés).

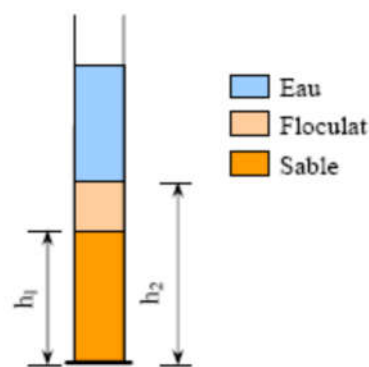


Figure III.27. Détermination de l'équivalent de sable [31].



Figure III.28. Essai d'équivalent de sable.

##### - But de l'essai

Cet essai permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles qui diminuent la qualité du béton et mortier.

##### - Mode opératoire

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g), Prendre une pesée de 120g
- Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10 cm).

- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120 g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin d'éliminer toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc.
- Placer l'éprouvette dans un agitateur mécanique pendant 3 minutes.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavande au-dessus de l'éprouvette, rincée ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage.

Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter

#### **III.2.1.4.1. Equivalent de sable visuel (E.S.V)**

- Après 20 min de dépôt, lire la hauteur  $h_1$ , de niveau supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  compris entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$E_s v = (h_2/h_1) 100\%$$

Avec :  $h_1$  : hauteur du sable plus flocculat.

$h_2$  : hauteur du sable.

#### **III.2.1.4.2. Equivalent de sable piston (E.S.P)**

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

$$E_{sp} = (h'2/h_1) 100\%$$

Avec :  $h_1$  : hauteur du sable plus flocculat.

$h'2$  : hauteur du sable.



Figure III.29. Détermination de l'équivalent de sable.



Figure III.30. Essai d'équivalent de sable visuel et par piston.



Figure III.31. Détermination de l'équivalent de sable par piston.

**Tableau III. 9.** Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP [9].

ES au vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES<60%	ES<65%	Sable argileux : risque de retrait ou gonflement .sable a rejeté pour des bétons de qualité
65%<ES<75%	60%<ES<70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75%<ES<85%	70%<ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES>85%	ES> 80%	Sable très propre l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau

**Tableau III.10.** Équivalent de sable à 10% de fines.

Classe granulaire	SE
Sable 0/4 Gravex	71%

### III.3.1.5.La masse volumique

#### III.3.1.5.1.Masse volumique apparente [NA EN 1097-6].

##### - Principe de l'essai

Le principe de cette mesure consiste à remplir un récipient avec un volume intérieur connu et de peser la quantité de granulats correspondants.

##### - Mode opératoire

- Peser le récipient vide et tarer.
- Prendre le matériau (sable) dans les deux mains formant un entonnoir.
- Placer les deux mains à hauteur d'environ 10 cm au-dessous de récipient.
- Verser le matériau au centre de récipient jusque qu'il soit rempli et débord au tour.
- Araser avec la règle sans compacter le matériau.

- Peser le contenu et noter la masse M.
- Répéter l'opération 3 fois afin de valider l'essai.
- La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = M/V$$

### III.3.1.5.2. Masse volumique absolue

C'est le rapport entre la masse et l'unité de volume de la matière qui constitue le Granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Elle est Exprimée en (g/cm<sup>3</sup>, Kg/m<sup>3</sup>, t/m<sup>3</sup>).

**Tableau III.11.** La masse volumique de sable utilisé.

Classe granulaire	Masse volumique absolue (t/m <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (t/m <sup>3</sup> )
0/4 gravex beni mansour	2.64	1.50
3/8 gravex beni mansour	2.67	1.40
8/15 gravex beni mansour	2.67	1.43
15/25 gravex beni mansour	2.67	1.39

**Tableau III.12.** Les caractéristiques physiques de ce sable.

<b>Masse volumique absolue</b>	<b><math>\rho_{abs}=2.64</math></b>
<b>Masse volumique apparente</b>	<b><math>\rho_{app}=1.50</math></b>
<b>Equivalent de sable</b>	<b>Esp/ Esv=71%</b>
<b>Teneur en fines</b>	<b>=9.6%</b>
<b>Le module de finesse</b>	<b>M f=3.25</b>

### II.3.2. Essai sur ciment

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II /A-L 42.5 NA. Provenant de la cimenterie de SOUR EL GHOZLAN BOUIRA, dont les caractéristiques sont regroupées dans les tableaux qui suivent :

**Tableau III.13.**Caractéristiques physico-chimiques et mécanique du ciment utilisé selon la fiche technique.

Caractéristiques	Exigence normative	Moyenne
Perte au feu %	/	4.03
Résidu insoluble %	/	1.27
Teneur en oxyde de magnésium (mgo)%	/	2.65
Teneur en anhydrite sulfurique (so <sub>3</sub> )%	<3.5	2.12
Finesse Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	/	3984.38
Temps de début de prise (mm)	>60	165.26
Expansion (mm)	<10	1.34

**Tableau III.14.**Résistance à la compression sur mortier.

Echéance	Exigence normative	Moyenne
02 jours (Mpa)	>10.0	26.07
28 jours (Mpa)	>42.5 et <62.5	50.83

### III.3.3.L'eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet de laboratoire du génie civil de l'UAMOB, donc elle ne nécessite aucun essai.

### III.3.4.La poudre d'aluminium

La poudre d'aluminium utilisée est celle de département du SNV à Université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bordj Bou Arreridj



**Figure III.32.** La poudre d'aluminium.

### III.3.5.La chaux

La chaux utilisée est celle de l'entreprise de la wilaya du BOUIRA.





Figure III.33. Sac de 2 kg de la chaux.

### III.3.6. Les essais destructifs sur mortier cellulaire

#### III.3.6.1. La résistance à la compression (essai d'écrasement) [NA EN 12390-3] [32].

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes prismatique (4x4x16) cm<sup>3</sup>.

##### - La presse hydraulique

La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 3000 KN.



Figure III.34. Presse hydraulique.

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

La conduite de l'essai est la suivante : l'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de  $\pm 0.2$  MPa. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette [3].

$$R_c = F/S$$

R<sub>c</sub>: résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm<sup>2</sup>)

### III.3.6.2. La résistance a la flexion

L'essai doit être réalisé au moyen d'une machine d'essais conforme à l'EN 12390-4.



Figure III.35. Presse (flexion trois point).

### III.3.7. L'essai thermique :

#### -Mesure de la conductivité :

Le CT METRE, appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux, tels que : les briques, les roches, béton cellulaire les résines ou produits complexes, etc. [31].



Figure III.36. Le CT METRE.

### III.4.Élaboration du mortier cellulaire

Le but du procédé, est la création de bulles d'air à l'intérieur du matériau frais, grâce à l'addition de la poudre d'aluminium avec de faible quantité au cours de malaxage. Le dégagement gazeux résulte de la réaction chimique entre la chaux et la poudre d'aluminium.

Après plusieurs formulations pour obtenir le résultat souhaité, nous sommes arrivés à ce résultat après avoir consulté les travaux de recherche de monsieur SAITI ISSAM [31].

Dans la phase d'allègement on a considéré six mortiers cellulaires. Dans chaque type, on a utilisé différents pourcentages d'Aluminium (0.8% à 1.6%) pour une étude approfondie et comparative des propriétés physico-mécanique et thermique.

Les compositions étudiées sont résumées dans les tableaux qui suivent :

**Tableau III. 15.** Première formulation du mortier cellulaire sans chaux (M<sub>1</sub>).

Désignation	Sable	Ciment	Eau	P.A (0.8%)
M <sub>1</sub>	1800g	1200g	360g	9.6g

**Tableau III.16.**Formulation du mortier cellulaire avec chaux et des différents pourcentages de la poudre d'aluminium.

Désignation	Sable	Ciment	Eau	chaux	P.A
M <sub>2</sub>	1800g	1200g	360g	200g	9.6g (0.8%)
M <sub>3</sub>	1800g	1200g	360g	200g	12g (1%)
M <sub>4</sub>	1800g	1200g	360g	200g	14.4 (1.2%)
M <sub>5</sub>	1800g	1200g	360g	200g	16.8 (1.4%)
M <sub>6</sub>	1800g	1200g	360g	200g	19.2 (1.6%)

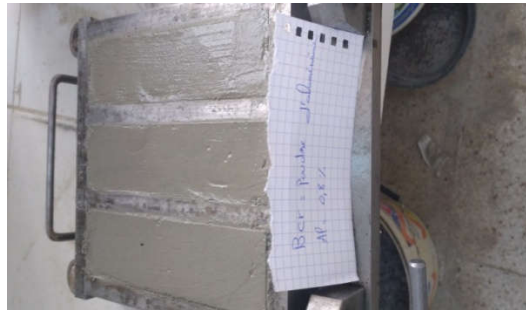
#### III.4.2.Mode opératoire

Le mélange, sable, ciment est malaxé à sec pendant deux minutes à vitesse lente à l'aide d'un malaxeur. L'eau de gâchage est graduellement versée dans le mélange, sans interrompre le malaxage. La durée de malaxage en phase humide est fixée à quatre minutes : deux minutes de malaxage à vitesse lente, puis un arrêt pour racler les parois et surtout le fond de la cuvette pour homogénéiser le mélange. On reprend ensuite le malaxage pendant deux minutes à

vitesse rapide. On arrête une deuxième fois le malaxage pour pouvoir ajouter la poudre d'aluminium, puis on redémarre le malaxage pendant une minute à vitesse lente suivie d'une minute à vitesse rapide.



**Figure III.37.** Malaxage des constituants de mortier cellulaire.



**Figure III.38.** Éprouvette prismatique (4x4x16) pour les essais physicomécaniques.



**Figure III.39.** Éprouvette (10x10x2) pour les essais thermique.

#### III.4.3. Mode de conservation

Après démoulage, les éprouvettes sont conservées dans une chambre spéciale pour la cure au laboratoire dans des conditions d'humidité et de température pendant 28 jours.

Avant d'effectuer les différents essais physicomécaniques.



**Figure III.40.** Mode de conservation des éprouvettes.

### III.5.Conclusion

Les matériaux utilisés dans le cadre de notre étude ont été caractérisés par des essais physico-chimiques et mécaniques, ces matériaux sont employés pour l'élaboration des mortiers cellulaires avec différents pourcentages du poudre d'aluminium (0.8 à 1.6), six formulations de mortier cellulaire ont été réalisées, des essais physico-mécaniques et thermiques ont été effectués respectivement sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) et (10x10x2) cm<sup>3</sup>.

# **Chapitre IV**

## **Présentation et analyse des résultats**

## IV. Présentation et analyse des résultats

### IV.1.Introduction

L'objectif de ce chapitre, est d'analyser et expliquer les résultats expérimentaux relatifs aux essais effectués sur le mortier cellulaire conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre précédent, une analyse et une discussion des résultats sera faite à la base des résultats obtenus.

### IV.2.Résultats et discussion

#### IV.2.1. Gonflement des éprouvettes après démoulage

Après démoulage des éprouvettes, nous avons remarqué un gonflement sur toutes les éprouvettes élaborées et aussi beaucoup de vides sur les surfaces et à l'intérieur des éprouvettes.



**Figure IV.41.** Avant et après le gonflement.



**Figure IV.42.** Les vides sur les surfaces de l'éprouvette.

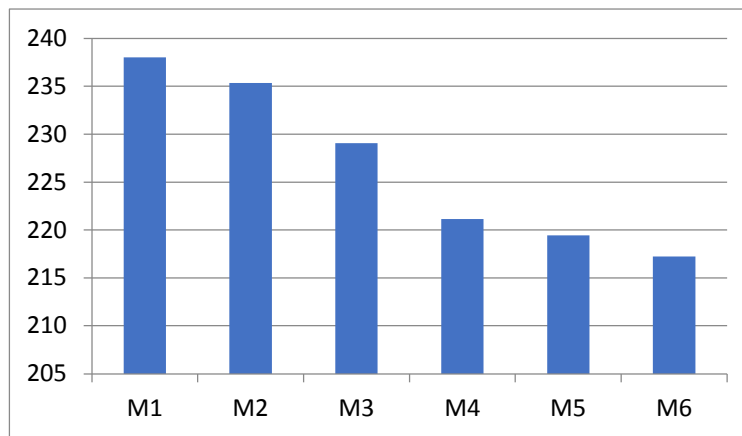
#### IV.2.2.La masse volumique

Le tableau IV.1 représente la masse volumique des éprouvettes (10x10x2) après 28 jours.

**Tableau IV.17.** La masse volumique des éprouvettes (10x10x2) après 28 jours.

Mortier	La masse volumique kg/m <sup>3</sup>
M <sub>1</sub>	238,025
M <sub>2</sub>	235,350
M <sub>3</sub>	229,050
M <sub>4</sub>	221,150
M <sub>5</sub>	219,425
M <sub>6</sub>	217,225

La figure IV.3 représente l'histogramme de la masse volumique des mortiers élaborés.

**Figure IV.43.** Histogramme de la masse volumique des mortiers élaborés.

#### IV.2.2.1. Interprétation

On remarque que la masse volumique du mortier cellulaire après 28 jours est inversement proportionnelle avec le pourcentage de la poudre d'aluminium ajouté ; elle varie entre 196,614 à 214,843 pour un dosage en poudre d'alumine de 1,6 à 0,8 respectivement, plus le pourcentage de poudre d'alumine augmente plus la masse volumique diminue. Cette diminution est due au dégagement du gaz d'hydrogène libéré lors de la réaction chimique entre la chaux et la poudre d'alumine en présence de l'eau.

#### IV.2.3. La conductivité thermique

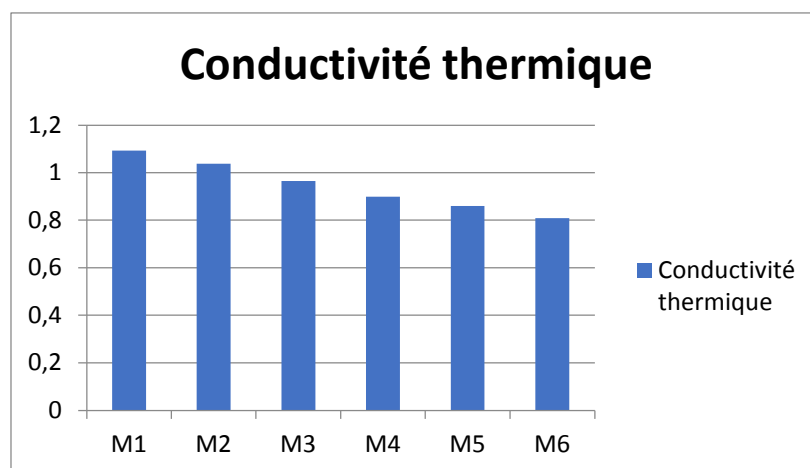
Le tableau IV.2 représente les résultats des essais thermiques.



**Tableau IV.18.** Résultats des essais thermiques.

Mortier	Conductivité thermique
M <sub>1</sub>	1,092
M <sub>2</sub>	1,038
M <sub>3</sub>	0,965
M <sub>4</sub>	0,899
M <sub>5</sub>	0,859
M <sub>6</sub>	0,808

La figure IV.4 représente l'histogramme de conductivité thermique des mortiers.



**Figure IV.44.** Histogramme de conductivité thermique des mortiers.

#### IV.2.3.1. Interprétation

D'après les résultats des essais thermiques, on remarque que la conductivité thermique «  $\lambda$  » diminue en fonction de l'augmentation du dosage en poudre d'aluminium, elle varie de 1,092 pour le mortier M1 à 0,808 pour le mortier M6. Cette diminution de la conductivité est liée à la porosité des mortiers cellulaires élaborés qui augmente avec l'augmentation de dosage en poudre d'alumine. On constate que le mortier M 6 a une conductivité thermique la plus faible par aux autres mortiers donc il est le plus isolant.

#### IV.2.4. Résistance mécanique à la flexion

La figure IV.5 représente l'essai de la résistance mécanique à la flexion trois points après 28 jours.



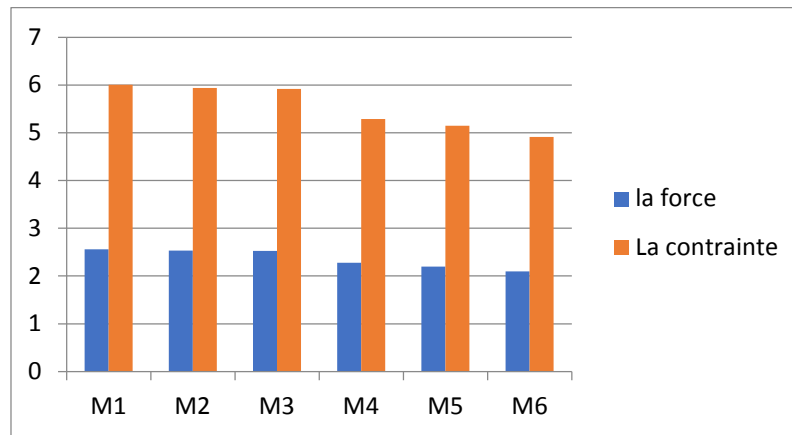
**Figure IV.45.** Essai de la résistance mécanique à la flexion trois points après 28 jours.

Le tableau IV.4 représente les résultats de l'essai trois points après 28 jours.

**Tableau IV.19.** Résultat de l'essai de flexion trois points après 28 jours.

<b>Mortier</b>	<b>la force</b>	<b>La contrainte</b>
<b>M<sub>1</sub></b>	2,561	6,002
<b>M<sub>2</sub></b>	2,532	5,935
<b>M<sub>3</sub></b>	2,525	5,917
<b>M<sub>4</sub></b>	2,279	5,287
<b>M<sub>5</sub></b>	2,196	5,148
<b>M<sub>6</sub></b>	2,096	4,914

La figure IV.6 représente Histogramme de la résistance mécanique à la flexion 3 points des mortiers élaborés.



**Figure IV. 46.** Histogramme de la résistance mécanique à la flexion 3 points des mortiers élaborés.

#### IV.2.4.1. Interprétation

D'après les résultats obtenus sur la résistance à la flexion, on remarque que la contrainte de flexion diminue avec l'augmentation de dosage en poudre d'alumine. Cette diminution peut être expliquée par l'augmentation de nombre de pores à l'intérieur et sur les surfaces des éprouvettes.

#### IV.2.5. Résistance a la compression

La figure IV.7 représente l'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j.

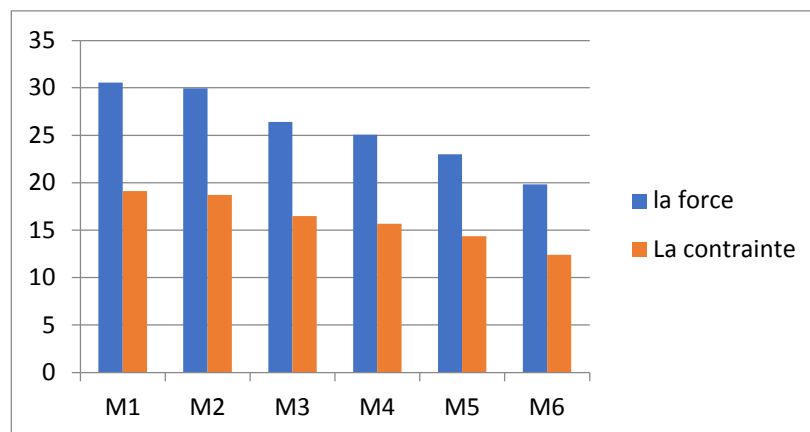


**Figure IV.47.** L'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j.

Le tableau IV.5 représente les résultats de l'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j.

**Tableau IV.20.** Les résultats de l'essai de la résistance mécanique à la compression après 28j.

Mortier	la force	La contrainte
M <sub>1</sub>	30,564	19,102
M <sub>2</sub>	29,938	18,711
M <sub>3</sub>	26,392	16,495
M <sub>4</sub>	25,067	15,667
M <sub>5</sub>	22,990	14,369
M <sub>6</sub>	19,819	12,387



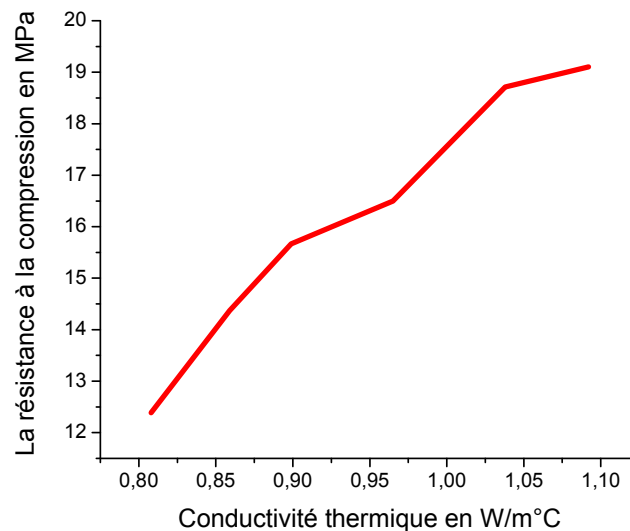
**Figure IV. 48.** Histogramme de la résistance mécanique à la flexion 3 points des mortiers élaborés.

### VI.2.5.1. Interprétation

D'après les résultats obtenus sur la résistance mécanique à la compression, on remarque que la contrainte de compression diminue avec l'augmentation de dosage en poudre d'alumine, Ce qui explique que le mortier élaboré contient beaucoup de vides, donc la porosité du ce mortier est plus élevée, de ce fait on constate que la porosité a une relation inverse avec la résistance mécanique, si la porosité augmente la résistance mécanique diminue.

#### IV.2.6. variation de la résistance a la compression en fonction de la conductivité thermique

La Figure IV.49. La représente Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la conductivité thermique.



**Figure IV.50.** Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la conductivité thermique.

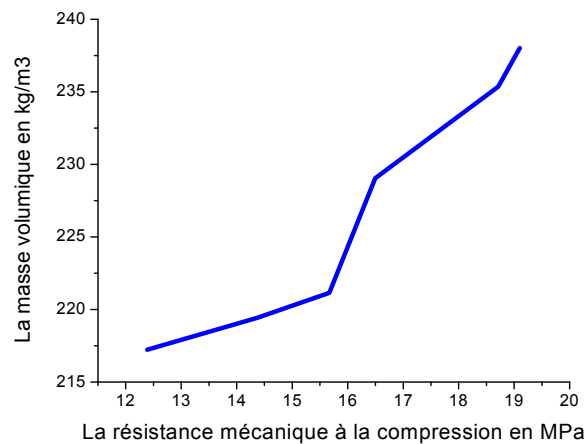
##### IV.2.6.1. Interprétation

D'après la courbe IV.9 on remarque que la résistance mécanique à la compression augmente avec l'augmentation de la conductivité thermique, cette augmentation peut être expliquée par l'augmentation de la compacité avec la diminution du dosage en poudre d'aluminium.

Élaborées.

#### IV.2.7. variation de la résistance a la compression en fonction de la masse volumique

La Figure IV.51. représente la Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la masse volumique.



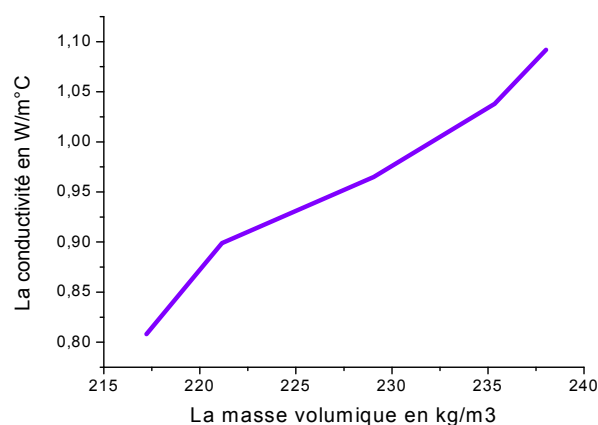
**Figure IV.52.** Variation de la résistance à la compression après 28 j en fonction de la masse volumique.

#### IV.2.7.1. Interprétation

D'après les résultats obtenus on observe une augmentation de la masse volumique en fonction de l'augmentation de la résistance mécanique à la compression, cette augmentation de la masse volumique est due à l'augmentation de la porosité.

#### IV.2.8. variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique

La Figure IV.53. représente la Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique.



**Figure IV.54.** Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique.

**IV.2.8.1. Interprétation**

D'après le résultat de cette courbe on remarque une augmentation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique. Cette diminution de la conductivité peut être expliquée par l'augmentation du dosage en poudre d'alumine.

**IV.3. Conclusion**

Ce chapitre a été consacré pour la présentation et l'interprétation des résultats des essais physico-mécaniques et thermiques des mortiers cellulaires élaborés, d'après ces résultats on constate que l'augmentation du dosage de la poudre d'aluminium a un effet sur la conductivité thermique, la masse volumique et aussi la résistance à la compression et à la flexion.

## **Conclusion Générale et perspectives**



### Conclusion générale et perspectives

Cette étude est basée sur l'élaboration d'un mortier cellulaire léger ainsi l'exploration et l'examen de ces propriétés thermiques, physiques et mécaniques.

Dans notre travail nous sommes concentrés sur la création des bulles d'air à l'intérieur de mortier, cette création est le résultat de la réaction chimique entre la poudre d'aluminium et la chaux.

Les résultats de notre étude expérimentale nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'augmentation de la poudre d'aluminium a une grande influence sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers réalisés.
- La conductivité thermique diminue avec l'augmentation du pourcentage de la poudre d'aluminium, plus le  $\lambda$  est petit plus le matériau devient plus au moins isolant (la de la conductivité se situe entre 1.092 a 0.808 w/m °C).
- La porosité augmente avec l'augmentation du dosage en poudre d'aluminium.
- La masse volumique diminue en fonction de l'augmentation de pourcentage de la poudre d'aluminium.
- La résistance à la flexion et à la compression diminue avec l'augmentation du la porosité de ce mortier.

### Perspectives

- Pour les futures recherches, nous recommandons d'augmenter le dosage de la poudre au delà de 1,6 %.
- De caractériser les mortiers cellulaires avec des essais de DRX et de microscope électrique à balayage (MEB).

## **Références bibliographiques**

- [1] **Christophe Baux, Christophe Lanos, Annabelle Phelipot-Mardel\_e, Enrique Gutierrez Ramirez** Béton cellulaire a base d'éco-liants. XXIXème Rencontres Universitaires de Génie Civil "Le Génie Civil au Service de la Méditerranée", May 2011, Tlemcen, Algérie. 10 p., 2011. <Hal-00726500>
- [2] **cour sur les mortiers** « elearning-facst.univ-annaba.dz » .
- [3] **YAHIAOUI Khalil & SADKI Mohamed** « Propriétés de mortier auto plaçant à base de différent types du sables» uni-Djelfa.
- [4] **https://www.futura-sciences.com** ».
- [5] **NOUR Linda** « Etude de comportement d'un mortier adjuvanté à base de sable préparé » uni-Msila.
- [6] **Saidi Khadidja** « Etude d'un mortier au laitier granulé renforcé par des fibres de jute » uni-Msila.
- [7] **BOUALI, KHALED**, thèse de doctorat «élaboration et caractérisation thermomecanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de brique refractaires ». (2015).
- [8] **Tout sur le béton** « [www.beton direct .fr](http://www.beton-direct.fr) ».
- [9] **Bouderouaz Abd Elhafid et Daghache Abderrahman** : « Etude des caractéristiques d'un béton cellulaire à base d'un sable préparé » uni – bba 2016.
- [10] **Cours Bétons innovants2** : uni-Médéa
- [11] **Bederina .M**: Caractérisation mécanique et physique des bétons de sables à base de déchets de bois. Thèse de doctorat, l'ENP d'Alger (2007).
- [12] **RILEM**: Commission des bétons légers. Terminologie et définition. Matériaux et Construction N°13 (1970), pp60-69
- [13]. **SOUICI Ikram** : « Etude et modélisation de l'effet de la poudre d'aluminium sur les propriétés des mortiers légers à base des granulats des déchets plastiques » Université Mohamed khider –Biskra 2020.
- [14] **JACOBS & MAYER**: Porosity and permeability of autoclaved aerated concrete October 14-16 1992.
- [15] **CHENCHOUNA Hadjer** « Caractérisation et modélisation d'un mortier léger à base des granulats des déchets plastiques » Université Mohamed khider –Biskra 2020.
- [16] **Tout faire matériaux NAMUR** « [info@ matériaux-namur.com](mailto:info@matériaux-namur.com) ».
- [17] **Jos Cox , Jacques Sizaire , Pascal Meulders , Elly Van Overmeire, Albert Ingelaere** : FeBeCel. Bruxelles.
- [18] **N.Narayanan, K.Ramamurthy**: Microstructural investigations on aerated concrete.

Cement and concrete research 30 (2000) 457-464.

[19] **C.Lian, Y. Zhuge, S.Beecham**: The relationship between porosity and strength for porous concrete. Construction and building materials 25 (2011) 4294-4298.

[20] **A.Laukaitis et al**: Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products. Construction and building materials 23 (2009) 3034-3042.

[21] **C.Boutin** : Conductivité thermique du béton cellulaire autoclavé :modélisation par Méthode auto cohérente. Matériaux et constructions 29 (1996) pp609-615

[22] **NARAYANAN.N and RAMAMURTHY.K**: Structure and proprieties of aerated Concrete; a review: cement and concrete research (2000).

[23] **Jos Cox, Albert Ingelaere, Jacques Sizaire, Pascal Meulders, Elly Van Overmeire** : Le béton cellulaire. Structure and proprieties of aerated concrete; a review: cement and Concrete research (2000).

[24] **Xiao-yan Huang et al**: Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast furnace slag. Construction and building materials 27 (2012) 1-5.

[25] **E.K Kunhanandan Namibar, K. Ramamurthy**: Influence of filler type on the properties of foam concrete. Cement and concrete composites 28 (2006) 475-480.

[26] **Christian Guegan, Philippe Legras, Jean Francois Mazzoleni, Christian Colin, Thomas Breiner et Nicolas Foussier** : «Mémento du béton cellulaire» (2005).

[27] **S.Tada, S.Nakano** : **Microstructural approach to properties of moist cellular concrete.** Wittmann FH Amsterdam: Elsevier (1983) pp71-89

[28] **K.Ramamurthy, N.Narayanan** : Influence of composition and curing on drying Shrinkage of aerated concrete. Matériaux et constructions 33 (2000) pp243-250

[29] **S.Tada** : Pore structure and moisture characteristics of porous inorganic building Materials. Whitman FH Amsterdam (1992) pp53-63

[30] **Goual M. S** : Contribution a l'élaboration d'un procédé de valorisation de coproduits Argileux. Cas du béton argileux cellulaire obtenu par réaction avec l'aluminium pulvérulent : Caractérisation et comportement thermo hydrique; Thèse Doctorat d'état. L'ENP d'Alger (2001). Références Bibliographiques 97

[31] **SATTI ISSAM** : Etude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire a base de Sable de dune de la région de GHARDAIA, mémoire de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH -OUARGLA, 2014.

[32] NA EN 12390-3 : Essai pour béton durci partie 3, résistance à la compression des éprouvettes, février 2003.