

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT GENIE CIVIL

N° : .....



FILIERE : GENIE CIVIL  
OPTION : MATERIAUX

Présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par :

- ZAITER Samra
- HADJAB Nadji

LE THEME

*Etude Des Propriétés Physico-Mécaniques D'un  
Mortier Préparé A Base De Plâtre*

Devant le jury composé de :

LAHMADI Azzeddine	Université de M'sila	Président
AMRIOU Abderrachid	Université de M'sila	Examineur
MEDDAH Abdelaziz	Université de M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2021-2022

# Remerciements

*Je tiens à remercier en premier lieu mon Dieu qui nous a donné le courage  
de faire ce travail.*

*Au terme de ce modeste travail, je remercie mon*

*Encadreur Dr. MEDDAH Abdelaziz*

*pour son aide appréciable, sa disponibilité et ses conseils précieux*

*Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont contribué de  
près ou de loin à la préparation de ce travail.*

*Je remercie ma famille et tous mes amis.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A ma famille : ma mère et mon père, frères et mes sœurs*

*A mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*ZAITRE SAMRA*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A ma mère très chère.*

*À ma femme qui m'a toujours soutenu et aidé.*

*À ma fille LOUDJAINÉ et ALLA OUDJANE mon fils LAHCEN.*

*À mes frères et sœurs.*

*À ma grande famille.*

*À tous mes amis.*

*HADJAB NADJI*

## الملخص

في هذا المشروع تمت دراسة إمكانية إنتاج المواد العازلة المصنوعة من الملاط الجبسي الذي يحتوي على البيرليت تجريبيا للمباني والهياكل. المنهجية المتبعة في هذا العمل تعتمد على دمج جزيئات البيرليت الخفيفة. بنسب مختلفة في الخليط 10، 20، 30، 40، 50 و60% بالنسبة للحجم الإجمالي للمكونات. ويتمثل النهج التجريبي المتبع من دراسة تأثير هذه الإضافات على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية للمادة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن إدراج البيرليت في الملاط الجبسي أدى إلى خفض الناقلية الحرارية والنفاذية، مما يشجع إلى استخدامه كعازل في المباني.  
الكلمات الرئيسية: ملاط الجص، البيرليت، الخصائص الحرارية، الحبيبات الخفيفة، المقاومة.

## **Abstract**

In this research, the potentiality of the production of material for insulation in buildings on the basis of gypsum was experimentally studied. The material produced is composed of plaster, sand, and perlite as light aggregates. The methodology followed consists of incorporating perlite in different percentages: 10, 20, 30, 40, 50, and 60% by the total volume of the constituents. The experimental approach followed consists of studying the effect of such addition on the physico-mechanical and thermal properties of the manufactured material. The results obtained show that the inclusion of perlite in the gypsum-based mortar reduced the thermal conductivity and the permeability of the final product, which favors its use as an insulating material in buildings.

**Keywords:** plaster mortar, perlite, thermal conductivity, Lightweight aggregates, strength.

## **Résumé**

Dans cette recherche, la potentialité de produire d'un matériau destiné à l'isolation dans les bâtiments à base de plâtre destiné, a été expérimentalement étudié. Le matériau produit est composé de plâtre, sable et perlite comme granulats légers. La méthodologie suivie consiste à incorporer de la perlite différents pourcentages : 10, 20, 30, 40, 50, et 60% par rapport au volume total des constituants. La démarche expérimentale entreprise consiste à étudier l'effet de cet ajout sur les propriétés physico-mécaniques et thermiques du matériau élaboré. Les résultats obtenus montrent que l'inclusion de la perlite dans le mortier de plâtre a permis de réduire la conductivité thermique et la perméabilité du produit final, ce qui favorise son emploi comme matériau isolant dans les bâtiments.

**Mots clés :** mortier de plâtre, perlite, conductivité thermique, granulats légers, résistance.

## NOMENCLATURE

<b>MPP</b>	: Mortier Plâtre Perlite
<b>E/P</b>	: Eau / Plâtre
<b>S/P</b>	: Sable / Plâtre
<b>R<sub>c</sub></b>	: Résistance à la compression (MPa)
<b>R<sub>f</sub></b>	: Résistance à la flexion (MPa)
<b>F<sub>f</sub></b>	: Charge à la rupture (N)
<b>b</b>	: Largeur de la section carrée du prisme (mm)
<b>L</b>	: Distance (mm)
<b>ρ</b>	: Masse volumique de l'apparente (kg/m <sup>3</sup> ).
<b>γ<sub>s</sub></b>	: Masse volumique absolu (kg/m <sup>3</sup> ).
<b>MF</b>	: Module de finesse
<b>ES</b>	: Equivalent de sable
<b>C<sub>p</sub></b>	: Compacité
<b>V</b>	: Volume (cm <sup>3</sup> )
<b>M</b>	: Masse (g)
<b>λ</b>	: Conductivité thermique (W/mK).
<b>cp</b>	: Chaleur spécifique massique (J/kg.K).
<b>T</b>	: Température (C°)

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Nomenclature

Sommaire

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Introduction Générale ..... 1

## Chapitre I : Concept des bétons légers

I.1 Introduction ..... 3

I.2 Bétons légers ..... 3

I.3 Classification du béton léger ..... 4

I.3.1 Bétons légers de structure ..... 4

I.3.2 Bétons de résistance modérée ..... 4

I.3.3 Bétons légers de faible densité ..... 4

I.4 Différents types de granulats légers ..... 6

I.4.1 Pierre ponce ..... 6

I.4.2 Vermiculite ..... 6

I.4.3 Schiste expansé ..... 7

I.4.4 Billes de polystyrène ..... 8

I.4.5 Déchets de caoutchouc ..... 9

I.4.6 Perlite ..... 9

I.5 Propriétés physiques et mécaniques des bétons légers ..... 10

I.5.1 Légèreté ..... 10

I.5.2 Porosité ..... 10

I.6 Comportement et performances mécaniques ..... 11

I.6.1 Sensibilité à l'eau.....	11
I.6.2 Absorption.....	12
I.6.3 Propriétés thermiques .....	12
<b>I.7 Autres propriétés du béton léger .....</b>	<b>14</b>
<b>I.8 Avantages et inconvénients des bétons légers.....</b>	<b>15</b>
I.8.1 Avantages .....	15
I.8.2 Inconvénients.....	16
<b>I.9 Conclusion .....</b>	<b>16</b>

## **Chapitre II : Généralités sur le plâtre et le mortier de plâtre**

<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2 Généralités sur le plâtre .....</b>	<b>17</b>
II.2.1 Origine.....	17
II.2.2 Etapes de fabrication .....	17
II.2.3 Différents types des plâtres .....	19
II.2.4 Propriétés physiques et mécaniques .....	20
<b>II.3 Mortier de plâtre .....</b>	<b>23</b>
II.3.1 Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier .....	23
II.3.2 Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier .....	24
II.3.3 Méthode de composition du mortier de plâtre .....	24
<b>II.4 Béton de plâtre : .....</b>	<b>25</b>
II.4.1 Méthode de composition du béton de plâtre .....	26
II.4.2 Choix des granulats .....	27
II.4.3 Mode opératoire .....	28
II.4.4 Eléments préfabriqués .....	28
II.4.5 Influence du rapport S/P sur les propriétés mécaniques du béton de plâtre.....	29
II.4.6 Influence du rapport S/P sur les propriétés thermo-physiques du béton de plâtre..	29
a. Influence des granulats de liège sur les propriétés mécaniques du béton de plâtre .....	29

<b>II.5</b>	<b>Domaine d'utilisation des éléments à base de plâtre.....</b>	<b>31</b>
<b>II.6</b>	<b>Matériaux isolants à base de mortiers de plâtre.....</b>	<b>32</b>
<b>II.7</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>32</b>
<b>Chapitre III : Caractérisations des matériaux et techniques expérimentales</b>		
<b>III.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2</b>	<b>Plâtre .....</b>	<b>33</b>
III.2.1	Caractéristiques techniques .....	34
III.2.2	Masse volumique apparente NFP 18-555.....	34
<b>III.3</b>	<b>Sable .....</b>	<b>35</b>
III.3.1	Analyse granulométrique.....	35
III.3.2	Caractéristiques physiques du sable utilisé .....	36
<b>III.4</b>	<b>Granulats des perlites .....</b>	<b>36</b>
<b>III.5</b>	<b>Caractérisation de l'eau de gâchage .....</b>	<b>37</b>
III.5.1	Méthodes expérimentales .....	37
III.5.1.1	Mise en œuvre .....	37
<b>III.6</b>	<b>Caractéristiques mécaniques des MPP .....</b>	<b>40</b>
<b>III.7</b>	<b>Caractéristiques thermiques.....</b>	<b>42</b>
III.7.1	Méthodes de mesure des paramètres thermiques .....	42
III.7.2	Avantages de la méthode TPS.....	43
III.7.3	Conception de l'élément TPS .....	44
<b>III.8</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>45</b>
<b>Chapitre IV : Comportement thermomécanique des mortiers de plâtre Légers à base des perlites</b>		
<b>IV.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.2</b>	<b>Formulation des mortiers de plâtre légers .....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3</b>	<b>Caractérisation du mortier durci.....</b>	<b>47</b>
IV.3.1	Caractéristiques physiques des mortiers de plâtre .....	47
IV.3.2	Caractéristiques mécaniques .....	49

IV.3.3 Variation des caractéristiques physiques en fonction de résistance à la compression	52
.....	
<b>IV.4 Résultats des caractéristiques thermiques.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.5 Conclusion .....</b>	<b>55</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>56</b>
<b>Références Bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

## Liste des Figures

<b>Figure I.1</b> : Représentation schématique des différents types de béton léger.....	4
<b>Figure I.2</b> : Classification des bétons légers d'après Lafarge bétons granulats .....	5
<b>Figure I.3</b> : Pierre ponce .....	6
<b>Figure I.4</b> : Vermiculite.....	7
<b>Figure I.5</b> : Schiste expansé .....	8
<b>Figure I.6</b> . : Billes de polystyrène .....	8
<b>Figure I.7</b> : Déchets de caoutchouc.....	9
<b>Figure I.8</b> : Perlite .....	10
<b>Figure I.9</b> : Trois types de porosité présente dans les matériaux .....	12
<b>Figure I.10</b> : Conductivité thermique $\lambda$ en fonction de la Masse volumique sèche du béton cellulaire .....	13
<b>Figure II.1</b> : Etapes de fabrication du plâtre. ....	18
<b>Figure II.2</b> : Famille des liants et produits à base de plâtre .....	19
<b>Figure II.3</b> : Influence du rapport E/P de plâtre sur la densité sèche du plâtre.....	20
<b>Figure II.4</b> : Influence du rapport E/P de plâtre sur la résistance mécanique du plâtre .....	21
<b>Figure II.5</b> : Solubilité des différentes phases du sulfate de calcium en fonction de la température .....	22
<b>Figure II.6</b> : Fontis ayant atteint la surface .....	22
<b>Figure II.7</b> : Organigramme de Propriétés physiques et mécaniques du plâtre. ....	22
<b>Figure II.8</b> : Fuseau granulométrique des sables. Analyse granulométrique.....	23
<b>Figure II.9</b> : Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier.....	24
<b>Figure II.10</b> : Variation de la maniabilité en fonction du rapport S/G pour le béton .....	29
<b>Figure II.11</b> Variation de la résistance à la compression des BPL (8/15) En fonction du rapport Liège/Plâtre. ....	30
<b>Figure II.12</b> : Variation de la résistance à la compression des BPL (3/8) en fonction du rapport Liège/Plâtre .....	30
<b>Figure II.13</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction du rapport Liège/Plâtre. ...	31

<b>Figure III.1</b> : Plâtre utilisé .....	33
<b>Figure III.2</b> courbes granulométriques de sable .....	36
<b>Figure III.3</b> : la perlite utilisée. ....	37
<b>Figure III.4</b> : Malaxeur normalisé pour pâte utilisé. ....	38
<b>Figure III.5</b> : Dimensions d'un malaxeur. ....	38
<b>Figure III.6</b> : Moules utilisés .....	40
<b>Figure III. 7</b> : Dispositif de l'essai de Traction par Flexion. ....	41
<b>Figure III. 8</b> : Détail de l'essai de compression. ....	42
<b>Figure III.9</b> : Schéma de la sonde TPS. ....	43
<b>Figure III.10</b> : Vue d'une sonde Hot disc. ....	44
<b>Figure IV.1</b> : Variation de la masse volumique de MPP. ....	47
<b>Figure IV.2</b> : Variation de la masse volumique de MPP à 28 jours. ....	48
<b>Figure IV.3</b> : Variation de la résistance à la flexion des MPP, en MPa en fonction de leurs âges. .....	49
<b>Figure IV.4:</b> Variation de la résistance à la flexion de MPP en MPa en fonction de pourcentage des granulats. ....	50
<b>Figure IV.5:</b> Variation de la résistance à la compression de MPP en MPa en fonction de leurs âges. ....	51
<b>Figure IV .6</b> : Variation de la résistance à la compression des mortiers de plâtre à 28jours en MPa en fonction de pourcentage des granulats. ....	51
<b>Figure IV.7</b> : Variation de la résistance à la compression de MPP En fonction de la masse volumique. ....	52
<b>Figure IV.8.</b> Variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage de granulats de perlite. ....	53
<b>Figure IV.9</b> : Variation de conductivité thermique $\lambda$ en fonction de densité $\rho$ .....	54

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87 .....	5
<b>Tableau I.2</b> : Classification des bétons légers selon Kass J.L. et Compbell D (1972) .....	5
<b>Tableau I.3</b> : Différentes classes de la porosité.....	11
<b>Tableau I.4</b> : Caractéristiques thermiques de quelques matériaux .....	14
<b>Tableau II .1</b> : Valeurs des contraintes des essais mécaniques sur éprouvettes en mortier de plâtre 4 x 4x 16 cm <sup>3</sup> .....	25
<b>Tableau II.2</b> : Les éléments préfabriqués en plâtre et leurs utilisations.....	28
<b>Tableau III.1</b> : Fiche technique de plâtre TAOUB MOOL.....	34
<b>Tableau III.2</b> : Masse volumique apparente du plâtre.....	34
<b>Tableau III.3</b> : Composition granulométrique du sable préparé.....	35
<b>Tableau III.4</b> : Caractéristiques physiques du sable d'Oued souf.....	36
<b>Tableau III.5</b> Caractéristiques technique de la perlite .....	37
<b>Tableau III.6</b> : vitesses de fonctionnement du malaxeur.....	38
<b>Tableau IV .1</b> : Compositions pondérales de MPP.....	47
<b>Tableau IV.2</b> : Variation de la masse volumique de MPP.....	48
<b>Tableau IV.3</b> : Variation de la résistance à la flexion des MPP en fonction de l'âge. ....	49
<b>Tableau IV .4</b> : Variation de la résistance à la compression des MPP en fonction de l'âge...	50
<b>Tableau IV.5</b> : Résultat de l'essai thermique du MPP.....	53

# INTRODUCTION

## GÉNÉRALE

## **Introduction Générale**

La réduction de la consommation d'énergie est une mission mondiale dans laquelle les bâtiments jouent un rôle fondamental, car ils sont responsables de 34 % de la consommation d'énergie et de 40 % des émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant une grande partie du problème vient des bâtiments anciens, qui consomment cinq à huit fois plus que ceux des nouvelles constructions. Les premiers, constituent un problème important, car 35% des bâtiments ont plus de 50 ans, auxquels s'ajoutent également ceux construits avant l'entrée en vigueur de la norme D.T.R C3-2 (1986).

Par conséquent, le manque d'isolation thermique dans l'enveloppe, qui est responsable de la conservation de l'énergie produite à l'intérieur, a exigé aux utilisateurs de faire une rénovation énergétique, afin de réduire, en particulier, la demande de chauffage et de refroidissement des bâtiments. L'une des alternatives les plus notables est l'amélioration du comportement thermique de l'enveloppe. En fait, les réglementations nationales sont de plus en plus exigeantes à cet égard, ce qui se traduit, en général, par une augmentation de la quantité du matériau, thermiquement isolant, qui est ajouté à l'enveloppe du bâtiment.

Le plâtre est très connu dans le domaine de la construction de bâtiments, mais malgré l'existence d'énormes gisements de gypse comme matière première pour la production du plâtre dans de nombreuses régions du monde, malheureusement son utilisation reste limitée. En effet, ce matériau est encore utilisé sous sa forme traditionnelle de poudre mélangée à l'eau pour réaliser des revêtements. Son développement ne s'est pas étendu au-delà des éléments préfabriqués tels que les plaques, tuiles, dalles, etc.

Dans ce contexte, il convient de noter qu'il est vraiment intéressant, pour le secteur, de développer la recherche de nouveaux matériaux plus performants et à haute isolation thermique, particulièrement axés sur la réhabilitation énergétique des bâtiments. Ces matériaux doivent être respectueux de l'environnement, ainsi que compatibles avec les systèmes de construction des bâtiments à réhabiliter.

D'après des études géologiques, l'Algérie dispose d'abondantes ressources en gypse naturel dont la teneur dépasse les 75% requis pour la construction, le sud du pays notamment en possède d'importants gisements. Longtemps, le plâtre utilisé comme enduit ou en éléments préfabriqués pour réaliser des cloisons légères, et de faible prix de revient. Toutefois, trop faibles propriétés mécaniques n'en font pas un matériau de structure à proprement dit.

Cette caractéristique est peut être responsable du fait que peu de recherche ne soit consacrée à ce matériau. Il est donc nécessaire de développer des nouvelles techniques de caractérisation, permettant de modifier sa propriété et de suivre son comportement à court et à long terme, pour une meilleure exploitation de ses propriétés d'usage.

L'objectif de ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des matériaux locaux (plâtre, sable de dunes et granulats de perlite) dans la construction. L'étude proprement dite propose deux objectifs essentiels (i) étude de formulation d'un mortier à base de plâtre allégé par la perlite, (ii) amélioration de certaines propriétés de ce mortier sur celle en relation avec l'aspect isolation du matériau qui pourrait être utilisé dans les cloisons de bâtiments. La perlite est caractérisée par sa faible conductivité thermique, qui a suscité un grand intérêt dans le monde entier pour le développement de nouveaux matériaux et systèmes de construction avec une isolation thermique plus élevée que celles des autres matériaux traditionnels utilisés dans la construction.

Le mémoire est divisé en quatre chapitres :

- Introduction générale.
- Chapitre I : Concept des bétons légers.
- Chapitre II : Généralités sur le plâtre et le mortier de plâtre.
- Chapitre III : Caractérisations des matériaux et techniques expérimentales.
- Chapitre IV : Comportement thermomécanique des mortiers de plâtre allégé par la perlite.
- Conclusion générale.

# PREMIÈRE CHAPITRE

Concept des bétons légers

## I.1 Introduction

Le béton est un matériau artificiel, composé d'agrégats (le plus souvent du sable et les gravillons), de l'eau et du ciment. Le terme béton léger fait généralement référence aux différents types de béton caractérisés par un faible poids spécifique. On obtient une densité réduite en ajoutant au mélange des ingrédients spécifiques, ou à l'aide de techniques spéciales de production qui permettent d'obtenir une diminution de masse volumique.

Ce chapitre constitue une revue générale sur le concept du béton léger, une description détaillée sur ce matériau, ses composantes et son rôle dans les bâtiments a été rapportée.

## I.2 Bétons légers

Le béton léger est obtenu en majorité par remplacement des matériaux classiques tels que les granulats par d'autres matériaux de faible densité tels que les billes de polystyrène et le caoutchouc, le bois et l'argile, à titre d'exemple. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux développés par des ingénieurs. Ses caractéristiques spécifiques suggèrent de nouvelles applications architecturales. Ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet, la masse volumique d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 kg/m<sup>3</sup>, tandis que celle du béton léger varie entre 300 et 1850kg/m<sup>3</sup>. La technologie de ces nouveaux bétons peut être profitable pour la construction, notamment dans les pays en voie de développement [1]. Son faible poids, sa résistance et ses autres propriétés le rendent pertinent à utiliser dans des conditions de mise en chantier plus spécifique. De plus, l'utilisation d'un béton de masse volumique faible peut permettre de construire sur un sol de faible capacité portante [2].

Le « A.C.I » (American Concrete Institute) [3], limite la masse volumique apparente des bétons légers à 1800 Kg/m<sup>3</sup> après séchage à l'air pendant 28 jours. La norme DIN 1024, 1972 en Allemagne limite la masse volumique apparente d'un béton léger à 2000 kg /m<sup>3</sup>.

En faisant varier la densité des granulats, on peut arriver à fabriquer différents types de béton qui sont appelés bétons spéciaux qui traite les différents types de béton susceptible d'être utilisés lorsque l'on désire obtenir certaines propriétés particulières [4].

On note trois dénominations pour ces bétons, soient (**Figure.I.1**) :

1. **Béton cellulaire**, lorsque l'air est incorporé dans la pâte d'un liant.
2. **Béton caverneux**, ou béton sans fines lorsqu'il vient remplacer les granulats fins entre les gros granulats.

3. **Béton à granulats légers**, lorsque les granulats sont allégés dont l'air se trouve dans les granulats eux-mêmes [5].



**Figure I.1** : Représentation schématique des différents types de béton léger [6].

### I.3 Classification du béton léger

#### I.3.1 Bétons légers de structure

Leur masse volumique est comprise entre 1400 et 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ils sont utilisés pour la fabrication d'éléments porteurs, sont généralement fabriqués avec des granulats légers manufacturés (argile, schistes et laitiers expansés ou cendres volantes frittées). La résistance à la compression minimale recommandée par l'ACI est alors de 17 MPa à 28 jours [7].

#### I.3.2 Bétons de résistance modérée

Ils peuvent être fabriqués avec des granulats concassés naturels, comme la pierre ponce, les tufs et autres roches d'origine volcanique, ou avec un mortier aéré.

#### I.3.3 Bétons légers de faible densité

Ils sont fabriqués avec des granulats ultra légers et très poreux (vermiculite exfoliée, perlite expansée, liège expansé) ou avec une matrice cellulaire. Dans ce dernier cas, l'incorporation de bulles d'air peut être faite par génération de gaz dans le matériau à l'état plastique ou par entrainement d'air au cours du malaxage. Ces bétons sont de très bons isolants thermiques, mais ils doivent bien souvent être traités à l'autoclave pour atteindre une résistance suffisante. D'autres granulats non absorbants et plus résistants sont aussi disponibles (verre et polystyrène expansés) [7].

Le guide ACI 213R-87 [7], distingue alors trois catégories de béton léger, classées selon la masse volumique du matériau durci (**Tableau I.1**).

**Tableau I.1 :** Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87 [7].

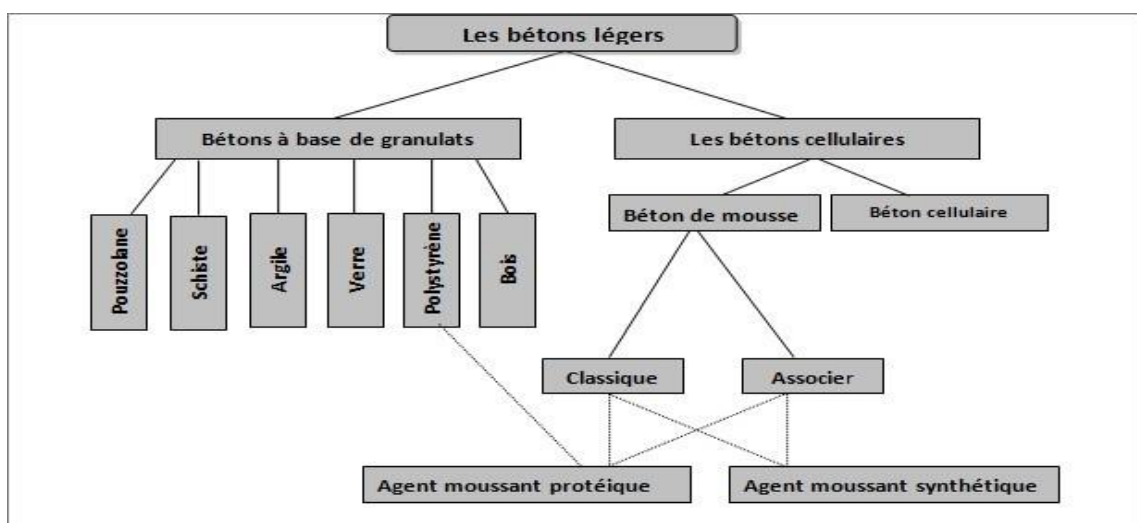
Classification	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
Béton léger de structure	1350-1900	> 17
Béton léger de résistance modérée	800-1350	7-17
Béton de faible résistance	300-800	< 7

Une classification fonctionnelle est recommandée par la RILEM [8], basée sur les travaux de Kass J.L. et Compbell D(1972) [8], qui ont dressé une classification selon l'utilisation des bétons légers d'après leurs propriétés physiques, mécaniques et thermiques (Tableau I.2).

**Tableau I.2 :** Classification des bétons légers selon Kass J.L. et Compbell D (1972) [8].

Classe	I	II	III
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 (MPa)	> 15	> 3.5	> 0.5
Conductivité thermique (W/m/K)	-	< 0.75	< 0.30

La (Figure I.2) présente une classification proposée par Lafarge Béton Granulats :



**Figure I.2 :** Classification des bétons légers d'après Lafarge bétons granulats [9].

## I.4 Différents types de granulats légers

Les granulats légers se différencient des autres granulats par leur faible masse volumique, celles-ci sont inférieure à  $1200 \text{ kg/m}^3$  selon Rilem [8], tandis que celle de la pierre naturelle est de  $2700 \text{ kg/m}^3$ . L'écart de la masse volumique s'explique par la porosité élevée du granulat, ce qui se traduit par une faible densité apparente [3], c'est-à-dire une importante proportion volumique de vides d'air contenus dans le granulat. Nous pouvons distinguer les granulats légers selon leur origine naturelle ou artificielle :

### I.4.1 Pierre ponce

La ponce est un matériau naturel d'origine volcanique qui se présente sous forme d'accumulation de fragments de toutes dimensions de roche volcanique acide. Elle est obtenue par refroidissement rapide de roche en fusion. Ses éléments sont arrondis (grains avec diamètre maximale de 10 à 20 mm). La ponce est constituée de silice, d'alumine et d'alcalin. Elle est de couleur grisâtre, d'une grande porosité et d'une faible densité (peut flotter sur l'eau) [10].

La ponce est utilisée dans les bétons de structure et d'isolation. Cependant son faible masse volumique conduit à une faible résistance à la compression du béton.



Figure I.3 : Pierre ponce

### I.4.2 Vermiculite

Les vermiculites sont des granulats très légers ( $50$  à  $125 \text{ kg/m}^3$ ) [11]. Obtenus par cuisson à l'air chaud pendant 2 min [10], à une température  $900$  et  $1100^\circ\text{C}$  [11], environ de certains minéraux (après être concassés puis séchés) puis refroidissement brusque de paillettes de mica. Ce qui donne ainsi l'exfoliation (les molécules d'eau séparant les lamelles se

transforment en vapeur d'eau et provoquent l'expansion. Ainsi ils peuvent augmenter leur volume de 30 fois [10].

Issus des micas par hydratation et pertes d'alcalis ; les vermiculites appartiennent à la famille des aluminosilicates de fer et de magnésium. Ils sont de couleur jaunâtre et ont une faible densité qui est de l'ordre de 2,5 [11].

Les bétons contenant les granulats de vermiculite ont une faible résistance à la compression allant de 0,5 à 1,5 MPa avec des masses volumiques de 350 à 600 kg/m<sup>3</sup> [10].



Figure I.4 : Vermiculite

### I.4.3 Schiste expansé

La composition chimique des schistes est à peu près la même que celle des argiles mis à part que les premiers sont riches en carbone et que leurs températures d'expansion sont plus élevées.

Les schistes expansés sont issus de l'expansion de différents type de schiste, soit des schistes carbonifères et houillers, des schistes bitumineux, des schistes classiques ou même des ardoises.

La fabrication des granulats légers à partir de schistes se fait comme suit [10] :

- D'abord, on procède au broyage des matières premières pour réduire la taille des particules des schistes à un diamètre maximal de 800 µm.
- Ensuite, on mélange cette poudre à 10 % d'eau pour obtenir une pâte que l'on va extruder aux environs de 80°C sous forme de coudes.
- Les nodules extrudés de 5 à 15 mm sont ensuite séchés et expansés au four à une température de 1300 à 1450 °C.

Plus l'expansion est importante, plus la température est élevée. Par exemple, la masse volumique en vrac est d'environ  $1000 \text{ kg/m}^3$  à  $1300^\circ\text{C}$  comparativement à  $380 \text{ kg/m}^3$  pour une température de  $1450^\circ\text{C}$  [10].

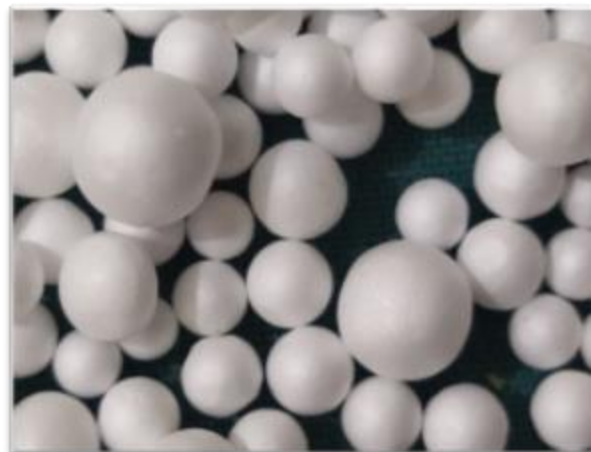


**Figure I.5 :** Schiste expansé

#### **I.4.4 Billes de polystyrène**

Le polystyrène est plus utilisé pour l'isolation thermique de bâtiment et l'emballage des produits industriels ou alimentaires. Les billes de polystyrènes sont issues de matière première renfermant un pyrogène. Ce dernier sous l'action de la chaleur passe à l'état gazeux et provoque ainsi une expansion. Ce matériau alvéolaire rigide est d'une masse volumique très faible ( $10$  à  $40 \text{ kg/m}^3$ ) [10], et donc ses bétons (béton léger et isolant thermique) ont des masses volumiques aussi faibles ( $300$  à  $800 \text{ kg/m}^3$ ) [12].

Les performances mécaniques des bétons restent aussi à désirer (résistance à la compression de l'ordre de  $2,0$  à  $4,0 \text{ MPa}$  en fonction du pourcentage de sable utilisé) [10].



**Figure I.6. :** Billes de polystyrène

#### I.4.5 Déchets de caoutchouc

Il s'agit de particules de caoutchouc dont les dimensions sont inférieures à 2mm. Son coût d'obtention dépend de sa finesse, de son origine chimique et de l'absence ou non de corps étrangers. Les poudrettes sont utilisées comme charges dans des mélanges servant à produire des pièces, ne subissant pas de contraintes mécaniques ou dynamiques élevées. Comme exemple d'utilisation, on a la fabrication de bandages et de roues pleines (caddie, poubelles, tondeuses, brouettes...), la modification des revêtements routiers (diminution du bruit et de l'aquaplaning du fait d'un drainage en surface) ...etc. [13].



**Figure I.7 :** Déchets de caoutchouc [13].

#### I.4.6 Perlite

C'est un granulats ultra léger d'origine volcanique avec une masse volumique comprise entre 30 et 180 kg/m<sup>3</sup> [11].

La perlite est obtenue par chauffage rapide à 100°C puis refroidissement brusque d'une roche volcanique riche en silice. On obtient des micro-billes blanchâtres de 0,5 à 4 mm de diamètre. La perlite peut être expansée (peut augmenter son volume de 20 fois) puis concassée et donne ainsi des perlites siliconées. L'opération se fait par chauffage de verre volcanique acide à des températures allant de 900 à 1100°C Une fois expansée et concassée, on obtient un granulats dont la masse volumique est aussi faible que 120 à 190 kg/m<sup>3</sup> [10].

La perlite est riche en silice (70%), mais, elle est aussi constituée d'alumine (15%) [10].

Sa densité est de l'ordre de 2.23 à 2.41 et elle est de couleur sombre (gris à noir) [11].

Les mélanges de béton contenant seulement de la perlite ont des masses volumiques comprises entre 330 et 560 kg/m<sup>3</sup> et avec des résistances à la compression qui varient de 0,7 à 3,1 MPa. En y ajoutant du sable, on peut obtenir des masses volumiques qui peuvent aller au-delà de 1000 kg/m<sup>3</sup> et accroître ainsi les résistances à la compression de 6,2 à 17,3 MPa [10].



**Figure I.8 :** Perlite

Avec les types de granulats légers naturels ou artificiels cités ci-dessus on peut confectionner des bétons légers dont les caractéristiques sont dans le (Tableau I.3).

## **I.5 Propriétés physiques et mécaniques des bétons légers**

### **I.5.1 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 2300kg/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 900kg/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

### **I.5.2 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, due à la présence de l'air intra-particule. Compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de μm), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique. 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 infra-liant qui permet de définir la

porosité intrinsèque du liant.

Selon la taille moyenne des pores et selon l'état physique de l'eau contenue dans le milieu poreux, la porosité peut être classée comme le montre le (**Tableau I.3**) [14].

**Tableau I.3** : Différentes classes de la porosité [14].

Rayon des pores	Classe	Etat de l'eau
< 0.0001mm	Microporosité	Eau de rétention exclusivement
0.0001 à 2.5 mm	Porosité capillaire	Eau capillaire et eau gravitaire
>2.5mm	Macroporosité	eau gravitaire dominante

## I.6 Comportement et performances mécaniques

Les granulats légers entraînent une modification du comportement et des niveaux de performances mécaniques du béton. En effet, le granulat léger est poreux donc moins résistant qu'un granulat usuel. Le fonctionnement mécanique et le mode de rupture des bétons légers sont donc modifiés par rapport à ceux d'un matériau contenant des granulats rigides [15].

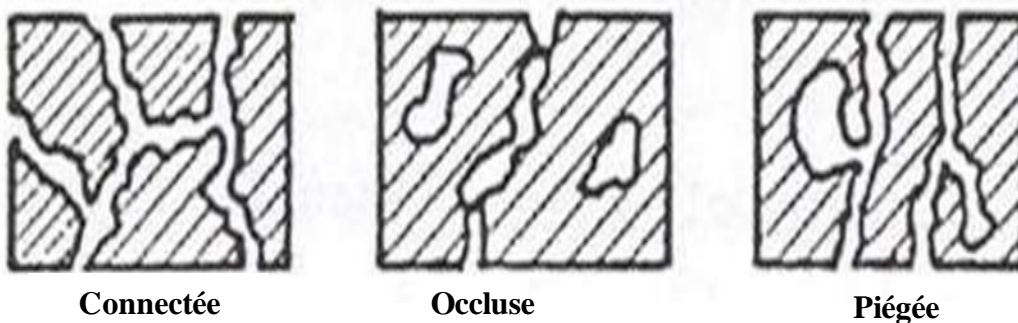
Les niveaux de performances des bétons légers sont inférieurs à ceux des matériaux usuels de construction, puisque les granulats légers possèdent une porosité propre qui les rend déformables. D'une manière générale, la résistance en compression à 28 jours et le module d'élasticité  $E$  augmentent lorsque la porosité des granulats diminue.

### I.6.1 Sensibilité à l'eau

Les granulats, poreux et perméables, permettent les transferts hydriques sous forme liquide et sous forme vapeur. Dans le cas d'eau liquide, on parle d'absorption et dans le cas d'eau vapeur, on parle de sorption-désorption. La perméabilité représente la faculté qu'a un matériau de laisser un fluide s'écouler en son sein, sous l'effet d'un gradient de pression. Cette propriété de perméabilité n'existe donc que si le matériau possède une porosité non négligeable et que celle-ci est connectée. En revanche, un matériau peut être très poreux (i.e. le béton cellulaire) et peu perméable car les pores, non reliés entre eux ne constituent pas des chemins continus, dans lesquels le fluide peut s'écouler. Porosité et perméabilité sont donc liées mais le premier n'implique pas forcément le deuxième.

### I.6.2 Absorption

L'absorption est un phénomène physique par lequel un liquide migre de l'extérieur vers l'intérieur d'un milieu poreux grâce à un phénomène de remontées capillaires. L'absorption entraîne un gain de masse du matériau. L'absorption n'est possible que si les capillaires du réseau poreux communiquent pour permettre le transfert de l'eau : on parle alors de porosité ouverte ou connectée (les vides sont inter communicants). Lorsque le matériau contient des pores emprisonnés comme dans le cas du béton cellulaire, on parle de pores occlus (porosité close ou porosité vacuolaire dénommée aussi porosité résiduelle). Ces pores ne participent pas au phénomène d'absorption (**Figure I.9**).



**Figure I.9** : Trois types de porosité présente dans les matériaux [15].

### I.6.3 Propriétés thermiques

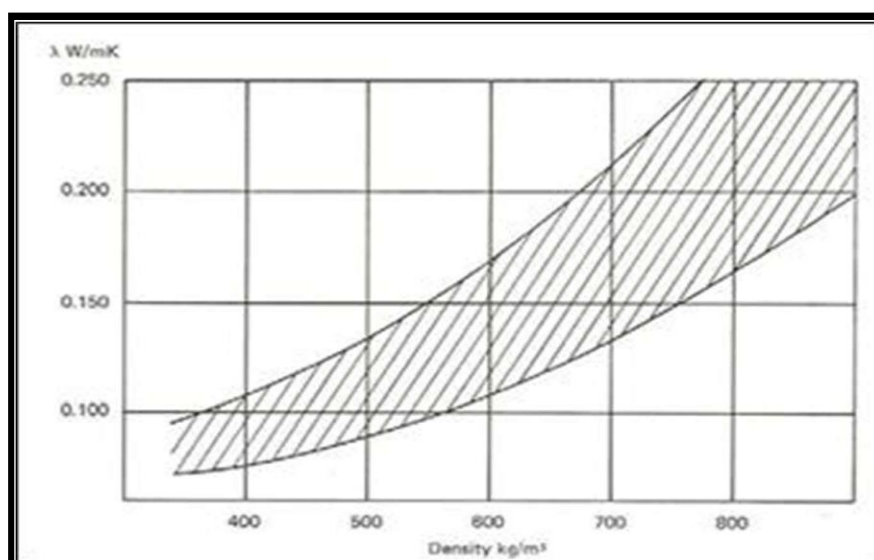
Le pouvoir isolant des matériaux est caractérisé par leur conductivité thermique  $\lambda$ . Cette dernière est définie comme le flux de chaleur par mètre carré, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température d'un degré entre ses deux faces. Plus le matériau est isolant et plus faible est sa conductivité thermique. On considère que généralement la conductivité thermique augmente avec la densité du matériau [09].

Cette propagation d'énergie se produit dans un solide par agitation des molécules constitutives du matériau. La conductivité thermique  $\lambda$  est donc une grandeur intrinsèque du matériau, qui dépend uniquement de ses constituants et de sa microstructure.

Un béton usuel à base de granulats rigides, contient de l'air, dû à l'arrangement de la phase solide (squelette granulaire) et à la prise de liant. Or, l'air immobile conduit faiblement la chaleur. Les bétons à base de granulats Légers ont donc été développés, car ils permettent d'augmenter la proportion volumique d'air dans le matériau (i.e. porosité), en ajoutant l'air intra- particule (i.e. porosité).

A titre comparatif, un béton hydraulique ( $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductivité thermique de  $2,0 \text{ W/(m.k)}$  tandis qu'un béton d'argile expansé ( $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductivité thermique de  $0,60 \text{ W/(m.k)}$  [15]. Cependant, cette relation entre porosité et faible conductivité thermique doit être nuancée en tenant compte d'un autre mode de transfert de la chaleur, la convection. Cette dernière traduit les transferts de chaleur entre un solide immobile et un fluide en mouvement.

Lorsque le matériau contient un important réseau de pores connectés, l'air peut s'y déplacer et les transferts de chaleur par convection peuvent devenir significatifs. En revanche, un matériau contenant un grand nombre de pores occlus comme le béton cellulaire ( $\Phi 80 \%$ ) ne présente pas de convection. Plus de la moitié de l'air est immobile dans les pores occlus et la conductivité thermique est faible (Figure I.10).



**Figure I.10 :** Conductivité thermique  $\lambda$  en fonction de la Masse volumique sèche du béton cellulaire [16].

Un deuxième élément permettant de caractériser les propriétés thermiques des matériaux est la chaleur massique ou chaleur spécifique  $C$  en  $\text{J/(kg.K)}$ . Cette grandeur caractérise la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de  $1^\circ\text{C}$ . Plus la chaleur massique sera élevée, plus le matériau aura besoin d'énergie pour que sa température augmente. Il sera donc moins sensible aux variations de températures du milieu extérieur. Un coefficient  $C$  élevé traduit une forte inertie thermique donc une tendance du matériau à peu évoluer lorsque les conditions extérieures changent. Il sert ainsi de régulateur de la température à l'intérieur de la structure [15].

Le tableau suivant permet de comparer des caractéristiques thermiques de quelques matériaux.

**Tableau I.4 :** Caractéristiques thermiques de quelques matériaux [15].

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porosité $\varepsilon$ (%)	C (J/kg/K)	$\lambda$ (W/m/K)
Air	1.2	-	1000	0.026
Eau liquide	998	-	4180	0.602
Béton hydraulique	2330	8	1050	1.80 à 2.00
Béton argile expansé	1600	36	900	0.46
Béton cellulaire	350 à 650	75 à 82	880	0.16 à 0.33
Béton de bois	600 à 900	52	1200	0.09 à 0.30
Brique	1800	-	860	1.15

## I.7 Autres propriétés du béton léger

- La résistance au gel : Elle est très bonne, malgré la teneur en eau absorbée, car de nombreux pores non saturés subsistent, qui permettent l'expansion de la glace. Il faut noter en outre une bonne aptitude au bétonnage par temps froid, car la faible conductivité thermique permet au béton de conserver la chaleur de prise du ciment.
- La résistance au feu : Elle se mesure par la durée de tenue d'un élément, à une température déterminée, est meilleure que celle du béton traditionnel, en raison des valeurs peu élevées de la conductivité thermique et du coefficient de dilatation. Ainsi, par exemple la durée de résistance d'une dalle de 12 cm d'épaisseur est d'environ 2h avec un béton normal, et 4h avec un béton léger ; de même, les pertes de résistances mesurées à 650° sont respectivement de l'ordre de 40 à 50 dans le premier cas, et de 15% seulement dans le second.
- Aspect acoustique : L'isolation acoustique obtenue par des parois homogènes en béton léger, est avant tout, une question de poids et d'imperméabilité à l'air ; il est dû à l'existence de nombreuses cellules fermées dans les agrégats. Certaines parois en bétons pleins de granulats légers, complétées par des enduits étanches, peuvent avoir des performances acoustiques supérieures à celle prévues par la « loi de masse ». Cette amélioration se manifeste pour des épaisseurs supérieures à 15 cm [17].

## I.8 Avantages et inconvénients des bétons légers

### I.8.1 Avantages

- Un matériau plus léger : ces bétons permettent ainsi une plus grande souplesse quant à la conception des ouvrages et induisent plusieurs économies. En effet, la réduction de la charge morte sur les structures permet entre autres d'utiliser des portées plus longues ou de diminuer les sections des éléments porteurs, de réduire la quantité d'acier d'armature et même les dimensions des fondations.
- Meilleure isolation thermique, qualité appréciable du point de vue de la consommation d'énergie dans le bâtiment.
- Meilleure tenue aux conditions extrêmes de température : gel et feu.
- Large choix de masses volumiques.
- Mise en œuvre simple et traditionnelle, sans vibration.
- Amélioration des conditions de manutentions dans le cas de la préfabrication.
- Utilisés en préfabrication, les bétons légers permettent aussi de diminuer les coûts de transport et d'installation.
- Capables de jouer un rôle en tant qu'isolant thermique et acoustique compte tenu du volume d'air qu'ils contiennent, tout en conservant des niveaux de performances suffisants.
- Le choix des performances selon l'utilisation dans la construction simultanément sur deux

Aspects : mécanique/thermique, mécanique/acoustique ou à la fois les aspects mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau de construction (matériau multi-usager).

- Prise de conscience environnementale permettant de réaliser des économies d'énergie substantielle.
- Possibilité d'utilisation dans les zones sismiques à cause du gain de poids.

### I.8.2 Inconvénients

- Le faible module élastique des granulats légers augmente les déformations instantanées du béton mais également les déformations différées. (Déformabilités instantanée et différée plus grandes).
- Les bétons légers sont néanmoins des matériaux fragiles et peu résistants à la traction. L'utilisation de fibres métalliques demeure une solution efficace pour en augmenter la résistance à la fissuration.
- Résistance mécanique plus faible en général, dans le domaine des valeurs élevées.
- Sensibilité aux variations hygrothermiques plus grandes.
- Un dosage en ciment plus élevé, ce qui explique un surcoût.
- Bien que dans certains cas les bétons légers puissent revenir plus cher par mètre cube qu'un béton ordinaire, la construction peut être moins onéreuse vu la réduction du poids mort.
- Une juste comparaison ne doit pas se limiter uniquement au prix.
- L'économie réside alors dans une recherche d'équilibre entre le prix du mètre cube du béton, sa densité et ses qualités mécaniques.

### I.9 Conclusion

En résumé, nous abordons, à travers la bibliographie, d'abord des problèmes liés aux choix du matériau utilisés et aux méthodes d'allégier le béton. Nous précisons que :

- ❖ Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- ❖ D'un point de vue générale et simple, le béton léger est réalisé en diminuant la masse volumique par le remplacement d'une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides peuvent être incorporés à trois endroits :
  - Dans les granulats.
  - Dans la pâte de ciment.
  - Entre les gros granulats par élimination de granulats fins.
- ❖ Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau.
  - ❖ Le béton léger est très utile et son application est très large.

# DEUXIÈME CHAPITRE

Généralités sur le plâtre et le mortier de  
plâtre

## II.1 Introduction

Connu depuis l'antiquité, le plâtre est un des plus anciens matériaux de construction fabriqués Par l'homme. S'il est encore employé sous sa forme traditionnelle de poudre gâchée avec de l'eau pour réaliser des enduits, c'est sous la forme d'éléments préfabriqués en usine (carreaux, dalles, plaques) que son utilisation se développe aujourd'hui pour répondre aux besoins de la construction.

Le plâtre a également des usages dans d'autres secteurs d'activité : brasserie, boulangerie, fabrication de moules pour vaisselle et sanitaires.

Le plâtre s'obtient par déshydratation du gypse – roche naturelle ou sous –produit de certaines industries – qui est un sulfate de calcium hydraté de formule  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ .

## II.2 Généralités sur le plâtre

### II.2.1 Origine

Le plâtre s'obtient par cuisson et broyage de La pierre à plâtre qui se trouve dans la nature sous deux formes :

- Anhydrite Sulfate de calcium anhydre c'est assez rare, qui correspond à la formule chimique suivante :  $\text{CaSO}_4$ .
- Gypse Sulfate de calcium dihydraté à deux molécules d'eau, très abondant, qui répond à la formule chimique :  $\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$ , ce qui correspond à 79.07% de Sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) associé à 20.93% d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

### II.2.2 Etapes de fabrication

Fabrication du plâtre nécessite plusieurs étapes :

- Extraction du gypse : à l'aide d'explosifs et d'engins, quand il s'agit de gisement à ciel ouvert (des carrières).
- Concassage : Après l'acheminement depuis la carrière à l'aide de camions le gypse subit un concassage, afin de réduire la dimension de ses grains.
- Criblage : Le gypse est transporté à l'aide d'un tapis vers le criblage. Cette opération consiste à ne sélectionner que les grains de diamètre inférieur à 40 mm.
- Stockage du gypse : Le gypse ainsi sélectionné est stocké dans des sillons

- Broyage : le gypse est conduit dans un four où il sera placé dans un moulin où, à l'aide d'une vis sans fin, il est broyé et écrasé.
- Cuisson : Il sera cuit à 150 °C. Ce four permet de faire remonter le gypse cuit par le haut du four, tandis que les impuretés plus lourdes, restent au fond. Après refroidissement à 60 °C il devient du semi-hydrate. D'autres types de four existent (fours culée, fours droits, fours marmite, sur- cuiseur, autoclaves, ...qui donnent différentes qualités.
- Mélange avec différents ajouts : Le plâtre est ensuite mélangé dans un malaxeur avec différents ajouts (souvent quelques parties pour mille) :
  - Amidon, pour améliorer l'adhésion entre le plâtre et le carton (plaque de plâtre).
  - Adjuvants.
  - Retardateurs pour modifier les temps de prise du plâtre...
- Stockage et livraison : Le plâtre est stocké dans des sillons ensuite il est livré en sac de 40 kg ou bien en vrac selon la demande du client [18].

La (Figure II.1) résume les étapes de fabrication du plâtre :

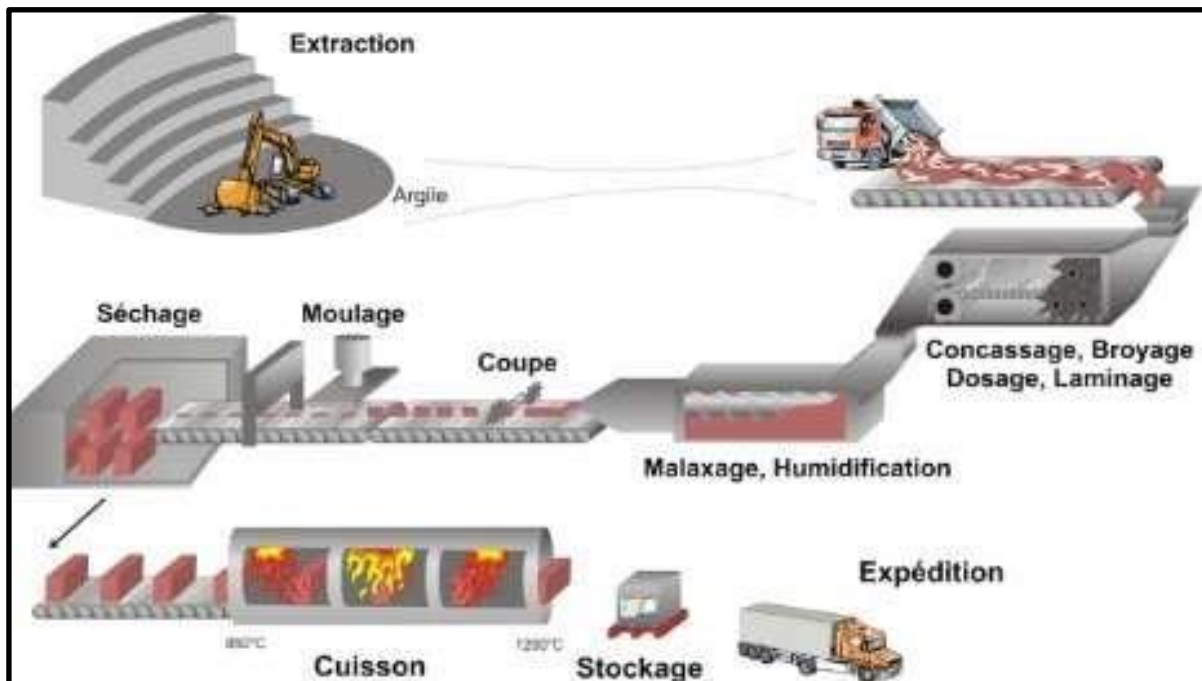


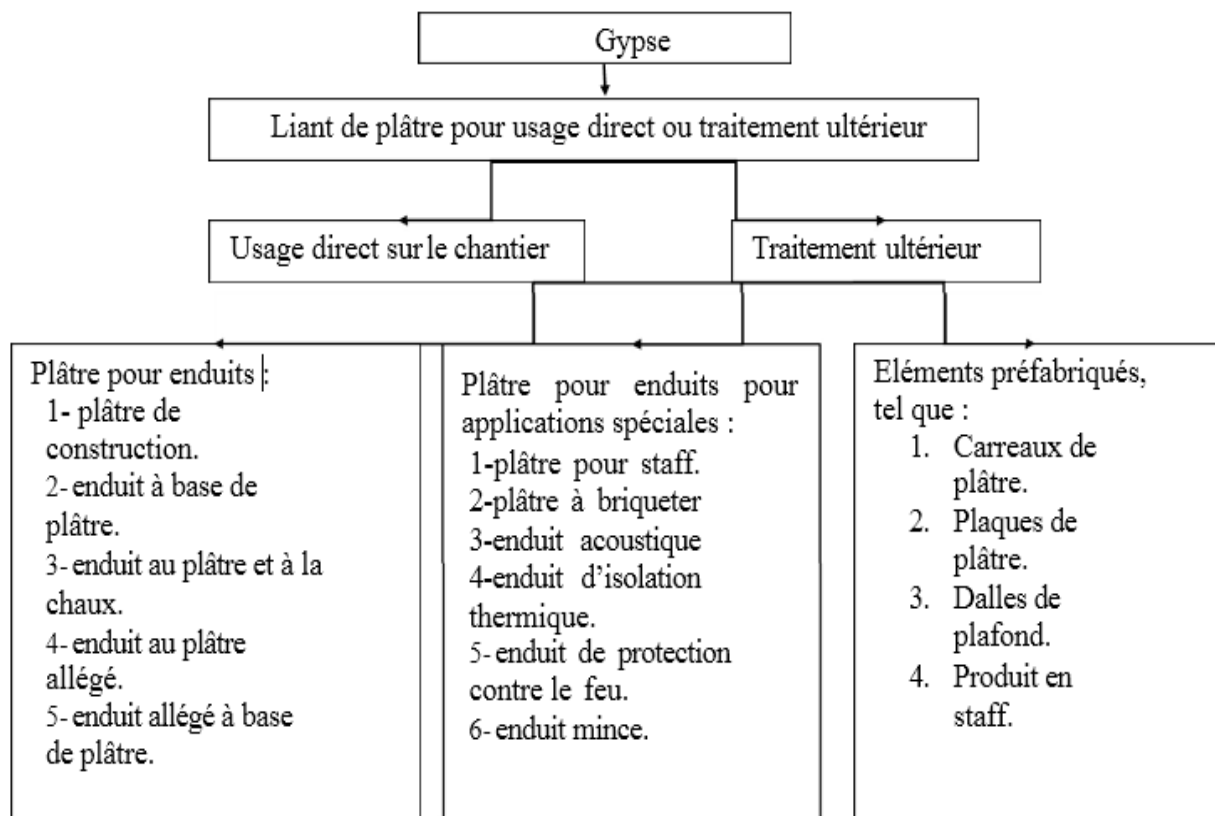
Figure II.1 : Etapes de fabrication du plâtre [18].

### II.2.3 Différents types des plâtres

Il existe plusieurs variétés de plâtre de qualités très différentes est leur classification se faite selon les facteurs suivants :

- Granularité (plâtre gros ou fin).
- Durée de prise (courte, allongé ou longue).
- Dureté (normale ou très haute dureté THD).
- Mode de mise en œuvre (manuelle ou par projection mécanique).
- Domaine d'application (construction, emplois spéciaux, préfabrication, à mouler pour les arts et l'industrie) [19, 20].

La (Figure II.2) présenté la famille des liants et produits à base de plâtre



**Figure II.2** : Famille des liants et produits à base de plâtre [21].

## II.2.4 Propriétés physiques et mécaniques

### ➤ Prise de plâtre

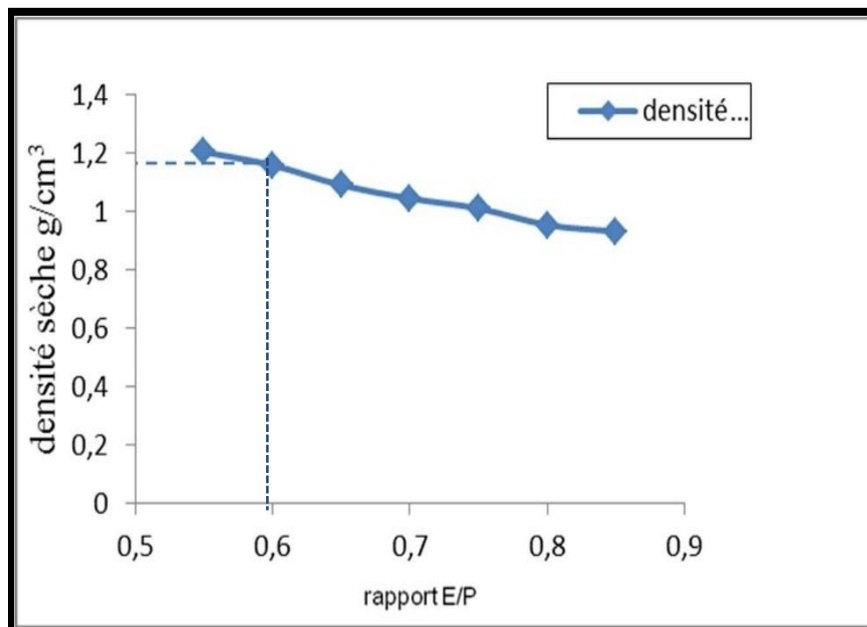
Le plâtre est caractérisé par un temps de prise court et un durcissement rapide accompagné d'une forte élévation de température [21].

### ➤ Expansion

Le plâtre augmente de volume surtout à premières heures pour atteindre 18% au début de la prise puis 19% après un jour, enfin il se produit un léger retrait après le durcissement du plâtre qui fait diminuer cette augmentation à 17% [21].

### ➤ Densité

Elle varie en fonction de la granulométrie du plâtre et du rapport E/P où elle diminue lorsque le rapport E/P augmente, comme il est montré dans la figure ci-dessous :



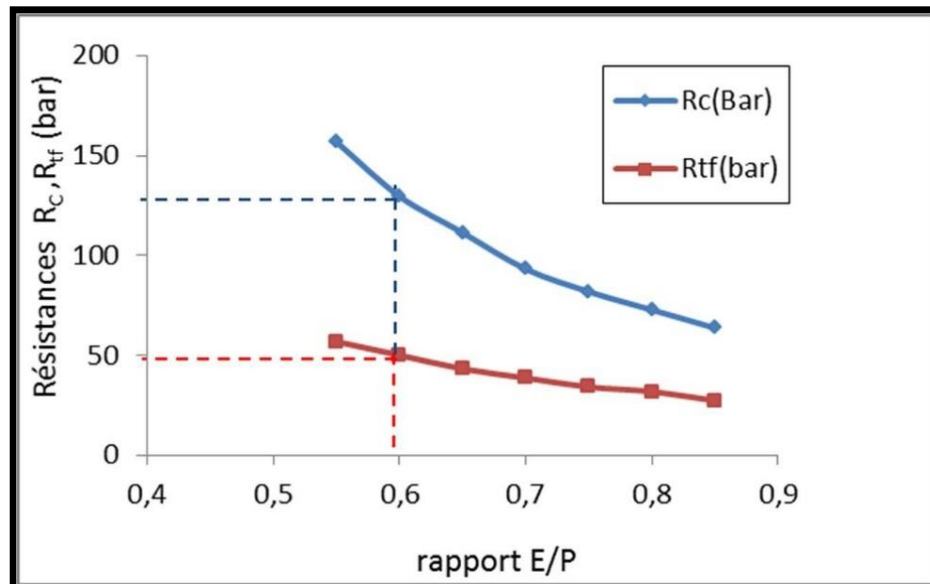
**Figure II.3 :** Influence du rapport E/P de plâtre sur la densité sèche du plâtre [20].

Le plâtre permet de plus en association avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles (0,03 à 0,04 W/mK), qui sont des matériaux spécifiques de l'isolation mais qui ne constituent pas comme lui des matériaux de construction de réaliser des systèmes d'isolation efficaces [19].

- **Résistance mécanique**

Elle est beaucoup variée avec la nature et la finesse du plâtre, les facteurs qui influent sur la résistance sont les suivants :

1- Rapport E/P : Elle varie en fonction du rapport E/P où elle diminue lorsque le rapport E/P augmente comme il est montré dans la figure ci-dessous :



**Figure II.4 :** Influence du rapport E/P de plâtre sur la résistance mécanique du plâtre [20].

2- Temps (âge de plâtre).

3- Milieu de conservation (sec ou humide) : Le plâtre doit se conserver dans un endroit sec ou alors il devient inutilisable.

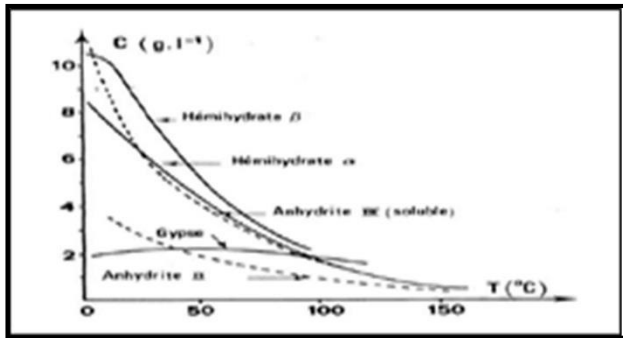
4- Adjuvants :

Les adjuvants améliorent la résistance et augmente la durée de prise du plâtre comme la chaux éteinte avec un faible teneur de 6% à 10% [22, 20].

- **Solubilité du gypse**

Le gypse a la propriété d'être légèrement soluble dans l'eau environ 2g/l, comme on voit dans la (Figure II. 5).

Lorsque des eaux souterraines circulent dans un terrain gypseux, elles deviennent agressives (eaux séléniteuses) et elles provoquent la formation de cavités connus sous le nom de poche (fontis) de dissolution de gypse peuvent atteindre des volumes impressionnants.



**Figure II.5 :** Solubilité des différentes phases du sulfate de calcium en fonction de la température [23].



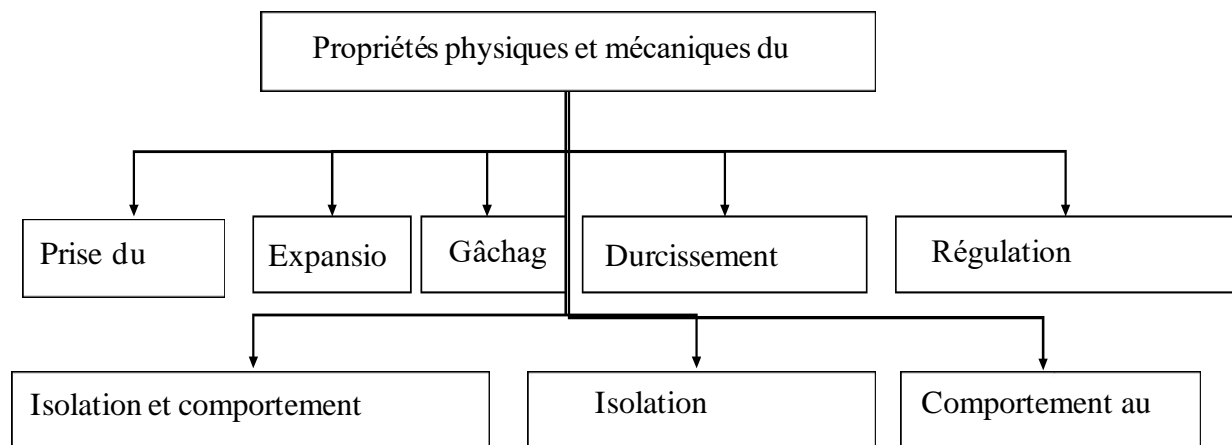
**Figure II.6 :** Fontis ayant atteint la surface [24].

Pour construire dans des zones de dissolution de gypse on pourra :

- Soit fonder le bâtiment au-dessous de la zone des cavités, au moyen de fondations profondes.
- Soit rigidifier la structure de façon que celle-ci puisse supporter sans dommage des affaissements localisés.

La remontée capillaire des eaux séléniteuses au niveau des soubassements ou fondations réalisées avec de ciment portland provoquent la formation de sel de Candlot expansif qui va détruire les soubassements après 7 à 8 mois. Pour éviter la formation de sel de Candlot dans le béton : on utilise un ciment de laitier au clinker, CLK.

La (Figure II.7) résumés les propriétés de confort :



**Figure II.7 :** Organigramme de Propriétés physiques et mécaniques du plâtre.

## II.3 Mortier de plâtre

Le mortier de plâtre résulte d'un mélange bien homogénéisé de plâtre, de sable et d'eau.

Les études [25], imposent les limites des caractéristiques que doit avoir le sable utilisé aussi bien dans le mortier que dans le béton de plâtre.

Les sables utilisés doivent être propres et exempts de toutes matières gypseuses et de matières organiques.

Le sable siliceux doit être préféré au sable calcaire en raison de sa moindre capacité d'absorption d'eau. Il doit être à granulométrie régulière et continue, et contenir un faible pourcentage de fines.

Le C.N.E.R.I.B [25], montre que les résistances mécaniques en compression les plus satisfaisantes ont été obtenues pour les sables intégrés dans le fuseau granulométrique donné dans la (Figure. II.9) et utilisé avec un rapport S/P = 0,5 en poids équivalent à S/P=0,4 en volume.

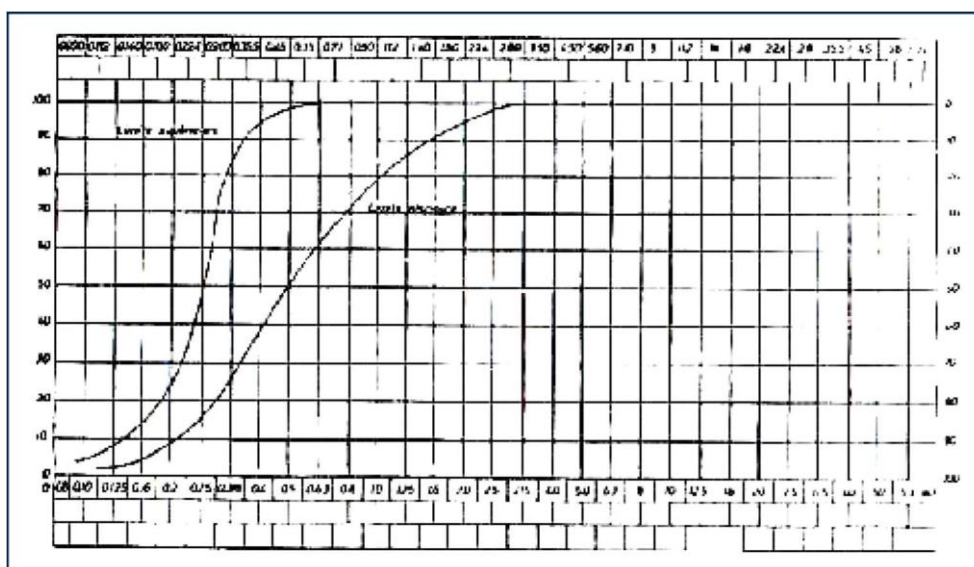
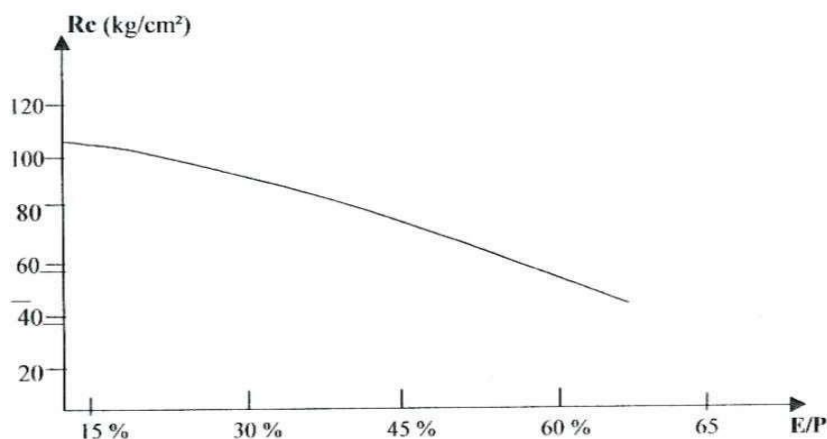


Figure II.8 : Fuseau granulométrique des sables. Analyse granulométrique NFP 18 – 804[25].

### II.3.1 Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier

La courbe ci-dessous montre la variation de la résistance à la compression, à 28 jours, Des mortiers en plâtre (sable de dune + plâtre) en fonction du rapport E/P et avec un rapport S/P = 0,5.



**Figure II.9** : Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier [24].

### II.3.2 Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier

Abdelmoumen [26], constate que la conductivité thermique  $\lambda$  du mortier de plâtre augmente avec la proportion de sable ajoutée.

Les études [26], ont déduit que la diffusivité thermique du plâtre de Hassi khelifa augment pour de faibles proportions de sable ajouté puis décroît quand le taux S/P devient important. Concernant le plâtre d'Oued Djalal, qui renferme très peu de silice (2% environ), l'ajout de sable influera considérablement sur la masse volumique du mélange plâtre-sable et donc sur sa chaleur spécifique, il s'ensuit une augmentation de la diffusivité thermique.

### II.3.3 Méthode de composition du mortier de plâtre

Le C.N.E.R.I.B [25], donne la méthode de composition du mortier de plâtre comme suit :

- Il faut ajouter le taux de mouillage du sable au taux de gâchage E/P relatif au plâtre pour obtenir un mortier maniable.
- Détermination de la quantité d'eau de gâchage du mortier (eau nécessaire à la saturation augmentée de l'eau de mouillage du sable).

Pour la confection du mortier de plâtre, Il recommande le mode opératoire suivant :

- Mélanger à sec le plâtre et le sable.
- Eteindre complètement la chaux aérienne dans l'eau de gâchage.
- Ajouter progressivement cette eau aux matériaux avec malaxage.

Pour développer la technique de construction du mortier de plâtre banché, des essais de rupture par compression et traction par flexion ont été effectués sur des séries de 06 éprouvettes

4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup> en mortier de plâtre.

<b>Tableau II .1 : Valeurs des contraintes des essais mécaniques sur éprouvettes en mortier de plâtre 4 x 4x 16 cm<sup>3</sup></b>							
Durée	2 Heures	3 Jours		7 Jours		28 Jours	
Mode	Mode 2	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
Rc (bars)	48,03	115,34	105,57	124,49	108,51	132,09	118,93
Rf (bars)	13,88	36,68	32,63	40,70	35,28	43,13	37,90

**Rc** : Résistance à la compression ;

**Rf** : Résistance à la flexion.

**Mode 1** : Conservation des éprouvettes à l'air ambiant et 24 h à l'étuve avant écrasement.

**Mode 2** : Conservation des éprouvettes a l'air ambiant.

D'après le (**Tableau II.1**), les résistances mécaniques évoluent avec la durée de conservation et dépendent aussi du mode de conservation.

Les résultats des résistances enregistrées pour le mode (1) de conservation sont supérieurs à celles obtenus pour le mode (2). D'où l'effet de la température sur l'accélération du durcissement.

#### **II.4 Béton de plâtre :**

Il est Possible d'obtenir un matériau d'excellentes qualités en incorporant à un mortier de plâtre des agrégats ayant une granulométrie étudiée. La résistance d'un tel conglomerat dépasse habituellement la résistance du mortier de plâtre seul. Pour obtenir un béton de plâtre, il faut tout d'abord dispos d'un bon mortier de plâtre, c'est à dire d'un mortier ayant un facteur E/P réduit. Par ailleurs, la mise en œuvre du béton de plâtre par vibration permet d'améliorer les propriétés du béton en épaississant sa pâte.

### II.4.1 Méthode de composition du béton de plâtre

La composition des bétons a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (liant, sable, gravier, eau) conduisant à des bétons dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en œuvre et qui possèdent après durcissement les meilleures caractéristiques (étanchéité, résistances mécaniques).

Les méthodes de composition du béton de ciment ne trouvent pas leur validité dans le cas du béton de plâtre. Pour cette raison, une combinaison des méthodes de Vallette et de Faurry a été proposée par le **C.N.E.R.I.B** [25].

#### a. Définition de la méthode de Vallette

C'est une méthode expérimentale [27], elle est à granulométrie discontinue et consiste à réaliser d'abord un mortier aussi plein que possible puis avec les gravillons un béton plein qui présente un minimum de sable.

#### b. Définition de la méthode de Faurry

**Faurry** [23], propose, comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulométrie du type « continu ».

La loi de granulation est une fonction de  $5d$ , alors nous nous inspirons de cette méthode pour établir une courbe granulaire de référence qui est composé de deux droites. Si on l'opère sur un graphique gradué, en abscisse en  $5d$ , l'abscisse du point de rencontre de ces droites est fixée à  $D/2$  et son ordonnée  $Y$  est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Le paramètre  $A$  est choisi en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage.

**B** : varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

**R** : est le rayon moyen du moule.

#### c. Combinaison de la méthode de Faurry et de Vallette pour la composition des bétons de plâtre

On détermine par la méthode de Faurry la courbe de référence du béton de plâtre, d'où on déduit le pourcentage en volume absolu de gravier sec.

✓ On détermine les quantités d'eau de mouillage de chacun des constituants : gravier, sable

et plâtre par la méthode de Vallette.

- ✓ Pour le plâtre, on prend le taux de gâchage à saturation.
- ✓ Connaissant le volume absolu du plâtre mouillé et de gravier mouillé, on calcule le poids de sable mouillé nécessaire pour remplir les vides.

#### II.4.2 Choix des granulats

Dans le cas de l'utilisation d'un bon mortier et pour une bonne mise en œuvre, la résistance du béton de plâtre dépendra essentiellement de l'adhérence du mortier au granulat.

Cet accrochage est particulièrement important pour les plâtres, parce qu'ils durcissent avec augmentation de volume et créent ainsi des tensions à l'intérieur de la masse du béton, ce qui affecte la soudabilité du mortier à l'agrégat.

La granulométrie de l'agrégat doit dès lors être étudiée afin de permettre ce bon accrochage qui joue un rôle décisif non seulement dans le durcissement du béton mais aussi dans le développement de sa résistance.

Pour la sélection des granulats, différents bétons de plâtre, avec plusieurs types d'agrégats confectionnés à partir des plâtres produits dans le Sahara Algérien, ont été testés afin de déterminer les proportions optimales des mélanges et les propriétés mécaniques des bétons de plâtre durcis. La première analyse confirme que les résistances à la compression et à la traction évoluent avec la diminution du rapport S/P et E/P.

Par ailleurs le gypse concassé donne les meilleurs résultats que les grès tendres, et les bétons d'agrégats roulés ont des résistances légèrement supérieures aux bétons de sable et du gypse.

La deuxième analyse montre que pour les agrégats roulés, la granulométrie 3/8 offre les meilleures performances que la granulométrie 5/15.

Pour des granulats voisins, le matériau concassé est nettement supérieur au matériau roulé. Après le choix et la sélection des granulats concassés, et en se basant sur un système constructif déjà réalisé et testé sur des opérations expérimentales (prototype, essai en labo), le **C.N.E.R.I.B [25]**, donne à titre indicatif la composition du béton de plâtre suivante :

- 01 sac de plâtre : 40 kg ;
- Gravier 5/15 : 60 – 80 kg ;
- Chaux éteinte : 01 à 1,5 kg ;

- Eau : 16 à 24 l.

### II.4.3 Mode opératoire

Après la détermination de la composition du béton de plâtre, on procède comme suit :

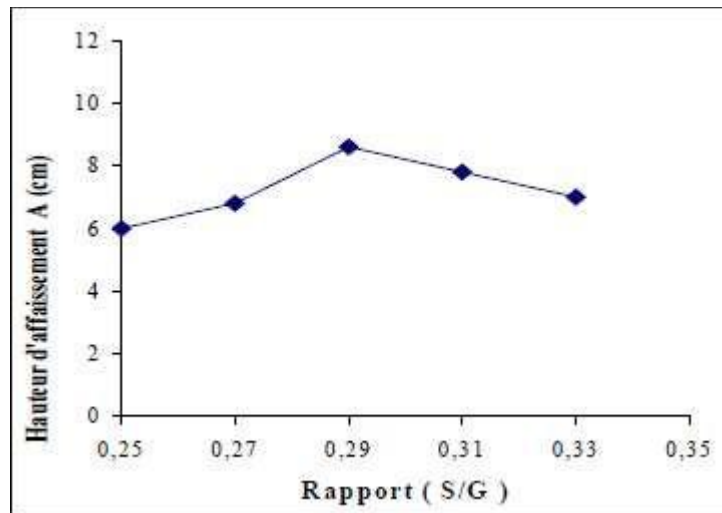
- ✓ Mélanger mécaniquement à sec le plâtre, le gravier et le sable
- ✓ Faire éteindre complètement la chaux.
- ✓ Mélanger la chaux éteinte au reste de l'eau de gâchage.
- ✓ Ajouter progressivement ce mélange (eau + chaux) aux constituants (plâtre + gravier + Sable).
- ✓ Éviter un long malaxage, pour ne pas accélérer la prise.

### II.4.4 Eléments préfabriqués

Les éléments à base de plâtre couramment utilisés pour la construction des murs et planchers sont regroupés dans le tableau ci-après :

<b>Tableau II.2</b> : Les éléments préfabriqués en plâtre et leurs utilisations.			
<b>Eléments</b>	<b>Dimensions (cm)</b>	<b>Matériaux de constructions</b>	<b>Utilisation</b>
<b>Blocs pleins</b>	15 x 20 x 40 10 x 20 x 40	- Mortier ou béton plâtre - Mortier de plâtre - Plâtre pur	- Mur porteur - Double paroi de mur porteur et Cloison
<b>Blocs creux</b>	20 x 20 x 40 15 x 20 x 40	- En mortier de plâtre - En mortier de plâtre - Plâtre pur	- Mur porteur - Double paroi - Cloison
<b>Carreau de Plâtre</b>	5 x 66 x 50 7 x 66 x 50 10 x 66 x 50	- Plâtre pur	- Uniquement en doublage - Double paroi - Cloison
<b>Voûtains</b>	16 x 54 x 40	- Plâtre pur ou Mortier	- Elément de plancher

**Djoudi [22]**, montre que la maniabilité croît avec l'augmentation du rapport S/G et que la composition granulaire optimale pour le béton de plâtre témoin (qui donne une maniabilité maximale) correspond à un rapport S/G = 0,29



**Figure II.10 :** Variation de la maniabilité en fonction du rapport S/G pour le béton [22].

#### II.4.5 Influence du rapport S/P sur les propriétés mécaniques du béton de plâtre

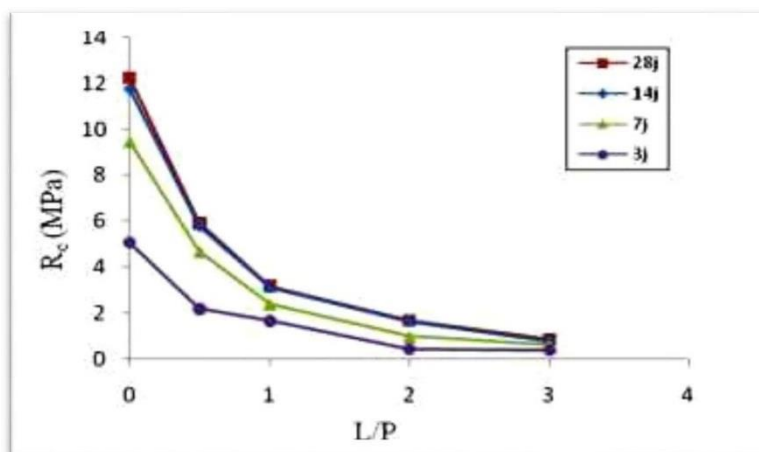
Pour chaque type de béton, il apparaît un dosage en sable pour lequel les résistances à la compression  $R_c$  et la résistance à la flexion  $R_f$  sont maximales. Ce dosage optimum semble être compris dans une fourchette de 60 à 70 % du poids de sable exprimé en rapport du poids du plâtre, pour le plâtre d'Oued Djalal et un taux de l'ordre de 0,5 pour le plâtre de Hassi khelifa [26].

#### II.4.6 Influence du rapport S/P sur les propriétés thermo-physiques du béton de plâtre

En étudiant la variation de la conductivité thermique  $\lambda$  et la diffusivité  $a$  des bétons de plâtre d'Oued Djalal en fonction de la proportion de sable ajoutée, les études, montrent la présence d'un maximum de conductivité et de la diffusivité pour des teneurs en sable voisines de 0,9. Vraisemblablement ceci est dû à la quantité totale qui conduirait à une matrice en plâtre plus poreuse, pour des valeurs S et P élevées [28].

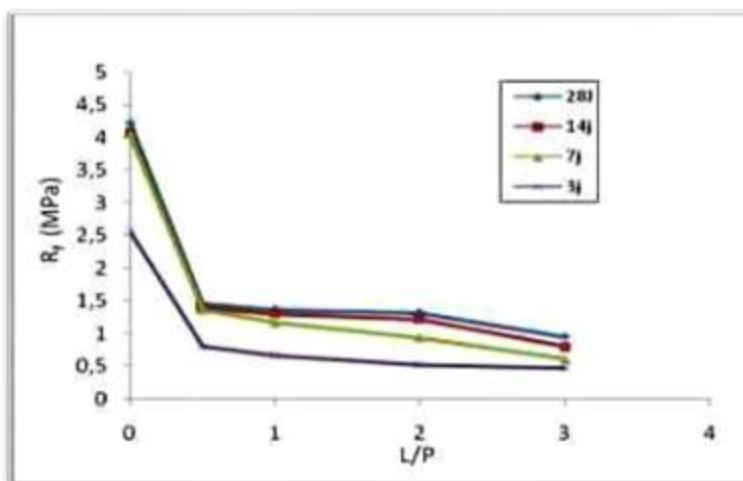
##### a. Influence des granulats de liège sur les propriétés mécaniques du béton de plâtre

**Zitani [29]**, a montré que Les variations de la résistance à la compression chute d'une valeur de 12,23 MPa pour le béton témoin (sans liège) jusqu'à une valeur de 5,92 MPa pour le dosage le plus faible de granulats de liège, cette chute s'accroît au fur et mesure que le dosage en granulats augmente. (**Figure. II.11**)



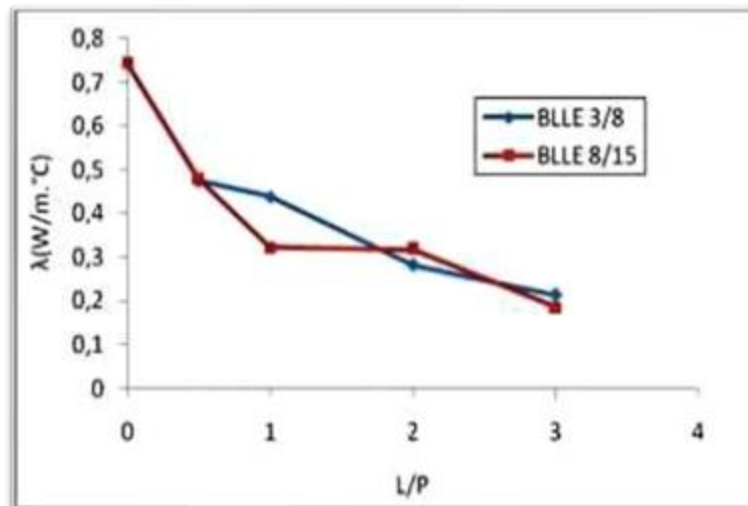
**Figure II.11** Variation de la résistance à la compression des BPL (8/15) En fonction du rapport Liège/Plâtre.

Les mêmes études [29], montrent que la résistance à la flexion chute d'une valeur de 4.23 MPa pour le béton de plâtre témoin jusqu'à une valeur de 1.45 MPa pour le dosage le plus faible de liège avec un taux de 65%, cette chute s'accroît au fur et mesure que le dosage en granulats augmente. (**Figure. II.12**).



**Figure II.12** : Variation de la résistance à la flexion des BPL (3/8) en fonction du rapport Liège/Plâtre

Les études [14], et d'après la figure ci-dessus montrent que la conductivité thermique décroît en fonction du dosage en liège. Les échantillons allégés donnent des valeurs entre 0.18 et 0.47 W/m.C°. En termes de taux d'isolation, le liège permet l'augmentation du pouvoir d'isolation de 75%.



**Figure II.13:** Variation de la conductivité thermique en fonction du rapport Liège/Plâtre [29].

## II.5 Domaine d'utilisation des éléments à base de plâtre

L'utilisation de plâtre est très facette dans le domaine de génie civil. On peut citer certain application moderne :

Le plâtre peut être utilisé comme éléments de mur ou de plancher :

- Les blocs pleins ou creux pour murs porteurs ou de remplissages.
- Les hourdis ou voutains comme éléments de planchers.

**SOLTANE [30]**, présente le prototype réalisé à Biskra avec les éléments suivants :

- Blocs en béton de plâtre.
- Plancher premier niveau et terrasse constitués à base de poutrelles semi-préfabriquées en béton armé et une dalle légèrement armée sur les voutains en plâtre.

**SONEBI [31]**, présente le prototype réalisé à Rabat avec les éléments suivants :

- Mur en mortier de plâtre.
- Des dallâtes en plâtre armé pour plancher des voutes.
- Mur non porteur en carreaux de plâtre.

**ZUBER [32]**, sur la recherche d'un procédé de construction destiné à la zone tropicale sèche donne les éléments en mortier de plâtre suivants :

- Un bloc creux ( $20 \times 20 \times 40$ )  $cm^3$  pour mur.
- Une dalla ( $60 \times 52 \times 8$ )  $cm^3$  pour les planchers.

- Une pièce en U de  $(20*20*40)$  cm<sup>3</sup> utilisable soit en coffrage linteaux, soit en marche qui doit être couverte d'un revêtement anti-abrasion.
- Une poutrelle en plâtre armé de  $(12*14)$  cm<sup>2</sup>.

ALDEBERET [33], pour la rénovation des salles d'exposition du grand Louvre, a choisi le plâtre sous multiples formes :

- Cloisons destinées à devenir support de cinoises.
- Doublages thermiques et acoustiques en plâtre.
- Plafonds de staff.

## II.6 Matériaux isolants à base de mortiers de plâtre

Plusieurs chercheurs ont développé des mortiers à base du plâtre en ajoutant différents additifs tels que ; le caoutchouc [34], les billes de polystyrène [28,35]. Malgré la résistance mécanique relativement faible de ces matériaux (en comparaison avec le mortier conventionnel), ils présentent d'autres propriétés intéressantes telles que la légèreté, la bonne capacité d'isolation phonique et thermique, ce qui permet de les employer dans plusieurs applications du génie civil.

## II.7 Conclusion

Plusieurs chercheurs, ont essayé d'améliorer la performance mécanique et/ou physique à travers l'incorporation de nouveaux additifs sous forme de granulats ou renforts. Toutefois, ce domaine nécessite d'autres recherches pour identifier les mécanismes fondamentaux gérant le comportement de ces matériaux.

# TROISIEME CHAPITRE

Caractérisations des matériaux et

techniques expérimentales

### III.1 Introduction

Dans le but de valoriser les matériaux en établissant une formulation adéquate afin d'obtenir un matériau rentable, nous avons utilisé dans cette étude des matériaux localement produits.

Les composants essentiels de notre béton sont le plâtre, la perlite et le sable ainsi que l'eau de gâchage.

Les matériaux élaborés dans cette étude sont des mortiers de plâtre à base de perlite.

Ils sont destinés à être utilisés comme des matériaux de construction isolant ou isolant porteurs, dont la tenue mécanique est assurée par la matrice constituée de plâtre seul ou mortier de plâtre et l'isolation par les perlites.

### III.2 Plâtre

Le plâtre utilisé provenant de l'usine TAOUAB BOUSSADA –M'sila. Une analyse minéralogique et chimique nous a été transmise par l'usine.



Figure III.1 : Plâtre utilisé

## III.2.1 Caractéristiques techniques

Tableau III.1 : Fiche technique de plâtre TAOUB MOOL.

Rapport de gâchage	Début de prise	Fin de prise	Densité apparente	Dureté superficielle	La finesse Tamis 100µm	Tamis 200µm
(0.75-0.85%)	(4-6 min)	(8-14 min)	0.65-0.75kg/l	≥ 55 shore C	≤20%	≤ 10%

## III.2.2 Masse volumique apparente NFP 18-555

C'est la masse de l'unité de volume (y compris les vides), elle est notée  $\rho_{app}$  et donnée Par :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (III.1)$$

Où M : masse du plâtre.

V : volume total de l'échantillon.

La détermination de la masse volumique apparente peut se faire en utilisant un récipient standard (de volume connu).

Il s'agit de remplir un volume de 1l (1dm<sup>3</sup>) et on pèse la masse totale  $M_T$ , la masse de l'échantillon M sera :

$$M = M_T - M_R \quad (M_R \text{ est la masse du récipient}).$$

Les résultats de la masse volumique apparente sont représentés sur le (Tableau III.2)

Tableau III.2 : Masse volumique apparente du plâtre.

N <sup>o</sup> d'expériences	Masse de récipient $m_1$ (g)	Masse totale $m_2$ (g)	Masse de l'échantillon $m_2 - m_1$ (g)	Volume de récipient (cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente $\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	116.4	741.2	624.8	900	0.694
2	116.4	727.3	610.9	900	0.678
3	116.4	726.3	610	900	0.677
				Moyenne	0.684

Alors la masse volumique apparente du plâtre de construction est **684 Kg/m<sup>3</sup>**.

### III.3 Sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable provenant de la région sud de la ville Oued souf.

#### III.3.1 Analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés sur la (Figure III.2) et le (Tableau III.3).

D'après les (Tableaux III.3), on a tracé la courbe granulométrique représenté sur la (Figure III.2).

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

**Tableau III. 3 :** Composition granulométrique du sable préparé.

Dimensions des mailles carres (mm)	Refus partiels Ri en g	Refus cumulés Rn en g	Refus cumulés en %(réf. M1)	Tamisas cumulées %
5	1	1	0.05	99.95
2.5	43	44	2.2	97.8
1.25	178	222	11.1	88.9
0.63	559	781	39.05	60.95
0.315	903	1684	84.2	15.8
0.16	255	1939	96.95	3.05
0.08	53	1992	99.6	0.4
Fond	8	2000	100	0

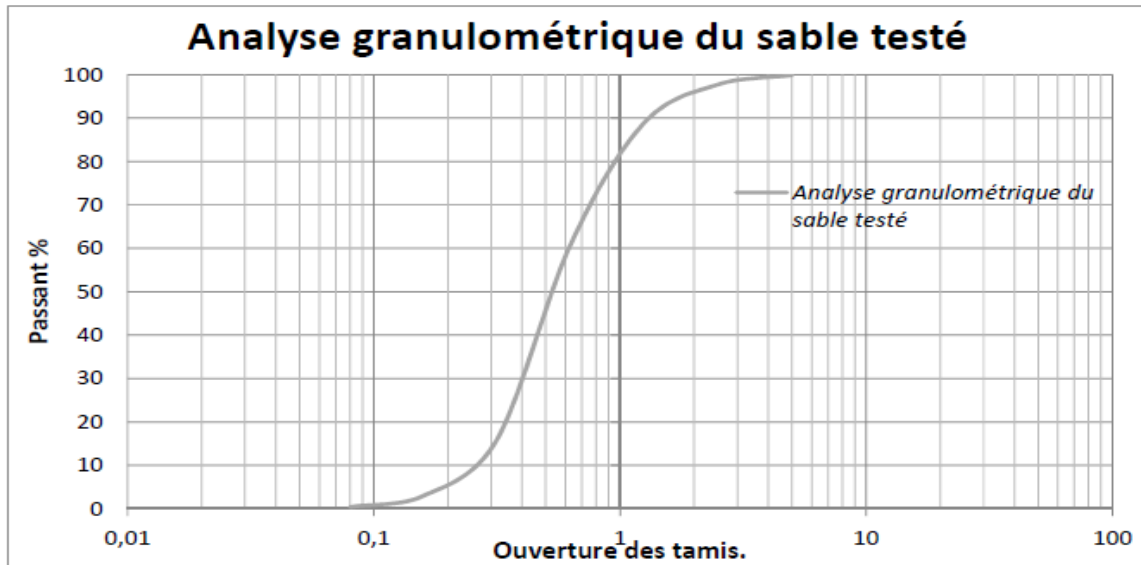


Figure : III.2 courbes granulométriques de sable

D'après le résultat obtenu de l'équivalent de sable on peut constater que le sable utilisé est très propre.

### III.3.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé

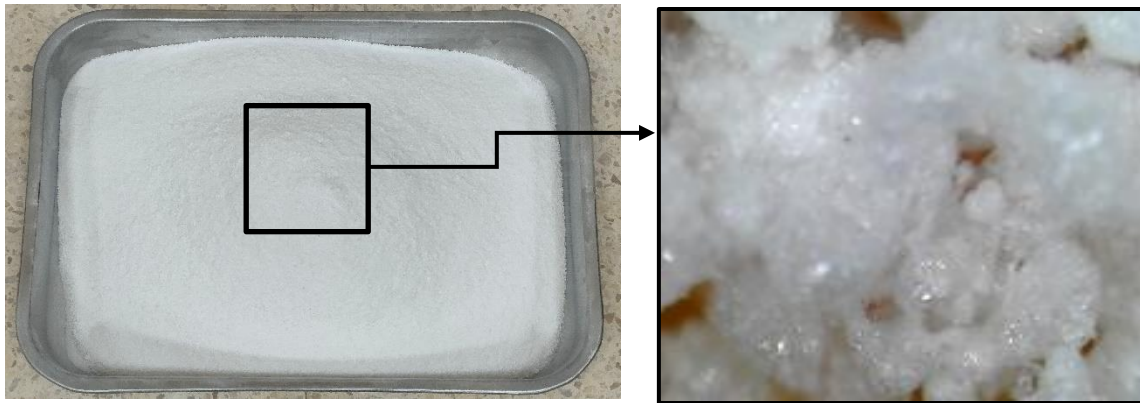
Les caractéristiques physiques de sable dans de (Tableau-III.4)

<b>Tableau III.4</b> Caractéristiques physiques du sable d'Oued souf	
Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1602</b>
Masse volumique absolue (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2500</b>
Compacité (%)	<b>64</b>
Porosité (%)	<b>36</b>
Module de finesse	<b>3.83</b>
Equivalent de sable (%)	<b>91</b>

### III.4 Granulats des perlites

La perlite utilisée dans ce travail, est un produit commercialisé manufacturé sous forme de poudre blanchâtre.

Ce matériau est caractérisé par sa faible densité. Il est considéré comme un matériau extra léger. Il présente des bonnes caractéristiques thermiques (faible conductivité) ce qui permet de sa utilisable comme matériaux isolant dans les bâtiments. (Figure III.3)



**Figure III.3** : la perlite utilisée.

Les principales propriétés physico-mécaniques de la perlite sont regroupées dans le (Tableau -III.5)

<b>Tableau III.5</b> Caractéristiques technique de la perlite	
Densité apparente (kg/m <sup>3</sup> )	<b>50 - 80</b>
Densité compacté (kg/m <sup>3</sup> )	<b>60 - 100</b>
Couleur	<b>Blanc / gris-blanc</b>
Valeur PH	<b>7 - 9</b>
Quantité de SiO <sub>2</sub>	<b>60 – 80 %</b>

### III.5 Caractérisation de l'eau de gâchage

Nous avons utilisé pour la totalité de nos essais une eau potable du réseau domestique sans aucun traitement supplémentaire.

#### III.5.1 Méthodes expérimentales

##### III.5.1.1 Mise en œuvre

###### a) Le malaxeur

Nous avons adopté pour les bétons légers, un malaxage normalisé selon la norme européenne **EN 196-1** et nous avons fait en sorte qu'avec ce malaxage, le mélange soit le plus homogène possible.

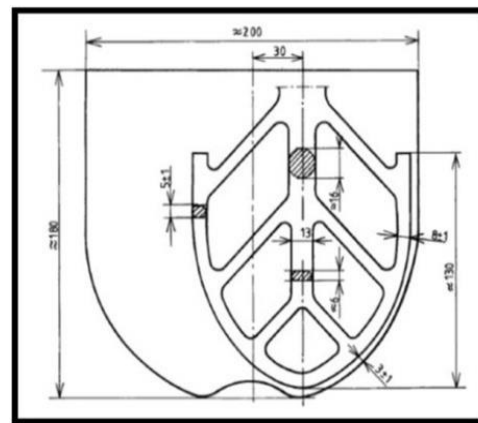
Le mélange est effectué au moyen d'un malaxeur de 5 litres de capacité (**Figure III.4**), il comporte une palette permettant un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses (dite lente et rapide) : 140 et 285 tr/mn.

Il comporte essentiellement :

- Un récipient en acier inoxydable d'une capacité de 5 l environ, de forme et de dimension générale indiquées.
- Un récipient en acier inoxydable d'une capacité de 5 l environ, de forme et de dimension générale indiquées à la (**Figure III.5**), et équipé de manière à pouvoir être fixé fermement au bâti du malaxeur pendant le malaxage.
- Un batteur en acier inoxydable ayant la forme, les dimensions et les tolérances générales indiquées sur la (**Figure III.4**), entraîné par moteur électrique à vitesses contrôlées, en un mouvement de rotation sur lui-même, accompagné d'un mouvement planétaire autour de l'axe du récipient [28].



**Figure (III.4) :** Malaxeur normalisé pour pâte utilisé.



**Figure (III.5) :** Dimensions d'un malaxeur.

Le malaxeur est fonctionné aux vitesses données au tableau suivant :

**Tableau (III.6) :** vitesses de fonctionnement du malaxeur.

	Rotation (Tour/min)	Mouvement planétaire (tour/min)
Petite vitesse	140	62
Grande vitesse	285	125

**b) Mode de malaxage**

Afin d'éviter le problème de ségrégation en raison de la légèreté des granulats l'ordre d'introduction des différents constituants du béton dans le malaxeur était le suivant :

- Introduction de la moitié de l'eau.
- Introduction du plâtre, déchets de caoutchouc et sable pendant 30s.
- Compléter l'eau restante.
- Malaxer l'ensemble à vitesse rapide pendant 30s.
- Arrêter le malaxeur et enlever au moyen d'une raclette tout le plâtre adhérent aux parois et au fond du récipient on le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxeur jusqu'à ce qu'il devienne une pâte homogène et le temps ne dépasse pas 2 min.

**c) Préparation et conditionnement des éprouvettes**

Le choix des dimensions du moule est fixé par la norme **NFP 18-400 [11]**. Il doit satisfaire le critère de l'échelle et de volume supérieur à la dimension des plus gros granulats, de plus les dimensions permettent de réaliser les essais de caractérisation recherchés. Pour la caractérisation.

Physicomécanique des mortiers élaborés dans ce travail, on a choisi le moule de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ .

La mise en moule est faite sans vibration à raison de 3 couches piquées à la truelle chacune pour éviter tout problème de ségrégation affectant l'homogénéisation des échantillons. Après la mise en moule, les éprouvettes sont conservées à l'air libre du laboratoire. Il est pesé après 24 heures.

Les moules utilisés pour les essais mécaniques et les essais de conductivité thermique sont représentés sur les figures ci-dessus :



Figure (III.6) : Moules utilisés.

### III.6 Caractéristiques mécaniques des MPP

#### 1) Résistances mécaniques

Les résistances des mortiers dépendent de nombreux facteurs :

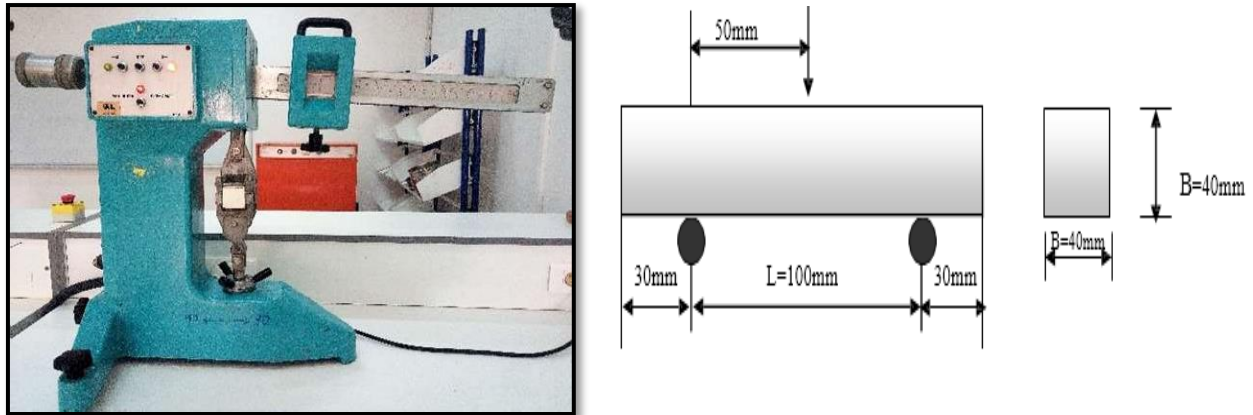
- Nature et dosage du plâtre.
- Rapport E/P.
- Granulométrie et nature du granulat.
- Énergie de malaxage et mise en œuvre.
- Milieu de conservation.

#### 2) Essais mécaniques

Il s'agit de l'essai de compression, qui est réalisé selon la norme **EN 196-1**, sur les échantillons réalisés. La valeur de la charge de rupture est lue directement sur le fichier résultat.

##### a. Essais de résistance à la flexion

L'essai de flexion à 3 points est effectué sur des prismes  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  avec une vitesse de mise en charge de 1 N/s. Le résultat pris est la moyenne de trois essais.



**Figure (III.7) :** Dispositif de l'essai de Traction par Flexion.

La résistance à la rupture par flexion est donnée au moyen de la formule suivante :

$$R_f = 1.5 \left( \frac{(F_f \times L)}{b^3} \right) \dots \dots \text{MPa} \dots \dots \dots \text{(III.2)}$$

Avec : L : Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette

$$40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3 \text{ (L= 100 mm)}$$

$R_f$  : Résistance à la flexion en MPa.

$F_f$  : Charge à la rupture en N.

b : Largeur de la section carrée du prisme en mm (b = 40 mm).

#### **b. Essais de résistance à la compression :**

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon on du matériau étudié. Les six morceaux d'éprouvettes obtenus après rupture en flexion sont alors soumis à une compression unie axiale sur le bâti de compression de la même presse avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s  
 $\pm 200$  N/s, l'augmentation de la charge d'écrasement se fait automatiquement et la force de rupture est affiché sur l'écran de l'appareil où l'on effectue la lecture en KN. **(Figure III.8).**

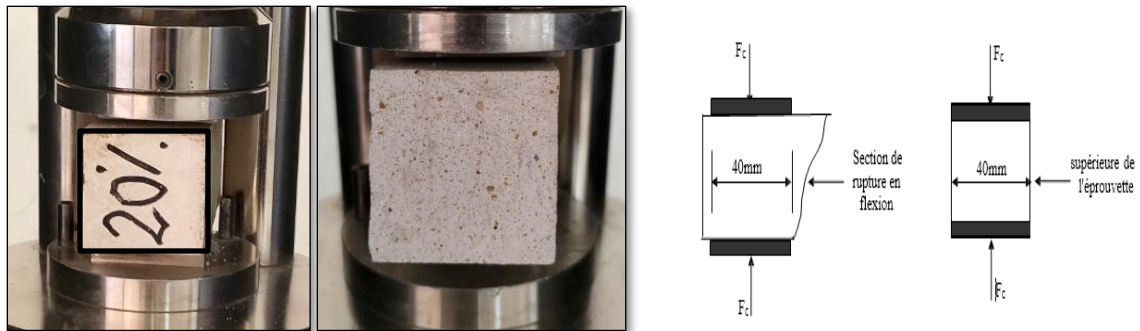


Figure (III.8) : Détail de l'essai de compression.

La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = F_c / A \quad \text{En (MPa)} \dots\dots\dots (III.3)$$

Avec :  $R_c$  : Résistance à la compression en MPa.

$F_c$  : Charge à la rupture en N.

$A$  : l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires en  $\text{mm}^2$  ( $1600 \text{ mm}^2$ ).

### III.7 Caractéristiques thermiques

Cette partie consiste à déterminer les caractéristiques thermiques du matériau produit, à savoir le potentiel du matériau à réduire le flux thermique transmet par conductivité thermique ou simplement l'aspect isolant du matériau.

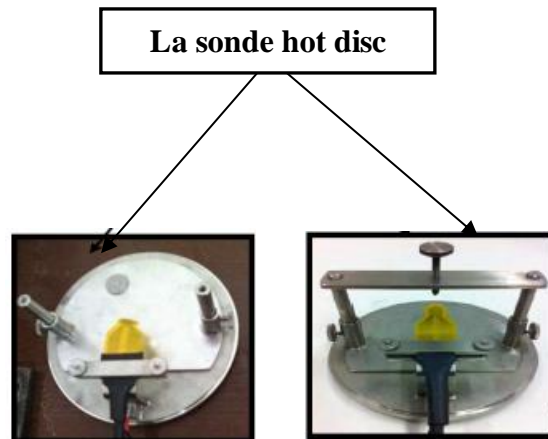
La conductivité thermique  $\lambda$  exprimée en  $\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , traduit l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur. Parmi les facteurs qui influent sur la conductivité thermique des matériaux de construction, citons : la porosité et la teneur en eau.

#### III.7.1 Méthodes de mesure des paramètres thermiques

De nombreuses méthodes de mesure de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique et de l'effusivité thermiques des matériaux, s'appuient donc sur la détermination d'un champ de température dans des échantillons de géométrie connue, en imposant des conditions aux limites constantes ou variables avec le temps. Parmi ces méthodes, citons deux méthodes les plus utilisées, il s'agit de la technique de la sonde monotige à faible inertie thermique [20], et la méthode de la sonde plane TPS (Transient Plane Source) [20].

Pour nos mesures on a utilisé la technique de la sonde plane TPS, en raison de sa capacité de détermination de la conductivité et la capacité thermique des matériaux contrairement à la méthode de la sonde monotige qui ne permet de déterminer que la

conductivité thermique, de plus les erreurs liées à la résistance de contact sont minimales dans la TPS que dans la sonde monotige.



**Figure (III.9) :** Schéma de la sonde TPS.

### III.7.2 Avantages de la méthode TPS

Les principaux avantages de la technique TPS [(Transient Plane Source ou Hot Disk) sont :

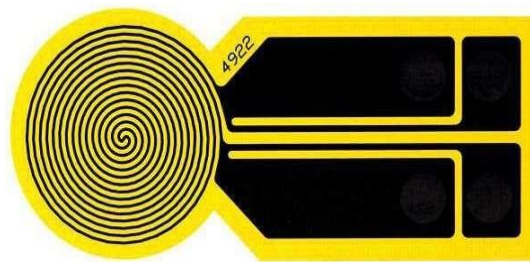
- Elle ne demande pas un matériel sophistiqué.
- Elle peut faire la mesure de plusieurs paramètres thermiques à la fois.
- Elle peut être utilisée pour la mesure d'une large gamme de propriétés et dans différentes conditions (liquides, hautes et basses températures, plaques...).
- L'utilisation de capteurs avec une grande surface permet de couvrir une grande surface à l'échelle du volume élémentaire représentatif.
- La différence entre l'évolution de la température entre la couche d'isolation et le milieu étudié, permet d'étudier des matériaux avec des conductivités thermiques différentes (couches minces).
- Les mesures peuvent être faites sur des échantillons de diverses formes et de différentes tailles, à condition de posséder au moins une surface plane.
- Elle est utilisable pour la mesure des propriétés thermo physiques des matériaux anisotropes.
- Estimation extrêmement précise des paramètres : 3 à 5% sur la conductivité thermique.
- Appareil polyvalent et modulable : champ d'application très vaste mesures sur solides, liquides, poudres et pâtes.

- Diversité des environnements de mesure : des températures cryogéniques ( $-200^{\circ}\text{C}$ ) aux hautes températures ( $+1000^{\circ}\text{C}$ ).
- Différents modules et options : facilite la réalisation de vos mesures.

### III.7.3 Conception de l'élément TPS

L'élément TPS qui doit être utilisé dans cette méthode doit être constitué d'un élément résistif jouant, à la fois, le rôle de résistance chauffante et de capteur de température. Il peut, en principe, avoir plusieurs formes (rectangulaire, disque, etc.) et plusieurs tailles suivant la configuration géométrique de l'échantillon on, le type de matériau utilisé. Pour des raisons de commodité tant sur le plan théorique que sur le plan expérimental, deux configurations ont été retenues pour le modèle résistif TPS [36], la forme rectangulaire et la forme disque (**Figure III.10**). Cependant il existe plusieurs tailles du capteur afin de pouvoir effectuer des mesures sur des échantillons de différentes dimensions.

Dans ce travail, l'élément TPS utilisé est en forme de disque, dont le capteur TPS est constitué d'une feuille de métal qu'en Nickel en forme de spirales bifilaires insérées entre deux couches isolantes en Kapton, Teflon ou Mica pour des températures inférieures à  $200^{\circ}\text{C}$ . Les épaisseurs de la feuille et de la couche de Kapton sont respectivement de 10 et 25  $\mu\text{m}$ . Les diamètres effectifs des spirales bifilaires sont de 20 et 30 mm et ceux de la couche de Kapton de 25 et 40 mm, Déclinable en plusieurs disques de rayon de 0.5 à 30 mm.



**Figure III.10** : Vue d'une sonde Hot disc.

### **III.8 Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la présentation des essais de caractérisation des matériaux étudiés et du matériel associé. L'étude de caractérisation des matériaux utilisés sa teneur montre que :

- ✓ Le sable est un sable très propre.

L'étude de la composition du mortier de plâtre et la perlite et les résultats des essais physico-mécaniques des mortiers de plâtre élaborés, sont étudiés au chapitre suivant.

# QUATRIEME CHAPITRE

Comportement thermomécanique des  
mortiers de plâtre allégé par la perlite

## **IV.1 Introduction**

L'incorporation des granulats de perlite est réalisée afin d'améliorer son pouvoir isolant, compte tenu de l'effet de paramètre liés aux billes qu'est le dosage des granulats légers sur le comportement physico-mécanique des mortiers de plâtre, on va examiner dans ce chapitre, l'influence du pourcentage des granulats de perlite sur les propriétés physique (masse volumique) mécaniques (résistance à la compression et à la flexion), thermiques (conductivité).

## **IV.2 Formulation des mortiers de plâtre légers**

L'absence d'une méthode universelle pour la formulation des mortiers de plâtre, nous conduits à suivre les recommandations pour la construction en plâtre donnée par CNERIB [20].

- Tout d'abord on fixe le rapport  $E/P = 0.60$  égal aux taux de gâchage à saturation.
- Pour le sable, on prend un rapport  $S/P = 0.50$  en poids recommandé par le CNERIB, car un excès de sable diminue les propriétés mécaniques des matériaux à base de plâtre selon le guide [20].
- Concernent les granulats légers, on a essayé d'incorporer les granulats de perlite dans la matrice : mortier de plâtre (plâtre + sable), le pourcentage de granulats utilisés et de 0 à 60 % avec un pas de 10 % par substitution volumique du sable.

Les éprouvettes sont de forme prismatique selon les diamètres maximaux des granulats, on travaille avec :

**MPP** : Mortier Plâtre Perlite

40×40×160 mm<sup>3</sup>.

Les résultats de la formulation des mortiers de plâtre légers à base des granulats de perlite est illustré sur les tableaux ci-dessous :

**Tableau IV.1 : Compositions pondérales de MPP.**

Pourcentage de perlite	Volume de (cm <sup>3</sup> )	Masse de perlite (g)	Masse de Sable (g)	Masse de plâtre (g)	Masse de l'eau (g)
0%	400	256	1000	2000	1200
10%	40	4	900	2000	1200
20%	80	8	800	2000	1200
30%	120	12	700	2000	1200
40%	160	16	600	2000	1200
50%	200	20	500	2000	1200
60%	240	24	400	2000	1200

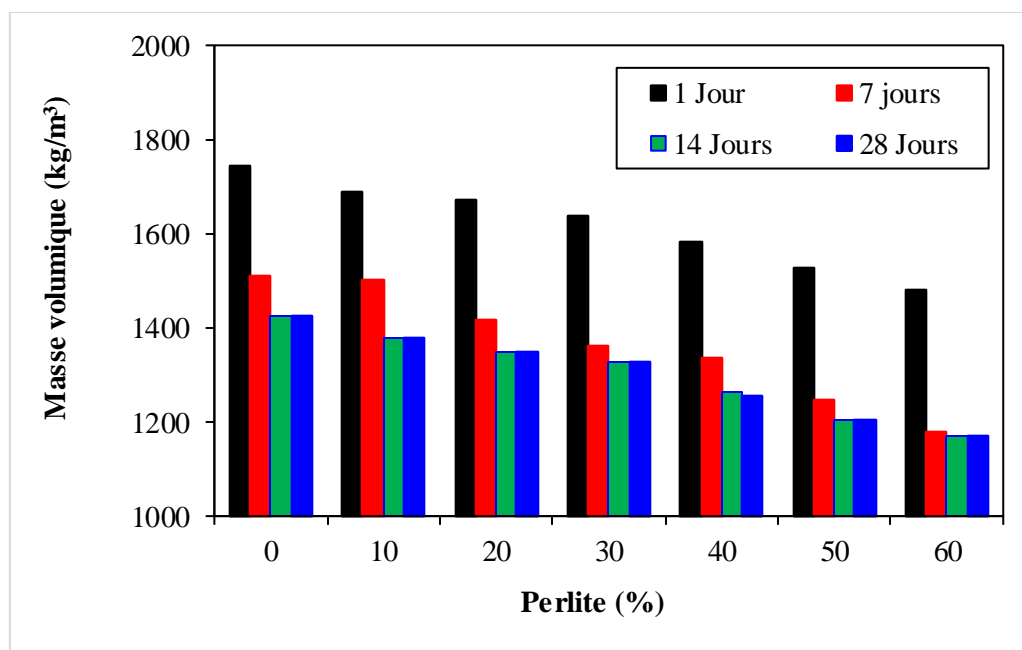
### IV.3 Caractérisation du mortier durci

#### IV.3.1 Caractéristiques physiques des mortiers de plâtre

- **Masse volumique apparente des mortiers**

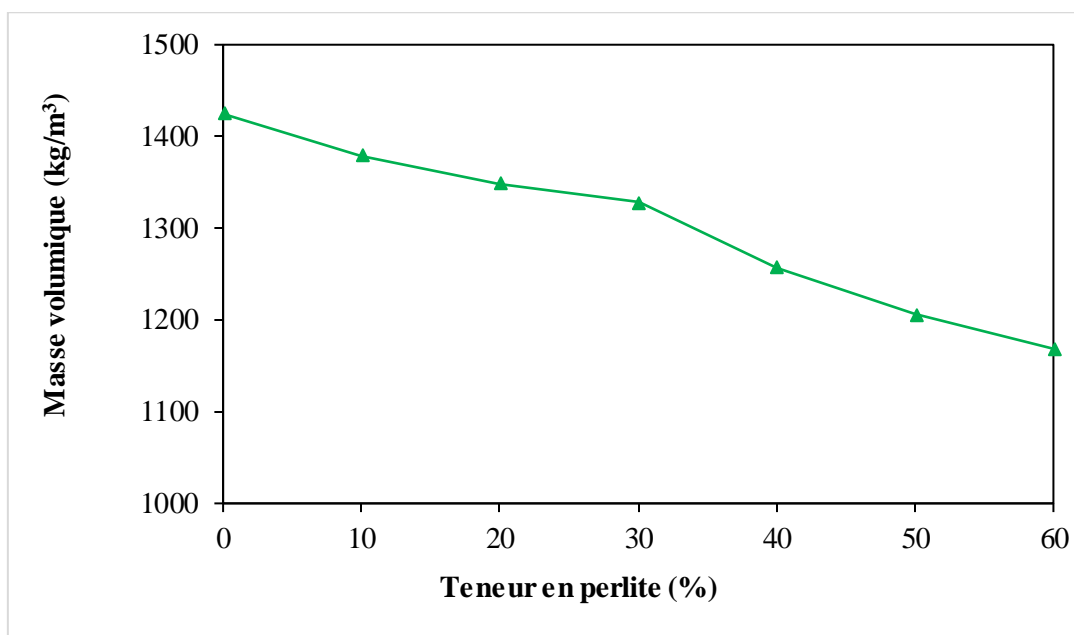
Les éprouvettes 40×40×160 mm<sup>3</sup> sont pesées régulièrement au cours du temps et cela à l'aide d'une balance avec précision de 0.1g. Les masses en fonction en jours jusqu'à 28 jours sont mesurées lors de cette étude.

Les résultats de la variation de masse volumique du **MPP** sont illustrés sur la (Figure IV.1) et le (Tableau IV.2).



**Figure IV.1 : Variation de la masse volumique de MPP.**

Les valeurs de la masse volumique mesurées à 28 jours sont illustrées par la (Figure IV.2).



**Figure. IV. 2** : Variation de la masse volumique de MPP à 28 jours.

**Tableau IV.2** : Variation de la masse volumique de MPP

Pourcentage de Perlite	01 jour (kg/m³)	7 jours (kg/m³)	14 jours (kg/m³)	28jours (kg/m³)
0%	1744.61	1509.04	1424.80	1424.62
10%	1686.45	1503.01	1379.00	1378.82
20%	1670.34	1415.26	1348.70	1348.52
30%	1638.03	1360.47	1328.11	1327.93
40%	1580.85	1336.43	1265.76	1257.23
50%	1525.05	1247.49	1206.25	1206.12
60%	1482.11	1177.54	1171.08	1168.54

D'après les (Figures IV.1, IV.2), la masse volumique des mortiers élaborés (MPP) diminue rapidement aux 7 premiers jours due à l'évaporation de l'eau, puis elle commence à se stabiliser à partir de l'âge de 14 jours. En augmentant le dosage en granulats de perlite la masse volumique décroît.

On a enregistré une diminution de la masse volumique apparente de l'ordre de 17.97 % pour le mélange contenant 60% de perlite, et cela par rapport au mélange de référence (témoin).

Cette diminution de la masse volumique du matériau est due à la faible densité des granulats de perlite introduits, nos résultats sont en accord avec des études précédentes sur un plâtre allégé par granulats de liège [29].

### IV.3.2 Caractéristiques mécaniques

#### a) Variation de la résistance à la flexion

Les résultats de la variation de résistance à la flexion des MPP est illustré sur (Tableau IV.3) et la (Figure IV.3).

Tableau IV .3 : Variation de la résistance à la flexion des MPP en fonction de l'âge.

Pourcentage de Perlite	Rf 7J (MPa)	Rf 14J (MPa)	Rf 28J (MPa)
0%	4.11	4.35	5.10
10%	3.93	4.02	4.43
20%	3.53	3.83	4.13
30%	3.23	3.48	3.76
40%	3.01	3.18	3.38
50%	2.53	2.70	3.12
60%	2.34	2.51	3.04

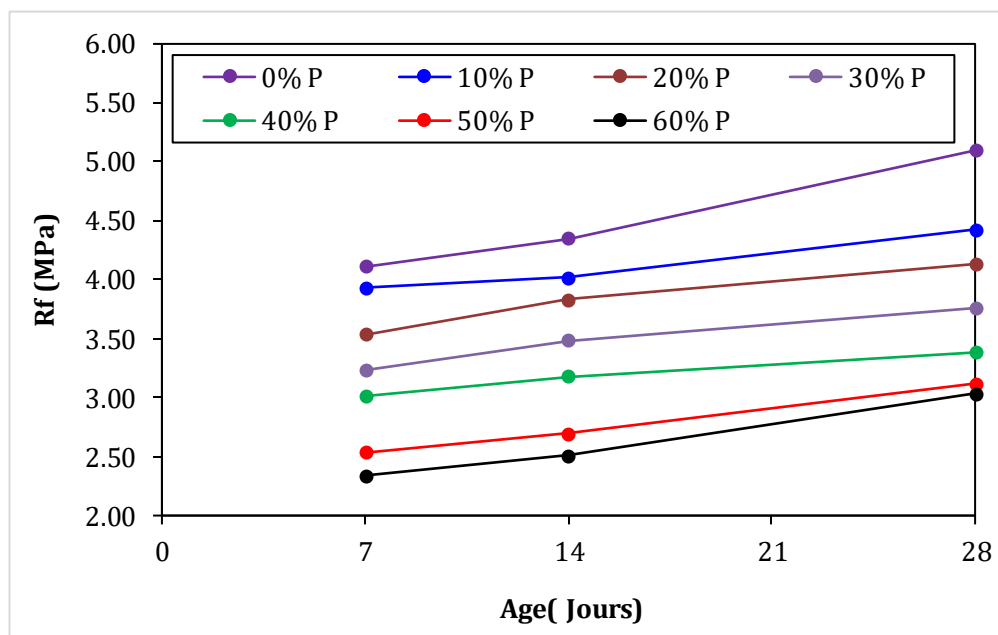
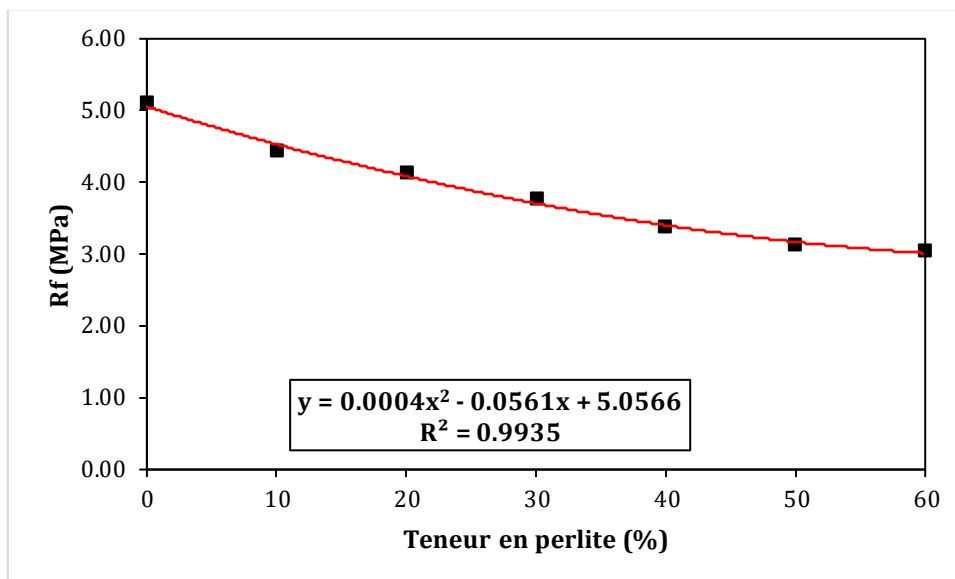


Figure IV.3 : Variation de la résistance à la flexion des MPP, en MPa en fonction de leurs âges.

Les résultats de la variation de résistance à la flexion à 28 jours en fonction de pourcentage des granulats du **MPP** est illustré sur la (**Figure IV.4**).



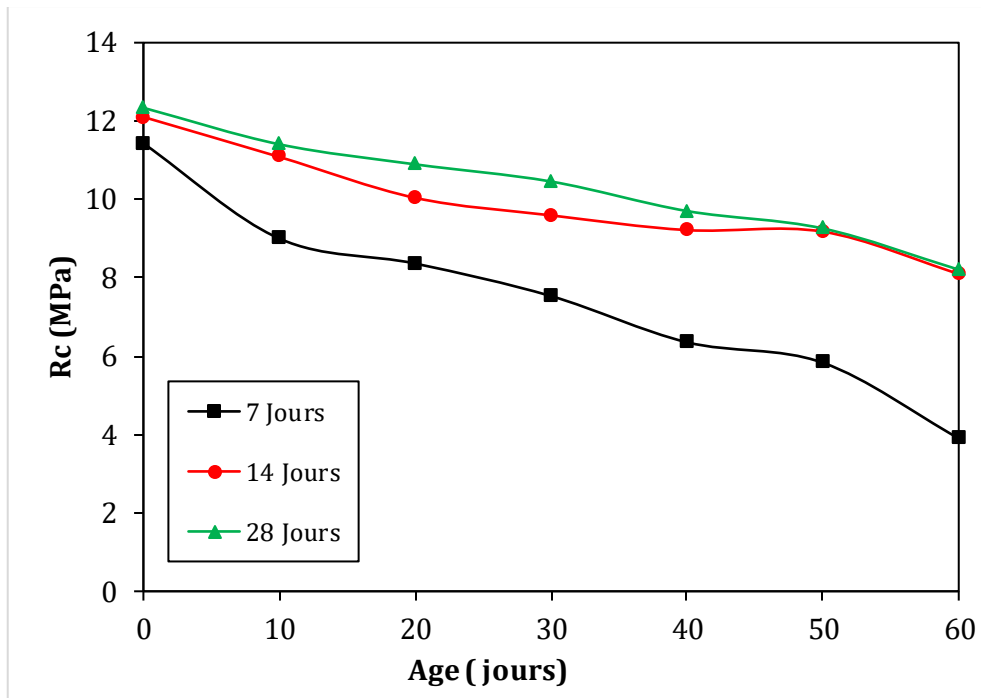
**Figure IV.4 :** Variation de la résistance à la flexion de **MPP** en MPa en fonction de pourcentage des granulats.

**b) Variation de la résistance à la compression**

Les résultats de la variation de résistance à la compression des **MPP** est illustré sur le (**Tableau IV.4**) et la (**Figure IV.5**).

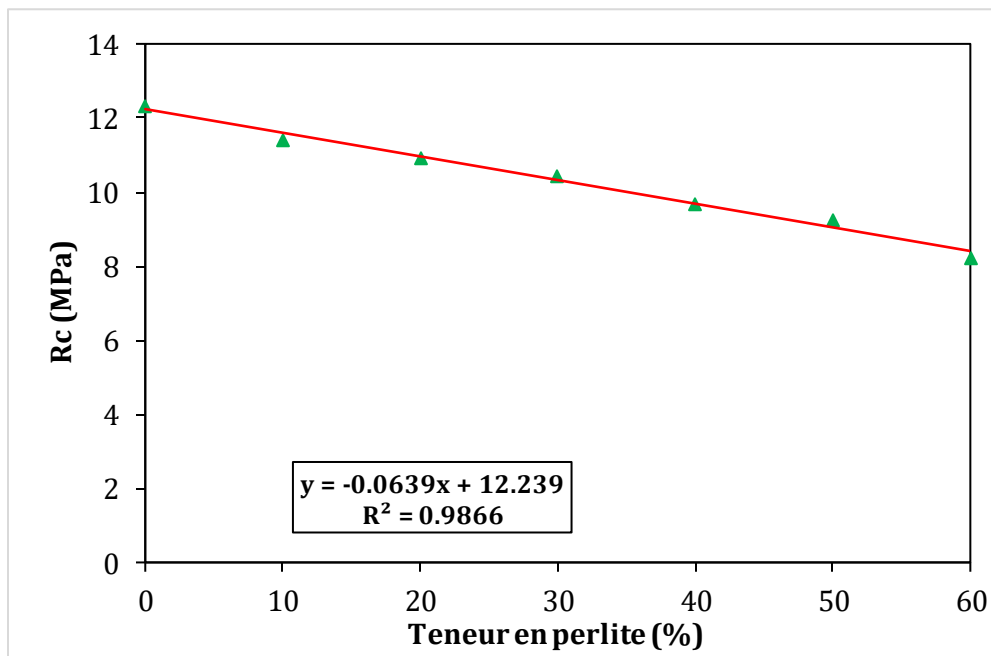
**Tableau IV .4 :** Variation de la résistance à la compression des **MPP** en fonction de l'âge.

Pourcentage de Perlite	Rc 7J (MPa)	Rc 14J (MPa)	Rc 28J (MPa)
0%	11.43	12.10	12.34
10%	9.00	11.09	11.41
20%	8.36	10.04	10.90
30%	7.53	9.59	10.46
40%	6.36	9.22	9.70
50%	5.83	9.18	9.26
60%	3.90	8.10	8.21



**Figure IV.5 :** Variation de la résistance à la compression de MPP en MPa en fonction de leurs âges.

Variation de la résistance à la compression à 28 jours des mortiers de plâtres en fonction de pourcentage des granulats est illustrée sur la (Figure IV.6)



**Figure IV.6 :** Variation de la résistance à la compression des mortiers de plâtre à 28 jours en MPa en fonction de pourcentage des granulats.

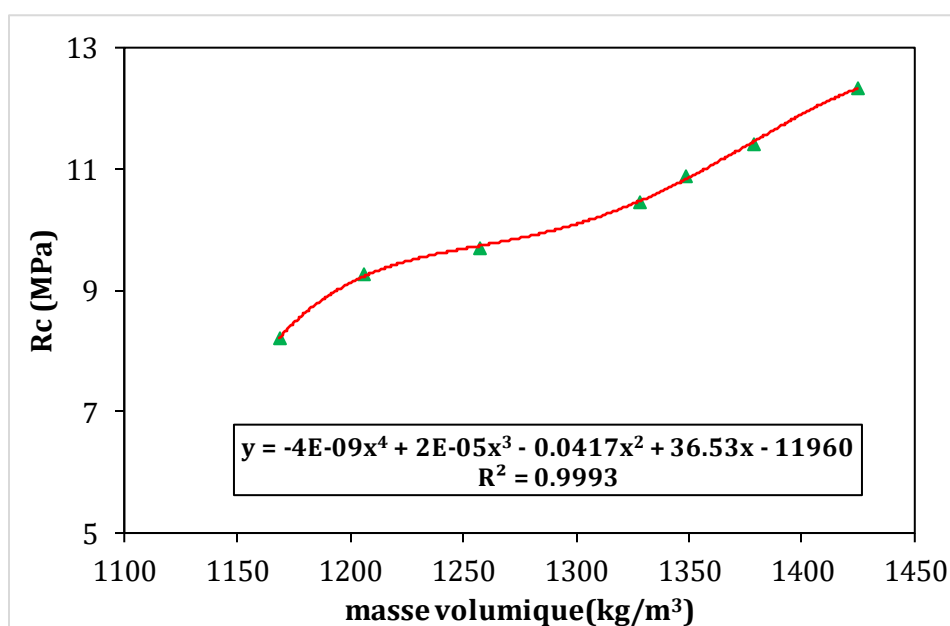
D'après les résultats des essais mécaniques effectués de **MPP** on remarque que ce soit la résistance de compression ou la résistance de flexion, diminue avec l'augmentation de la teneur des perlites.

Les **Figures IV.3, IV.4** montrent une décroissance dans la résistance de flexion en fonction du dosage des granulats des perlites. Le taux de décroissance est de l'ordre de 40.39 % (de **5.10 à 3.04 MPa**) pour le mélange contenant 60% de perlite.

Les **Figures IV.5, IV.6** montrent une décroissance dans la résistance à la compression en fonction du dosage en granulats de perlite. Le taux de décroissance est de l'ordre de 33.47 % (de **12.34 à 8.21 MPa**) pour le mélange contenant 60% de perlite.

Les gammes de masse volumique dans lesquelles varient ces résistances sont **1424.62** à **1168.54 kg/m<sup>3</sup>** pour le **MPP**.

### **IV.3.3. Variation des caractéristiques physiques en fonction de résistance à la compression**



**Figure IV.7 :** Variation de la résistance à la compression de **MPP** En fonction de la masse volumique.

La (**Figure IV.7**) représente variation de la résistance à la compression de **MPP**, en fonction de la masse volumique, Nous pouvons remarquer que la masse volumique s'accroît dans le même sens que la résistance à la compression.

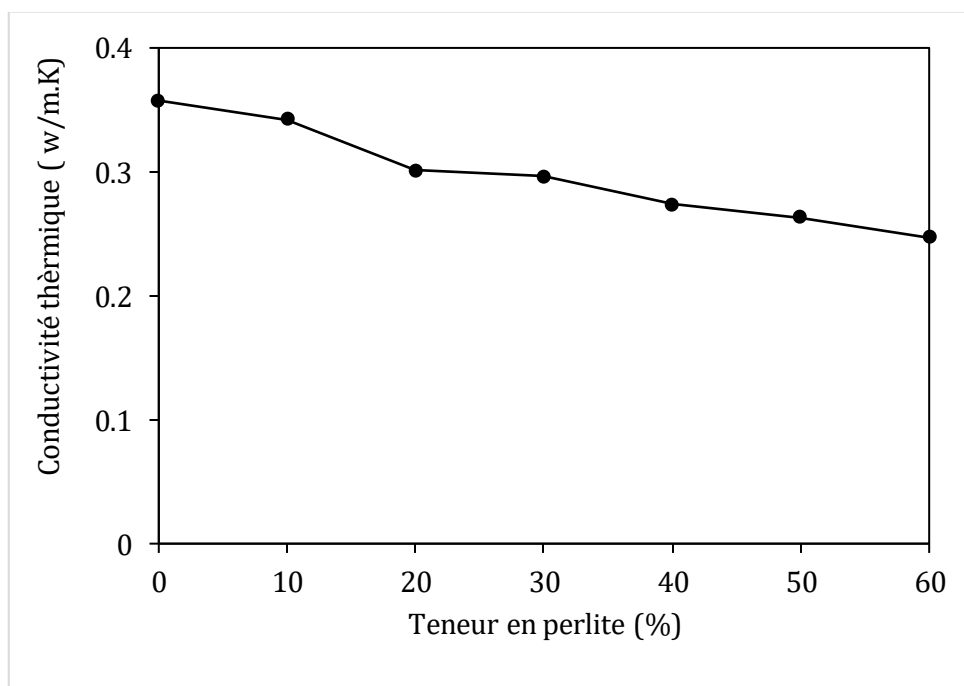
### IV.4 Résultats des caractéristiques thermiques

Le (Tableau IV.5) présente les résultats de la caractéristique thermique mesurée (MPP) pour différents pourcentages de perlite.

**Tableau IV.5 : Résultat de l'essai thermique du MPP**

	<b>Conductivité thermique <math>\lambda</math> (W. m-1. K-1)</b>	<b>Densité <math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>0%</b>	0.3575	1424.622
<b>10%</b>	0.3426	1378.815
<b>20%</b>	0.3011	1348.516
<b>30%</b>	0.2960	1327.930
<b>40%</b>	0.2737	1257.227
<b>50%</b>	0.2629	1206.120
<b>60%</b>	0.2468	1168.542

#### 1. Variation de la conductivité thermique $\lambda$ en fonction de pourcentage des granulats %



**Figure IV.8.** Variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage de granulats de perlite.

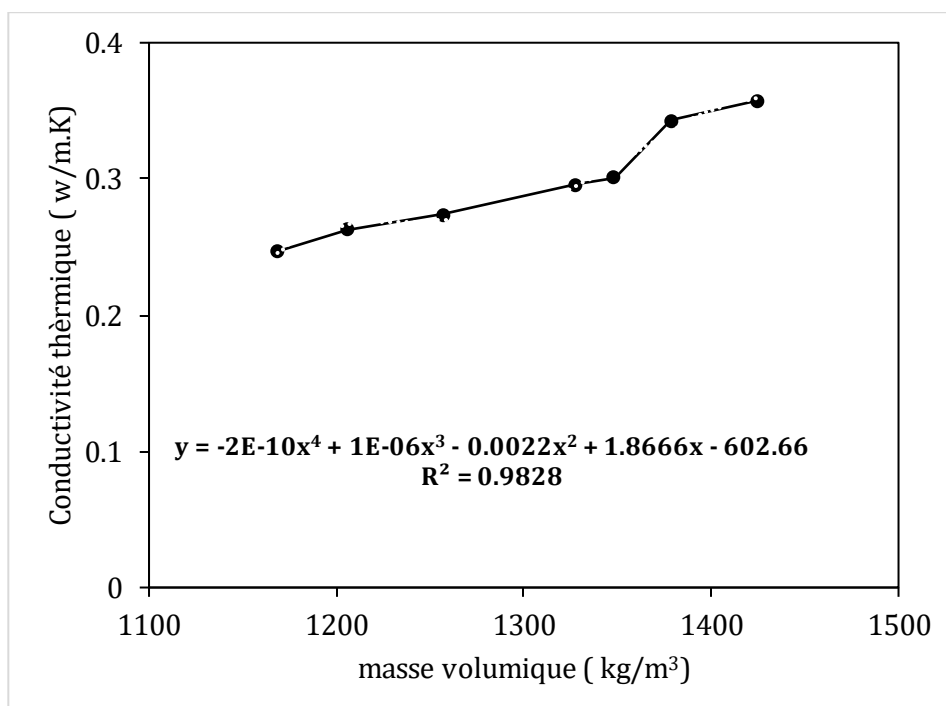
D'après la (Figure IV.8) on constate que la conductivité thermique décroît avec l'augmentation du pourcentage de granulats de perlite et cela pour les compositions élaborées est en accord avec la littérature [29,36].

La conductivité thermique obtenue est de l'ordre de 0.2468 W/ (mk) pour un pourcentage de perlite 60 % et on a enregistré une diminution de 30.96 % par rapport au mortier témoin.

La conductivité thermique a nettement diminué par ajouts granulats de perlite, nos résultats sont en accord avec les études des matrices cimentaire et granulats légers.

## 2. Variation de la conductivité thermique $\lambda$ en fonction de masse volumique

La (Figure IV.9) représenté la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique.



**Figure IV.9 :** Variation de conductivité thermique  $\lambda$  en fonction de densité  $\rho$ .

D'après la (Figure IV.9) la conductivité thermique augmente lorsque la masse volumique augmente, car on diminue la proportion de vides, dans le matériau, en effet l'ajout des granulats de perlite à la matrice conduit à une variation de la densité. Plus la teneur en perlite est importante, plus la masse volumique n'est faible.

On en déduit donc que la contribution de l'augmentation de la porosité du fait de l'ajout de type de granulat joue un rôle important dans l'allégement et dans la diminution de  $\lambda$  du

matériau. Cependant il n'est pas évident que ces valeurs assez faibles des conductivités thermiques leur procurent la qualité d'isolant. Par conséquent une analyse complémentaire des autres paramètres s'avère indispensable.

## **IV.5 Conclusion**

Dans Ce chapitre nous avons présenté et interprète les résultats des essais physico-mécaniques des mortiers de plâtre de perlite. Malgré la chute de résistance envisagée sous l'effet de l'introduction de la perlite, des résultats encourageants sont obtenus sur la performance thermique du matériau élaboré, car la perlite a permis de réduire la conductivité thermique et par conséquent améliorer son aspect isolant.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

## **Conclusion Générale**

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'élaboration d'un matériau alternatif destiné à l'isolation. La procédure envisagée présente des aspects économiques, technique et environnementaux importants car cette proposition réduit l'emploi l'énergie utilisée dans le processus de chauffage/refroidissement dans les bâtiments.

Pour atteindre cet objectif, une étude de faisabilité (mécanique et thermique) a été menée dans laquelle une partie des agrégats minéraux sont remplacés par la perlite. Sur la base des résultats obtenus, les principales conclusions peuvent se résumer comme suit :

- ❖ L'étude bibliographique a montré la possibilité d'utilisation du béton léger dans plusieurs domaines malgré de sa résistance mécanique relativement faible (en comparaison avec le béton conventionnel), il présente d'autres propriétés intéressantes telles que la légèreté, la bonne capacité d'isolation phonique et thermique, ce qui permet de l'employer dans plusieurs applications de Génie Civil.
- ❖ Suite à l'introduction de perlite la densité varie de 1424.62 à 1168.54 kg/m<sup>3</sup>. Ce comportement résulte par le fait que la densité de la perlite est plus faible par rapport aux granulats naturels substitués.
- ❖ La résistance en compression diminue de 12.34 à 8.21 MPa lorsque la perlite est ajoutée avec un taux de 60%. Les résultats obtenus confirment une relation tout à fait évidente entre la densité et la résistance mécanique. Plus le matériau est dense plus sa résistance mécanique est élevée. De même analogie la résistance en flexion diminue de 5.10 à 3.04 MPa.
- ❖ La résistance obtenue reste bien dans les normes exigées pour un béton de structure et isolation et béton d'isolation (classe II, classe III) conformément au classement fonctionnel de la RILEM. D'autre part, la résistance satisfait les exigences du guide ACI 213R-87 (béton léger de faible résistance).
- ❖ La conductivité thermique pour le composite contenant 60% de la perlite est de l'ordre de 0.2468 W/m.k. En comparaison avec le mélange de référence (sans perlite), elle diminue par 30.96 %.

Toutefois, les résultats obtenus sont encourageants puisque la perlite contribue à la réduction de la capacité du transfert de température à travers le matériau. Le composite élaboré satisfait les exigences techniques en vigueur liées à la résistance minimale requise et le potentiel

## *Conclusion Générale*

---

d'isolation pour un matériau destiné à l'isolation thermique dans les bâtiments.

## Référence Bibliographique

- [1] **Chusid, M. (1998)**. The alchemy of a new material (Autoclaved aerated concrete imbues a common building material with a number of architectural virtues). *Architectural Record*, 186(1), 123-126.
- [2] **Carmichael, J. (1986)**. Pumice concrete panels. *Concrete International*, 8(11), 31-32.
- [3] **American Concrete Institute, (1970.)**, Guide pour le béton de structure à base de granulats légers, Traduction du CATED, SDT BTP.
- [4] **ADAM. NEVILLE, (2000)** : propriétés des bétons, traduits par le CRIB, Editions Eyrolles, Paris, .p 470
- [5] **Yang.k (2008)** ; caractérisation mécanique des bétons de granulats légers, expérience et modélisation, thèse de doctorat de l'université de Cergy –pontoise
- [6] **Short, A., & Kinniburgh, W.** *Lightweight Concrete*, 1978.
- [7] **ACI, B. (1999)**. 213R-87, guide for structural lightweight aggregate concrete. American Concrete Institute International
- [8] **RILEM (1970)** : Commission des bétons légers. Terminologie et définition. *Matériaux et construction* N°13.PP 60-69.
- [9] **Bentchikou, M. (2008)**. Contribution à l'étude et à l'élaboration de matériaux composites pour l'isolation thermique : Cas de béton de fibres de papiers recyclés.
- [10] **Mémoire de Génie Civil Biskra**:« Formulation et caractérisation des bétons légers », 2010, réalisé par HERIHIRI Ouided.
- [11] **Livre** : «Granulats et béton légers», 1986, Ecrit par M.Arnauld et M.Virlogeux, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.
- [12] **Mémoire de Génie Civil Ain-Temouchent** : Etude de l'influence des granulats pouzzolaniques sur les caractéristiques mécaniques des bétons légers, 2017-2018, réalisé par BENZINA Ahlem et HACHEM Nafissa.
- [13] **Amar Benazzouk, Omar Douzane**, « Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment »
- [14] **BEDERINA M, (2007)**. Caractéristiques mécaniques et physiques des bétons de sable à base de déchets de bois -Thèse de doctorat ENP Alger.
- [15] **CEREZO, V. (2005)**. Propriétés mécaniques, thermiques et acoustique d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique. 2005. 243 f.NSA Lyon.
- [16] AAC EURO-INTERNATIONAL COMMITTEE FOR CONCRETE 1978. Autoclaved

aerated concrete: CEB manual of design and technology. Construction Press.

[17] **STEOPOE A. (1970)** : "La durabilité du béton", Eyrolles, Paris.

[18] **Lafarge .www. Lafarge.fr**

[19] **JEAN. FESTA.**" Le plâtre et ses applications traditionnelles et modernes". Edition Eyrolles, 1996.

[20] **Papadakis M, (1970)** : Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre, édition Dunod

[21] **Costes.J (1981)** : Le plâtre et ses applications traditionnelles et modernes". Edition Eyrolle.

[22] **Djoudi .A (2001)** caractérisation structurale et rhéologique du béton de plâtre et leurs renforcements par les fibres de palmiers dattier, mémoire de Magister de l'université de Laghouat.

[23] **Hamouda JAFFEL.** Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du plâtre. PhD thèses, Ecole Polytechnique, 2006.

[24] **www.ruedeslumieres.morkiltu.org**

[25] **C.N.E.R.I.B.,** Recommandations pour la construction en plâtre. Ministère de l'habitat, Centre national d'études et de recherches intégrées au bâtiment, 1993.

[26] **Abdelmoumen Chaker A.,** Caractérisation thermique et mécanique de matériaux de construction du sud Algérien. Thèse de doctorat. Université de Constantine. 1999.

[27] **www.jeanduppe rex.ch/site/gypse.html**

[28] **BENNACER.S, CHEBABHLM, (2017)** Elaboration d'un béton de plâtre allégé par des déchets industriels en vue de leur utilisation dans l'isolation des bâtiments, M'sila .Available at:<http://dspace.univmsila.dz:8080/xmlui/handle/123456789/2342>

[29] **Zitani.I, (2011)** caractérisation physico-mécanique et thermique d'un béton de plâtre à base de granulats de lièges : mémoire d'ingénieur LUAT DE Laghouat.

[30] **SOLTANE.M.L.,** "Contrôle technique d'un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra", C.N.E.R.I.B, MATLOC 91, PP 101-104, 1991.

[31] **SONEBI.M.,** " Opération expérimentale d'un logement construit en mortier plâtre banche à Rabat", centre expérimentale du bâtiment, 1989.

[32] **ZUBER.F.,** "Pour une construction en plâtre", communication, Lafarge, 1989.

[33] **ALDEBERT.R.,** "Rénovation du grand Louvre à la gloire du plâtre", Le moniteur des travaux publics et du bâtiment, N°41615, PP 56-68, 1992.

[34] **LOUKRIZ, S. (2021)** Caractérisation d'un composite préparé à base de plâtre, M'sila. Available at : <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/handle/123456789/26339>.

- [35] **Meddah, A., Laoubi, H. and Bederina, M. (2020)** ‘Effectiveness of using rubber waste as aggregates for improving thermal performance of plaster-based composites’, *Innovative Infrastructure Solutions*, pp. 1–9. Doi: 10.1007/s41062-020-00311-0.
- [36] **HABIBA, B. O. (2012)**. Performance d’un composite sable de dune-ciment et granulats de polystyrène expansé (Doctoral dissertation, Université Amar Telidji de Laghouat).

# ANNEXES

➤ Résultats De L'analyse Granulométrique Du Sable Préparé (Oued souf).

Tableau III.1 Analyse Granulométrique Du Sable

Dimensions des mailles carres (mm)	Refus partiels Ri en g	Refus cumulés Rn en g	Refus cumulés en %(réf. M1)	Tamisas cumulées %
5	1	1	0.05	99.95
2.5	43	44	2.2	97.8
1.25	178	222	11.1	88.9
0.63	559	781	39.05	60.95
0.315	903	1684	84.2	15.8
0.16	255	1939	96.95	3.05
0.08	53	1992	99.6	0.4
Fond	8	2000	100	0

➤ Formulation Des Mortiers De Plâtre

Les éprouvettes sont de forme prismatique selon les diamètres maximaux des granulats, on travaille avec :

**MPP : Mortier Plâtre Perlite**

40×40×160 mm<sup>3</sup>.

Les résultats de la formulation des mortiers de plâtre légers à base des granulats de perlite est illustré sur les tableaux ci-dessous :

Tableau IV.1 : Compositions pondérales de MPP.

Pourcentage de perlite	Volume de (cm <sup>3</sup> )	Masse de perlite (g)	Masse de Sable (g)	Masse de plâtre (g)	Masse de l'eau (g)
0%	400	256	1000	2000	1200
10%	40	4	900	2000	1200
20%	80	8	800	2000	1200
30%	120	12	700	2000	1200
40%	160	16	600	2000	1200
50%	200	20	500	2000	1200
60%	240	24	400	2000	1200

➤ Résultats Des Caractéristiques Physiques

Tableau IV.2 : Variation de la masse volumique de MPP

Pourcentage de Perlite	01 jour (kg/m <sup>3</sup> )	7 jours (kg/m <sup>3</sup> )	14 jours (kg/m <sup>3</sup> )	28jours (kg/m <sup>3</sup> )
0%	1744.61	1509.04	1424.80	1424.62
10%	1686.45	1503.01	1379.00	1378.82
20%	1670.34	1415.26	1348.70	1348.52
30%	1638.03	1360.47	1328.11	1327.93
40%	1580.85	1336.43	1265.76	1257.23
50%	1525.05	1247.49	1206.25	1206.12
60%	1482.11	1177.54	1171.08	1168.54

➤ Résultats Des Caractéristiques Mécaniques

Tableau IV .3 : Variation de la résistance à la flexion des MPP en fonction de l'âge.

Pourcentage de Perlite	Rf 7J (MPa)	Rf 14J (MPa)	Rf 28J (MPa)
0%	4.11	4.35	5.10
10%	3.93	4.02	4.43
20%	3.53	3.83	4.13
30%	3.23	3.48	3.76
40%	3.01	3.18	3.38
50%	2.53	2.70	3.12
60%	2.34	2.51	3.04

Tableau IV .4 : Variation de la résistance à la compression des MPP en fonction de l'âge.

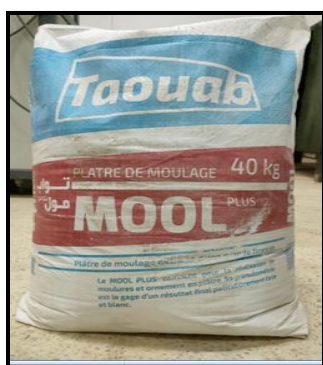
Pourcentage de Perlite	Rc 7J (MPa)	Rc 14J (MPa)	Rc 28J (MPa)
0%	11.43	12.10	12.34
10%	9.00	11.09	11.41
20%	8.36	10.04	10.90
30%	7.53	9.59	10.46
40%	6.36	9.22	9.70
50%	5.83	9.18	9.26
60%	3.90	8.10	8.21

➤ Résultats Des Caractéristiques Thermiques

Tableau IV.5 : Résultat de l'essai thermique du MPP

	Conductivité thermique $\lambda$ (W. m-1. K-1)	Densité $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
0%	0.3575	1424.622
10%	0.3426	1378.815
20%	0.3011	1348.516
30%	0.2960	1327.930
40%	0.2737	1257.227
50%	0.2629	1206.120
60%	0.2468	1168.542

➤ Matériaux Utilisés



- Plâtre-



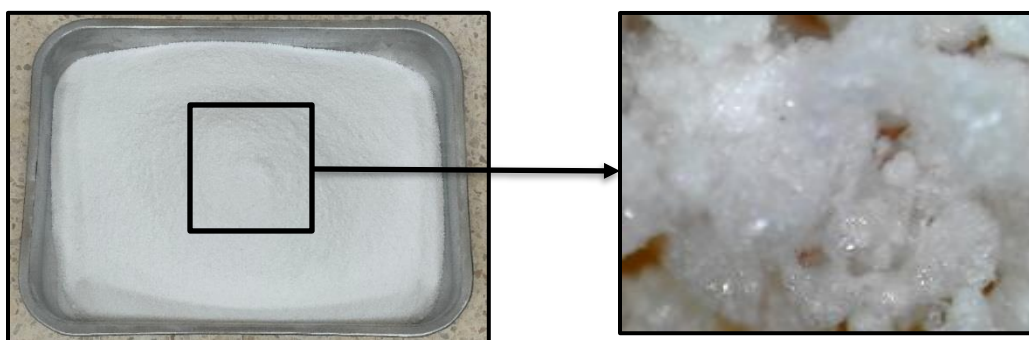
- Sable -



- Perlite -



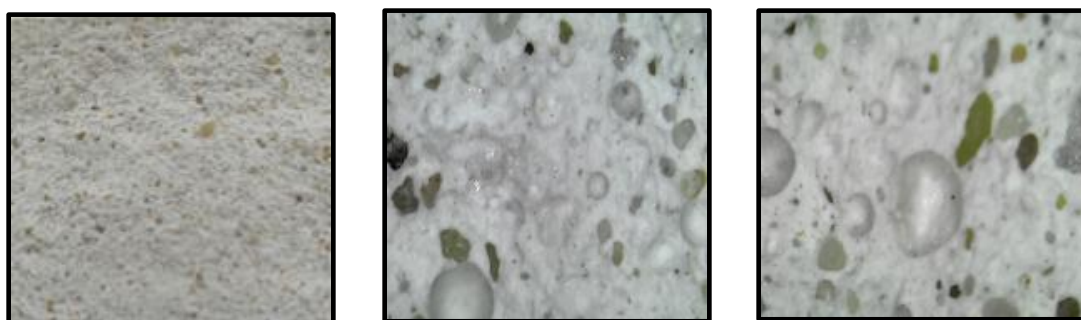
-Malaxeur Utilisés-



**Figure :** la perlite utilisée.



**Figure :** l'essai de compression



**Figure :** distribution des granulats de perlite dans le mélange.