

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENNE

FACULTE DE GENIE CIVIL

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

EN GENIE CIVIL

Spécialité : Géotechnique

Par : M<sup>lle</sup> SAIDA DORBANI

### Thème

# ***CONTRIBUTION À L'AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES MECANICO- THERMIQUES D'UN MORTIER À BASE DE PLATRE***

Soutenu publiquement le 13 / 07/ 2004 devant le jury composé de :

Mr A. AHMED BENYAHIA	Maître de conférence U.S.T.H.B	Président
M <sup>me</sup> F. KHARCHI	Professeur U.S.T.H.B	Directrice de thèse
M <sup>lle</sup> F. SALEM	Chargée de recherche U.S.T.H.B	Codirecteur de thèse
Mr A.BRAHMA	Professeur Université de Blida	Examineur
Mr Y.KEHILA	Maître de conférence EPAU	Examineur
Mr B. KHOUDJA	Chargé de recherche U.ST.H.B	Examineur

## ***REMERCIEMENT***

En Premier Lieu, je remercie le Bon Dieu tout puissant de m'avoir aidé à accomplir ce modeste travail.

Pour sa compréhension, son aide et orientations sans équivalent, que ma directrice de thèse, Madame **F.KHARCHI**, Professeur à la F.G.C/ U.S.T.H.B, trouve toutes les expressions de respect et de gratitude.

Pour ses directives rigoureuses et orientations, Mlle **F. SALEM** Chargée de cours F.G.C/U.S.T.H.B, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je remercie vivement Monsieur **A. AHMED BENYAHIA** Maître de conférence à la Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés / U.S.T.H.B qui me fait le grand honneur de présider le jury de cette thèse

Je remercie respectueusement Monsieur **A.BRAHMA**, Professeur à l'Université de Blida, Monsieur **KEHILA**, maître de conférence à l' E.P.A.U, Monsieur **B.Y. KHOUDJA**, chargé de cours à la F.PH /UST.H.B qui ont bien voulu faire partie du jury et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail.

Je remercie également toute l'équipe enseignante de la faculté de génie civil, à sa tête Monsieur **F.KAOUA**, Doyen de la faculté, qui n'a pas hésité à me faciliter toute procédure administrative.

Mes vifs remerciements vont à Monsieur **M.BADAOUI** Maître assistant à la F.G.C / U.S.T.H.B, pour ses conseils et son soutien moral.

Mes remerciements s'adressent à toute l'équipe du CNERIB à leur tête Monsieur **SOUCI**, chef de département Structure, Monsieur **EL HASSAR** chargé de recherche, ainsi que Monsieur **M.MEZIANE** technicien de laboratoire « Instrumentation ».

Je remercie aussi tous les techniciens de laboratoires et agents de la faculté de Génie Civil pour leur aide.

## **RESUME**

Le but du présent travail est la valorisation des matériaux locaux dans la construction. A cet effet, nous avons étudié un mélange composé de deux matériaux localement abondants, qui sont : le plâtre et le sable de dune.

A travers notre analyse expérimentale, nous avons constaté qu'en essayant d'améliorer par le compactage, les performances mécaniques des mortiers (afin de les employer comme éléments porteurs) nous diminuons leurs isolations thermiques. Pour cela nous avons cherché un optimum entre une bonne résistance mécanique et une isolation thermique acceptable.

Cet optimum est atteint pour un mortier composé de 33% de sable et de 67% de plâtre (pourcentage en poids).

Ce mortier compacté à l'état frais, voit ses caractéristiques mécaniques, spécialement sa résistance à la compression croître de plus de 62% (par rapport au même mortier coulé simplement), lorsque le compactage dure 1mn, et de plus de 65% lorsqu'il dure 5mn, simultanément malgré que ses performances thermiques ont baissé, il reste celui qui a enregistré les meilleurs résultats thermiques, conférant une isolation acceptable comparé aux deux matériaux les plus utilisés dans la construction : la brique et le béton.

En adoptant un mode de construction en double cloison, séparé par une lame d'air de 0.05m, il confère une résistance thermique appréciable.

C'est pourquoi nous proposons le mortier en question en tant que composant de bloc porteurs destinés à la construction de maisons (R+2) ou plus à condition que l'ouvrage ainsi conçu soit implanté dans une région à faible pluviométrie et humidité, afin de ne pas nuire à la durabilité du matériau.

### **Mots clefs**

Matériaux locaux, mortier, plâtre, sable de dune, compactage, performances mécanique, élément porteur, performances thermiques.

## SUMMARY

The object of this work is the valorization of local materials in the construction industry. With this aim in view, we studied a mixture made up of two materials locally abundant that are: the plaster and the sand of dune.

Throughout our experimental analysis, we noted that while trying to improve by the compaction, the mechanical performances of the mortars (in order to employ them as carrying elements) we decrease their thermal insulation.

For that we sought an optimum between a good mechanical resistance and an acceptable thermal insulation.

This optimum is reached for a mortar made up of 33% of sand and 67% of plaster (percentage in weight).

This mortar compacted in a fresh state, sees its mechanical characteristics, especially its compressive strength increasing of more than 62% (compared to the same simply run mortar) when the compaction lasts 1mn, and of more than 65% when it lasts 5mn, simultaneously although its thermal performances dropped, it remains the one which recorded the best thermal results, conferring an acceptable insulation compared with the two most used materials in the construction industry: the brick and the concrete.

By adopting a method of construction in double partition, separated by an air blade of 0.05m, it confers an appreciable thermal resistance. That is why we propose the mortar in question as a component of block carriers intended for the construction of houses (R+2) or more, on condition that the work thus conceived be established in an area with weak pluviometry and moisture, in order not to harm the durability of basic material.

### **Key words**

Local materials, mortar, plaster, sand of dune, compaction, mechanical performances, thermal performances, carrying element.

## ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو تقييم المواد المحلية في مجال البناء. من أجل هذا الغرض، قمنا بدراسة خليط متكون من مادتين جد متوفرتين محليا ألا وهما: الجبس و رمال الصحراء. من خلال تحليلنا التجريبي، توضح لنا أنه بمحاولتنا تحسين المقاومة الميكانيكية عبر الرص لعدة خلائط (قصد استعماله كعنصر حمولة) أنقصنا عزلهم الحراري. من أجل هذا بحثنا عن حد أقصى يجمع مقامة ميكانيكية جيدة بعزل حراري مقبول. تحصلنا على هذا الحد الأقصى بالنسبة للملاط المتكون من 33 % رمل و 67 % جبس. برص هذا الملاط وهو طري، زادت مقاومته الميكانيكية، خاصة مقاومته للضغط، إذ ارتفعت بما يفوق 62 % (مقارنة مع نفس الملاط مصبوب في القالب)، عندما يدوم الرص 1 دقيقة، و بأكثر من 65 % عندما يمتد إلى 5 دقائق، تزامنا مع هذا و على الرغم من التراجع في العزل الحراري، إلا أن هذا الخليط يبقى الخليط الذي أعطى أحسن النتائج الحرارية، ضامنا بذلك عزل حراري مقبول مقارنة مع المادتين الأكثر شيوعا في مجال البناء ألا وهما: الآجرة و الخرسانة.

بتأييدنا طريقة البناء لجدارين مفصولين ب 5سم من الهواء، يضمن لنا مقاومة حرارية مقبولة. لذا فإننا نقترح استعمال هذا الخليط بعد رصه و هو طري كعنصر حامل موجه إلى بناء مساكن ذات علو (طبقة أرضية + 2) أو أكثر، شريطة أن يقام هذا المنشأ في إقليم (منطقة) ضعيف الأمطار والرطوبة قصد عدم الإساءة لديمومة المواد الأساسية.

### الكلمات الأساسية:

المواد المحلية، الملاط، الجبس، رمال الصحراء، الرص، المقاومة الميكانيكية، المقاومة الحرارية، عنصر حمولة.

# NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
CaSO <sub>4</sub>	Sulfate de calcium, anhydre.	
CaSO <sub>4</sub> , 1/2	Sulfate de calcium semihydraté, ou	
H <sub>2</sub> O	hémihydraté	
CaSO <sub>4</sub> ,2	Sulfate de calcium double hydraté, ou	
H <sub>2</sub> O	bihydraté	
B.T.S	Béton de Terre Stabilisée	
E/P	Tau de gâchage	%
R <sub>f</sub>	Résistance à la flexion	MPa
R <sub>c</sub>	Résistance à la compression	MPa
ω	Teneur en eau	%
H.R	Humidité relative	%
V	Volume initial	Cm <sup>3</sup>
ΔV	Variation de volume	Cm <sup>3</sup>
N.F	Norme Française	
λ	Conductivité thermique	W/m°C
C.E.B.T.P	Centre des Etudes de Bâtiment et de Travaux Publics	
L.C..P.C	Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées	
P +S	Plâtre + Sale	
P + T	Plâtre + Tuf	
P+S+T	Plâtre + Sale + Tuf	
K	Coefficient de déperdition surfacique	W/m <sup>2</sup> °C
k	Coefficient de déperdition linéique	W/m°C
D.T.R	Document Technique Réglementaire	
ρ	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
Φ	Flux de chaleur à travers une surface	W/s
Q	Quantité de chaleur	W
φ	Densité de flux de chaleur	W/sm <sup>2</sup>
$\vec{n}$	Normale à la surface	
S	Surface	m <sup>2</sup>
C	Chaleur massique	J/kg°C
χ = ρ.C	Chaleur volumique	J/m <sup>3</sup> °C
P	Puissance générée par unité de volume	W
dv = dx dy dz	Elément de volume	m <sup>3</sup>
Φ <sub>1</sub>	Puissance échangée à travers la surface « S »	W
Φ <sub>2</sub>	Puissance générée par les sources internes	W

$\partial t$	Variation de temps	s
$\Delta$	Laplacien	
$\Delta T$	Ecart de la température	°C
a	Diffusivité thermique	W/m <sup>2</sup>
$R_{th}$	Résistance thermique	m <sup>2</sup> °C/W
$R_e$	Résistance électrique	ohm
$k_t$	Conductance thermique	W/m <sup>2</sup> °C
e	Epaisseur	m
C.T metre	Conductivité thermique linéaire	
$M_1$	Mortier de plâtre pur	
$M_2$	Mortier composé de 67% de plâtre + 33% sable	
$M_3$	Mortier composé de 50% de plâtre + 50% de sable	
$M_4$	Mortier composé de 33% de plâtre + 67% de sable	
$m_0$	Masse de l'éprouvette juste après démoulage	Kg
$m_s$	Masse de l'éprouvette après séchage jusqu'à masse constante	Kg
$m_e$	Masse de la vapeur d'eau	Kg
$\left(\frac{E}{P}\right)_c$	Taux de gâchage de cristallisation	%
$m_p$	Masse du plâtre utilisé	Kg
I	Inertie	m <sup>4</sup>
y	Ordonnée du point au quel nous voulons déterminer la contrainte	m
M	Moment appliqué à l'écrasement de l'éprouvette par flexion	MN.m
F	Charge à la rupture par compression	MN
$C_c$	Coefficient de capillarité	Kg/m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
$m_{sat}$	Masse de l'éprouvette saturée	Kg
$t_s$	Temps nécessaire pour la saturation	s
$V_s$	Vitesse de saturation	Kg/s
q	Flux de chaleur à travers l'échantillon	W/s
$q_0$	Puissance de chauffage	W/s
K	Coefficient global de déperdition thermique	

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

## ***Chapitre I : GENERALITES SUR LE PLÂTRE***

I. INTRODUCTION .....	3
I. HISTORIQUE .....	3
II. GENERALITES ET CARACTERISTIQUES DES PLÂTRES .....	3
III. HISTORIQUE DES RECHERCHES SUR LE PLATRE .....	3
III.1 Fabrication de plâtre .....	5
III.2 Caractéristiques structurelles du plâtre "PUR" .....	6
III.3 Variation du volume lors de la prise .....	8
III.4 Prise et durcissement du plâtre .....	11
III.5 Les modificateurs de prise .....	11
III.6 PROPRIETES DU PLÂTRE .....	14
III.6.1 Résistance au feu .....	14
III.6.2 Régulation hygrométrique .....	14
III.6.3 Isolation acoustique .....	16
III.6.4 Isolation thermique .....	16
III.6.5 Facilité d'emploi .....	17
IV. PROTECTION ET IMPERMEABILISATION DU PLATRE .....	17
IV. 1 Imperméabilisation de la surface du plâtre .....	17
IV. 2 Imperméabilisation du plâtre par la résine « plaspreg » .....	19
IV.3 Fabrication du « plaspreg » .....	19
IV.4 Avantage du produit « PLASPERG » .....	20
IV.5 Plaspreg armé .....	21

## ***Chapitre II : MORTIERS DE PLÂTRE***

I. INTRODUCTION .....	22
II. LES MORTIERS DE PLÂTRE .....	22
II.1 MORTIER .....	22
II.2 Propriétés des mortiers .....	22
II.3 Le plâtre .....	22
II.4 Le sable .....	22
II.4.1 Définition .....	22
II.4.2 Propriétés physiques et chimiques .....	23
III TRAVAUX PUBLIES SUR LES MORTIERS DE PLATRE .....	24
III. 1 Mise en œuvre par simple coulage .....	24
III.2 Mise en oeuvre par compactage .....	26
III.3 Mise en œuvre par compactage statique .....	27
III.4 Mise en œuvre par compactage dynamique .....	28
III.4.1 Définition .....	28
III.4 Mise en œuvre par expansion contrariée .....	29
III.5 Mise en œuvre par compactage statique .....	30

## **Chapitre III : ETUDE THERMIQUE**

I. INTRODUCTION .....	33
II. LES DEPERDITIONS DE LA CHALEUR A TRAVERS L'ENVELOPPE DU BATIMENT .....	33
II. LES MATERIAUX ISOLANTS .....	35
III. CARACTERISATION THERMIQUE DES MORTIERS DE PLÂTRE .....	36
III.1 Caractérisation thermique du plâtre .....	36
III.1.1 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la teneur en eau ( $\omega\%$ ) .....	36
III.1.2 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la température .....	37
III.1.3 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la masse volumique .....	38
III.1.4 Conductivité thermique du plâtre en fonction du pourcentage d'ajout (sciures de bois) .....	39
III.2 Caractérisation thermique du sable .....	40
III.2.1 Conductivité thermique du sable en fonction de la masse volumique .....	40
III.2.2 Conductivité thermique du sable en fonction de la teneur en eau .....	40
IV. MISE EN EQUATION DU TRANSFERT DE LA CHALEUR DANS UNE PAROI .....	41
IV.1 Generalites sur la chaleur .....	41
IV.2 Loi fondamentale de transfert de chaleur par conduction .....	43
IV.2.1.1 Loi de FOURIER .....	44
IV.2.1.2 Conductivité thermique .....	45
IV. 3 Equations générale de la chaleur .....	45
IV.4 Mur simple à face isotherme .....	49
IV.5 Murs accolés en série .....	52
V LES DIVERSES METHODES DE MESURES DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE .....	53
V.1 La méthode dite de la plaque gardée .....	54
V.2 La méthode dite du flux radial .....	54
V.3 La méthode de la boîte chaude gardée .....	54
V.4 La méthode dite des boîtes (en régime permanent) .....	54
V.5 Le CT METRE .....	54

## **Chapitre IV : PARTIE EXPERIMENTALE**

INTRODUCTION .....	56
I. MATERIAUX UTILISES	
I.1 Le plâtre .....	56
I.2 Le sable .....	57
I.3. L'eau de gâchage .....	58
I. 3.1 Taux de gâchage .....	58
II. PREPARATION DES EPROUVETTES .....	59
ORGANIGRAMMES DU PROGRAMME EXPERIMENTALE .....	60
II.1.1Eprouvettes coulées simplement .....	63
II.1.2 Eprouvettes compactées .....	64
a. Nouveau taux de gâchage .....	64
b. Le compactage .....	65

c. Préparation des éprouvettes .....	67
d. Conservation des éprouvettes .....	67
II.2 ESSAIS MECANIQUES .....	67
II.2.1 Essai de rupture par flexion .....	68
II.2.2 Essai de rupture par compression .....	68
III. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES .....	69
III.1 mesure de l'absorption d'eau par capillarité .....	69
III.2 Mesure de la reprise d'eau par immersion totale .....	70
III.3 Calcul de la vitesse de saturation .....	71
III.4 Calcul de la vitesse d'évaporation .....	71
IV. ETUDE THERMIQUE .....	72
IV.1 La méthode des boites .....	72
IV.1.1 Appareillage .....	72
IV.1.2 Fonctionnement .....	73
IV.2 CT metre .....	74
IV.2.1 Appareillage .....	74
IV.2.2 Présentation .....	74
IV.2.3 Fonctionnement .....	77
IV.3 Dimensions des éprouvettes .....	79

## **Chapitre V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

INTRODUCTION .....	80
I. RESISTANCE MECANIQUE	
I.1 RESISTANCE MECANIQUE SECHE.....	80
I.1.1 Mortiers coulés simplement .....	80
I.1.2 Mortiers compactés .....	81
I.1.2.1 Evolution de la résistance en fonction de l'âge .....	82
I.2 RESISTANCE HUMIDE .....	85
II. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES .....	88
II.1 pourcentage de reprise d'eau des mortiers de plâtre .....	88
II.2 Coefficient de capillarité des mortiers de plâtre .....	89
II.3 Vitesse de saturation des mortiers de plâtre .....	89
II.4 Evaporation d'eau .....	90
III. ETUDE THERMIQUE .....	91
III.1 Comparaison des résultats mesurés avec la boîte et avec le CT mètre .....	92
III.2 CONDUCTIVITE THERMIQUE .....	93
III.2.1 Evolution de la conductivité thermique en fonction du dosage en sable .....	93
III.2.2 Evolution de la conductivité thermique en fonction du temps de compactage à différents dosages en sable .....	95
III.2.3 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique ....	96
III.3 RESISTANCE THERMIQUE .....	98
III.3.1 Evolution de la résistance thermique en fonction du dosage en sable .....	98
III.3.2 Evolution de la résistance thermique en fonction du temps de compactage et du dosage en sable .....	99

## **Chapitre VI : EXPLOITATION DES RESULTATS**

I.INTRODUCTION .....	101
II MISE EN EQUATION DU PROBLEME THERMIQUE D'UN MUR SIMPLE .....	101
II.1 Résolution du problème d'un mur simple.....	102
II.1.1 Mur à face isotherme.....	102
II.1.2 Flux thermique .....	102
II.1.3 Résistance thermique .....	103
II.2 Mur simple en contact avec deux milieux fluides (Air) .....	103
II.2.1 Résistance thermique .....	103
III. ETUDE COMPARATIVE DE TROIS TYPES DE MURS .....	104
III.1 Comparaison des trois murs à épaisseur égale .....	105
III.2 Détermination de l'épaisseur équivalente à une résistance donnée .....	107
III.3. Différentes dispositions constructives du mur en mortier en plâtre .....	107
Conclusion .....	110
<b>CONCLUSION GENARALE .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>114</b>
<b>ANNEXE : GRANULOMETRIE LAZER .....</b>	<b>118</b>

## TABLEAU DES TABLEAUX

Numéro du tableau	Titre	Page
<b>Tableau I.1</b>	<i>Coefficient de conductivité thermique <math>\lambda</math> de différents matériaux de construction</i>	17
<b>Tableau I.2</b>	<i>Capacité d'absorption d'eau des plâtres traités</i>	18
<b>Tableau I.3</b>	<i>Propriétés physiques et mécaniques du « Plastperg » et du plâtre ordinaire</i>	20
<b>Tableau II.1</b>	<i>Fuseau granulométrique des sables d'enduits projeté à la machine</i>	25
<b>Tableau II.2</b>	<i>Fuseau granulométrique des sables d'enduits projeté à la main</i>	25
<b>Tableau II.3</b>	<i>Caractéristiques mécaniques des différentes compositions du mortier de sable de dune</i>	26
<b>Tableau II.4</b>	<i>Caractéristiques des mortiers de plâtre + sable, Coulés simplement, compactés</i>	27
<b>Tableau II.5</b>	<i>Caractéristiques mécaniques du mortier de plâtre secs et humides</i>	29
<b>Tableau II.6</b>	<i>Caractéristiques mécaniques du mortier de plâtre secs et humides</i>	30
<b>Tableau II.7</b>	<i>Composition des différents mortiers</i>	30
<b>Tableau II.8</b>	<i>Caractéristiques mécaniques des différents mortiers coulés simplement</i>	31
<b>Tableau II.9</b>	<i>Caractéristiques mécaniques sèche des différents mortiers compactés</i>	31
<b>Tableau II.10</b>	<i>Caractéristiques mécaniques à l'état humide des différents mortiers compactés.</i>	32
<b>Tableau III.1</b>	<i>Conductivité thermique pour différentes masses volumiques de plâtre</i>	39
<b>Tableau III.2</b>	<i>Caractéristiques des éprouvettes de mortiers de plâtre + sciures de bois</i>	39
<b>Tableau III.3</b>	<i>Conductivité thermique du sable selon sa nature</i>	40
<b>Tableau IV.1</b>	<i>Analyse chimique du plâtre</i>	56
<b>Tableau IV.2</b>	<i>Analyse chimique du sable de dunes utilisé</i>	57
<b>Tableau IV.3</b>	<i>Taux de gâchage et étalement équivalent des différents mortiers</i>	59
<b>Tableau IV.4</b>	<i>Début et fin de prise des différents mortiers</i>	59
<b>Tableau IV.5</b>	<i>Compositions et taux de gâchage des mortiers coulés simplement.</i>	59
<b>Tableau V.1</b>	<i>Tableau récapitulatif des conductivités thermiques mesurées pour différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage.</i>	92
<b>Tableau V.2</b>	<i>Conductivités thermiques et masse volumique du plâtre mesurées avec la boîte et le CT metre</i>	93
<b>Tableau N° VI.1</b>	<i>Calcul de la résistance thermique des différents murs, du flux thermiques et des températures sur le mur (en hiver)</i>	105
<b>Tableau N° VI.2</b>	<i>Calcul de la résistance thermique des différents murs, du flux thermiques et des températures sur le mur (en été)</i>	106
<b>Tableau N° VI.2</b>	<i>Calcul de l'épaisseur équivalente à une résistance donnée.</i>	107
<b>Tableau N° VI.2</b>	<i>Comparaison des performances thermiques de différents murs</i>	109

## TABLEAU DES FIGURES

N° de la figure	Titre	Page
<b>Figure I.1a</b> <b>Figure I.1b</b>	<i>Lagunes sursaturées</i> <i>Evaporation d'eau et dépôts de gypse</i>	<b>04</b>
<b>Figure I.2</b>	<i>Influence du taux de gâchage sur la densité et les performances mécaniques</i>	<b>07</b>
<b>Figure I.3</b>	<i>Evolution de la résistance à la compression <math>R_c</math> en fonction de E/P</i>	<b>08</b>
<b>Figure I.4</b>	<i>Variation volumétrique au cours de la prise</i>	<b>10</b>
<b>Figure I.5</b>	<i>Températures sur face non exposée de matériaux de 5cm d'épaisseur dont la face exposée est à 1000°C</i>	<b>15</b>
<b>Figure I.6</b>	<i>Relation entre le rapport E/P et la quantité de résine nécessaire, avec indication de la résistance du Plasperg correspondante</i>	<b>19</b>
<b>Figure I.7</b>	<i>1- Courbe d'absorption d'eau par le plâtre ordinaire ; 2- Courbe d'absorption d'eau par plasperg</i>	<b>20</b>
<b>Figure I.8:</b>	<i>Courbes de l'effet d'une chaleur prolongée sur le Plasperg et le Plâtre.</i>	<b>21</b>
<b>Figure II.1</b>	<i>Résistance à la compression des mortiers</i>	<b>24</b>
<b>Figure II.2</b>	<i>Résistance à la compression <math>R_c</math> de mortiers compactés dynamiquement</i>	<b>28</b>
<b>Figure III.1</b>	<i>Déperditions a travers l'enveloppe du bâtiment (Vue en travers)</i>	<b>33</b>
<b>Figure III.2</b>	<i>Déperditions a travers l'enveloppe du bâtiment (Vue en plan)</i>	<b>34</b>
<b>Figure III.3</b>	<i>Conductivité thermique du plâtre (E/P=1) en fonction de la teneur en eau (humidité)</i>	<b>37</b>
<b>Figure III.4</b>	<i>Conductivité thermique du plâtre (E/P=1) en fonction de la teneur en eau (humidité)</i>	<b>37</b>
<b>Figure III.5</b>	<i>Conductivité thermique du plâtre (E/P=1) à différentes températures</i>	<b>38</b>
<b>Figure III.6</b>	<i>Conductivité thermique du sable</i>	<b>41</b>
<b>Figure III.7</b>	<i>Transfert de chaleur à travers une paroi de bâtiment</i>	<b>42</b>
<b>Figure III.8</b>	<i>Schéma d'un élément de surface</i>	<b>44</b>
<b>Figure III.9</b>	<i>Schéma d'un élément de volume</i>	<b>46</b>
<b>Figure III.10</b>	<i>Schéma d'un mur simple de construction</i>	<b>49</b>
<b>Figure III.11</b>	<i>Schéma d'un mur de construction multicouche</i>	<b>52</b>
<b>Figure VI.1</b>	<i>Courbe granulométrique du plâtre et sable</i>	<b>58</b>
<b>Figure VI.2.A</b>	<i>Organigramme des compositions et nominations des différents mortiers</i>	<b>60</b>
<b>Figure VI.2.B</b>	<i>Organigramme des essais effectués sur les mortiers coulés simplement</i>	<b>61</b>
<b>Figure IV.2.C</b>	<i>Organigramme des essais effectués sur les mortiers compactés</i>	<b>62</b>
<b>Figure IV.3</b>	<i>Éprouvettes simplement coulées, après démoulage</i>	<b>64</b>
<b>Figure IV.4</b>	<i>Presse Manuelle de compactage</i>	<b>66</b>
<b>Figure IV.5</b>	<i>Dispositif d'essai</i>	<b>68</b>
<b>Figure IV.6</b>	<i>Organe de commande</i>	<b>68</b>
<b>Figure IV.7</b>	<i>Schéma d'une cellule a deux boites</i>	<b>72</b>
<b>Figure IV.8</b>	<i>L'organe de commande du CT Mètre</i>	<b>75</b>
<b>Figure IV.9</b>	<i>Sonde monotige</i>	<b>76</b>
<b>Figure IV.10</b>	<i>Sonde monotige</i>	<b>76</b>

<b>Figure IV.11</b>	<i>Image lors de mesure avec CT mètre</i>	<b>77</b>
<b>Figure IV.12</b>	<i>Synoptique type d'un essai type CT metre</i>	<b>78</b>
<b>Figure V.1</b>	<i>Résistance à la flexion des mortiers plâtre à l'état sec</i>	<b>81</b>
<b>Figure V.2</b>	<i>Résistance à la compression des mortiers de plâtre à l'état Sec</i>	<b>81</b>
<b>Figure V.3</b>	<i>Résistances mécaniques du plâtre pur compacté pendant 1mn</i>	<b>82</b>
<b>Figure V.4</b>	<i>Résistances mécaniques du plâtre pur compacté pendant 5mn</i>	<b>82</b>
<b>Figure V.5</b>	<i>Résistances mécaniques du mortier de plâtre M<sub>2</sub> (flexion et compression) Compacté pendant 1mn.</i>	<b>83</b>
<b>Figure V.6</b>	<i>Résistances mécaniques du mortier de plâtre M<sub>2</sub> (flexion et compression) Compacté pendant 5mn</i>	<b>84</b>
<b>Figure V.7</b>	<i>Résistance à la flexion humide de mortiers de plâtre</i>	<b>85</b>
<b>Figure V.8</b>	<i>Résistance à la compression humide des mortiers de plâtre</i>	<b>86</b>
<b>Figure V.9</b>	<i>Résistance à la flexion humide de mortiers de plâtre (Après saturation)</i>	<b>86</b>
<b>Figure V.10</b>	<i>Résistance à la compression humide des mortiers de plâtre (Après saturation)</i>	<b>87</b>
<b>Figure V.11</b>	<i>Pourcentage de reprise d'eau des mortiers de plâtre</i>	<b>88</b>
<b>Figure V.12</b>	<i>Coefficient de capillarité des mortiers de plâtre</i>	<b>89</b>
<b>Figure V.13</b>	<i>Vitesse de saturation des mortiers de plâtre</i>	<b>89</b>
<b>Figure V.14</b>	<i>Evaporation d'eau du mortier de plâtre pur jusqu'à stabilisation (masse constante)</i>	<b>90</b>
<b>Figure V.15</b>	<i>Evaporation d'eau du mortier M<sub>2</sub> jusqu'à stabilisation de la masse</i>	<b>91</b>
<b>Figure V.16</b>	<i>Conductivités thermiques des différents mortiers de plâtre en fonction du dosage en sable, mesurés avec la boîte et CT mètre.</i>	<b>93</b>
<b>Figure V.17</b>	<i>Conductivité thermique des différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage.</i>	<b>94</b>
<b>Figure V.18</b>	<i>Conductivité thermique à différents temps de compactage pour différents mortiers de plâtre</i>	<b>96</b>
<b>Figure V.19</b>	<i>Evolution de la conductivité thermiques des différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage fonction de la masse volumique.</i>	<b>97</b>
<b>Figure V.20</b>	<i>Résistances thermiques des différents mortiers de plâtre en fonction du dosage en sable à différents temps de compactage.</i>	<b>98</b>
<b>Figure V.21</b>	<i>Résistances thermiques des différents mortiers de plâtre en fonction du temps de compactage pour différents dosages en sable.</i>	<b>99</b>

***INTRODUCTION  
GENERALE***

## INTRODUCTION GENERALE

*Depuis l'antiquité, l'homme s'est toujours approvisionné des matières et produits disponibles dans son entourage immédiat afin de bâtir sa maison, qui lui procure abri et confort.*

*Démarrant de ce concept, nous présentons ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux dans la construction, afin de réduire le coût global de cette dernière en faisant face à une importation des matériaux ou de techniques non adaptés ou contraires aux exigences locales.*

*Nous proposons dans cette étude, l'intégration de matériaux locaux dans la conception de composants mécaniquement résistants et thermiquement isolants ; et ce en proposant un élément en blocs compactés d'un mortier composé de plâtre et de sable de dune.*

*Sachant que le compactage est un procédé de consolidation qui sert à réduire ou éliminer les vides contenus dans le matériau en question, ce qui augmente la densité. Cette dernière agit favorablement sur les caractéristiques mécaniques, et défavorablement sur l'isolation thermique.*

*Dans le présent travail nous allons tenter de trouver un compromis entre la résistance mécanique et l'isolation thermique. C'est-à-dire essayer de discerner la meilleure composition (dosage en plâtre et en sable), pour laquelle le gain en résistance mécanique est plus considérable devant la perte en isolation thermique. Pour pouvoir adopter le mortier ainsi obtenu au tant que blocs pour réaliser des éléments porteurs lors de la construction de maisons individuelles (R + 1 ou R+ 2) et pourquoi pas des bâtiments de hauteurs modérées. Tout en insistant sur le fait que le bâtir doit être implanté dans des régions où les composants de base (plâtre et sable) soit disponibles à prix raisonnable et que cette localité soit à faible pluviométrie et humidité, pour ne pas nuire la durabilité du mortier, car les caractéristiques d'un matériau à base de plâtre baissent en présence de l'eau ou de forte humidité.*

*Le travail que nous présentons dans ce mémoire se compose de six chapitres regroupés dans quatre parties.*

*La première partie nommée « Etude bibliographique », se compose de trois chapitres :*

*Afin d'accoutumer le lecteur avec le matériau Plâtre de base de cette recherche, nous avons entamé cette étude par un premier chapitre consacré aux généralités sur le plâtre : historique et origine, prise et ses modificateurs, propriétés, protection et imperméabilisation.*

*Dans le second chapitre sont cités les travaux présents dans la littérature sur les mortiers de plâtre coulés simplement ou compactés (compactage statique, compactage dynamique, vibro-compactage et compactage par expansion contrariée).*

*Le troisième chapitre a été consacré à l'étude thermique, entamé par une initiation du lecteur à la thermique dans le domaine du bâtiment, à savoir les déperditions à travers les parois et les matériaux isolants.*

*En second lieu, sont présentés quelques travaux publiés sur le plâtre et le sable et les paramètres influant sur leur conductivité thermique.*

*A la fin, une mise en équation du transfert de chaleur dans une paroi de bâtiment est présentée, à savoir la loi de Fourier ; puis l'introduction des deux paramètres thermiques capitaux la conductivité thermique et l'isolation thermique.*

*Dans la deuxième partie (IV chapitre) « Partie Expérimentale », sont présentés tout d'abord les caractéristiques élémentaires des deux matériaux de base : le plâtre et le sable, un organigramme du programme expérimentale accompli, puis une description détaillée et schématisée de la machine de compactage. Il s'agit d'une machine conçue initialement pour concevoir des blocs de béton de terre stabilisée (B.T.S), modifiée selon nos besoins.*

*Par la suite, sont données les différentes étapes détaillées des essais qui servent à obtenir les différentes caractéristiques (mécaniques, physiques et thermiques) ainsi que l'appareillage nécessaire et les formules adéquates.*

*Les résultats de l'ensemble des essais sont regroupés, traités et interprétés dans la troisième partie (V<sup>ème</sup> chapitre), nommée « Résultats et interprétation ».*

*Le traitement des résultats tend à présenter l'évolution des différentes caractéristiques, à savoir les résistances mécaniques, caractéristiques physiques et la conductivité thermique avec:*

- *Le dosage en sable ;*
- *L'âge ;*
- *Le temps de compactage (« 0 » pour le coulage simple, 1mn et 5mn de compactage).*

*Dans la quatrième partie (VI<sup>ème</sup> chapitre) « Exploitation des résultats », nous comparons le mortier concerné par la présente étude aux deux matériaux les plus répandus dans le bâtiment, la brique et le béton, et proposons un mode de mise en place pour lequel, notre mortier ait le meilleur rendement thermique*

*En fin, une conclusion générale montre l'intérêt du matériau élaboré et quelques recommandations et perspectives sont proposées pour les études à venir.*

*Chapitre I*

***GENERALITES  
SUR LE PLATRE***

## I. INTRODUCTION

Le plâtre est un des plus anciens matériaux de construction utilisé par l'homme.

Malgré qu'il soit rencontré quotidiennement, l'homme de bâtiment ne connaît pas toujours les divers aspects et possibilités d'applications.

Dans le présent chapitre, nous exposons des généralités sur le plâtre, à savoir son origine, ses caractéristiques, ses propriétés et son imperméabilisation.

### II.1 HISTORIQUE

Le plâtre est un matériau de construction d'utilisation très ancienne, les plus vieilles ont été découverts au Moyen Orient. Elles datent du VI<sup>ème</sup> millénaire avant J.C ; Au IX<sup>ème</sup> siècle avant J.C., les constructeurs de Syrie transformaient déjà le gypse en plâtre, un matériau, qui allait être utilisé en maçonnerie ou dans la décoration pour les habitations populaires comme pour les demeures princières.

Les égyptiens en faisaient un grand usage et l'on cite souvent son emploi pour le scellement des blocs de plusieurs tonnes lors de la construction de la grande pyramide de Chéops (2800 avant J.C.). Ils s'en servaient pour leurs monuments funéraires, leurs temples, et même pour la confection d'enduits destinés à recevoir une peinture murale.

On retrouve aussi l'utilisation du plâtre chez les Grecs, les Assyriens, les Phéniciens, les Hébreux..... Le philosophe Grec Théophraste en parle dans son traité « de la pierre » en 370 avant J.C. Les romains l'utilisèrent semble-t-il assez peu, bien que PLINE l'ANCIEN en décrive la fabrication dans ses livres sur « l'histoire naturelle », 100ans avant J.C. [1], [2].

Enfin, au XVIII<sup>ème</sup>, le plâtre tient une grande place dans le bâti. On le trouve même dans les fondations. Aujourd'hui, dans certaines régions du monde, le plâtre est encore produit et utilisé selon les techniques traditionnelles [1], [2].

### II.2 Généralités et caractéristiques des plâtres

#### II.2.1 Définition

Pour l'homme du bâtiment, le plâtre est un matériau familier qu'il rencontre quotidiennement mais dont il ne connaît pas toujours les multiples aspects et les multiples possibilités d'utilisation.

En fait, le plâtre est un liant en poudre à base de sulfate de chaux anhydre, provenant de la déshydratation des pierres de plâtre suivie d'une pulvérisation plus ou moins poussée.

La pierre de plâtre est du sulfate de calcium qui se rencontre dans la nature sous deux formes:

- L'anhydrite : ou le sulfate de calcium anhydre répondant à la formule chimique  $\text{CaSO}_4$ ; assez rare

- Le gypse : ou sulfate de calcium à deux molécules d'eau, répondant à la formule chimique  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ce qui correspond à 7.07% de sulfate de calcium associé à 20.93 % d'eau. très abondant

C'est sous forme de gypse que la pierre de plâtre est employée pour fabriquer industriellement du plâtre.

### II.2.2 Géologie

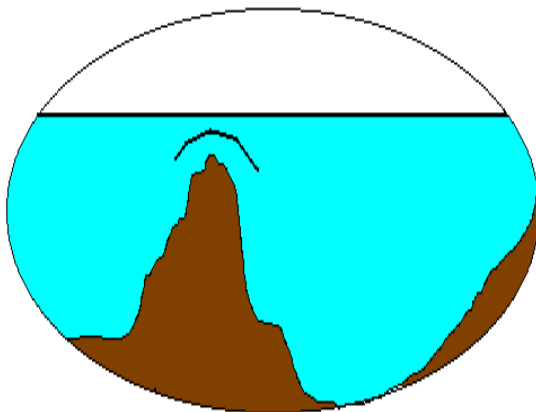
Le gypse est un minéral courant composé de sulfate de calcium hydraté ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) formé par précipitation du sulfate de calcium dans l'eau de mer. C'est donc une roche saline sédimentaire. Il peut aussi être formé par l'action de l'acide sulfurique sur le calcaire : le gypse est très répandu dans les régions volcaniques.

Le gypse est une pierre qui appartient à la famille des évaporites qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. [3]

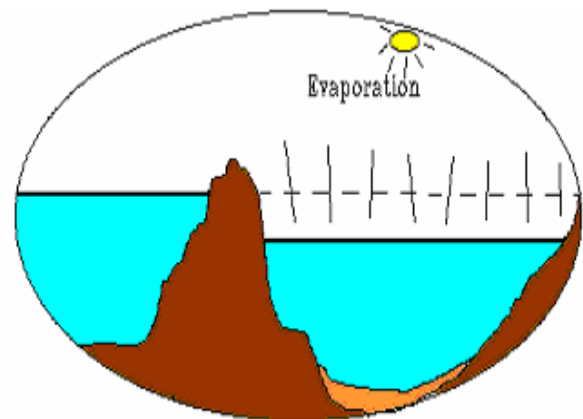
### II.2.3 Origines

Le gypse est considéré qu'il résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées

Lorsque le niveau des océans augmente, les lagunes se remplissent figure 1a :



**Figure I.1a** : Lagunes sursaturées



**Figure I.1b** : Evaporation d'eau et dépôts de gypse

Lorsque le niveau d'eau baisse, l'eau de la lagune s'évapore, et le gypse se dépose comme le montre la figure 1b [3].

En Algérie, les études géologiques ont localisés d'importants gisements de très bonnes qualités dont la teneur en gypse dépasse les 75%.

Le plâtre résulte de la cuisson, à températures modérées, du gypse ou sulfate de calcium dihydraté. On peut obtenir toute une gamme de produits en retirant plus ou moins d'eau au gypse.

C'est justement cette transformation qui est utilisée par les industries de production du plâtre. Bien qu'ils soient tous appelés plâtres, ces produits présentent des formules chimiques intermédiaires entre celles des deux états naturellement stables, dihydrate  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  et l'anhydrite  $\text{CaSO}_4$ .

Gâché, c'est à dire mélangé avec de l'eau, les plâtres se réhydratent, font prise et durcissent pour redonner un sulfate de calcium bihydraté proche au gypse initial. C'est le processus de base de la construction en plâtre. [4]

Les principaux phénomènes (déshydratation, hydratation) paraissent simples, cependant elles dissimulent une réalité beaucoup plus complexe. Il existe en effet une très grande variété de plâtre: plâtres de préfabrication, plâtre de construction gros et fin, plâtre pour enduits de haute dureté, plâtre à projeter, plâtre pour enduits extérieurs, plâtre à mouler pour l'industrie, plâtre médicaux, etc.... Chaque carrière, chaque mode de traitement, et plus précisément chaque type de cuisson influe sur les caractéristiques du produit final. Pour bien comprendre les raisons de cette diversité, il s'avère nécessaire d'étudier en premier lieu le système  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , ensuite d'exposer les principaux traitements artisanaux et industriels mis au point, au premier plan desquels figurent les installations de cuisson.

## II.4 Historique des recherches sur le plâtre

Les premières recherches sur le plâtre ont été faites par LAVOISIER, qui a présenté un mémoire sur l'analyse du gypse à l'académie Royale des sciences de Paris. [2],[5] ; puis par GAY- LUSSAC, ensuite LE CHATELIER en 1887 explique le phénomène de prise du plâtre dans sa théorie cristalloïde, qui a été ultérieurement généralisée au domaine des liants hydrauliques. Vers 1903, VANT HOTT a pu déterminé les points de transformation du gypse suite à des études thermodynamiques. En 1926, CHASSEVENT présenta sa thèse intitulée « *Recherche sur le sulfate de chaux* », [6],[7]. Il se consacra entièrement depuis à l'étude de ce matériau. Nous lui devons, l'explication et la quantification de plusieurs phénomènes grâce à l'application de méthodes physicochimiques les plus avancées.

D'autres auteurs tels que ALBRECHT, ANDERSON, KELLY, SOUTHARD et BUDNIKOFF se sont intéressés à l'étude du plâtre. [1].

## III. 1 Fabrication de plâtre

Les opérations permettant d'obtenir du plâtre sont : [4], [5] et [7]

### ❖ Abattage

En carrière à ciel ouvert, l'abattage des blocs en grandes dimensions.

### ❖ Le concassage

Le concassage permet de réduire les gros blocs en morceaux de faible dimension.

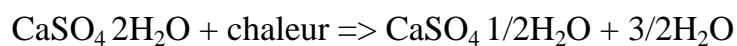
### ❖ Le séchage

Il se fait dans des séchoirs cylindriques rotatifs jusqu'à une teneur en humidité de 10%.

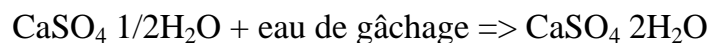
### ❖ La cuisson

Lors de la cuisson, le gypse ou sulfate de calcium à deux molécules d'eau se déshydrate progressivement pour donner plusieurs composants à une demi-molécule d'eau. Celui-ci est le composant essentiel de tous les plâtres.

Entre 105°C et 180°C, le gypse perd l'eau faiblement liée d'après la formule suivante [4] :



Ce semi-hydrate avide d'eau va se réhydrater dans l'eau de "gâchage" (eau dans laquelle nous trompons le plâtre) et se cristalliser pour retrouver la composition chimique du gypse.[4].



### ❖ Le stockage 1

Le stockage se fait pour le refroidissement, l'homogénéisation et le contrôle du produit.

### ❖ Le broyage

Après cuisson et éventuellement refroidissement, le plâtre doit généralement être broyé et tamisé de façon à acquérir les caractéristiques granulométriques usuelles attendues des différentes catégories de plâtre.

### ❖ Le stockage 2

Le stockage doit se faire en lieu sec dans des silos ou sacs fermés afin d'éviter l'obtention de plâtres éventés.

## III.2 Caractéristiques structurelles du plâtre "pur"

Le terme "pur" indique que nous considérons un produit composé de gypse naturel, ou chimique, plus ou moins déshydraté, sans aucun effet extérieur en usine ou sur chantier ; car pratiquement il n'existe pas de plâtre chimiquement pur, on a toujours affaire à un mélange d'impuretés et de différentes phases du système  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . [5]

### III.2.1 Taux de gâchage E/P

Le taux de gâchage E/P est le rapport du poids de l'eau utilisée lors de la mise en œuvre du matériau sur le poids du plâtre.

Une fois sa prise et son séchage achevés, la densité apparente est une fonction décroissante du taux de gâchage E/P utilisé pour la mise en œuvre, ceci s'explique par la porosité interne dû au départ d'eau. Et par conséquent, plus le plâtre est gâché avec beaucoup d'eau, plus le pourcentage des vides est fort entraînant une densité faible [5][ 8].

### III.2.2 Résistance mécanique

Pour un matériau donné, les caractéristiques mécaniques évoluent dans le même sens que la densité. Et puisque cette dernière est une fonction décroissante du taux de gâchage E/P, les performances mécaniques (résistance à la flexion  $R_f$ , résistance à la compression  $R_c$ ) le sont aussi, comme il est illustré sur la figure ci après.

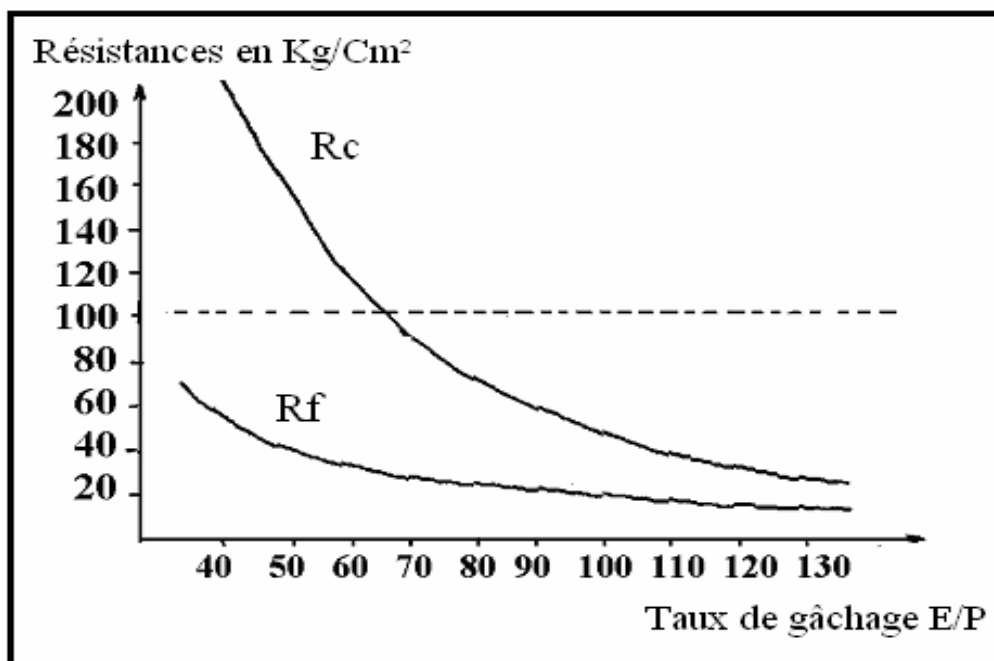
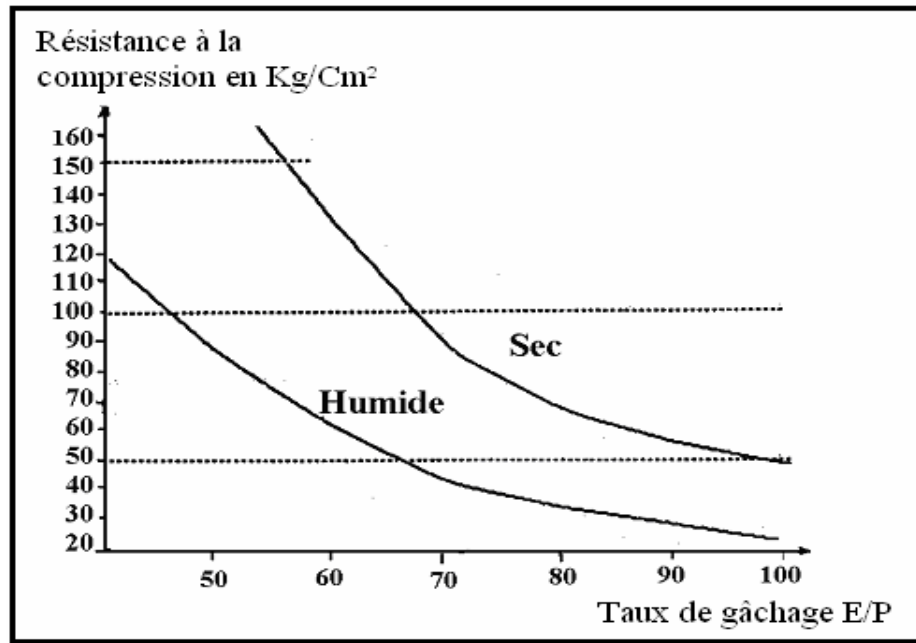


Figure I.2 : Influence du taux de gâchage sur les performances mécaniques du plâtre [5]

### III.2.3 Teneur en eau

Du point de vue du comportement à l'humidité, les matériaux à base de plâtre diffèrent extrêmement des matériaux à base de ciment.

- Un béton de ciment humidifié marque une très faible diminution de ses caractéristiques mécaniques ;
- Un matériau à base de plâtre humidifié les voit par contre chuter très rapidement, donc à la différence du béton de ciment, raison pour la quelle il faut prendre en considération les caractéristiques mécaniques obtenues à l'état humide.



**Figure I.3 :** Evolution de la résistance à la compression  $R_c$  en fonction de E/P du plâtre [5]

A défaut d'une protection superficielle, un mur extérieur en plâtre, peut rapidement absorber 5% de son poids en eau avec l'introduction d'une petite quantité. C'est pourquoi, lors du dimensionnement des ouvrages en plâtre surtout s'il s'agit d'ouvrages porteurs, il faut prendre en considération les caractéristiques à l'état humide.

### III.2.4 L'effet de l'humidité atmosphérique sur les essais

Le plâtre est un matériau hygroscopique sur une plage relativement étroite comprise entre (0% et 5% ) de son poids (on appelle matériau hygroscopique un matériau qui a la propriété de modifier sa teneur en humidité en fonction de celle de l'air ambiant.)

- Cette forte hygroscopie du plâtre a néanmoins une influence non négligeable sur ses caractéristiques mécaniques:
- Avec un air à 50% H.R, il n'a pas été constaté de chute de résistance mécanique;
- Avec 90%, la résistance à la compression ne représente plus que 63% de la valeur à l'état sec. [5]

### III.3 Variation du volume lors de la prise

Au cours de la prise, il se produit des variations dimensionnelles. Ces variations sont toutes d'origine chimique et accompagnent la croissance cristalline.

Cette augmentation de volume est essentiellement enregistré aux premières heures, mais après plusieurs jours ou plusieurs semaine de séchage, un léger retrait par rapport au gonflement maximum est atteint. [1], [2], [8], [9].

Le gonflement final varie en moyenne de 0.3 à 1.5%.

### III.3.1 Hydratation du semi-hydrate $\alpha$ et $\beta$

	<b>CaSO<sub>4</sub> + 1/2 H<sub>2</sub>O + 3/2 H<sub>2</sub>O</b>		→	<b>CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O</b>
Poids moléculaire	145g	27g		172g
Densité spécifique	2.75	1		2.32
Volume moléculaire	52.7Cm <sup>3</sup>	27 Cm <sup>3</sup>		74.1Cm <sup>3</sup>
	79.7 Cm <sup>3</sup>			74.1Cm <sup>3</sup>

Il en résulte que le volume absolu du solide augmente beaucoup à la fin de cette réaction rapide d'hydratation. En effet, la variation de volume est de:

$$\Delta V = 74.1 \text{ Cm}^3 - 52.7 \text{ Cm}^3 = 21.3 \text{ Cm}^3 \quad (\text{I.1})$$

Soit un pourcentage par rapport au volume initial : [2], [5], [8]

$$\frac{\Delta V}{V} = 21.3/52.7 = 40.4\% \quad (\text{I.2})$$

### III.3.2 Hydratation du plâtre hydraulique (anhydrite I)

	<b>CaSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O</b>		→	<b>CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O</b>
Poids moléculaire	136g	36g		172g
Densité spécifique	2.9	1		2.32
Volume moléculaire	46.95Cm <sup>3</sup>	36 Cm <sup>3</sup>		74.1Cm <sup>3</sup>
	82.95 Cm <sup>3</sup>			74.1Cm <sup>3</sup>

L'augmentation de volume du solide est donc :

$$\Delta V = 74.1 \text{ Cm}^3 - 46.95 \text{ Cm}^3 = 27.05 \text{ Cm}^3 \quad (\text{I.3})$$

Soit un pourcentage par rapport au volume initial [2], [5], [8] :

$$\frac{\Delta V}{V} = 27.05/46.95 = 57.9\% \quad (\text{I.4})$$

En examinant les chiffres ci-dessus dans les deux cas, on constate qu'il y a simultanément une diminution de la somme des volumes absolus initiaux du solide (plâtre) et du liquide (eau) compensée partiellement par une augmentation des volumes absolus des solides (du plâtre ou du gypse constitué).

Il y a donc, tout au début de la prise, une contraction initiale dû au fait que le volume de gypse formé est inférieur aux volumes de l'eau et du plâtre réunis. Cette contraction prend plus ou moins de temps selon la vitesse d'hydratation du plâtre: avec un hémihydrate, elle est achevée en 20 à 40 minutes, avec un anhydrite, elle peut se poursuivre après deux heures.

Par la suite, il se produit une seconde variation, plus importante en pourcentage que les résultats dans l'équation (1.4). Elle affecte le volume apparent. Le volume apparent de la pâte ou de la masse durcis est la somme des volumes absolues du solide et des espaces compris entre les grains du solide (les pores) qu'ils soient remplis d'eau ou d'air.

Cette seconde variation dimensionnelle qui accompagne la prise est un gonflement, on dit que le plâtre "pousse".

Ce gonflement résulte du grossissement des cristaux de gypse qui entraîne une dilatation du squelette solide. Il est de l'ordre de 0.2% à 1.5% du volume apparent de la pâte, et s'achève dans un temps plus ou moins long, qui dépend essentiellement de la vitesse d'hydratation du plâtre.

L'évolution des volumes au cours de la prise est illustrée par les courbes sur la figure (I.4), qui ont été réalisées avec plusieurs types de mélanges de plâtre allemands [9][10]. On distingue bien la contraction initiale et le gonflement ultérieur.

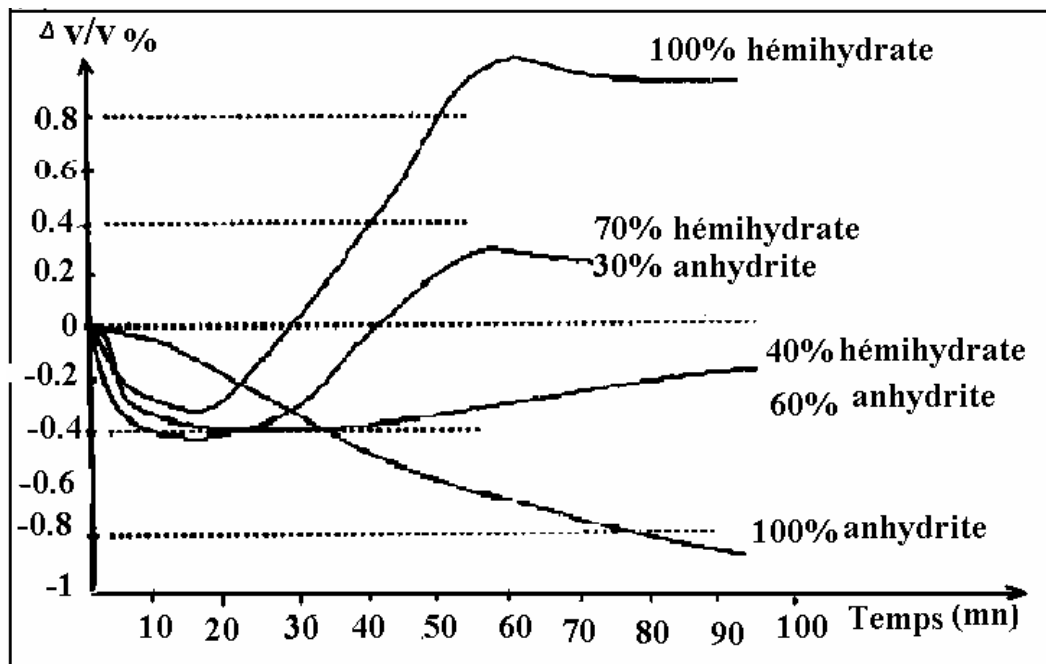


Figure I.4 : Variation volumétrique au cours de la prise du plâtre [10].

**N.B :** Le gonflement intéresse le constructeur, car il pousse sur les moules utilisés et peut gêner le démoulage, ou parce qu'il crée dans les ouvrages des efforts et des déformations additionnelles.

### III.4 Prise et durcissement du plâtre

#### III.4.1 Définition

La prise du plâtre a lieu du fait que la solubilité du semi hydrate  $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  est beaucoup plus forte que celle du sulfate de calcium dihydraté  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ . Il résulte que la solution saturée de semihydraté sera toujours sursaturée par rapport à la solution du double hydrate qui devra donc précipiter.

La réaction est vive et très rapide, elle s'accompagne d'une forte élévation de température et d'une légère augmentation de volume. C'est le phénomène de la **Prise**. [1],[2],[4],[5]

Le processus de durcissement comporte trois phases :

1. La dissolution des produits semi hydrate  $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  ;
2. L'hydratation du semihydraté aboutissant à la formation du double hydrate  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$  ;
3. La cristallisation du double hydrate.

#### N.B :

La réaction de prise est la réaction inverse de la réaction de cuisson.

#### III.4.2 Temps de prise

Afin de pouvoir évaluer le temps nécessaire à la mise en place correcte des mortiers qui seront ensuite confectionnés, il est indispensable de connaître les débuts et fin de prise des liants.

#### III.4.3 Les modificateurs de prise

##### III.4.3.1 Les adjuvants accélérateurs

Pour accélérer la prise du plâtre il est possible de procéder :

- Soit en augmentant le nombre des germes ou la vitesse de la déformation des germes utiles par l'ajout de gypse broyé par malaxage énergétique ;
  - Soit en réduisant la solubilité du gypse sans réduire d'autant celle de l'hémihydrate.
- Les acides minéraux, les sels d'acides forts et de base sont généralement accélérateurs. [5],[8]

##### III.4.3.2 Les adjuvants retardateurs

Pour retarder la prise du plâtre, il faut agir sur les deux types de mécanismes cités plus haut pour l'accélération. Comme suit :

- Soit protéger les germes par dépôt d'un gel à leur surface, ce qui bloque le démarrage de la cristallisation durant un temps assez long.
- Soit diminuer la solubilité de l'hémihydrate sans trop altérer celle du gypse.

Les acides organiques faibles ou leurs sels avec des bases fortes comme l'acide citrique et l'acide tartrique ont cet effet, de même que la glycérine, l'alcool, l'éther et le sucre. Des sels solubles (tartrates, phosphates) qui en présence de chaux donnent des sels instables, jouent également ce rôle. [5],[8]

**NB :** ces adjuvants modifient peu leurs formes de cristallisation et ne font donc pas chuter les caractéristiques mécaniques.

#### III.4.4 Rétenteurs d'eau

Ces produits sont utilisés lorsque le plâtre est supposé perdre son eau de gâchage avant que son hydratation ne soit achevée. C'est le cas lorsque le plâtre est retardé et utilisé en couche mince : enduits projetés, enduits pelliculaires, colle à carreaux, ou mortiers adhésifs pour collage de complexes isolants.

Les adjuvants rétenteurs d'eau sont généralement des dérivées substitués de cellulose comme le Carboxy, le méthyle cellulose l'hydroxyethyl cellulose ou l'acétate de polyvinyle. Ils sont utilisés à quelques millièmes du poids du plâtre.

La Kératine, par exemple est un puissant rétenteur d'eau et de plastifiant. [2],[5]

#### III.4.5 Fluidité

La fluidité est appréciée par une mesure d'écoulement par étalement de la pâte contenue dans un anneau que l'on soulève au moment déterminé. La pâte ainsi libérée donne une galette dont on mesure le diamètre.

L'anneau utilisé est un moule cylindrique en laiton (anneau de Smith) dont les dimensions sont les suivants : [2]

Diamètre intérieur : 60 mm  $\pm$  0.1

Hauteur : 50 mm  $\pm$  0.1

Il existe une autre forme d'anneau décrite dans le projet de norme ISO/DIS3050. Cet anneau est conique et donne les mêmes résultats.

Diamètre intérieur de base inférieure : 75 mm ;

Diamètre intérieur de base supérieure : 65 mm ;

Hauteur : 40 mm.

**NB :** La mesure de fluidité doit être faite sur le plâtre sans aucun adjuvant.

##### III.4.5.1 Fluidifiants

Le plâtre ne fixe qu'environ un quart de l'eau nécessaire à son gâchage. La plus grande partie de l'eau ne sert qu'à obtenir un état favorable à la mise en œuvre et s'évapore ensuite au cours de séchage. [5]

On connaît aujourd'hui des produits qui, ajoutés au plâtre, ont pour effet de lui conférer, avec moins d'eau de gâchage, une plasticité répondant à l'emploi souhaité :

Ce sont des fluidifiants. Ils permettent ainsi, d'obtenir des plâtres gâchés de forte masse volumique et de haute dureté.

### III.4.6 Consistance

La méthode de la table à secousses est la plus utilisée pour la détermination de cette caractéristiques. Nous procédons alors à la mesure, après secousses, du diamètre d'une galette composé de plâtre gâché au pourcentage d'eau convenable.

La pâte est introduite dans un moule tronconique reposant par sa grande base sur la table à secousse et ayant les dimensions suivantes [2]

Diamètre intérieur de base inférieure : 100 mm ;  
Diamètre intérieur de base supérieure : 70 mm ;  
Hauteur : 60 mm.

Après avoir enlevé le moule lentement vers le haut, on donne 15 secousses, à la cadence de 1 secousse par seconde. On mesure le diamètre de la galette formée

Les consistances habituelles sont :

- Plâtre THD : 190 à 210 mm ( norme NFB12303);
- Plâtre pour projection mécanique : 170 mm ;
- Colle et enduit : 150 à 170 mm

### III.4.7 Dureté

La dureté peut être définie par l'échelle de Mohs qui comprend dix degrés correspondant à dix minéraux : du talc au ciment.

La dureté d'un matériau est repérée par le numéro du premier minéral de Mohs qui le raye. L'ongle, à une dureté de Mohs de 2.5, le canif d'acier est coté à 6.5, l'anhydrite à 3, le plâtre et le gypse entre 1.5 et 2. [2]

#### III.4.7.1 Duromètres de SHORES

Ces duromètres sont des appareils de poche présentant un poinçon chargé par un ressort taré. La profondeur de pénétration du poinçon dans le matériau testé est affichée sur un cadran gradué de 0 à 100 points SHORE.

Ces appareils couvrent une gamme de dureté très étendue, et peuvent donc être utilisés pour suivre le durcissement d'un plâtre venant d'être gâchée.

A titre indicatif, pour un plâtre à mouler ordinaire, gâché à 65% d'eau, la fin de prise au doigt correspond à un indice SHORE A de 40 et un indice SHORE C de 10. [2], [11]

**NB :** trois types sont disponibles, suivant la charge et la forme du poinçon :

- SHORE A : 1kg ;
- SHORE C : 5kg ;
- SHORE D : 5kg.

### III.4.8 Durcisseur

En diminuant le taux de gâchage E/P, il est possible d'améliorer légèrement la dureté des plâtres. [4], nous pouvons également:

- mélanger dans la masse du plâtre des adjuvants comme les sulfates de magnésium d'Aluminium, de baryum ou des silicates.
- Appliquer en surface des solutions de borax, des huiles de colophanes ou des résines.

## IV PROPRIETES DU PLATRE

Les matériaux à base de plâtre confèrent aux constructions des qualités reconnues : de résistance au feu, de régulation hygrométrique, d'isolation thermique, ainsi qu'un sujetif de l'esthétique. [2],[5], [12]

### IV.1 Résistance au feu

C'est le temps nécessaire pendant lequel les éléments de construction peuvent jouer leur rôle malgré l'incendie.

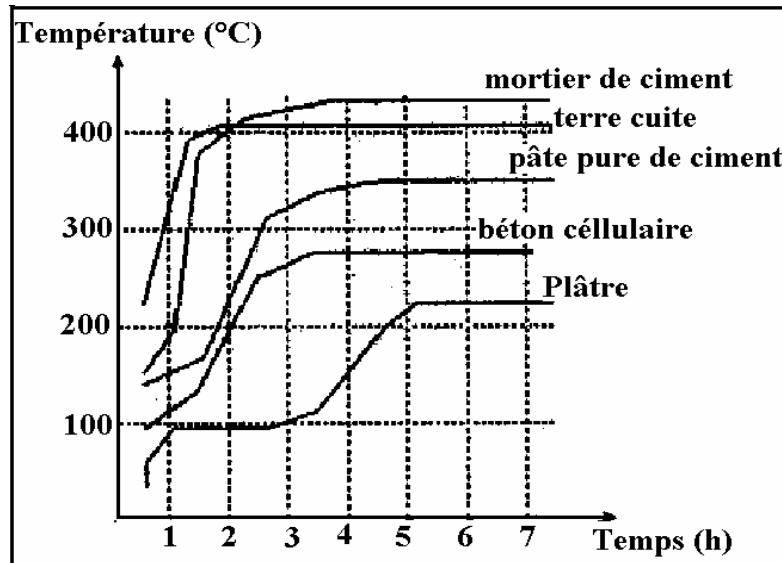
Le plâtre est chimiquement comparable au gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Il contient donc, à sec, deux molécules d'eau par molécule de matière, soit environs 20% d'eau chimiquement liée. Sous l'action de la chaleur d'un incendie, l'ouvrage en plâtre subit une transformation analogue à la cuisson du gypse et absorbe de la chaleur de deux façons :

- Rupture de la liaison moléculaire  $\text{H}_2\text{O}, \text{CaSO}_4$  qui consomme environs 170 kcal par kilogramme de plâtre ;
- Vaporisation des 200g d'eau contenus dans chaque kilogramme de plâtre ce qui consomme environs 130 kcal par kilogramme de plâtre.

Par la suite, le plâtre déshydraté continue à se protéger du contact direct des flammes par la face non exposé au feu. La conductivité thermique du plâtre est, en effet encore plus élevée à haute température qu'aux ambiances ordinaires du fait du remplacement de l'eau chimiquement liée par l'air.

En fin, le plâtre exposé au feu ne dégage que de la vapeur d'eau. Il ne crée ni fumée, ni vapeur toxique ni dégagement gazeux susceptible d'alimenter le feu.

Sous l'effet d'une forte température, le plâtre absorbe donc environs 300 kcal par kilogramme de matière. Selon la quantité de chaleur fournie, cette transformation peut durer quelques heures durant lesquelles la température du matériau reste de l'ordre de la centaine de degré centigrades. Ce comportement au feu du plâtre est l'un des meilleurs parmi les matériaux de construction comme le montre les courbes sur la figure I.5 (SNIP 1982).



**Figure I.5 :** Températures sur face non exposée de matériaux de 5cm d'épaisseur dont la face exposée est à 1000°C [2],[5],[12]

Le palier des températures maximales obtenues à droite du graphique traduit l'équilibre thermique qui s'établit dans l'éprouvette entre la face chauffée à 1000°C et la face soumise à l'ambiance du laboratoire (environ 20°C).

La durée pour atteindre ce palier et d'autant plus courte que le matériau est bon conducteur de chaleur. Le plâtre présente deux paliers : un premier, vers 75°C qui correspond à l'évacuation de l'eau de cristallisation, et un second traduisant l'équilibre suscité qui est inférieur à celui des autres matériaux.

## IV.2 Régulation hygrométrique

L'hygrométrie est la faculté d'absorption de l'humidité relative de l'air, elle entraîne une baisse des caractéristiques mécaniques ; mais elle présente un avantage sur le plan du confort.

Des essais ont quantifié ces prises et rejets d'eau entre une ambiance sèche de 23°C, 90% HR (20 heures), et une ambiance sèche de 23°C, 50 % HR (4heures).

La prise et le rejet mettent en jeu 0.88g d'eau, ce qui correspond à 0.7 % du poids du plâtre sec. A 23°C et 90 % H.R, cela représente 52g d'eau par mètre carré d'un enduit de plâtre épais d'un centimètre ; soit plus du triple de la quantité de vapeur d'eau contenue dans une pièce ordinaire revêtue d'un tel enduit [13]. En climat froid, les capacités régulatrices d'hygrométrie du plâtre contribuent donc à éviter les condensations sur les parois froides.

Coulomb [5] a également réalisé d'autres essais de variation de températures, entre 12°C et 24°C sous une haute humidité relative de l'air (90% HR). Ces essais ont montré que le plâtre absorbe une part importante de l'humidité de l'air lorsque la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère augmente (durant les périodes chaudes), et qu'il la perd dans le cas contraire (durant les périodes froides).

Pour l'homme, les ambiances chaudes les plus inconfortables sont celles qui associent les fortes températures aux fortes hygrométries. En climat chaud, les capacités régulatrices du plâtre accroissent sensiblement la sensation du confort [2], [5], [11].

### IV.3 Isolation acoustique

Le bruit est une vibration qui se transmet dans tous les milieux de la matière : gaz, liquides, solides.

Si l'on considère deux locaux séparés par une paroi étanche à l'air, l'énergie sonore émise dans un local en direction de la paroi séparatrice se décompose en quatre parts inégales :

- Une part renvoyée par la paroi de séparation. Cette part peut être réduite en augmentant le coefficient d'absorption phonique ou coefficient de Sabine de cette paroi ;
- Une part absorbée par la paroi sous forme de chaleur ;
- Une part transmise directement par la paroi séparative qui se met en vibration comme une membrane, et communique le bruit au second local. On parle de transmission aérienne.
- Enfin, une part transmise par la paroi séparatrice aux autres parois adjacentes : murs, planchers, et autres cloisons.

Si la paroi séparatrice des locaux n'est pas étanche à l'air, s'il existe, par exemple, des défauts de blocage en tête du mur ou sur les cotés, ou si le passage d'un tuyau a été mal garni, un pont phonique se crée. Une part importante de l'énergie sonore peut passer par ces trous. C'est là que réside la première application du plâtre, puisqu'il est relativement plus facile de réaliser un enduit systématiquement continu sur toute la surface d'une pièce avec un matériau à base de plâtre qu'avec les autres matériaux de construction.

La seconde application phonique du plâtre réside dans l'amélioration du coefficient de Sabine. Le plâtre se prête bien, en effet, à la réalisation de formes complexes qui constituent autant de pièges à son. Le plâtre peut également être moulé et perforé de façon à contenir un absorbant acoustique, de type laine minérale sans trop altérer l'esthétique du local, et les propriétés de l'absorbant (exp : des plafonds acoustiques) [2], [5].

### IV.4 Isolation thermique

Parmi les matériaux traditionnels du bâtiment, le plâtre est l'un de ceux ayant les meilleures caractéristiques d'isolation thermique.

Il est nécessaire de rappeler que la « capacité isolante » du matériau est d'autant meilleure que le coefficient  $\lambda$  (Conductivité thermique du matériau [W/m.°C]) est faible.

Dans le tableau suivant nous donnons les conductivités thermiques des matériaux courants dans le bâtiment à titre de comparaison avec le plâtre.

Matériaux	Conductivité thermique $\lambda(w/m^{\circ}C)$
Granite	3.0
Calcaire dur	2.4
Béton	1.75
Calcaire ferme	1.4
Terre cuite	1.1
Plâtre	0.35
Bois	0.15
Laine de verre	0.04
Polystyrène	0.04
Air immobile sec	0.024

**Tableau I.1** : Coefficients de conductivité thermique  $\lambda$  de différents matériaux de construction. [2]

On constate que le plâtre occupe une position très favorable avec un pouvoir isolant de trois à quatre fois celui du béton et de deux à trois fois celui de la terre cuite. [2], [5], [12]

#### IV.5 Facilite d'emploi

Grâce à sa légèreté et à sa souplesse, le plâtre est un matériau très maniable et sa mise en place est très facile Il est moulé en usine sous forme de carreaux ou de plaques ; utilisé aussi comme joint pour couder littéralement deux plaques l'une contre l'autre. Les carreaux ou plaques de plâtre peuvent recevoir toute forme de peinture courante de bâtiment.

### V. PROTECTION ET IMPERMEABILISATION DU PLATRE

Le plâtre est un produit poreux et soluble dans l'eau, à raison de 2g de  $SO_4Ca, 2H_2O$ , à 18°C, d'où la nécessité de l'imperméabiliser.

Selon l'utilisation du plâtre dans les ouvrages extérieurs ou intérieurs, l'imperméabilisation du plâtre se fera : [8]

1. à la surface dans le premier cas ;
2. et par imprégnation dans le second.

#### V. 1 Imperméabilisation de la surface du plâtre

A cause de sa forte sensibilité à l'humidité, un matériau en plâtre humidifié est affaibli. En effet, à cause de sa porosité, le froid provoque la désagrégation des vides capillaires dans lesquels l'eau a pénétré ; et à cause de sa solubilité, l'eau provoque l'érosion de ce matériau.

Pour protéger le plâtre il faut donc :

- Remplir les vides capillaires avec une matière insoluble ;
- Enduire la surface du plâtre avec une matière hydrofuge insoluble pour couper tout contact du plâtre avec l'eau.

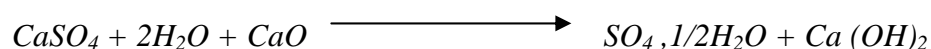
Dans le tableau I.2, sont présentés les résultats rapportés à la même surface, observés par MM.J. Coogne et S.Manley [14] de la capacité d'absorption d'eau des plâtres protégés contre l'humidité.

Nature du traitement	Temps écoulé pour absorber 1 Cm <sup>3</sup> d'eau
Plaque témoin (plâtre pur)	20 s
Plaque trempée à chaud dans la paraffine fondue	Plus de 100 h
Plaque badigeonnée avec une solution de paraffine	Plus de 48 h
Plaque traitée à l'émulsion de résine vinylique, puis badigeonnée l'alcool	Plus de 100 h
Plaque traitée à l'émulsion de résine vinylique, puis badigeonnée à l'alcool (2 couches)	Plus de 100 h
Plaque traitée à l'émulsion de résine vinylique + plastifiant	Plus de 100 h
Plaque traitée à l'émulsion de résine vinylique + plastifiant (2 couches)	Plus de 100 h
Plaque trempée dans le goudron chaud	5 h
Plaque traitée par une solution de résine naturelle	3 h

**Tableau I.2 :** Capacité d'absorption d'eau des plâtres traités [8]

Tous ces résultats ne sont pas très rassurants, et le seul moyen efficace de protéger le plâtre contre les intempéries est d'enduire d'une couche de mortier constitué de sable et de ciment sursulfaté qui ne craint pas les eaux séléniteuses et le contact du plâtre, notamment les ciment de laitier au clinker et ciment sursulfaté. [8]

Il est aussi possible d'imperméabiliser le plâtre en essayant d'enduire les surfaces de ce dernier plâtre avec un peu de chaux vive. Dans ces conditions, le double hydrate du plâtre agira de la façon suivante :



Ensuite les surfaces sont recouvertes d'une solution de fluosilicate de magnésium  $MgSiF_6 \cdot H_2O$ . Au contact de la chaux, il se forme du fluorure de calcium et de l'acide silicique qui sont tous les deux insolubles dans l'eau et obturent les pores les plus fines du mortier.

En fin, des résultats satisfaisants ont été obtenus en enduisant les surfaces de plâtre avec trois couches de flintcoat\* passées au pinceau : une couche d'apprêt, une couche horizontale et une couche verticale, l'ensemble faisant 1mm environ. Sur le flintcoat, on a ensuite projeté un enduit tyrolien. [15]

\*: Nom commercial français d'une émulsion à base de bitume utilisée pour l'imperméabilisation des parois des bâtiments [16]

## V. 2 Imperméabilisation du plâtre par la résine « plaspreg »

Si un plâtre est imprégné dans la résine synthétique à base de furane, il se polymérise et se solidifie à la chaleur, donnant naissance à un produit compact ayant l'aspect d'un plastique. On appelle ce matériau « **plaspreg** ».

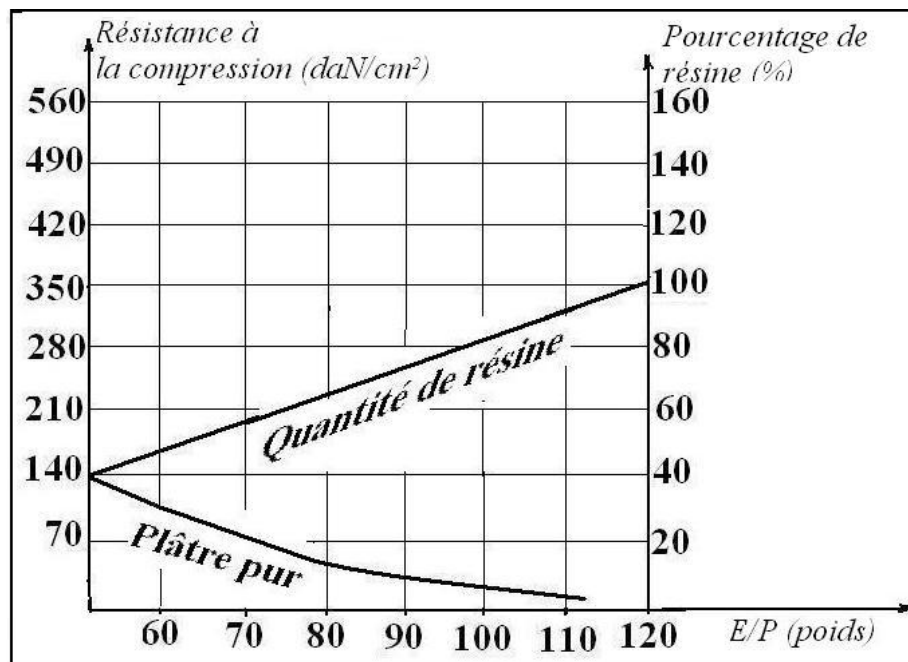
Ce plâtre résinifié conserve la texture cristalline du gypse mais, d'aspect et de contact, il ressemble plus à un produit plastique moulé qu'à un produit de plâtre.

## V.3 Fabrication du « PLASPREG »

La fabrication « **Plaspreg** » est conditionnée par les propriétés du plâtre et celles de la résine, et comporte plusieurs stades :

- Le moulage du plâtre se fait selon la méthode habituelle, mais en vue d'avoir le minimum de porosité, le gâchage de plâtre se fait avec le minimum possible d'eau de gâchage.
- Le démoulage a lieu après la fin de prise,
- L'application de la résine furane à basse viscosité intervient après séchage, par immersion ou pulvérisation.

Le meilleur imprégnateur est une résine furane à basse viscosité, parfaitement liquide, pouvant se transformer, par une polymérisation à la chaleur, en un corps solide, infusible et insoluble.



**Figure I.6** Relation entre le rapport E/P et la quantité de résine nécessaire, et la résistance du Plaspreg correspondante.[8]

#### V. 4 Avantage du produit « PLASPERG »:

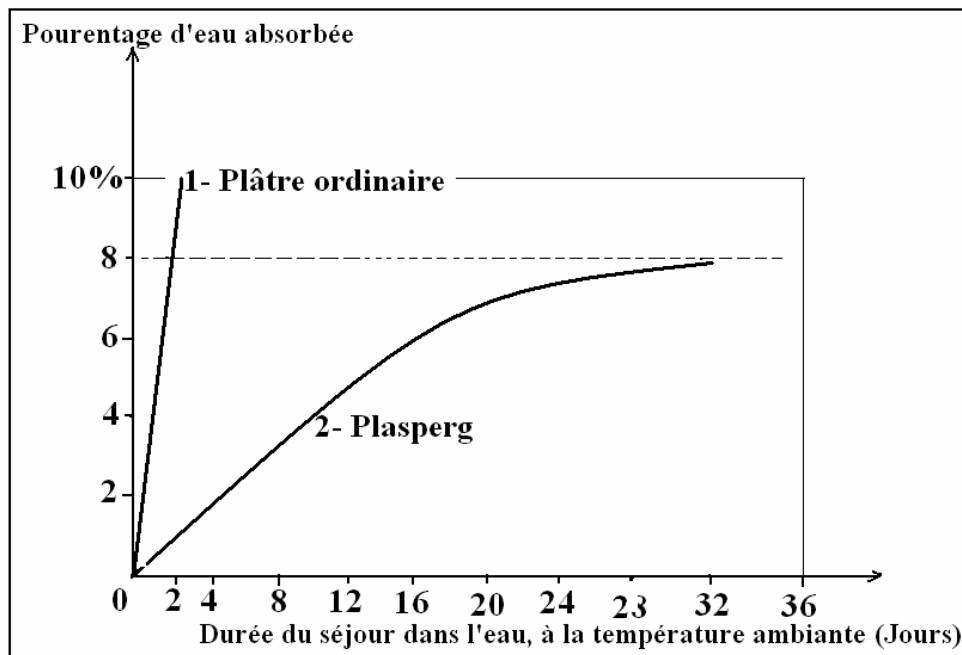
Le « plasperg » est stable, ne présente pas de retrait, il est facile à travailler et peut être verni. Ses propriétés physiques et mécaniques sont nettement supérieures à celles du plâtre ordinaire (voit tableau I.3).

	Plâtre ordinaire	« Plastperg » (sans fibres incorporées)
Masse volumique en g/Cm <sup>3</sup>	1.15	1.65
Résistance à la compression en MPa	10.5-12.5	525-560
Résistance à la flexion en MPa	3-3.5	175-250
Résistance au choc (éprouvette Charpy, non entaillée)	0.008-0.014	0.044-0.055
Pourcentage d'absorption d'eau en 24h	35%	2%
Température supportée	69°C	80°C (max 120°C)

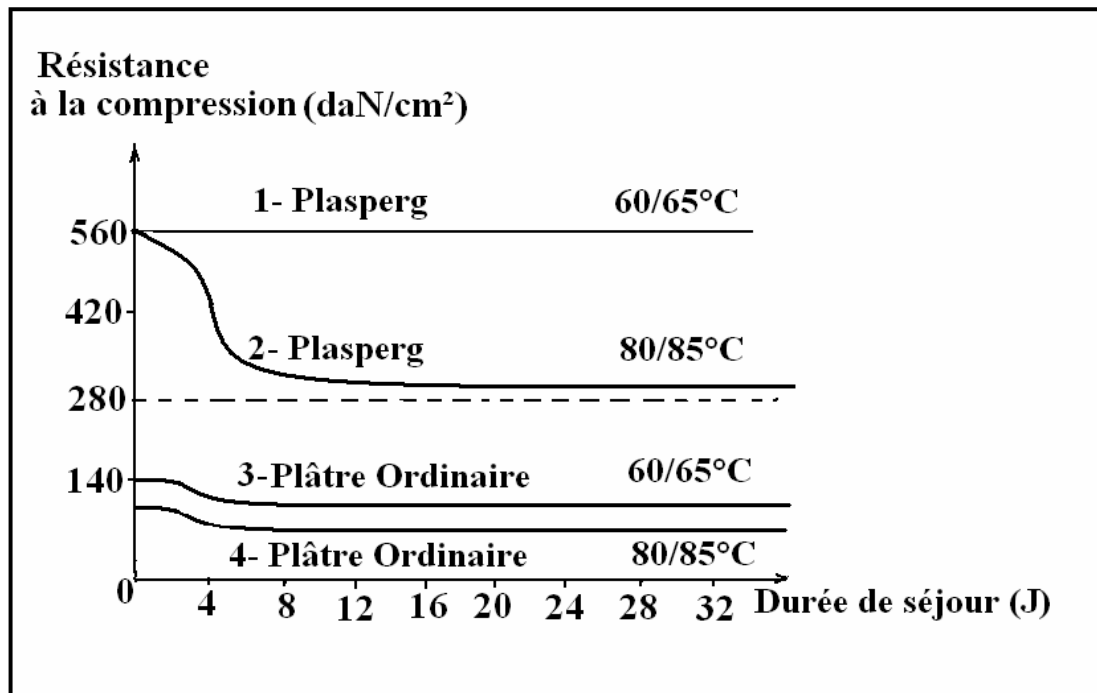
**Tableau I.3 :** Propriétés physiques et mécaniques du « Plastperg » et du plâtre ordinaire [8]

Elles sont encore plus remarquables si le Plastperg est renforcé avec des fibres longues (chanvre ou sisal).

Le « Plastperg » a une faible hygrométrie (figure I.7) : il lui faut 36 jours pour absorber le pourcentage d'eau que le plâtre ordinaire absorbe en 1 jour.



**Figure I.7:** 1- Courbe d'absorption d'eau par le plâtre ordinaire ;  
2- Courbe d'absorption d'eau par le plasperg. [8].



**Figure I.8:** Courbes de l'effet d'une chaleur prolongée sur le Plasperg et le Plâtre. [8]

Il est à noter que les facteurs qui limitent la résistance du « Plasperg » à la chaleur sont :

1. la perte d'eau de cristallisation ;
2. la température limite des résines furanes polymériques qui ne dépasse pas 120°-150°C environs

### V. 5 Avantage du produit « PLASPERG

En moyenne, un bon « Plasperg » contient 40% de résine furane polymérisée. Ses retraits, après l'étuvage, sont négligeables et ses dimensions sont parfaitement conservées.

Son coefficient de dilatation thermique du Plasperg est de  $22 \cdot 10^{-6}$ , voisin de celui de l'aluminium et des alliages d'aluminium, ce qui lui confère la possibilité d'être avantageusement renforcé par des armatures de ces métaux.

Le « Plasperg » ainsi armé peut supporté des efforts importants [17].

*Chapitre II*

***CARACTERISTIQUES  
DES MORTIERS  
DE PLATRE***

## I. INTRODUCTION

L'expérience a montré qu'il est possible de mélanger du sable au plâtre, en vue de réaliser des économies. Cependant, les propriétés des nouveaux matériaux ainsi obtenus diffèrent évidemment de celles du plâtre de base, ce qui implique des moyens de mises en œuvre différentes.

## II LES MORTIERS DE PLATRE

### II.1 MORTIER

G. Toutlemonde [18] définit un mortier comme étant le mélange d'un liant aérien ou hydraulique gâché à l'eau avec du sable. On peut donc avoir des mortiers de chaux ou de ciment.

Ces matériaux intermédiaires, sont des pâtes plastiques qui font prise et peuvent être employés, soit seuls pour constituer des enduits, soit comme ajout d'agrégation de matériaux pierreux élémentaires, pierres cassées ou pierre de taille. [18]

#### II.1.2 Propriétés des mortiers

Les qualités principales à rechercher dans un mortier sont : la résistance à la compression, la compacité, l'étanchéité et l'adhérence aux matériaux pierreux.

Ces qualités dépendent du liant, de la nature et de la granulométrie du sable, du dosage et de la quantité d'eau de gâchage.

Il a été démontré, qu'il était techniquement possible de mélanger le plâtre avec des sables afin d'obtenir des mortiers de plâtre. [5]

### II.2 Le plâtre

Le plâtre est un matériau très familier, il résulte de la cuisson du gypse, ou du sulfate de calcium dihydraté,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [1], [3], [4] et [5].

### II.3 Le sable

#### II.3.1 Définition

Les sables sont le produit du broyage naturel et de la désagrégation lente de diverses roches en particules très fines. Nous les trouvons dans le sol, dans le lit des rivières ou sur les rivages de la mer. D'après les caractéristiques des roches qui sont à leurs origines, on peut les classer en deux grandes catégories : les sables siliceux et les sables calcaires. [18]

### II.3.2 Propriétés physiques et chimiques

Les sables siliceux sont jaunâtres, brillant, ne font pas effervescence avec les acides, et se trouvent principalement dans les gisements terrestres et fluviaux. Les sables calcaires sont blanchâtre, très fins, font effervescence avec les acides et se trouvent surtout dans les dunes maritimes et les plages.

Selon leurs origine, les sables sont classé comme suit : [19]

#### Sable de rivière

Il est extrait par dragage, du lit des cours d'eau. Pour effectuer ces dragages, nous choisissons les endroits donnant des matériaux siliceux. Toutefois, dans certaines régions, le sable de rivière est schisteux, et donne de moins bons résultats, surtout si le schiste est tendre, car il a en outre tendance à se transformer en argile..

#### Sable de mer

Ce sable est généralement pur et excellent s'il n'est pas trop fin. Toutefois, le sable de mer est chargé de sel, ceci génère des inconvénients pour tous les travaux de construction.

Si l'on est obligé d'utiliser du sable de mer dans ce cas, il est nécessaire de laver au préalable à l'eau douce pour le purifier.

#### Sable de dune

C'est une variété de sable de mer, il est constitué d'éléments très réguliers et très fins.

#### Sable de carrière

Contient souvent de l'argile qui enrobe les grains de sable, et les empêcher d'adhérer au liants ; il est donc à proscrire. Le sable quartzeux, exemple de matière terreuse ou argileuse sont excellents pour les maçonneries.

#### Sables artificiels

On les obtient par broyage de roches dures (calcaires durs, grés, quartzistes, laves). Ces matériaux sont intéressants, tant pour la confection du béton de ciment, que pour confection des matériaux enrobés pour chaussées. Il convient toutefois de maîtriser le pourcentage de fines.

### III. TRAVAUX PUBLIÉS SUR LES MORTIERS DE PLÂTRE :

#### III.1 Mise en œuvre par simple coulage

A travers les différentes études publiées sur les mortiers de plâtre, [5],[10], [20], [21], [22],[23] il été constaté que :

- L'addition de sable a pour effet de rendre le mélange plus épais, donc le taux de gâchage E/P nécessaire pour obtenir une consistance donnée augmente avec le dosage en sable.
- L'ajout de sable ralenti la prise du plâtre.
- Les densités apparentes des sables secs varient généralement entre 1 et 2, celle du plâtre est de l'ordre 1. Les densités apparentes sèches des mortiers de plâtre évoluent donc aux environs de 1.5, selon les dosages respectifs du plâtre et du sable.
- Résistance mécanique : En gardant fixe le taux de gâchage et en variant le dosage en sable. Karger (1975) [24] a établi des courbes analogues pour les résistances sèches et humides à la flexion comme le montre la figure (II.1).

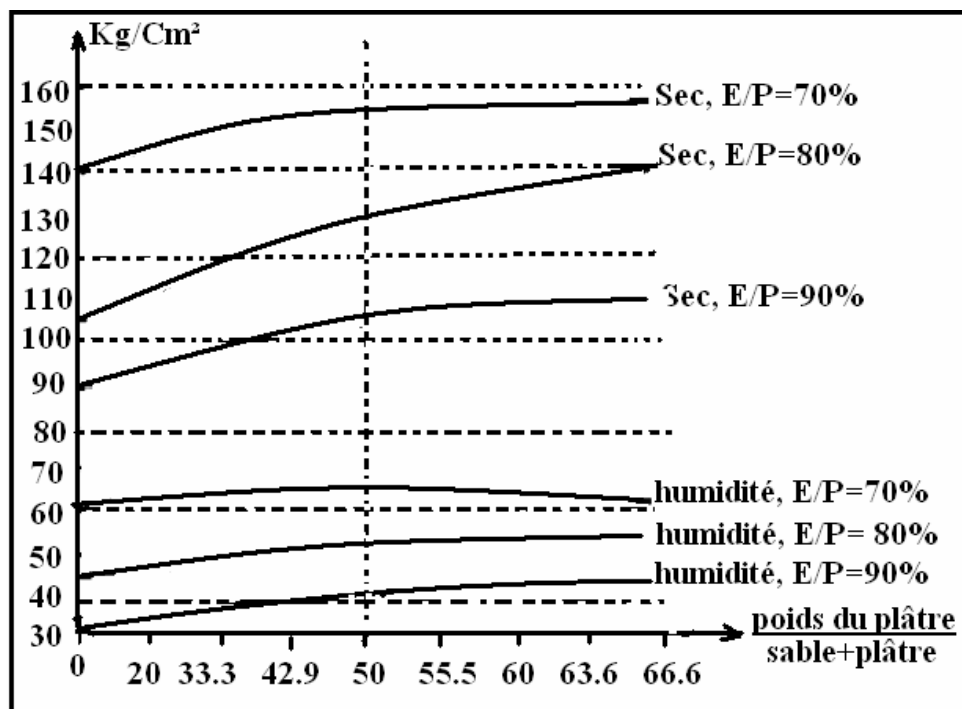


Figure II.1 : Résistance à la compression des mortiers [24]

**NB :** La résistance à l'état humide est définie ici comme étant la résistance mécanique des éprouvettes immergées pendant 48 heures.

- Les maximums de la résistance à la flexion à l'état sec se situent entre 30% et 70% du dosage de sable en poids ;
- Les maximums de la résistance à la flexion à l'état humides se situent entre 0% et 60% de dosage en sable.

Il s'avère que le dosage garantissant une résistance mécanique maximale se situe dans la fourchette de 30% à 70% du poids de sable rapporté au poids totale du sable et du plâtre. Comme d'autres auteurs, Albrecht [18] a remarqué que les résistances mécaniques diminuent lorsque la finesse des sables augmente, ce qui l'a amené à recommander le fuseau granulométrique au tableau (II.1), pour les sables utilisés dans la confection d'enduits de mortiers de plâtre projeté à la machine.

Ouvertures des tamis (mm)	0.02	0.09	0.2	0.6	1	3	7
Limite supérieure (mm)	8	20	30	80	100	100	100
Limite inférieure (mm)	0	0	5	30	40	70	100

**Tableau II.1:** Fuseau granulométrique des sables d'enduits projeté à la machine (d'après Albrecht (1961)) [20]

Albrecht préconise un autre fuseau granulométrique (tableau II.2) pour les enduits manuels, car ces derniers gâchés plus clairs occasionnent une ségrégation des gros grains, contrairement aux mortiers projetés à la machine qui ont un taux de gâchage plus faible.

Ouvertures des tamis (mm)	0.02	0.09	0.2	0.6	1	3	7
Limite supérieure (mm)	12	30	40	0	100	100	100
Limite inférieure (mm)	5	10	15	50	60	80	100

**Tableau II.2:** Fuseau granulométrique des sables d'enduits projeté à la main (d'après Albrecht (1961)) [20].

Les résultats des différentes études sur les résistances mécaniques à la compression et à la flexion des mortiers de plâtre, changent en fonction du taux de gâchage et du dosage en sable.

- Pour avoir une meilleure maniabilité, on doit utiliser des grains fins, mais ceci conduit à une baisse des résistances ;
- Pour acquérir une meilleure résistance, il faut utiliser des gros grains, mais ceci conduit à une ségrégation.

Théoriquement la granulométrie la plus rentable, est celle qui contient un minimum d'éléments fins juste nécessaire pour remplir les vides entre les gros éléments.

Des travaux ont été réalisés [25] sur des mortiers de plâtre et de sable de  
Les résultats concernant le comportement mécanique sont donnés sur le tableau II.3.

Age (jour)	Résistance à la flexion (MPa)			Résistance à la compression (Mpa)		
	7	21	47	7	21	47
100% plâtre	2.133	1.946	4.220	5.219	5.369	9.797
66.66% de plâtre + 33.33% de sable	0.943	0.863	2.380	2.379	2.792	5.699
50% de plâtre + 50% de sable	0.570	0.480	1.708	2.365	2.600	4.920
33.33% de plâtre + 66.66% de sable.	0.136	0.147	0.690	2.488	0.313	2.875

**Tableau II.3** : caractéristiques mécaniques des différentes compositions du mortier de sable de dune. [25]

Pour les mortiers simplement coulés, l'ajout de sable n'améliore point la résistance mécanique du plâtre, bien au contraire, plus le dosage en sable est fort, plus la résistance diminue

### III.2 Mise en oeuvre par compactage

Le procédé le plus traditionnel de réalisation des éléments préfabriqués en plâtre est le moulage ou le coulage simple, mais ce dernier nécessite un taux de gâchage plus important pour les mortiers que pour le plâtre pur, ce qui conduit à une chute des résistances mécaniques.

Pour obtenir un mortier de plâtre, ayant un dosage important en sable et garantissant en même temps de bonnes résistances mécaniques, il s'avère nécessaire de développer de nouveaux procédés de mise en œuvre de façon à couler rapidement avec le minimum nécessaire d'eau sous forme de blocs. La mise en œuvre par compactage 'avère une bonne solution [5].

Des études ont été entreprises pour étudier différents types de compactage (statique, dynamique et le vibro-compactage) des mortiers de plâtre pour:

- Améliorer la ductilité du mortier ainsi obtenu ;
- Réduire la quantité d'eau à éliminer par évaporation.

Les publications sur ce thème sont rares, nous pouvons néanmoins citer quelques unes par ordre de parution.

### III.2.1 Mise en œuvre par compactage statique

En 1984, le C.E.B.T.P [26] a réalisé des essais de laboratoire avec un plâtre industriel courant et du sable de Fontainebleu, pour comparer les résistances à la compression humide entre différents mortiers (différents dosages en sable), coulé simplement ou mis en place par compactage statique sous une pression de  $70\text{kg/cm}^2$  pendant une minute, les principaux résultats sont donnés dans le tableau (II.4).

	COULAGE			COMPACTAGE STATIQUE		
	E/P %	Densité apparente humide	R <sub>c</sub> humide à la rupture MPa	E/P %	Densité apparente humide	R <sub>c</sub> humide à la rupture MPa
Plâtre pur	58	1.68	3.7			
75% plâtre + 25% sable				18.7	2.04	12.8
50% plâtre + 50% sable	74	1.86	2.6	20	1.92	4.1
25% plâtre + 75% sable	107	1.6	0.8	24	1.89	0.6

**Tableau II.4** : Caractéristiques des mortiers de plâtre + sable, Coulés simplement et compactés [26]

Le dosage **plâtre/sable** est exprimé en poids, les taux de gâchage des éprouvettes coulées simplement ont été choisis de façon à permettre une mise en place sans vibration, ceux des éprouvettes compactées correspond à la quantité théorique juste nécessaire pour l'hydratation du plâtre.

Les éprouvettes ont été conservé à 20°C et 100% d'humidité relative et testé après 28jours.

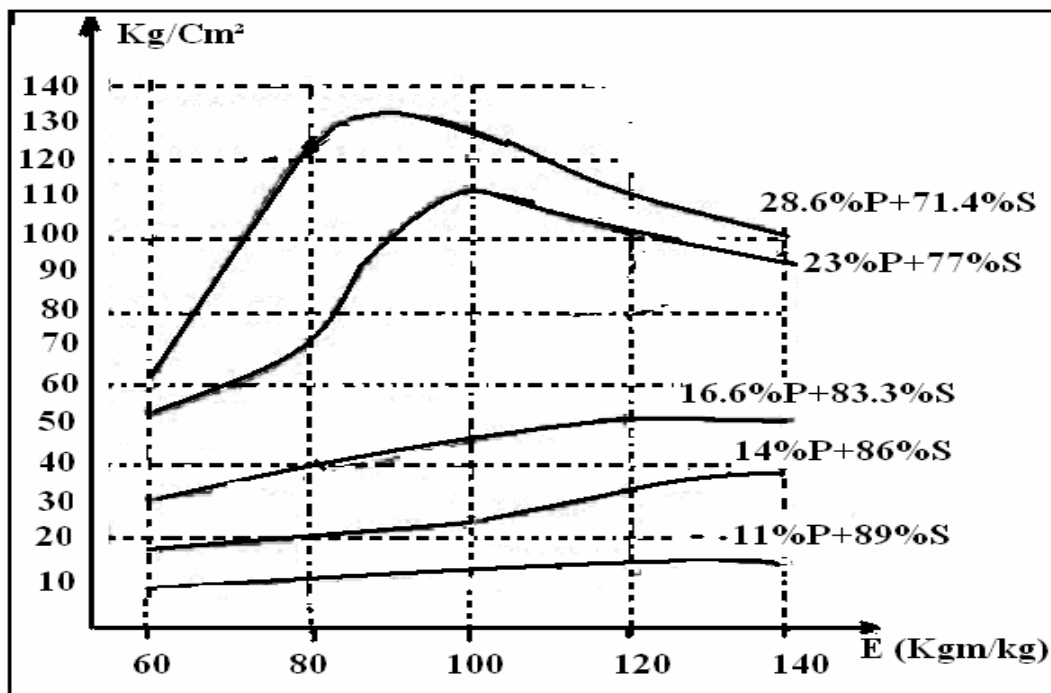
Il a été constaté que le compactage améliore nettement les résistances à la compression. Il confère un maximum intéressant qui se situe au voisinage d'une composition de **75% de plâtre et de 25% de sable** (en poids).

Il permet aussi un démoulage facile et rapide, donc une fabrication en série des blocs.

### III.2.2 Mise en œuvre par compactage dynamique

En 1985 A.Acceta et al ont aussi réalisé des essais de laboratoire sur des éprouvettes cubiques de 10\*10\*10 cm faites d'un plâtre fin de construction français et un sable fin de Loire (0-3), gâché manuellement avec un E/P de 0.36 et testé à 28 jours.

Le compactage a été fourni par la chute d'un mouton de 16kg d'une hauteur de 1.25m. Les principaux résultats des essais sont portés sur les courbes suivantes, qui illustrent l'évolution de la résistance à la compression sèche en fonction du dosage pondérale plâtre/plâtre + sable qui variant de 11% et 28.6% [27].



**Figure II.2 :** Résistance à la compression  $R_c$  de mortiers compactés dynamiquement [27]

Il faut tout d'abord signaler que l'on aperçoit l'allure classique des courbes de compactage des terres.

Chaque dosage en plâtre nécessite une certaine énergie, mais c'est le taux de gâchage qu'il faut contrôler de près pour garantir une résistance maximale, cette dernière évolue dans le même sens que le dosage en plâtre, mais c'est l'énergie de compactage équivalent à une résistance maximale qui varie.

### III.2.3 Mise en œuvre par vibro-compactage

Egalement en 1985 A.Acceta et al, ont étudié avec les mêmes mortiers précédents des blocs de 20\*20\*40m sur une presse vibrante.

Le compactage a été assuré par une pression verticale allant de 6 kg/cm<sup>2</sup> à 12 kg/cm<sup>2</sup>, tout en vibrant le matériau avec une fréquence de 50Hz.

L'allure classique des courbes cloches n'a pas été remarquée.

A un même dosage en plâtre, la résistance à la compression s'amplifie dans le même sens que la contrainte de compactage. [27]

Un maximum de résistance à la compression sec de 90 kg/cm<sup>2</sup> a été obtenu pour une contrainte de compactage de:

- 6 kg/cm<sup>2</sup> pour 28% de plâtre;
- 12 kg/cm<sup>2</sup> pour 23% de plâtre.

### III.2.4 Mise en œuvre par expansion contrariée

#### III.2.4.1 Définition de l'expansion contrariée

L'expansion contrariée des mortiers de plâtre a été découverte par M.J.M BROUARD [28], cette technique consiste à exercer sur l'échantillon de mortier de plâtre compacté à la teneur en au optimum proctor, une pression statique donnée pendant le temps nécessaire à l'expansion du semihydrate. Alors que le simple compactage génère une structure désordonnée des cristaux de plâtre, l'expansion contrariée favorise l'orientation des cristaux.

En 1987 le C.E.B.T.P [28] en collaboration avec le L.C.P.C, ont réalisé une étude t pour déterminer l'influence de l'expansion contrariée sur les performances mécaniques de deux mortiers de plâtre (tableau II.5), avec  $E/p = 15\%$ .

#### III.2.4.2 Résistance à la compression

Dans le tableau (II.5) sont données les résistances à la compression à l'état sec et humide compactées pour deux dosages différents et pour trois temps de compactage distincts.

	30% de plâtre + 70% de sable		40% de plâtre + 60% de sable	
Durée de la pression contrariée	30 s	15mn	30s	20mn
Résistance à l'état sec (MPa)	7	11.5	11.5	20
Résistance à l'état humide (MPa)	2.5		5.5	

**Tableau II.5** : Caractéristiques mécaniques du mortier de plâtre secs et humides (d'après le C.E.B.TP et L.C.P.C) [28].

En 1990, le C.E.B.T.P [28] en collaboration avec le L.C.P.C, à amélioré la même technique précité, en fabriquant une presse qui permet de fabriquer des blocs de 150\*150\*300 mm, avec une pression de 3 MPa. Les résultats ont donné dans le tableau suivant :

Résistance à l'état sec (MPa)		Résistance à l'état humide (après saturation) (MPa)	
Traction par flexion (MPa)	Compression simple (MPa)	Traction par flexion (MPa)	Compression simple (MPa)
4	10	0.5	2

**Tableau II.6 :** *Caractéristiques mécaniques du mortier de plâtre secs et humides (d'après le C.E.B.TP et L.C.P.C) [28]*

### III.2.5 Mise en œuvre par compactage statique

Un autre auteur F.Kharchi [21], [22] a aussi essayé d'améliorer les caractéristiques physico mécaniques du plâtre par compactage statique. En prenant comme référence les données de [25] avec les mêmes compositions pondérales et les mêmes rapports E/P, en ajoutant deux nouveaux mortiers composés l'un de plâtre et de tuf et l'autre composé à la fois de plâtre de sable et tuf. [21],[22].

Il faut signaler que :

- Le sable provient toujours des dunes de la région de Boussaâda ;
- Le tuf provient du site de Baba H'sen ;

Dans le tableau (II.7) sont données les différentes proportions des composants des mortiers.

	% plâtre		% sable	% tuf	E/P
Plâtre pur	P	100	0	0	0.58
Mortier de sable	PS1	67	33	0	0.50
	PS2	50	50	0	0.88
	PS3	33	67	0	1.26
Mortier de tuf	PT1	67	0	33	0.50
	PT2	50	0	50	0.88
	PT3	33	0	67	1.26
Mortier de sable + tuf	PST1	33	33	33	1.26
	PTS2	50	25	25	0.45
	PTS3	25	50	25	0.40
	PTS4	25	25	50	0.40

**Tableau II.7 :** *Composition des différents mortiers.[21]*

#### A. Eprouvettes coulées simplement

Les résistances mécaniques (à la compression et à la flexion) des différents mortiers sus cités coulés simplement sont portés dans le tableau suivant :

Age(jour)	Résistance à la flexion (MPa)						Résistance à la compression (MPa)					
	3	7	14	21	28	47	3	7	14	21	28	47
P	2.061	3.31	4.84	5.58	6.08	6.10	6.81	7.74	11.15	13.99	14.59	15.80
PS1	1.10	1.21	2.03	2.85	4.17	4.20	3.27	6.79	7.80	8.91	10.61	11.50
PS2	0.84	0.69	1.48	1.79	2.88	2.91	2.84	3.41	5.30	2.672	8.64	8.69
PS3	0.34	0.35	0.89	1.10	2.01	2.77	1.87	2.8	3.16	3.60	8.41	8.40
PT1	1.01	1.03	1.47	1.82	2.03	2.26	2.57	2.29	3.82	3.50	11.65	12.01
PT2	0.52	0.72	1.07	1.48	1.69	1.70	1.37	1.73	2.85	2.88	9.09	9.21
PT3	0.26	0.32	0.78	0.81	1.56	1.71	0.79	0.83	1.43	2.63	6.13	6.42

**Tableau II.8:** caractéristiques mécaniques des différents mortiers coulés simplement. [21],[22] et [30]

Il est à noter que quel que soit le type d'ajout (sable de dune, tuf ou sciure de bois), les différents mortiers ne présentent aucune amélioration des performances mécaniques à comparer avec le plâtre pur quel que soit le pourcentage de cet ajout ; bien au contraire, plus ce pourcentage augmente plus la résistance chute.

Pour cette raison là, il a été procédé au compactage des matériaux pour améliorer leurs résistances mécaniques.

## B. Eprouvettes compactées

Le compactage s'est fait sur le mortier frais, par une presse manuelle conçue pour réaliser des blocs de béton de terre stabilisé (B.T.S).

Le tableau (II.9) regroupe les résistances mécaniques des différents mortiers qui ont les meilleures performances mécaniques à différents âges.

Age (jour)	Résistance à la flexion (MPa)						Résistance à la compression (MPa)					
	3	7	14	21	28	47	3	7	14	21	28	47
100% plâtre	2.89	2.89	4.34	4.30	4.2	4.80	8.54	7.57	10.48	15.5 5	14.6	15
67% plâtre + 33% de sable	2.18	3.47	4.9	4	4.6	5	6.68	11.8	14.56	13.1	17.9	18
67% plâtre + 33% de tuf	1.87	2.54	3.7	3.31	3.4	3.6	6.13	8.09	12.87	11.7 6	11.6 2	10

**Tableau II.9 :** caractéristiques mécaniques sèche des différents mortiers compactés. [21], [22] et [30]

Dans le tableau (II.10) sont portées les résistances mécaniques pour les mortiers étudiés (coulés simplement et compactés à l'état humide) –à titre comparatif-.

	Coulé simplement		compacté	
	R <sub>f</sub> (MPa)	R <sub>c</sub> (MPa)	R <sub>f</sub> (MPa)	R <sub>c</sub> (MPa)
100% plâtre	2.08	5.85	1.76	5.25
67% plâtre + 33% de sable	0.53	1.36	1.68	6.58
67% plâtre + 33% de tuf	0.53	1.40	1.10	2.63

**Tableau II.10** : caractéristiques mécaniques à l'état humide des différents mortiers compactés. [21], [22] et [30].

Il a été constaté que quel que soit le type d'ajout, le compactage améliore nettement les caractéristiques mécaniques -même à l'état humide- des différents mortiers de plâtre. Toutefois, il est important de signaler que c'est le mortier composé de plâtre et de sable de dune compacté qui a donné les meilleures résistances qu'il s'agisse de l'état sec ou humide.

En définitif, nous constatons à travers les différents travaux précités, qui visaient l'amélioration des performances des matériaux à base de plâtre, l'ajout de sable à un dosage compris dans une plage bien approprié et le compactage (la technique de compactage approprié à chaque étude) est une solution très intéressante pour améliorer les performances mécaniques du mortier étudié.

*Chapitre III*

***ETUDE  
THERMIQUE***

## I. INTRODUCTION

Le rôle d'une habitation est de procurer un abri dont la fonction est de créer un élément intérieur adapté aux besoins de l'occupant. Parmi ces besoins, le confort thermique doit être pris en considération, car il représente un besoin naturel de l'être humain. [31]

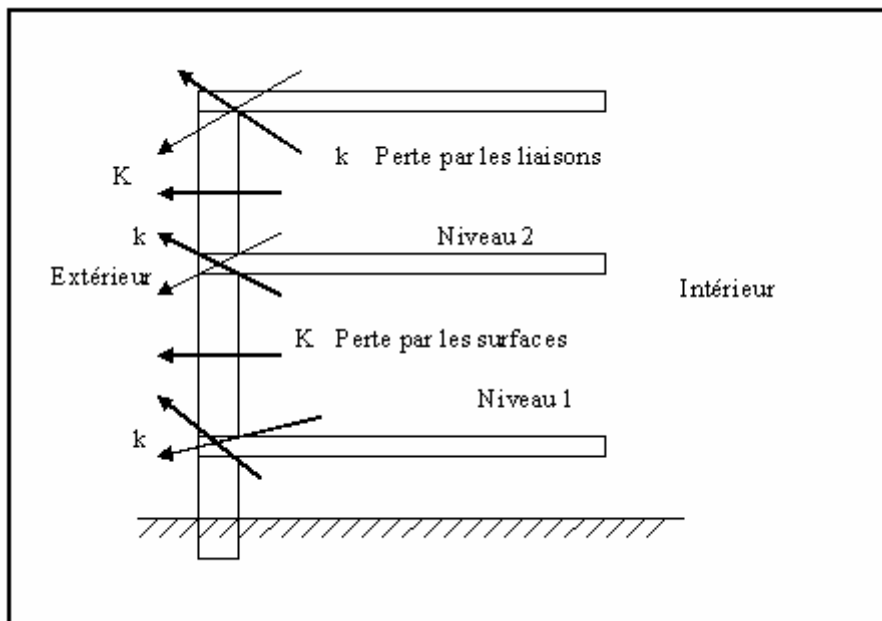
L'évolution des méthodes de construction, le besoin d'un confort thermique plus approprié et le souci d'économie d'énergie ont suscité un intérêt pour l'amélioration de mode construction, c'est à dire la recherche de matériaux et de techniques de mise en œuvre, résistant et susceptible de réduire le flux de chaleur à travers l'enveloppe des bâtiments.

De nombreuses régions en Algérie, principalement les zones sahariennes, et les hauts plateaux, connaissent d'importantes variations de température du milieu extérieur, tant journalières que saisonnières.

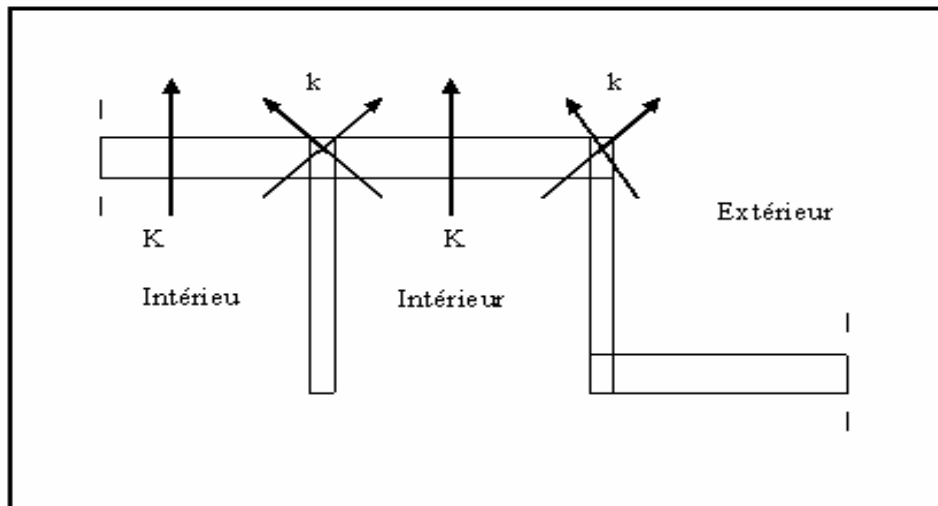
La consommation d'énergie des maisons algériennes pourrait être largement diminuée si les toitures et les murs avaient une meilleure isolation thermique [31], [32],

## II. LES DEPERDITIONS DE LA CHALEUR A TRAVERS L'ENVELOPPE DU BATIMENT :

Plusieurs auteurs [32] [33], estiment que les déperditions de chaleurs à travers la paroi extérieure d'une habitation sont divisées en trois groupes représentés sur les figures III.1 et III.2 :



**Figure III.1 :** Déperditions a travers l'enveloppe du bâtiment  
(Vue en travers)



**Figure III.2 :** *déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment  
(Vue en plan)*

$K$  : coefficient de déperdition surfacique ;  
 $k$  : coefficient de déperdition linéique.

- a. Les déperditions en partie courante, ou surfacique sont caractérisées par le coefficient **K**. Elle représentent environs 75% des déperditions totales et se décomposent comme suit:
  - Les portes et fenêtre 13% ;
  - Les murs 16% ;
  - Les toits 30% ;
  - Les sols 16 %.
- b. Les déperditions par les liaisons ou linéiques représentent 5% des déperditions totales, et sont caractérisées par le coefficient **k**.
- c. Les déperditions par renouvellement d'air représentent environs 20% des déperditions totales. Elles correspondent à la chaleur évacuée par ventilation naturelle ou mécanique.

Afin de réduire les déperditions surfacique, linéique et par renouvellement d'air, une isolation thermique de la structure s'avère nécessaire, celle-ci est réalisée en ajoutant un isolant thermique autour de l'enveloppe extérieur de la construction.

### III. LES MATERIAUX ISOLANTS

Les matériaux utilisés dans les bâtiments comme classe les isolants thermiques sont classés suivant leurs origines en trois catégories, [31], [32],[33]et[34], à savoir:

- A- les isolants à base minérale;
- B- les isolants à base végétale;
- C-les isolants de synthèse.

#### A -Les isolants minéraux

Ils sont fabriqués à partir de minéraux naturels traités et généralement fondus. On les distingue suivant la nature de la matière première.

- Les laines minérales: elles sont obtenues à partir de la silice d'un fondant et de stabilisants portés à fusion, puis étirés ou soufflés;
- Les laines de roches: elles sont obtenues à partir de roches d'origine volcanique (permiculite) fondues à 1600°C, puis étirées sous forme de fibres.

#### B-Les isolants à base végétale

##### B-1 le liège expansé pur

Il est constitué de granulés de liège calibrés (écorce de chêne). Sa fabrication consiste à la soumettre à une compression de 10kg/cm<sup>2</sup> et à l'action de la chaleur, la substance contenue dans les grains est extrudée et donnant un liant.

##### B-2 les panneaux de fibres de bois tendres

Les panneaux sont obtenus à partir de défibrage des bois sous l'action de vapeur à haute pression, les fibres de bois séparées des parties hémicellulosiques sont feutrées puis essorées.

##### B-3 les panneaux dérivés du bois

Ce sont des panneaux de particules, des panneaux de contre-plaqué, ou des panneaux de fibres de bois agglomérés au ciment. Leur caractéristique essentielle, rigidité et résistance mécanique permettent de les associer aux isolants de panneaux complexes.

#### C-Les isolants de synthèse

Les isolants de synthèse sont des produits alvéolaires appelés aussi "plastiques alvéolaires" obtenus à partir de produits hydrocarbonés.

a-Les polystyrènes expansés :

- a-1 le polystyrène moulé après pré-expansion;
- a-2 le polystyrène expansé en continue, stabilisé par dépression;
- a-3 le polystyrène thermo-comprimé soudé, continu.

b-Les mousses rigides des polyuréthanes;

c-Les mousses de PVC ou polychlorure de Vinyle

Le matériau faisant l'objet de notre recherche est un mortier de plâtre, qui ne figure dans aucune des catégories suscitées. Il s'avère donc nécessaire de faire une étude thermique pour mieux comprendre son comportement thermique et cerner sa capacité isolante.

La caractérisation thermique d'un matériau passe par la détermination des caractéristiques thermiques suivantes :

- Conductivité thermique ;
- Capacité calorifique ;
- Chaleur volumique ;
- Diffusivité thermique ;
- Sources internes.

Dans notre cas la caractérisation thermique de nos mortiers de plâtre se limite à la détermination de la conductivité thermique  $\lambda$  caractéristique thermique qui exprime la capacité isolante d'un matériau et ce par mesure.

#### **IV. CARACTERISATION THERMIQUE DES MORTIERS DE PLATRE**

Nous rappelons qu'un mortier est un mélange d'un liant avec le sable gâché à l'eau, et les propriétés essentielles visées dans un mortier sont : la résistance à la compression, la compacité, l'étanchéité et l'adhérence au matériau.

La connaissance de la conductivité thermique et les paramètres pouvant influencer sa variation est primordiale pour pouvoir déterminer le confort thermique que peut garantir le matériau étudié.

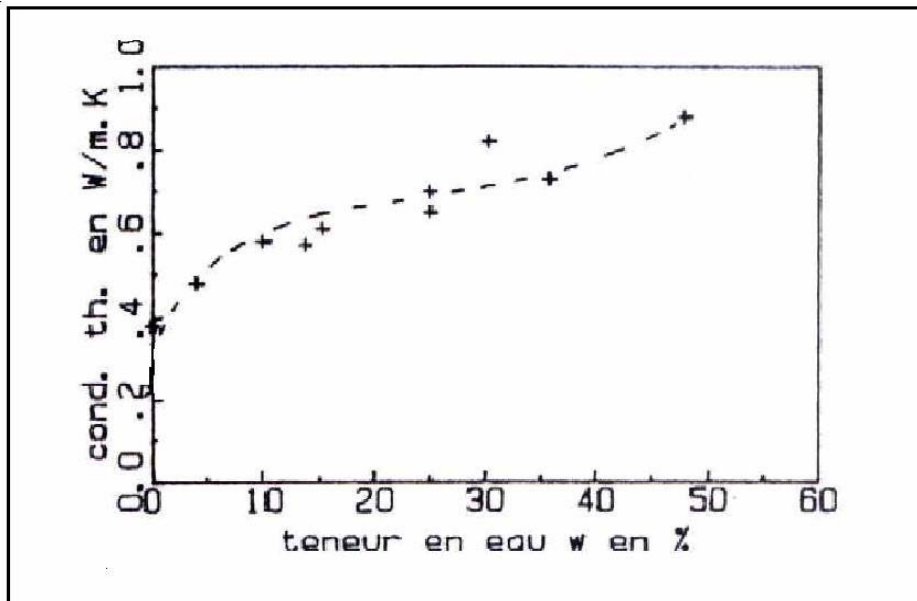
Il ne faut comparer les conductivités thermiques des différents matériaux qu'à la même épaisseur.

Les études thermiques touchant au mortier de plâtre sont inexistantes, mais nous avons repéré quelques articles sur le plâtre et sur le sable, dont nous présentons ici l'essentiel.

##### **IV.1 Caractérisation thermique du plâtre**

###### **IV.1.1 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la teneur en eau ( $\omega\%$ )**

Dans le but d'apprécier l'influence de la teneur en eau sur la conductivité thermiques du plâtre, des essais de mesure de la conductivité thermique du plâtre ont été effectué , et les différents résultats ont été sont représentés sur la figure III .3 [35]

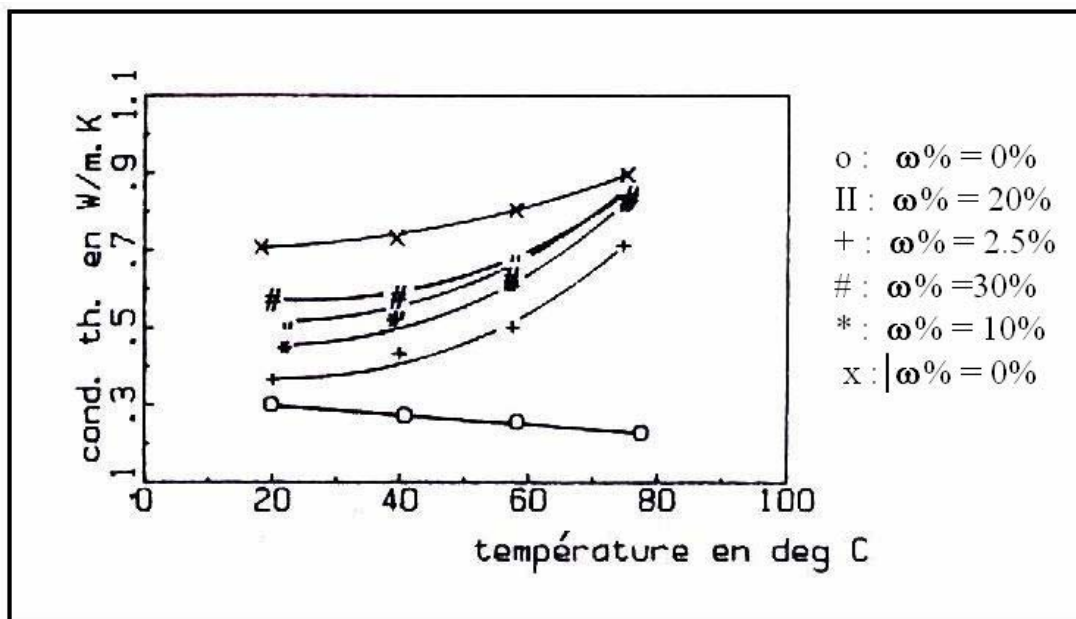


**Figure III.3 :** conductivité thermique du plâtre (E/P=1) en fonction de la teneur en eau ( humidité). (d'après [35 ])

Il est constaté que la conductivité thermique du plâtre augmente progressivement lorsque la teneur en eau augmente [35].

**IV.1.2 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la température :**

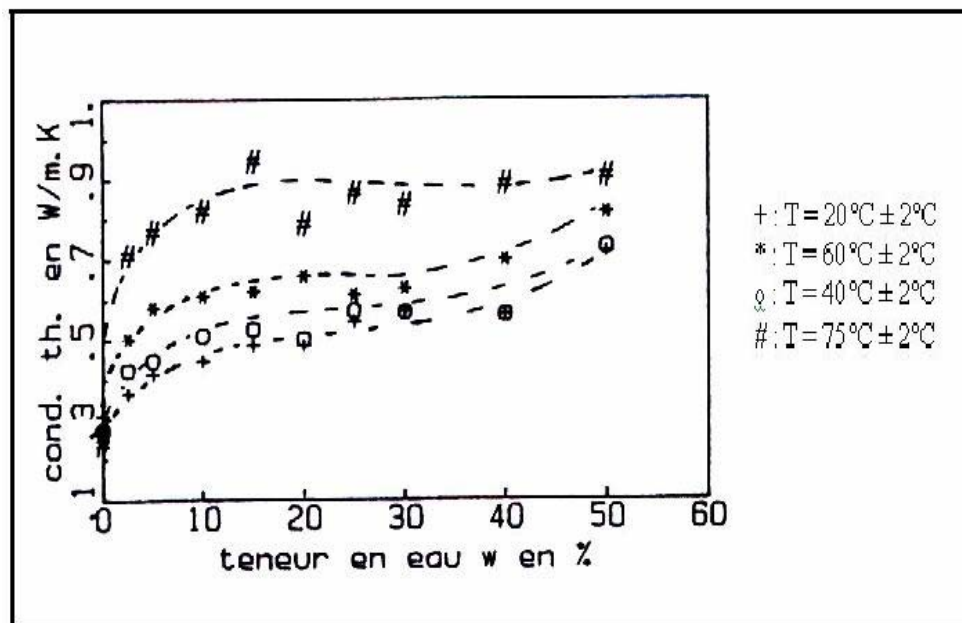
- ❖ Sur la figure III.4 sont représentés les courbes illustrant la variation de la conductivité thermique en fonction de la température et ce à différentes teneurs en eau.



**Figure III.4:** Conductivité thermique du plâtre (E/P=1) en fonction de la teneur en eau (humidité) .(d'après [35])

Il apparaît clair que contrairement à son comportement à l'état sec ( $\omega\% = 0\%$ ), où la conductivité thermique du plâtre décroît lorsque la température augmente. Humidifié, sa conductivité thermique amplifie avec l'augmentation de la température, et cette augmentation est d'autant importante que la teneur en eau est élevée [35].

- ❖ Sur la figure III.5, sont portés les résultats de mesure de la conductivité thermique ayant pour but d'apprécier aussi la fonction simultanée de la température et la teneur en eau en fixant le taux de gâchage  $\frac{E}{P} = 1$ :



**Figure III.5:** Conductivité thermique du plâtre ( $E/P=1$ ) à différentes températures (d'après [35]).

L'effet de la température et la teneur en eau est clairement mis en évidence. En effet, dès que le plâtre s'humidifie, la conductivité thermique augmente rapidement avec la teneur en eau, et cela autant plus que la température est élevée. Ce qui confirme les résultats précédents [35].

#### IV.1.3 Conductivité thermique du plâtre en fonction de la masse volumique

Dans le tableau III.1, le D.T.U [36] donne la conductivité thermique de matériaux à base de plâtre, et la masse volumique correspondante.

<i>Matériau</i>	Masse volumique Sèche ( $\rho$ ) en $\text{kg/m}^3$	Conductivité thermique ( $\lambda$ ) en $\text{W/m}^\circ\text{C}$
<i>Plâtre sans granulats :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plâtre « gâché serré » ou « très serré » et plâtre projeté.</li> <li>▪ Plâtre d'enduit intérieur (plâtre fin de construction) ou plâtre gros de construction, ou plaque de plâtre à parement de carton « standard » et « haute dureté » ou éléments préfabriqués en plâtre à parement lisse.</li> </ul>	1100 à 1300 750 à 1000	0.50 0.35
<i>Plâtre avec granulats légers ou fibres minérales :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plaques de plâtre à parement de carton « spéciales feu » et plaque de plâtre armés de fibre minérales ;</li> <li>▪ Plâtre d'enduit avec perlite tout venant ou vermiculite grade 2 (de 1 à 2mm) : <ul style="list-style-type: none"> <li>-1 volume pour 1 volume de plâtre</li> <li>-2 volumes pour 1 volume de plâtre</li> </ul> </li> </ul>	800 à 1000  700 à 900 500 à 700	0.35  0.30 0.25

**Tableau III.1 :** Conductivité thermique pour différentes masses volumiques de plâtre.[36]

Il apparaît clairement que la conductivité thermique est une fonction directe de la masse volumique, puisqu'elle augmente lorsque celle-ci augmente aussi

#### IV.1.4 Conductivité thermique du plâtre en fonction du pourcentage d'ajout (sciures de bois)

Dans le tableau ci après, sont données les conductivités thermiques d'un mélange de plâtre et de sciures de bois à trois dosages différents :

Composition	Dimensions ( $\text{Cm}^2$ )	Masse (kg)	$\lambda$ ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )
100% de plâtre	0.27*0.27*0.035	3.28	0.318
90% de plâtre + 10% de sciures de bois	0.27*0.27*0.035	2.458	0.268
85% de plâtre + 15% de sciures de bois	0.27*0.27*0.035	2.06	0.225

**Tableau III.2 :** Caractéristiques des éprouvettes de mortiers de plâtre+ sciures de bois. [23]

Une amélioration de la conductivité thermique du plâtre a été constatée, avec l'ajout des sciures de bois, et cette amélioration est d'autant plus grande que le pourcentage d'ajout augmente.

## IV.2 Caractérisation thermique du sable

La littérature n'a pas accordé beaucoup d'importance aux caractéristiques thermiques du sable, néanmoins, nous résumerons les données sur la conductivité thermique du sable données dans la littérature dans le tableau III.3.

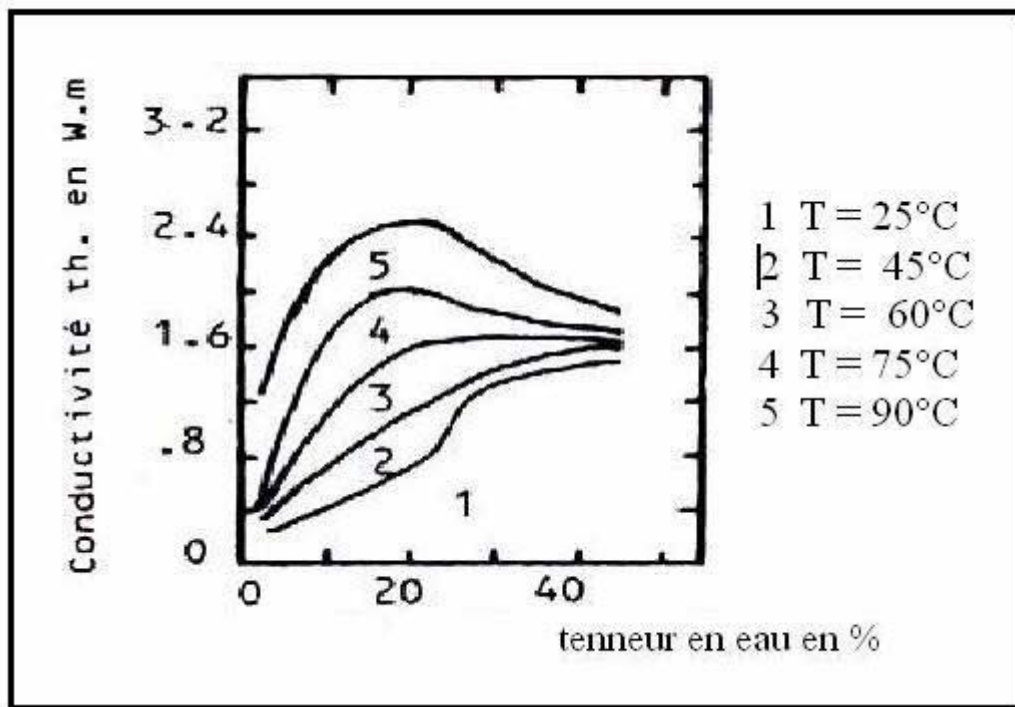
### IV.2.1 Conductivité thermique du sable en fonction de la masse volumique

Matériau	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\lambda(\text{W/m}^\circ\text{K})$
Sable :	1500	0.302
• Ballast, sec	-	0.582
▪ humide	1800-2000	1.128 - 1.745
Sable de mer à:		
▪ 0% d'humidité ;	1600	0.314
▪ 10% d'humidité ;		1.244
▪ 20% d'humidité ;		1.756
saturé d'humidité		2.442
Sable en moyenne	1500-1800	0.93
Sable, de pureté normal à :		
▪ 0% d'humidité ;	1600 - 2100	0.326
▪ 10% d'humidité ;		0.965
▪ 20% d'humidité ;		1.326
▪ saturé d'humidité		1.884
Sable de terrain naturel	-	2.326

**Tableau III.3 :** *Conductivité thermique du sable en fonction sa masse volumique à 20°C*  
(d'après [36])

### IV.2.2 Conductivité thermique du sable en fonction de la teneur en eau

A.Nir a étudié la conductivité thermique du sable en fonction la teneur en eau, et les résultats sont donnés sur la figure ci après [37].



**Figure III.6 :** *conductivité thermique du sable en fonction de la teneur en eau .d'après [37]*

Il est constaté que la conductivité thermique augmente constamment avec l'augmentation de la teneur en eau.

Entre une température de 25 et 45°C, la conductivité thermique du sable augmente progressivement, jusqu'à atteindre un certain seuil, pour paraître se stabiliser.

D'autre part, à des températures élevées, nous remarquons que la conductivité thermique du sable augmente avec l'accroissement de la teneur en eau jusqu'à un certain seuil, qui se situe au voisinage de  $\omega\% = 20\%$ , pour décroître ensuite pour se stabiliser au-delà de  $\omega\% = 35\%$

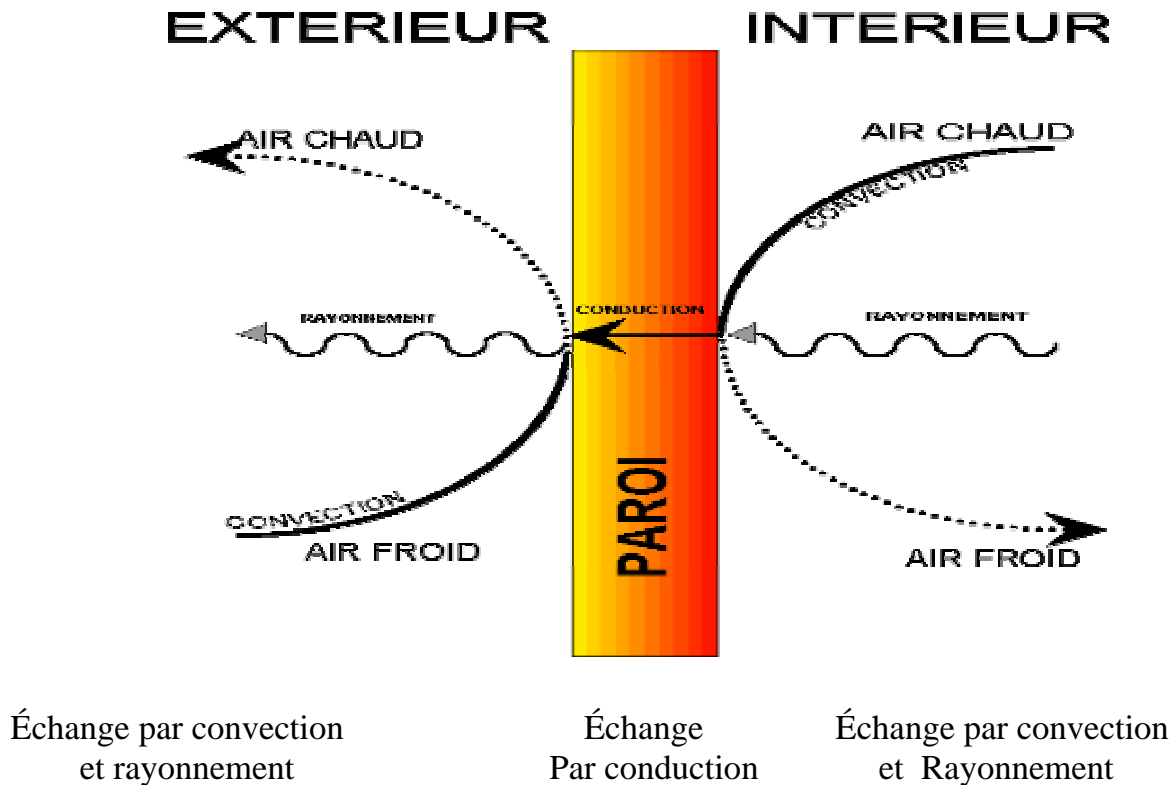
## V. MISE EN EQUATION DU PHENOMENE DE TRANSFERT DE LA CHALEUR DANS UNE PAROI

### V.1 Généralités sur la chaleur

Le transfert de chaleur peut être défini comme étant la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température.

La chaleur s'écoule des parties chaudes vers les parties froides jusqu'à l'égalisation des températures des différentes parties.

Le schéma suivant illustre ces différents transferts à travers une paroi extérieure d'une structure, sans pour autant présenter le mode exact de transfert [32], [33].



**Figure III.7 :** Schéma représentatif du transfert de chaleur à travers une paroi de bâtiment.

## V.2 Les différents transferts de la chaleur à travers une paroi du bâtiment

### V.2.1 Conduction.

Le transfert de chaleur par conduction dans les milieux solides ou fluides supposés au repos se fait de proche en proche, d'une particule à l'autre, ou d'une molécule à l'autre des régions les plus chaudes vers les régions les plus froides.

Il n'y a pas de déplacement apparent de la matière, c'est-à-dire le transfert de la chaleur par conduction se fait sans transfert de masse.

### V.2.2 Rayonnement

Tous les corps matériels de température absolue  $T > 0^\circ\text{K}$ , émettent des ondes électromagnétiques ; on dit qu'ils émettent "un rayonnement thermique". En plus, au processus d'émission de rayonnement thermique s'ajoute un processus d'absorption des radiations électromagnétiques provenant de l'environnement de ces corps. Leur état thermique est alors régi par le bilan des processus d'émission et d'absorption.

Le rayonnement thermique correspond à un transfert de chaleur ne nécessitant aucun support matériel, c'est ainsi que la terre est "chauffée" par le rayonnement thermique du soleil qui s'est propagé dans le vide, de la surface solaire, qui l'a émis, jusqu'à la terre qui l'absorbe.

### V.2.3 Convection.

C'est, de façon générale, un transfert de chaleur entre deux phases de nature différente. Elle intervient, par exemple, à la surface de séparation entre un solide et un fluide (liquide ou gaz), ou à la surface entre un liquide et un gaz.

La convection correspond à un transport de chaleur par transfert de matière.

Dans la réalité, les différents modes de base du phénomène de transfert de la chaleur sont le plus souvent la conduction et le rayonnement. Dans le cas des solides transparent (verre, matière plastique), et la conduction, le rayonnement et la convection dans le cas des fluides. Dans un problème de conduction, nous disposons d'un système matériel dont nous connaissons la géométrie et les caractéristiques physiques. Ce système est en contact avec des sources de chaleur.

Ces sources et les liaisons thermiques constituent les conditions aux limites du système. Le problème à résoudre est donc la connaissance de la température en tout point et son évolution au cours du temps :

$$T = f(x, y, z, t) \quad (\text{III.1})$$

Avec T champs de température.

Un mur de construction est considéré comme un corps solide et opaque ; le transfert de chaleur se fait par conduction. Les deux autres types de transferts de la chaleur, par convection et par rayonnement agissent soit simultanément ou séparément sur les surfaces frontières du mur et ils représentent les conditions aux limites du problème de conduction.

## V.2 Loi fondamentale de transfert de chaleur par conduction :

La relation fondamentale de transfert de la chaleur par conduction a été proposée par FOURIER (1822), et pour bien définir cette loi, il faut au préalable définir certaines grandeurs physiques. [38, 39, 40]

### V.2.1. Flux de chaleur à travers une surface

C'est la quantité de chaleur qui traverse une surface considérée pendant l'unité de temps. Elle est exprimée par la relation :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{W/s}] \quad (\text{III.2})$$

### V.2.2. Densité de flux de chaleur

C'est la quantité de chaleur qui traverse l'unité de surface pendant l'unité de temps, donnée par l'équation :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt ds} \quad [\text{W/s.m}^2 \text{ ou en Kcal/h.m}] \quad (\text{III.3})$$

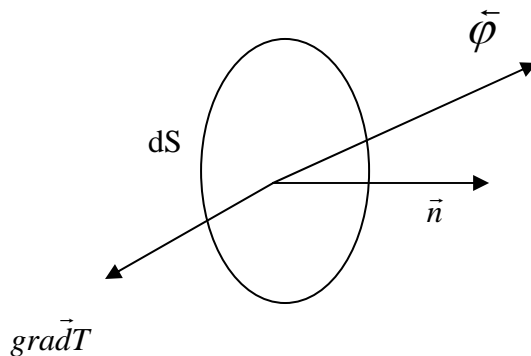
### V.2.3. Surface isotherme

Dans tout le corps, on peut définir à l'instant  $t$ , des surfaces lieu des points ayant la même température, appelées *surface isotherme*.

### V.2.4 - Loi de FOURIER

L'énoncé de cette loi est le suivant :

« Il existe une relation linéaire entre la densité du flux de chaleur et le gradient thermique ». [39], [40]



**Figure III.8:** Schéma d'un élément de surface

$$d\Phi = -\lambda \text{grad} \vec{T} \vec{n} dS \quad (\text{III.4})$$

Pour un milieu isotrope

$$\vec{\varphi} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad} T} \quad (\text{III.5})$$

- La présence du signe moins dans le second membre de la relation (III.4) signifie que le flux de chaleur progresse dans le sens opposé du gradient thermique ; c'est-à-dire des températures les plus élevées vers les températures les plus basses ;

- Le flux de chaleur à travers un élément de surface  $dS$ ,  $\vec{grad}T$  définit la direction de la plus grande décroissance de  $T$  ;

$$\vec{grad}T = \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

- $d\vec{S} = \vec{n}.dS$ ,  $\vec{n}$  normale de l'élément de surface ;
- $\lambda$  conductivité thermique, qui dépend du matériau

### V.2.4.2 Conductivité thermique

La conductivité thermique caractérise l'aptitude du matériau à se laisser traverser par le flux de chaleur. De ce fait la conductivité thermique est l'une des caractéristiques les plus importantes à prendre en compte pour le choix d'un matériau isolant. [31], [32] et [33]

La conductivité thermique dépend d'un très grand nombre de facteurs, les plus importants étant la direction (dans le cas des corps anisotropes ou existent des directions privilégiés de la chaleur), la température, la pression (mécanique pour les solide, et la pression des gaz et vapeurs inclus dans les milieux poreux) [41]

Dans notre cas, en tout point d'un milieu isotrope, la conductivité thermique est une grandeur scalaire positive caractéristique du milieu. Elle est en fonction des coordonnées du point (M) et de la température (T) [42].

Pour un milieu isotrope et homogène, la conductivité thermique ( $\lambda$ ), en tout point ne dépend que de la température (T). Lorsque les écarts de température ne sont pas trop élevés ( $\Delta T \ll 100^\circ\text{C}$ ) ; la conductivité thermique, est une constante. L'unité de  $\lambda$  dans le système international est [J/s.m.°C] et dans le système ingénieur est [kcal/h.m.°C] ou [W/m°C] .

## V. 3 Equations générale de la chaleur

Soit un milieu solide de volume  $V$ , l'état mécanique et physico-chimique de ce milieu est supposé invariable, tel que :

$\rho$  : masse volumique ;

$C$  : chaleur massique ;

$\chi = \rho.C$ : chaleur volumique ;

$\lambda$  : conductivité thermique ;

$P$  : puissance générée par unité de volume due aux sources internes

### V.3.1 Bilan énergétique :

Soit un élémentaire de volume  $dv \in V$ , avec  $dv = dx dy dz$  :

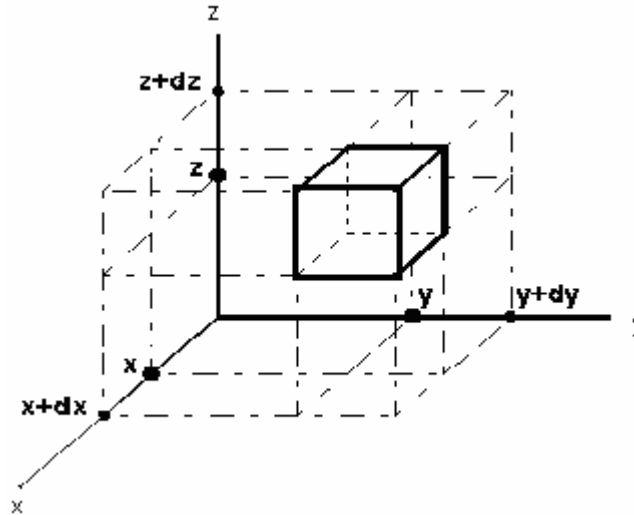


Figure III.9: Schéma d'un élément de volume

Les énergies reçues par le système sont supposées positives.

Les différentes quantités de chaleur échangées avec le milieu extérieur, sont :

- La puissance échangée sur la surface limite (S) ;
- La puissance fournie par les sources ;

La puissance échangée à travers (S), en chacun de ses points est :

$$\Phi_1 = - \int_S \vec{\varphi} \cdot \vec{n} \cdot dS \quad (\text{III.7})$$

La puissance générée par les sources internes est donnée par :

$$\Phi_2 = \int_V q_0 \cdot dV \quad (\text{III.8})$$

Le solide étant indéformable, seule la variation de température intervient dans l'expression de la variation instantanée de l'énergie interne, ce qui peut être exprimé par la relation suivante :

$$\Phi_3 = \int_V \zeta \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \cdot dV \quad (\text{III.9})$$

En écrivant l'équation traduisant le premier principe de la thermodynamique, nous obtenons :

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3 \quad (\text{III.10})$$

Sachant que :

$$d\Phi = \lambda \text{grad} T \cdot \vec{n} \cdot dS \quad (\text{III.11})$$

$$-\int_S \vec{\varphi} \cdot \vec{n} \cdot ds + \int_V q_0 \cdot dV = \int_V \zeta \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \cdot dV \quad (\text{III.12})$$

Après transformation par la formule d'OSTROGRADSKY, nous obtenons pour tout point du volume V :

$$\text{div} \vec{\varphi} + \chi \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - q_0 = 0 \quad (\text{III.13})$$

### V.3.2 Equation de la chaleur pour un milieu homogène et isotrope

Pour un milieu isotrope et homogène, les caractéristiques  $\lambda$  et  $\zeta = \rho \cdot C$  ne dépendent que de la température, compte tenu de l'expression (III.5) (loi de Fourier), l'expression (III.12) s'écrit :

$$\text{div}(\lambda(T) \cdot \overrightarrow{\text{grad} T}) - \chi(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + q_0 = 0 \quad (\text{III.14})$$

Ou encore :

$$\lambda(T) \cdot \text{div} \overrightarrow{\text{grad} T} + \frac{d\lambda(T)}{dT} \cdot (\overrightarrow{\text{grad} T})^2 - \chi(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + q_0 = 0 \quad (\text{III.15})$$

### Hypothèses

En supposant que  $\lambda$  et  $\zeta$  sont des constantes indépendantes de la température l'équation (III.13) devient :

$$\Delta T - \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{q_0(M, T)}{\lambda} = 0 \quad (\text{III.16})$$

Dans ce qui suit, nous nous limiterons à ce type d'équation seulement. Nous en déduisons les cas particuliers suivants, que l'on rencontre fréquemment :

### IV.3.3 Expression analytique de l'équation de la chaleur

En introduisant l'expression du Laplacien  $\Delta T$  en coordonnées cartésiennes :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (\text{III.17})$$

Nous obtenons

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{q_0(x, y, z, t)}{\lambda} = 0 \quad (\text{III.18})$$

#### a. En régime permanent

❖ Lorsqu'il existe une source interne de chaleur :

$$\Delta T + \frac{q_0}{\lambda} = 0 \quad (\text{Equation de POISSON}). \quad (\text{III.19})$$

❖ Lorsque le système est sans source interne de chaleur :

$$\Delta T = 0 \quad (\text{Equation de LAPLACE}) \quad (\text{III.20})$$

Il est à noter également qu'à partir de l'équation de LAPLACE, on peut définir les lieux des points tels que  $T(x,y,z) = \text{constante}$ , appelés "isothermes".

#### b. En régime variable (sans sources internes)

$$\Delta T = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{Equation de FOURIER}) \quad (\text{III.21})$$

#### Remarque :

Dans le cas du bâtiment, nous sommes en régime permanent sans sources internes.

## V.4 Mur simple a face isotherme

### V.4.1 Expression de la température

Sur la figure suivante, est schématisé un mur, dont les deux surfaces S sont séparées par l'épaisseur e. La première surface à une température constante  $T_1$  et l'autre à la température  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ).  $\vec{n}$  étant la normale des surfaces.

Nous introduisons les hypothèses suivantes dans l'équation générale de la chaleur:

- Système sans source interne  $\Leftrightarrow q_0 = 0$  ;
- Régime permanent  $\Leftrightarrow \frac{\partial T}{\partial t} = 0$
- Nous négligeons les déperditions dans les deux autres sens que l'épaisseur. C'est donc un problème unidimensionnel (suivant x) que nous traitons.

L'équation (III.16) devient :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (\text{III.22})$$

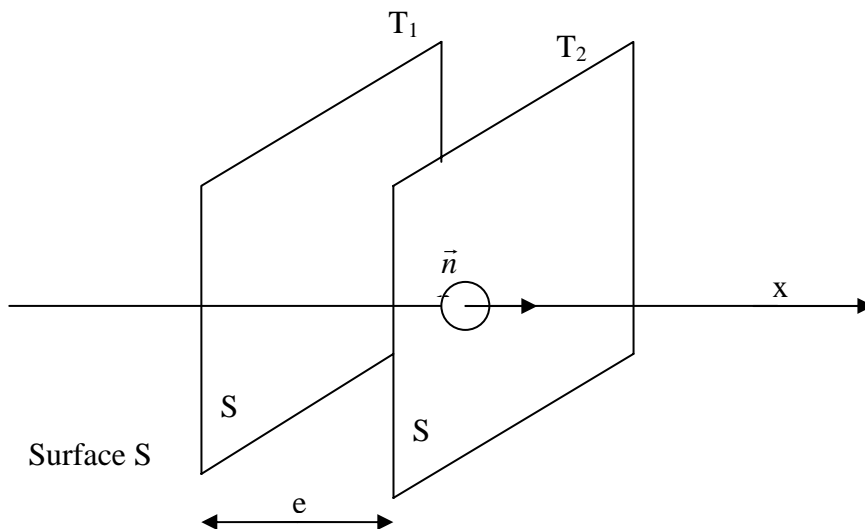


Figure III.10: Schéma d'un mur simple de construction

$$\begin{cases} \vec{\varphi} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{Grad}T} \\ \vec{\varphi} = -\lambda \cdot \text{Grad}T \cdot \vec{i} \end{cases} \quad (\text{III.23})$$

Avec les conditions aux limites suivantes :

$$\begin{aligned} T &= T_1 \text{ en } x = 0 \\ T &= T_2 \text{ en } x = e \end{aligned} \quad (\text{III.24})$$

Une double intégration de l'équation (III.22) donne :

$$T(x) = Ax + B \quad (\text{III.25})$$

Avec :

A et B les constantes d'intégrations, déterminées par les conditions aux limites ; ce qui donne la formule suivante de la température :

$$T(x) = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)}{e} \cdot x \quad (\text{III.26})$$

#### V.4.2 Résistance thermique

##### Définition

La résistance thermique d'un matériau est définie comme étant son aptitude à s'opposer au passage de la chaleur. Donc plus la résistance thermique d'un matériau est élevée, plus il est isolant [32], [33] et [34].

Si l'on considère le flux thermique  $\Phi$  traversant la surface  $S$  du mur, celui-ci peut s'exprimer par la relation suivante :

$$\Phi = \varphi \cdot S \quad (\text{III.27})$$

Ou encore :

$$\Phi = -\lambda \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{e} \cdot S \quad (\text{III.28})$$

Ce qui nous permet de trouver :

$$T_1 - T_2 = \frac{e}{\lambda \cdot S} \cdot \Phi \quad (\text{III.29})$$

D'où :

$$\frac{(T_1 - T_2)}{\Phi} = \frac{e}{\lambda \cdot S} = R_{th} \quad (\text{III.30})$$

L'équation (III.30) représente l'expression de la résistance thermique.

Les résistances thermiques s'expriment dans le système international (S.I) par [°C/W]

Comparons les expressions de la résistance thermique et de la résistance électrique :

$$\begin{cases} R_e = \frac{\Delta V}{I} \\ R_t = \frac{\Delta T}{\Phi} \end{cases} \quad (\text{III.31})$$

Nous avons les correspondances suivantes :

Le flux de chaleur  $\Phi \rightarrow \mathbf{I}$  Intensité électrique ;

La température  $\Delta T \rightarrow \Delta V$  différence de potentiel.

La résistivité thermique est donnée par :

$$\rho_t = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{III.32})$$

Ce qui nous permet d'écrire la résistance thermique sous la forme suivante :

$$R_{th} = \rho_t \frac{e}{S} \quad (\text{III.33})$$

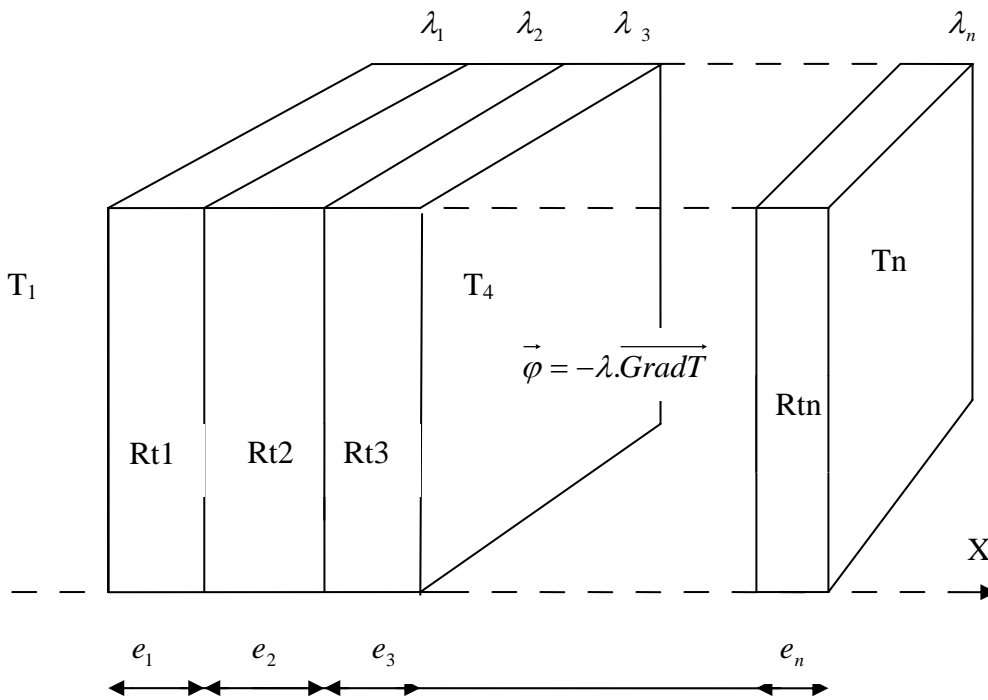
### La conductance thermique

La conductance thermique représente l'inverse de la résistance thermique.

$$K_t = \frac{1}{R_{th}} \quad (\text{III.34})$$

**V.5 Murs accolés en série**

Nous allons généraliser l'expression de la résistance thermique d'un mur simple, afin de retrouver celle d'un mur constitué de plusieurs couches assemblées en série.



**Figure III.11:** Schéma d'un mur de construction multicouche

La résistance thermique de chaque couche est :

$$R_{thi} = \frac{e_i}{\lambda_i \cdot S} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (III.35)$$

Si un transfert de chaleur se fait de manière à ce que les surfaces de séparation coïncident avec les isothermes T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, ....., T<sub>n</sub> [39], [40]

Dans ce cas, le flux de chaleur est conservatif :

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{(T_1 - T_2)}{R_{t1}} \\ \Phi &= \frac{(T_2 - T_3)}{R_{t2}} \end{aligned} \quad (III.36)$$

Si nous généralisons :

$$\Phi = \frac{(T_{i-1} - T_i)}{R_{ti}} \quad (\text{III.37})$$

$$T_1 - T_{n+1} = \Phi \cdot R_T \quad (\text{III.38})$$

$$K_t = \frac{1}{R_{th}} \quad (\text{III.39})$$

$$\begin{aligned} T_1 - T_{n+1} &= T_1 - T_2 + T_2 - T_3 + \dots + T_{n-1} - T_n \\ T_1 - T_{n+1} &= \Phi \cdot R_{t1} + \Phi \cdot R_{t2} + \dots + \Phi \cdot R_n \\ T_1 - T_{n+1} &= \Phi \cdot \sum_{i=1}^n R_{ti} \end{aligned} \quad (\text{III.40})$$

Donc :

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_{ti} \quad (\text{III.41})$$

### Conclusion :

Les murs accolés en série ont leurs résistances thermiques qui s'ajoutent.

## VI. LES DIVERSES METHODES DE MESURES DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

Il faut souligner, tout d'abord, l'impressionnante diversité des méthodes de mesures. Ceci est dû essentiellement au vaste domaine d'application de la conductivité thermique.

Dans le domaine du bâtiment nous allons citer les principales méthodes de mesures de la conductivité thermique.

### VI.1 La méthode dite de la plaque gardée

L'appareille est constitué d'une résistance chauffante divisé en deux parties qui peuvent être réglé indépendamment l'une de l'autre. Cette résistance est placée entre les faces intérieures d'un échantillon identique dont les faces extérieures sont refroidies par un fluide. Nous obtenons la température des différentes faces de l'échantillon par apposition de thermocouples. [43]

Cette méthode est très utilisée pour des matériaux isolants ou faiblement conducteurs ainsi que pour des températures comprises entre 0°C et 100°C, elle est très précise mais ses inconvénients majeurs sont:

- Temps d'expérimentation très long (environ 18H);
- Montage très délicat à réaliser.

### **VI.2 La méthode dite du flux radial**

Elle utilise le même principe que celui de la plaque chaude gardée, mais elle est utilisée dans le cas de matériaux granuleux ou pulvérulents. [43]

### **VI.3 La méthode de la boîte chaude gardée**

L'échantillon est un mur hétérogène constitué par juxtaposition dans le sens de l'épaisseur de matériaux différents. Ce mur est mitoyen de deux chambres d'essais dont les températures ambiantes sont réglables.

Sur la paroi chaude à tester nous disposons une boîte "parfaitement isolée" de la salle d'essais.

Cette méthode a l'avantage de pouvoir mesurer des résistances thermiques de murs hétérogènes dans des conditions réelles d'utilisation. Mais, sa mise en œuvre exige un investissement coûteux et sa durée d'expérimentation est longue. [43]

### **VI.4 La méthode dite des boîtes (en régime permanent)**

L'appareil est constitué:

- d'une enceinte isolée, thermostatée qui maintient une basse température;
- d'une ou plusieurs boîtes (jusqu'à trois) revêtues sur leurs parties internes d'un matériau dont on connaît parfaitement le coefficient d'échange thermique  $C$  et comportant sur leurs faces internes supérieures un film chauffant dont l'émission est maintenue constante.

L'ensemble du câblage de liaison des sondes de températures ainsi que l'alimentation du film aboutit à un bornier qui est relié à une console de mesure. [44]

### **VI.5 Le CT METRE**

C'est un appareil qui permet d'évaluer avec précision les caractéristiques thermiques des différents matériaux homogènes et isotropes.

Le principe de fonctionnement, consiste grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée. [44]

**Conclusion**

Dans notre cas, nous retiendrons les deux méthodes : celle des boîtes et le CT mètre, disponibles dans le laboratoire thermique du CNERIB, et ce pour des raisons de disponibilité et de taille.

*Chapitre IV*

***PARTIE  
EXPERIMENTALE***

## INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, nous présentons en premier lieu les matériaux utilisés dans la présente recherche, en donnant leurs caractéristiques élémentaires.

En suite, et après avoir présenté un organigramme du programme expérimental, nous détaillerons les différentes étapes de confection des différents types éprouvette (coulées simplement et compactées) destinées aux différents essais, à savoir :

- ❖ Rupture mécanique (à la flexion et à la compression) sèche et humide -;
- ❖ Mesure de la conductivité thermique ;
- ❖ Détermination des caractéristiques physiques.

Un paragraphe sera consacré à la détermination du nouveaux taux de gâchage à utiliser pour la mise en place des éprouvettes par compactage.

## I. MATERIAUX UTILISES

### I.1 Le plâtre

Le choix de notre plâtre n'a pas été arbitraire, mais accompli à la lumière d'une étude de comparaison entre trois types de plâtre de régions différentes:

- Un plâtre d'Oran ;
- Un plâtre de Ghardaïa ;
- Un plâtre de Ouled-Djellal.

C'est le plâtre de Ghardaïa qui a enregistré les meilleures performances. Il s'agit de plâtre fin de construction produit par l'entreprise SORECAL de Ghardaïa.

#### a. Masses volumiques

La masse volumique du plâtre est de 1361.80 Kg/m<sup>3</sup>

#### b. Analyse chimique

On donne ci-dessous les résultats de cette analyse effectuée au sein du LCTP :

Composants	Pourcentage
Insoluble (silice-silicates)	2.11%
Oxyde de fer et Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.8%
Gypse (CaSO <sub>4</sub> )	89.42%
Chlorure (NaCl)	0.23%
Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )	1.68%
Anhydrite carbonique (CO <sub>2</sub> )	0.73%
Perte au feu à 1050°C	8.33%
L'eau de construction (H <sub>2</sub> O)	7.6%
Bilan chimique pondéral	101.84%

**Tableau IV.1** :Analyse chimique du plâtre.

## I.2 Le sable

Le sable utilisé pour l'étude de ces mortier de plâtre est un sable des dunes provenant de la région de " BOUSSAADA".

### a. Masses volumiques

La masse volumique réelle du sable est de : 2585 Kg / m<sup>3</sup>

La masse volumique apparente du sable est de : 1527 Kg / m<sup>3</sup>

### b. Analyse chimique :

On donne ci-dessous les résultats de cette analyse effectuée au sein du LCTP :

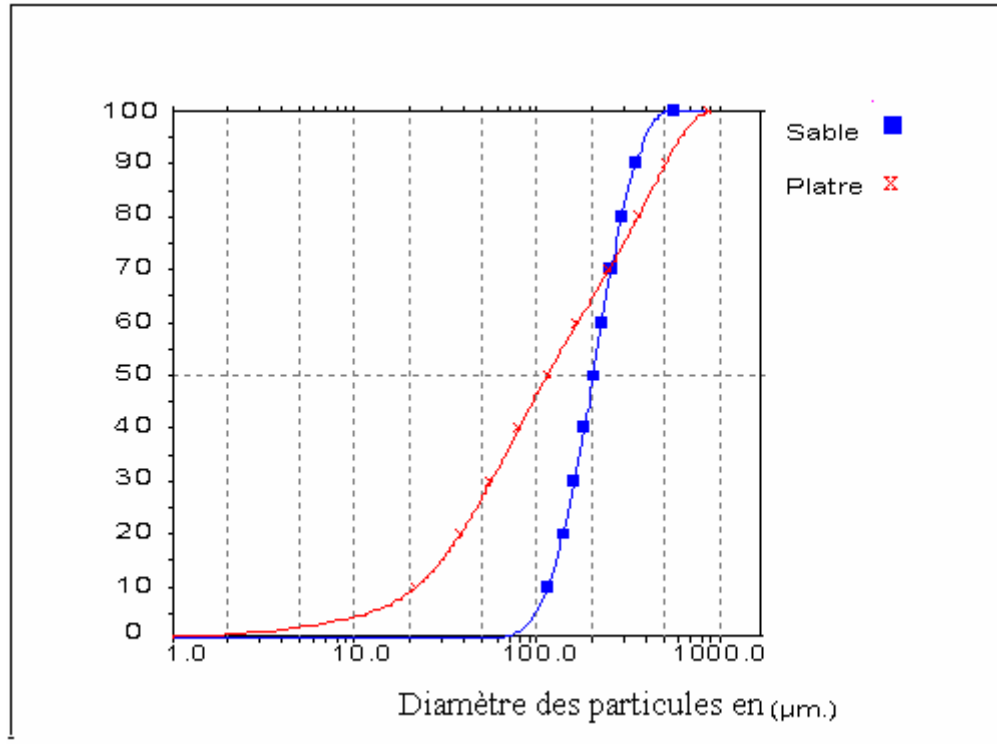
Composants	Pourcentage
Insoluble (silice-silicates)	95.05 %
Oxyde de fer et Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.2%
Gypse (CaSO <sub>4</sub> )	Traces
Chlorure (NaCl)	0.29%
Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )	2.52%
Anhydrite carbonique (CO <sub>2</sub> )	1.10%
Perte au feu à 1050°C	1.3%
L'eau de construction (H <sub>2</sub> O)	0.2%
Bilan chimique pondéral	99.26%

**Tableau IV.2** : Analyse chimique du sable de dunes utilisé

### c. Analyse granulométrique LASER

L'analyse granulométrique du plâtre et du sable, a été faite par LASER, et les échantillons ont été analysés par voie humide, qui consiste à éparpiller l'échantillon à expérimenter dans un liquide, (il s'agit de l'alcool pour le cas du plâtre, et de l'eau pour le sable) afin de bien disperser les particules de l'échantillon, pour avoir la granulométrie réelle.

**N.B** : Les détails de l'essai granulométrique LASER sont présentés en annexe. N°2



**Figure IV.1 :** *Courbes granulométriques du plâtre et du sable*

### I. 3. L'eau de gâchage

Nous avons utilisé l'eau potable du réseau

#### I. 3.1 Taux de gâchage

Cette caractéristique se détermine selon la norme ISO DIS 3050 [44], qui préconise de mesurer l'écoulement par étalement de la pâte contenue dans un anneau tronconique, appelé anneau ISO et ayant les dimensions suivantes :

Diamètre intérieur de base inférieure : 75 mm ;  
 Diamètre intérieur de base supérieure : 65 mm ;  
 Hauteur : 07 mm.

Nous soulevons l'anneau, trois minutes et quinze secondes (3mn 15s) après le début du gâchage, la pâte se libère et forme une galette dont nous mesurons le diamètre suivant deux directions perpendiculaires ; la moyenne arithmétique des deux valeurs sera retenue comme valeur de la consistance du mortier en question.

Le tableau ci après résume les différents taux de gâchage et les étalements correspondants données en référence [25].

Mortier	E/P	étalement (mm)
100% plâtre	0.58	170
66.66% plâtre + 33.33% sable	0.75	185
50% plâtre + 50% sable	0.88	190
33.3366% plâtre +.66% sable	1.26	195

**Tableau IV.3 :** *Taux de gâchage et étalement équivalent des différents mortiers*

### I. 3.2 Fin de prise au doigt :

La fin de prise correspond à l'instant où une pression d'un doigt (pouce ou index) exerce à la surface de la pâte en cours de prise, ne fait plus apparaître d'empreinte. Cette pression doit correspondre à un effort de 50 à 60 N, sur une surface d'environ 1 Cm<sup>2</sup>.

Mortier	Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)
100% plâtre	3	15
66.66% plâtre + 33.33% sable	10	25
50% plâtre + 50% sable	15	38
33.3366% plâtre +.66% sable	20	230

**Tableau IV.4 :** *Début et fin de prise des différents mortiers*

## II PREPARATION DES EPROUVETTES

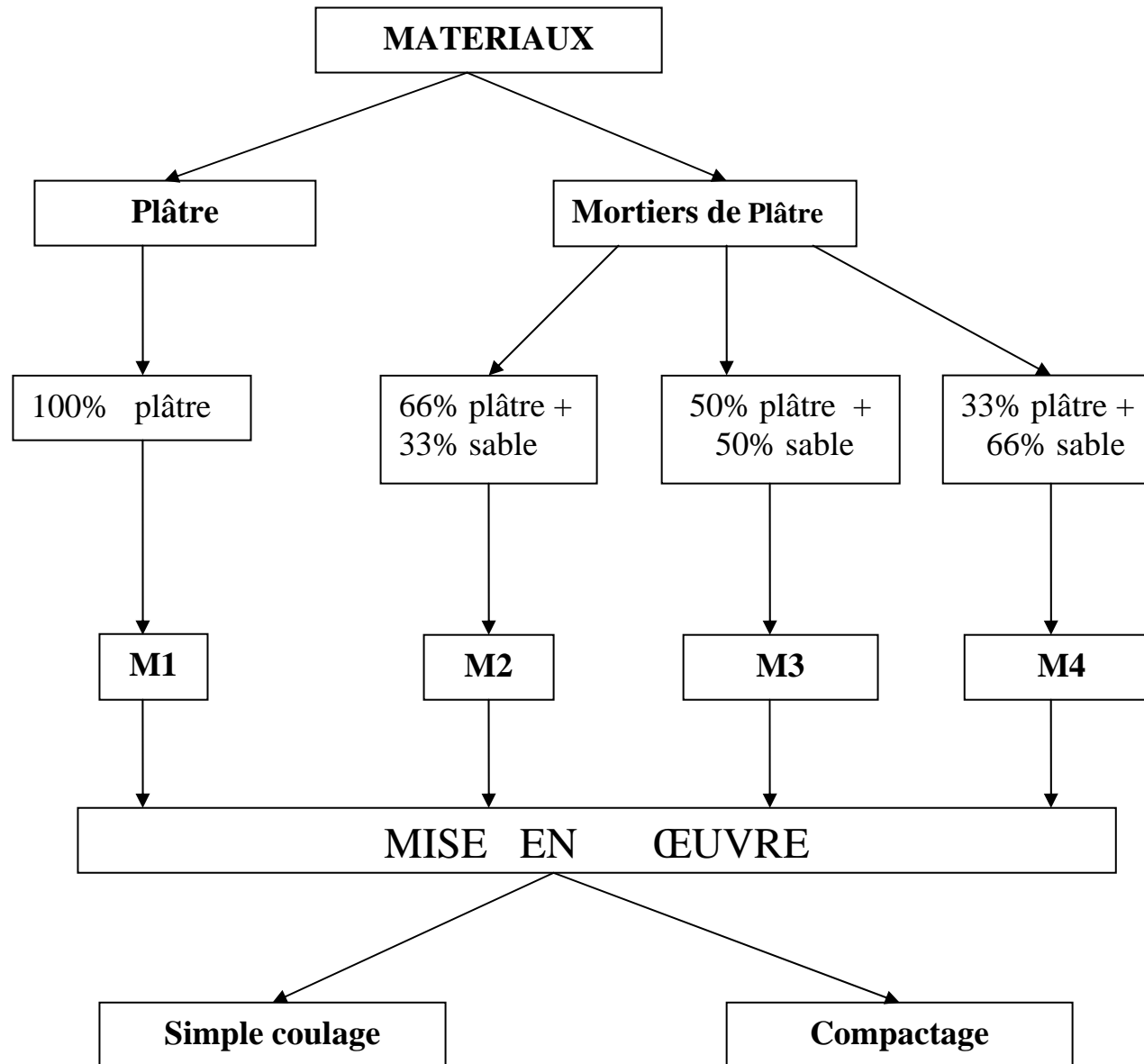
Les éprouvettes destinées aux différents essais et mesures, sont de deux natures de mise en œuvre, coulées simplement et compactées.

### II.1 Composition des mortiers

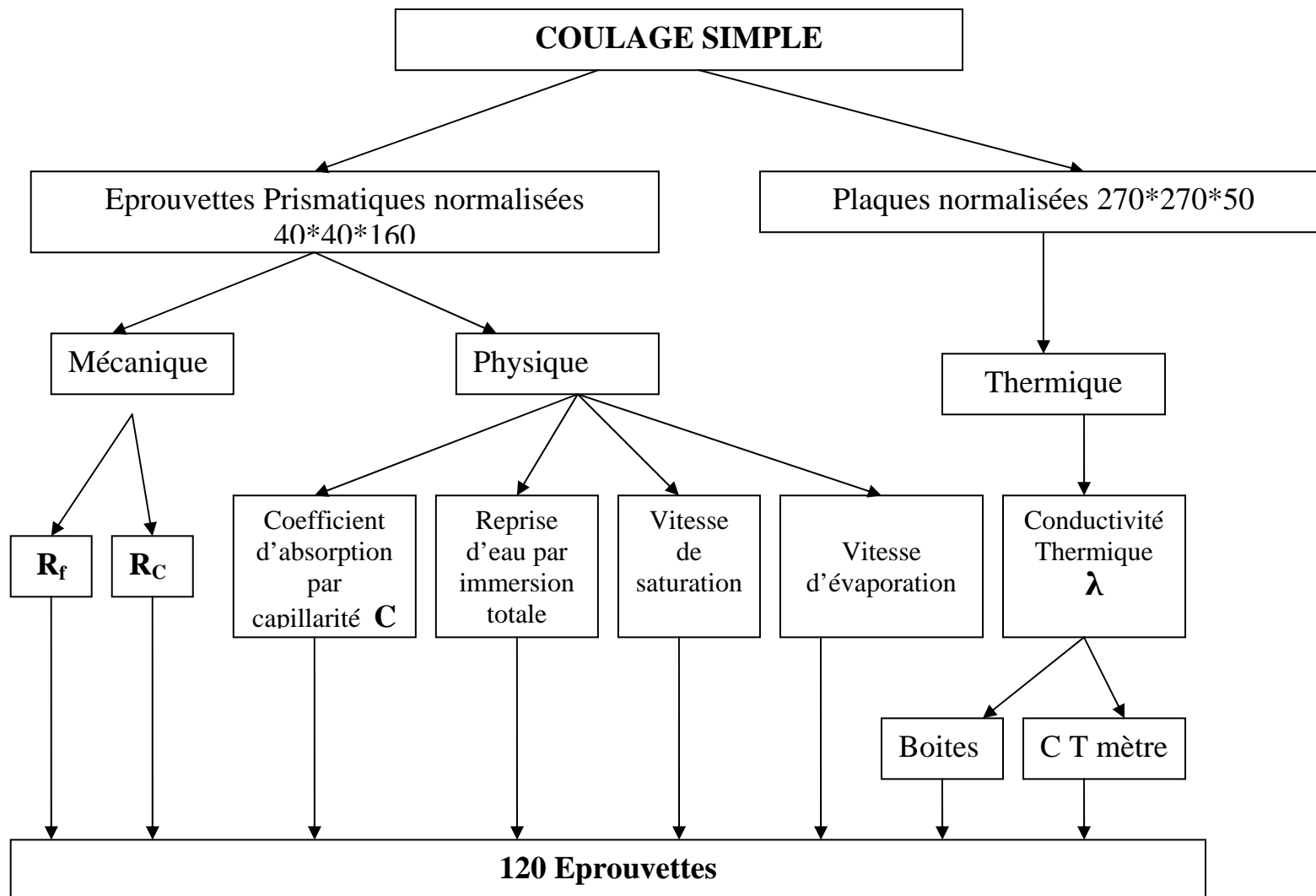
Le tableau suivant illustre les différentes compositions des mortiers étudiés (pourcentage de chaque matériau et son taux de gâchage).

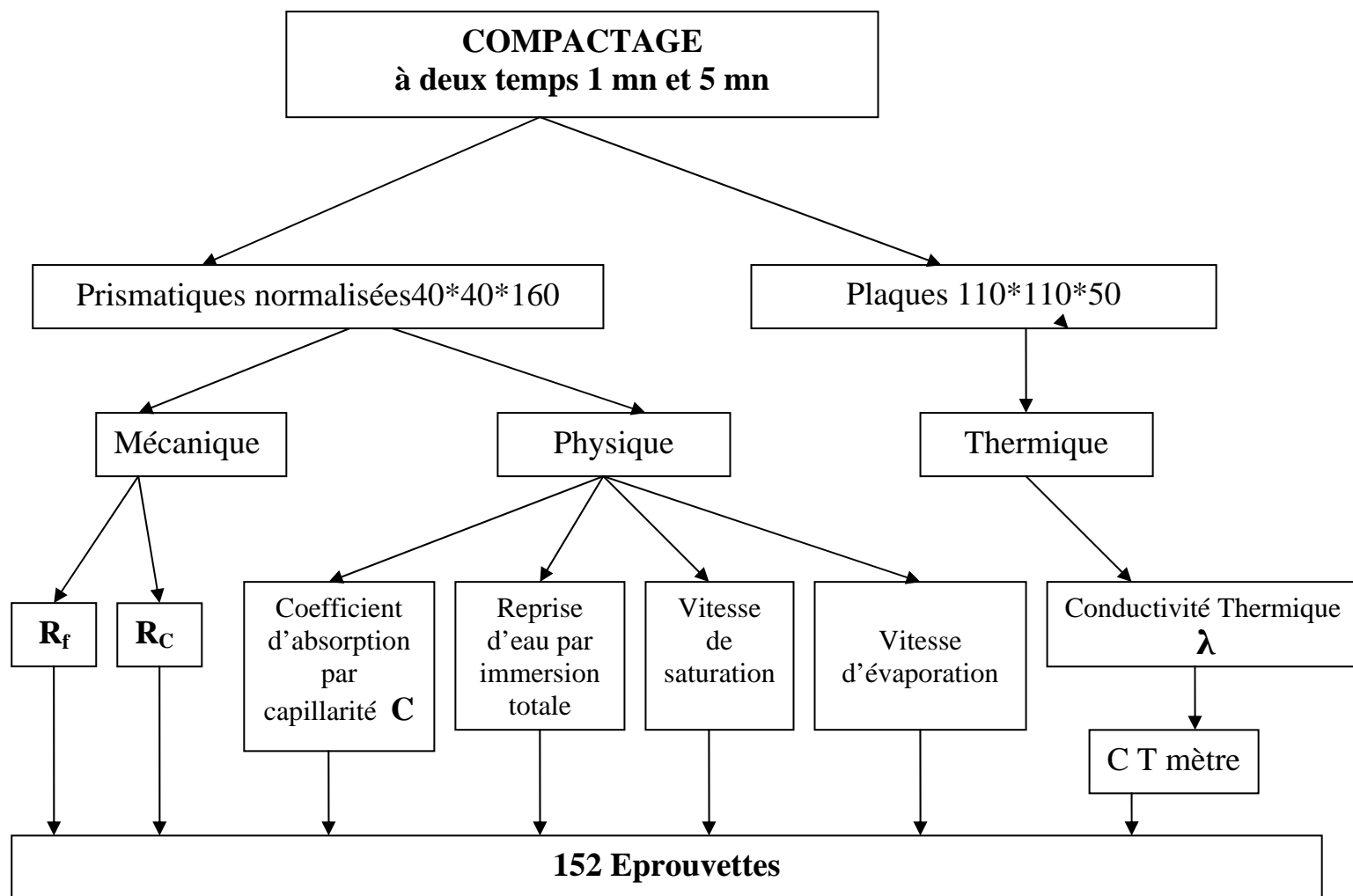
	Référence	E/P (%)	% Plâtre	% Sable
Plâtre	M1	58	100	0
Mortier de plâtre	M2	75	66.66	33.33
	M3	88	50	50
	M4	126	33.33	66.67

**Tableau IV.5 :** *Compositions et taux de gâchage des mortiers coulées simplement.*



**Figure IV.2.A :** *Organigramme des compositions et nominations des différents mortiers.*





**Figure IV.2 C:** *Essais effectués sur les mortiers compactés*

**N.B :** les mêmes essais sont effectués sur les échantillons compactés pendant 1 mn et ceux compactés pendant 5 mn

## II.1.1 EPROUVETTES COULEES SIMPLEMENT

Dans l'ordre de déroulement des opérations, nous avons procédé comme suit :

### a. Préparation des moules

Il s'agit d'un moule métallique ou en plexiglas comportant trois cases de 40\*40\*160mm de dimension.

Après avoir été bien nettoyé, le moule est huilé légèrement à l'intérieur afin de permettre un bon démoulage et de rendre ses joints étanches, pour éviter les pertes d'eau.

### b. confection des éprouvettes

La norme ISO DIS 3051 [45] et NA 527 [46] préconisent que le moule doit comporter trois compartiments permettant l'exécution simultanée de trois éprouvettes prismatiques ayant les dimensions suivantes :

Longueur : 160 mm ;  
Largeur : 160 mm ;  
Epaisseur : 40 mm.

Les normes [45] et [46], stipule de gâcher en une seule fois la quantité "m" de plâtre nécessaire au remplissage du moule.

La mise en œuvre se déroule comme suit :

1. dans un bac on mélange à sec le plâtre et le sable (lorsqu'il s'agit de mortier de sable+plâtre) ;
2. verser la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage ;
3. le plâtre ou le mélange plâtre +sable sont saupoudrés manuellement pendant 30 secondes, (en déclanchant le chronomètre dès le début de l'opération) ;
4. laisser reposer pendant 1mn ;
5. homogénéiser la gâchée pendant 30 secondes, en décrivant des mouvements en "8", à l'aide d'une spatule ;
6. laisser reposer cette fois pendant 30 secondes ;
7. reprendre une dernière fois, les 30 mouvements en "8" pendant 30secondes toujours.
8. verser la pâte dans le moule déjà préparé.
9. pour éliminer les bulles d'air dans la pâte, on soulève la partie avant du moule cinq (05) fois d'environ 10 mm et on laisse retomber ;
10. araser la surface de la pâte à l'aide d'une plaque plane, dès que nous remarquons le début de la prise, afin qu'il n'y ait plus de pâte débordante.
11. démoulage après la fin de la prise. [1]

L'éprouvette est numérotée sur la face à l'aide d'un crayon feutre .



**Figure IV.3 :** *Éprouvettes simplement coulées, après démoulage.*

## II.1.2 EPROUVETTES COMPACTEES

### a. Taux de gâchage

Le taux de gâchage est la masse de l'eau rapporté à la masse du liant nécessaire pour le gâchage. Pour le plâtre destiné au compactage, elle correspond à la quantité d'eau théorique juste nécessaire pour son l'hydratation.

Cette valeur a été déterminée pour chaque composition de mortier de plâtre de la manière suivante :

- Nous confectionnons de chaque mortier un moule (trois éprouvettes) ;
- Nous pesons ces trois éprouvettes juste après démoulage, soit  $M_0$  la masse initiale ;
- Les éprouvettes sont gardées dans l'étuve à une température de  $40^\circ\text{C}$  ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ), pendant 48 h, jusqu'à masse constante. On estime que pendant ce temps, toute l'eau excédentaire s'évapore et ne reste que l'eau en liaison chimique nécessaire à la cristallisation du plâtre ;
- Après étuvage, les éprouvettes sont pesées, soit  $M_s$  la masse à sec ;
- La différence ( $M_0 - M_s$ ) représente la quantité d'eau évaporée

$$M_e = M_0 - M_s \quad (\text{IV.1})$$

- Pour la détermination de la masse d'eau juste nécessaire pour la cristallisation, il suffit de soustraire de 500gr (quantité d'eau fixée pour le coulage d'un moule), la masse d'eau évaporée.

$$M_c = 500 - \sum_{i=1}^3 M_e \quad (\text{IV.2})$$

- Le taux de gâchage sera déterminé en fonction de cette masse de cristallisation :

$$M_p = \frac{M_c}{\left(\frac{E}{P}\right)_c} \quad (\text{IV.3})$$

D'où

$$\left(\frac{E}{P}\right)_c = \frac{M_c}{M_p} \quad (\text{IV.4})$$

$M_p$  : masse de plâtre utilisée pour le coulage simple d'un moule.

### b. Le compactage :

Le compactage se fait sur le matériau frais, par le biais d'une presse manuelle destiné à la fabrication du *Béton de Terre stabilisée* (B.T.S) en l'adoptant à nos besoins. Il faut souligner que la machine de compactage procure des éprouvettes de dimensions spécifiques 110x230x $e$  mm, cette épaisseur varie de 35 à 80 mm.

Nous avons recherché la masse de matière nécessaire à remplir le moule prés cité sans gaspiller trop de matière.

En procédant par tâtonnement, nous avons constaté que cette masse correspond à 2.5kg.

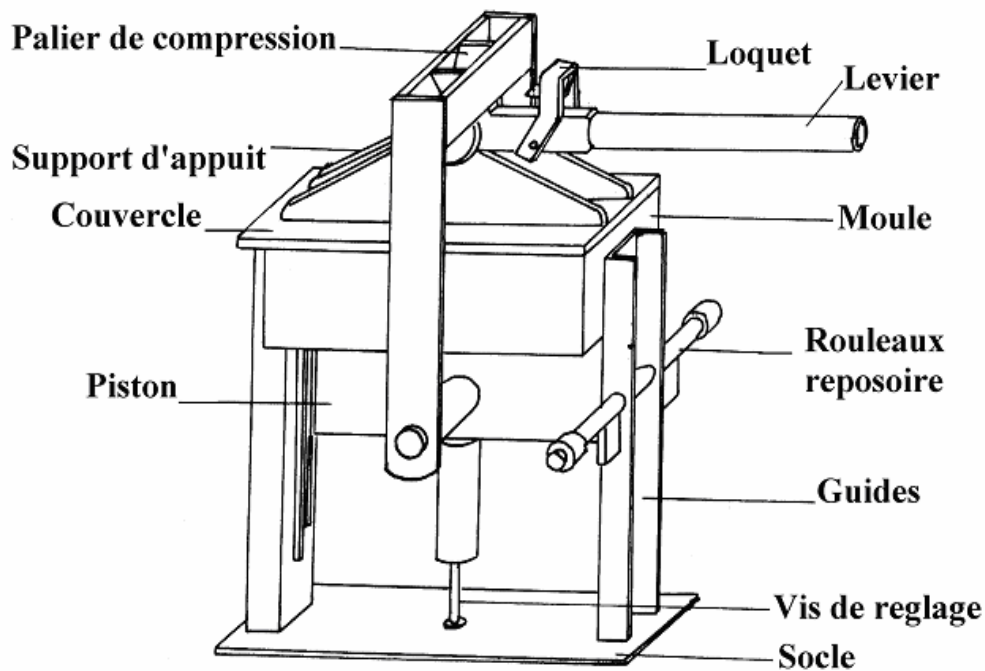
Les éprouvettes destinées aux différents essais (mécanique, physique et thermique), ont été récupérées par sciage selon les tailles d'éprouvettes adéquates à chaque essai.

#### b.1 Description et présentation de la machine de compactage

Il s'agit d'un appareil simple, portable, entièrement métallique

Ses principales parties sont :

- une « boîte moule » dont le fond est mobile ; permet de diminuer son volume en réduisant sa profondeur ;
- un couvercle qui peut subir un mouvement de translation pour l'ouverture et la fermeture ;
- un levier prolongé par une barre d'acier ;
- un support.



**Figure IV.4 :** *Presse Manuelle de compactage.*

Le compactage est exercé par le déplacement du fond du moule, ce dernier n'est pas solidaire des parois. Il est déplacé grâce à un levier vers le couvercle qui est fixé par des boulons.

**N.B :**

- La source d'énergie pour cette machine est la force humaine ;
- Le mécanisme de compression : par piston à déplacement vertical ;
- La profondeur du moule est de 85mm ;
- Le mécanisme de démoulage : par piston à déplacement vertical ;

**b.2 Mode d'emploi**

Une fois le mélange préparé nous procédons au compactage comme suit :

- Remplissage du moule à l'aide d'une pelle;
- Fermeture du moule par simple translation horizontale du couvercle ;
- Pressage par action du bras de levier ;
- Ouverture du moule par simple translation horizontale du couvercle ;
- Ejection par le même bras de levier et sans changer de côté.

**N.B :**

Toutes les pièces en mouvement ou portantes (rouleaux, colliers, plateaux) doivent être lubrifiées au fur et à mesure de leur utilisation, à l'aide d'huile lourde ou graisse.

### c. Préparation des éprouvettes

1. pour chaque composition : le plâtre et le sable sont mélangés à sec ;
2. l'eau est introduite par simple arrosage ;
3. un bref mélange (en raison de la rapide réactivité de semi hydrate) ;
4. un compactage lent.

### Remarque

L'eau ajoutée au mélange sec en fait une pâte pulvérulente. Cette pâte ne ressemble en rien à la laitance qui est coulée dans les moules.

Le mélange presque sec peut, lui, subir avec profit une mise en compactage qui le porte à sa compacité maximum avec un minimum d'effort.

Le démoulage des matériaux compactés se fera dès que la fin de prise est constatée. (Lorsque une pression avec le pouce sur la surface ne laisse aucune empreinte) Le temps nécessaire pour cela, est général de 5 à 10mn.

### d. Conservation des éprouvettes

Les éprouvettes destinées aux différents essais doivent être conservées dès le démoulage et durant toute la période précédant l'essai dans un endroit fermé où règne, uniformément une humidité relative uniforme et une température constantes.

Nous avons choisi pour cela le sous sol de la faculté de génie civil.

Les travaux réalisés avant 1993 déterminaient les résistances mécaniques humides des éprouvettes en plâtre après saturation pendant 48 heures avant écrasement. Tandis que les normes ISO DIS 3051 [45], NA 526 [46] et parus après cette date là, préconisent que les résistances mécaniques humides sont les résistances des éprouvettes soumises à l'essai juste après conservation. Celle destinées à la détermination des performances mécaniques sèches doivent être introduite dans un four chauffé à  $40 \pm 4$  °C , jusqu'à masse constante, et doivent ensuite être soumise rapidement aux l'essais.

## II.2 ESSAI MECANIQUE

Ces essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques 40mmx40mmx160mm. Nous commençons par l'essai de flexion, chaque essai est effectué sur trois éprouvettes identiques. Les deux morceaux récupérés après la rupture de l'éprouvette sont utilisés pour réaliser les essais de compression.

### II.2.1 Essai de rupture par flexion

L'essai de flexion à trois points pour la poutre 40x40x160 se fait comme le montre la figure ci-après. L'échantillon est soumis à une force croissante jusqu'à la rupture, le dispositif d'essai indiquant la valeur maximale de la force en KN



**Figure IV.5 :** *Dispositif d'essai*

**Figure IV.6 :** *Organe de commande*

Avant la mise en marche de la machine d'essai nous veillons à ce que les arrêtes de l'éprouvettes soient bien perpendiculaires aux appuis et à ce que le palmer de charge soit bien équidistant des rouleaux inférieurs.

Les trois plans verticaux passant par l'axe des rouleaux doivent être parallèles et doivent le rester pendant l'essai ; pour permettre une distribution uniforme de la charge sur la largeur de l'éprouvette prismatique, en évitant tout effort de torsion.

La charge "P" croit jusqu'à ce que l'écrasement de l'éprouvette se produise. Nous notons alors la valeur de la charge "P", qui a provoqué la rupture, donnée par le pupitre. La valeur de la résistance à la flexion de l'éprouvette est donnée par :

$$R_f = \frac{M}{I} y \quad (\text{IV.5})$$

### II.2.2 Essai de rupture par compression

#### a. Appareillage

La contrainte de rupture par compression ( $R_c$ ) est déterminée sur les demi éprouvettes récupérées lors de l'essai de flexion.

Chaque demi éprouvette est soumise à la compression sur ses faces latérales de moulage, sous une section de 40 mm x 40 mm, entre deux plaques de métal conforme à la norme NA 526 1992. [51]

**N.B :**

Les essais de compression sont effectués sur le même dispositif (voir figures 5, 6)

**b. Mode opératoire**

L'ensemble de ce dispositif et de la demi éprouvette sont placés dans l'accessoire correspondant de façon que l'axe des sections de compression soit centré sur le plateau supporté et le vérin.

La charge "P" croît jusqu'à ce que l'écrasement de l'éprouvette se produise. On note alors la valeur de la charge "P", qui a provoqué la rupture, donnée par le pupitre.

La résistance à la compression  $R_c$  exprimée en Newton par millimètre carré (MPa) est donnée par la formule :

$$R_c = \frac{P}{S} \quad (\text{IV.6})$$

**III. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES**

Pour la détermination des caractéristiques physiques : l'absorption d'eau par capillarité, reprise d'eau par immersion total, vitesse de saturation et vitesse d'évaporation, nous nous sommes référés à la norme ISO DIS 3050 [47] : nous avons effectué la mesure de chaque caractéristique sur trois éprouvettes prismatiques : 160 X 40 X 40 (mm). Ces caractéristiques sont déterminées pour chaque variante (dosage en sable, i.e nous avons quatre variantes), et pour chaque type de mise en œuvre (simple coulage, compactage pendant 1mn et compactage pendant 5mn) ; ce qui implique un programme expérimental de 144 éprouvettes au moins.

**III.1 mesure de l'absorption d'eau par capillarité****III.1.1 Définition**

La capillarité à l'eau d'un corps est la remontée d'eau dans ce corps sous l'effet des forces capillaires (suction, ascension d'eau). L'ascension se produit par l'attraction des molécules d'eau par les molécules solides de la paroi du corps poreux.

### III.1.2 Mode opératoire

Nous avons utilisé la norme NF B.10-502 [48] établie pour la mesure de l'absorption d'eau par capillarité des pierres calcaires.

Nous avons effectué les mesures sur trois éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm de chaque variante (dosage en sable), de chaque mode de moulage (coulé simplement, compacté pendant 1mn, et compacté pendant 5mn).

Les éprouvettes sont séchées à 40°C en étuve jusqu'à masse constante (environ 48h). Elle sont retirées de l'étuve et refroidies à 20°C. La base (4x4cm) de chaque éprouvette est ensuite immergée sur une hauteur de 5 mm dans l'eau potable (T : 15°C à 20°C). Le niveau d'eau est maintenu constant pendant toute la durée de l'essai.

Chaque cinq minutes l'éprouvette est essuyée rapidement avec un chiffon humide, pesée puis replacé dans les mêmes conditions ; le gain de masse et le temps écoulé depuis le début de la remontée capillaire sont notés.

L'opération est renouvelée à des intervalles de temps progressifs. La dernière détermination est effectuée lorsque la quantité d'eau absorbée est constante..

Le coefficient de capillarité est défini par l'expression :

$$C = \frac{M}{S \sqrt{t}} \quad (\text{IV.7})$$

Avec :

M : masse totale d'eau absorbée depuis le début de l'immersion en gramme ;

S = 16 cm<sup>2</sup> : section de la face inférieure de l'éprouvette ;

t : temps total écoulé depuis le début de la remontée.

### III.2 Mesure de la reprise d'eau par immersion totale

Cette mesure est effectuée sur deux séries d'éprouvettes : la première composée d'éprouvettes compactées, et la seconde non compactées (trois éprouvettes pour chaque composition).

Après confection, les éprouvettes sont conservées à l'air ambiant de laboratoire pendant 24 heures ; ensuite séchées en étuve à 40 ± 4°C jusqu'à masse constante. On note le poids sec M<sub>s</sub> des éprouvettes. Refroidies puis plongées dans l'eau, elles sont pesées à plat. Le niveau d'eau au-dessus des éprouvettes doit être de 25 mm à 30mm.

La durée de l'essai est de 48 heures au bout desquelles il faut extraire les éprouvettes, les essuyer avec un chiffon humide et les peser, soit M<sub>sat</sub> le poids après immersion.

Le pourcentage de reprise d'eau est donné par la formule suivante :

$$\% \text{ dereprised 'eau} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{IV.8})$$

$M_{sat}$  : masse de l'éprouvette après immersion (saturée) ;

$M_s$  : masse de l'éprouvette sèche.

### III.3 Calcul de la vitesse de saturation

Pour le calcul de vitesse de saturation, nous avons adopté l'essai par immersion totale (exposé dans le paragraphe précédent).

Pendant l'immersion, chaque deux heures, l'éprouvette est retirée du bac, pesée, puis immergée de nouveau. On considère comme temps de saturation, le temps nécessaire à obtenir une masse plus ou moins constante pour l'éprouvette.

La vitesse de saturation est donnée comme suit :

$$V_s = \frac{M_{sat} - M_s}{T_s} \quad (\text{IV.9})$$

$M_{sat}$  : masse de l'éprouvette saturée ;

$M_s$  : masse de l'éprouvette sèche.

$T_s$  : temps de saturation.

### III.4 Calcul de la vitesse d'évaporation

Afin d'évaluer la vitesse d'évaporation d'eau de nos mortiers après saturation (alternance pluie abondante – temps sec) ; nous procédons à une mesure du temps d'évaporation.

#### III.4.1 Mode opératoire

Comme pour le calcul de la vitesse de saturation, nous avons confectionné des éprouvettes compactées et non compactées pour l'étude de l'évaporation, le même principe du test a été adapté, i.e étuvage à 40°C jusqu'à saturation après 48 heures. Nos éprouvettes ont été conservées à l'air ambiant du laboratoire, la température ambiante a été de 20°C en moyenne. Nous avons suivi le processus d'évaporation juste après démoulage pendant 20 jours la pesée des éprouvettes s'est effectuée comme suit :

- Pendant les deux premières heures, une pesée toutes les cinq minutes ;
- Pendant les 24 qui suivent, une pesée toute les deux heures ;
- Pendant la première semaine, une pesée tout les six heures ;
- Enfin une pesée toutes les 24 heures jusqu'à stabilisation de la masse.

## IV. ETUDE THERMIQUE

Pour la détermination de la conductivité thermique nous avons utilisé deux techniques différentes : la méthode des boîtes et le CT mètre

### IV.1 La méthode des boîtes :

Cette méthode est applicable aux matériaux isolants et aux matériaux usuels utilisés dans le bâtiment. Elle permet la mesure de la conductivité thermique de deux échantillons en même temps. (Voir figure IV.7)



**Figure IV.7** : Schéma d'une cellule à deux boîtes

#### IV.1.1 Appareillage

L'installation est composée des éléments suivants :

- ❖ Une capacité isotherme **A**, pourvue à sa base d'un échangeur thermique **R** ; parcouru par l'eau glycolée ;
- ❖ Deux boîtes en « styrodur\* » **B**, contenant chacune un émetteur de chaleur **E** de faible puissance, celui-ci est alimenté en courant par un auto-transformateur variable. Nous utilisons un multimètre numérique pour la détermination de la puissance de chauffe :

$$q_0 = \frac{V^2}{R} \quad (\text{IV.10})$$

---

\* : polystyrène expansé extrudé commercialisé par BASF

- ❖ On prélève aux bornes du film chauffant la tension **V** ainsi que la résistance **R**.
- ❖ Un régulateur de températures constitué de deux sondes d'ambiance .
- ❖ des sondes de surface se trouvant sur les deux faces de l'échantillon **M**.

L'ensemble du câblage de liaison des sondes de température et de l'alimentation du film aboutit à un bornier qui est relié à une console de mesure.

#### IV.1.2 Fonctionnement

L'échantillon **M** est intégré dans un orifice en liaison avec la capacité **A** et une boîte de mesure **B** (deux boîtes ont été aménagées afin de pouvoir effectuer deux mesures différentes simultanément).

Les échantillons sont des parallélépipèdes de 270 mm de côté et de 50 mm d'épaisseur.

Nous choisissons généralement un gradient de température entre les zones chaudes et froides, se rapprochant des conditions rencontrées en situations réelles.

La température de l'eau glycolée alimente le radiateur **R** se situe au voisinage de  $-10^{\circ}\text{C}$ , Nous agissons sur l'émission de chaleur de **E**, afin que la température dans l'ambiance de **B** se situe en moyenne à la température ambiante de la salle où est effectuée la mesure, de toute manière on introduit un terme correctif dans le bilan thermique qui tient compte des déperditions à travers les parois de **B**.

Des sondes à résistance de platine sont placées sur les faces chaudes et froides de l'échantillon **M** et dans l'ambiance de **B**.

Le régime permanent est atteint lorsque ces températures deviennent constantes. Nous effectuons alors le bilan thermique du système, à savoir :

$$q = q_0 + q_1 \quad (\text{IV.11})$$

Avec :

$q$  : flux de chaleur à travers l'échantillon, et  $q_0$  puissance de chauffage donnée par la relation :

$$q_0 = \frac{V^2}{R} \quad (\text{IV.12})$$

$$q_1 = K \cdot \Delta T_1 \quad (\text{IV.13})$$

$\Delta T_1$  : différence de température entre surface inférieure et supérieure de l'échantillon.

$K$  : coefficient global de déperdition thermique à travers la boîte pour une différence de température de  $1^{\circ}\text{C}$  entre l'échantillon et l'ambiance. Il vaut 0.16 dans notre cas.

D'où la conductivité thermique s'exprime comme suit :

$$\lambda = \frac{\varphi \cdot e}{\Delta T} = \frac{q \cdot e}{S \cdot \Delta T} \quad (\text{IV.14})$$

Avec :

e : épaisseur de l'échantillon,

S : surface de l'échantillon ;

$\varphi = \frac{q}{s}$  Flux thermique qui traverse cette surface ;

$\Delta T_1$  : l'écart de température entre les faces de l'échantillon.

$\Delta T_2$  : l'écart de température entre les ambiances intérieures et extérieures de la boîte.

D'où l'expression analytique, donnant la valeur de la conductivité thermique obtenue expérimentalement:

$$\lambda = \frac{e}{\Delta T_1 \cdot S} \left[ K \cdot \Delta T_2 + \frac{V^2}{R} \right] \quad (\text{IV.15})$$

## IV.2 CT METRE:

La conductivité thermique est automatiquement déterminée au moyen de l'unité de commande, l'algorithme calcule le coefficient de régression. Si ce coefficient est inférieur à 0.98. La valeur de la conductivité thermique est donc retenue lorsque le coefficient de régression est plus proche de la valeur « 1 »

### IV.2.1 appareillage

L'appareil se compose de :

- ❖ L'organe de commande, (figure IV.8) chargé de générer la puissance de chauffe et de tracer la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ;
- ❖ La sonde (figure IV.9), chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite.

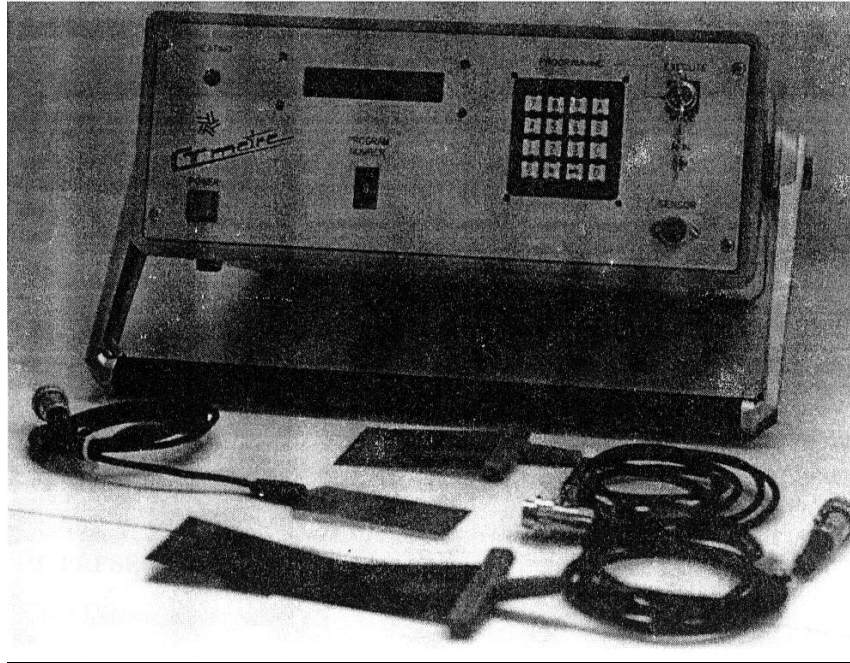
### IV.2.2 Présentation

#### IV.2.2.1 L'organe de commande

Présenté dans un coffret portable, il comporte

- En face avant, les éléments d'introduction de données et de lecture de résultat (clavier, écran de visualisation, roue codeuse, permettant de présélectionner une configuration) et le connecteur de raccordement à la sonde ;

- En face arrière, la prise secteur, l'organe de puissance et de connecteur pour liaison série RS232C ;
- A l'intérieur, le système électronique composé de microprocesseur, assurant la gestion des ordres de commandes.



**Figure IV.8 :** *L'organe de commande du CT Mètre*

#### IV.1 2.2 La sonde

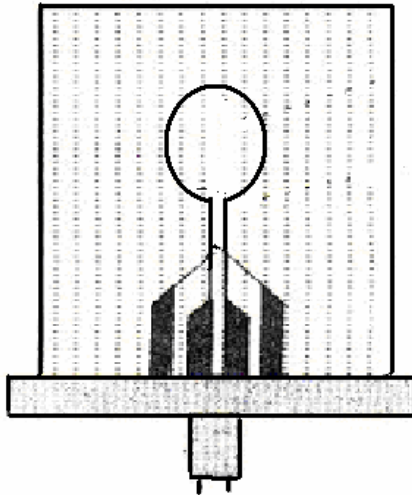
La technique du CT mètre, nous pouvons utiliser deux types de sondes : la sonde anneau et la sonde monotige.

##### a. La sonde anneau

Comme le montre la figure IV.9, la sonde anneau est composée d'un circuit imprimé souple (épaisseur 0.2mm-dimension 60\*90mm), destiné à s'insérer entre deux morceaux plans de l'échantillon à mesurer (dont les surfaces ont été préalablement rectifiées).

Ce type de sonde, permet de mesurer:

- Conductivité thermique ( $W/m \cdot ^\circ K$ );
- Chaleur spécifique ( $kJ/m^3 \cdot ^\circ K$ ).

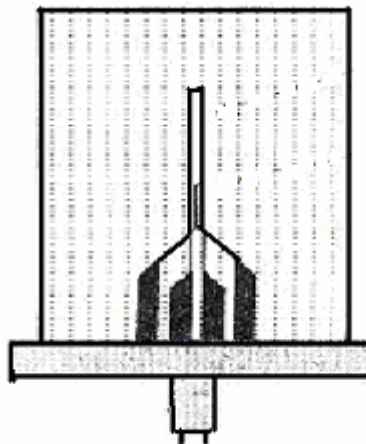


**Figure IV.9 :** *Sonde anneau*

**b. La sonde fil (ou monotige)**

Sur la figure IV.10, est représentée la sonde monotige, qui se compose principalement d'un circuit imprimé souple (épaisseur 0.2mm) ; destiné à s'insérer entre deux morceaux, plans de l'échantillon à mesurer (dont les surfaces ont été préalablement rectifiées).

Ce type de sonde permet de mesurer :  
-conductivité thermique ( $W/m^{\circ}K$ ).



**Figure IV.10 :** *Sonde monotige*

### IV.2.3 : fonctionnement

Le principe de fonctionnement, consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associé dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée.



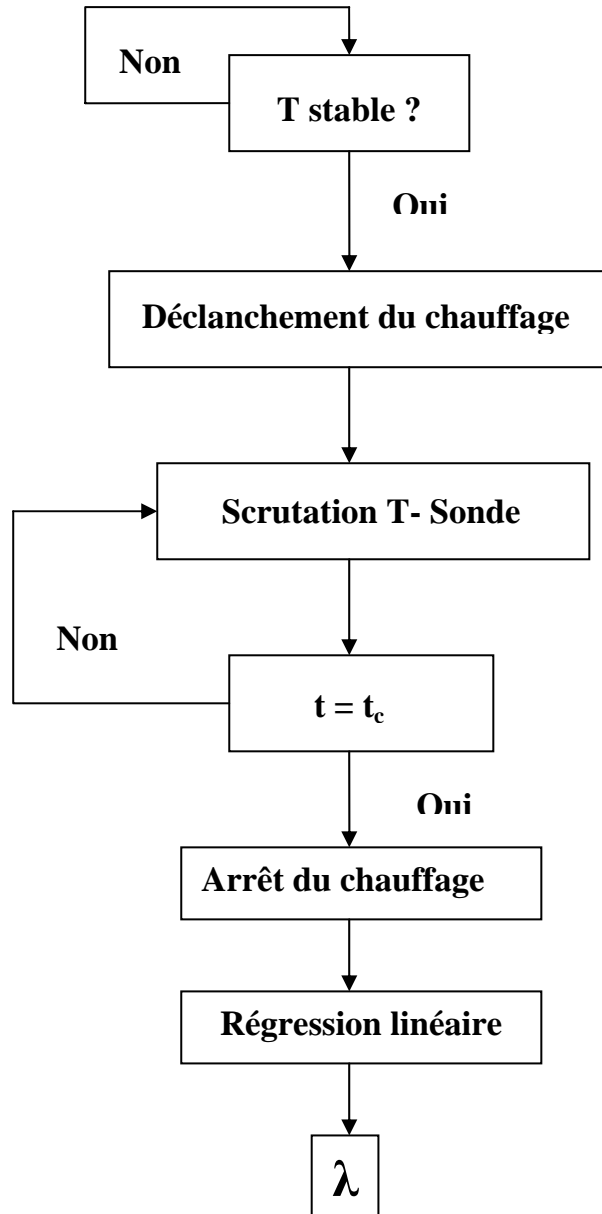
**Figure IV.11:** Image pendant la mesure avec CT mètre.

Tout d'abord, l'appareil lance des séquences de test, consistant à mesurer la température toutes les 6 secondes, pendant 60 secondes. Si, au bout de ces 60 secondes (environ), la température ne varie pas de  $\pm 3\%$ , le cycle de chauffage débute.

Dans le cas contraire, un bip retentit chaque fois que deux valeurs de températures différentes sont mesurées, et un nouveau palier de chauffage recommence.

La phase d'attente étant passé avec succès, le chauffage est lancé, jusqu'à écoulement du temps de chauffage choisi préalablement.

L'organigramme suivant résume le mode de fonctionnement de la mesure par le CT metre



**Figure IV.12** : Synoptique type d'un essai type CT metre

**N.B :**

La mesure provoque un échauffement du matériau à mesurer. Entre deux mesures il faut respecter un temps de refroidissement du matériau.

Le temps entier de chauffage est de 500 secondes au maximum.

Le temps de refroidissement nécessaire est de 500 secondes au maximum.

En définitif :

- La méthode des boites permet d'obtenir la conductivité thermique des matériaux secs, mais c'est une méthode lente ;
- Le CT mètre est plus rapide, et permet d'obtenir la conductivité thermique des matériaux secs et humides.

### IV.3 DIMENSIONS DES EPROUVETTES :

❖ Pour les éprouvettes coulées simplement nous avons utilisé la méthode dites des boites, qui exige des éprouvettes dont les dimensions ont les suivantes :

Longueur : 270 mm ;

Largeur : 270 mm ;

Epaisseur : 50 mm.

Nous avons recherché la masse de matière nécessaire à remplir le moule prés cité sans gaspiller trop de matière.

En procédant par tâtonnement, nous avons constaté que cette masse correspond à 5kg.

❖ En ce qui concerne les éprouvettes compactées, nous ne pouvions avoir des éprouvettes ayant des dimensions précitées, exigées par la méthode des boites, car la technique de compactage comme il a été indiqué, procure des éprouvettes de dimensions spécifiques, (100X230Xe) (mm).

Nous avons calculé par tâtonnement la masse qui permet d'obtenir 50 mm d'épaisseur après compactage, paramètre qui a été difficile de contrôler avec beaucoup de précision, contrairement au deux autre dimension (longueur et largeur). Pour palier ce problème, nous avons retenu les éprouvettes ayant une erreur de 1 à 2mm et nous avons utilisé un autre appareil nommé le CT mètre.

Nous avons gardé la même épaisseur (50mm) pour que les deux méthodes afin d'homogénéiser les résultats et donner des grandeurs comparables entre elles.

#### **N.B :**

A titre de comparaison des deux résultats des appareils de mesure précités ; les éprouvettes coulées simplement, ont été sciées pour retrouver les dimensions des éprouvettes compactées, et mesurer leur conductivité thermique par le biais du CT mètre.

*Chapitre V*

***RESULTATS ET  
INTERPRETATIONS***

## INTRODUDUCTION

Les résultats des différents essais sont exposés dans ce chapitre sous forme de graphes, qui expriment l'évolution des caractéristiques mécaniques, physiques et thermiques en fonction du :

- ❖ Dosage en sable ;
- ❖ Temps de compactage;
- ❖ L'âge ;

Ces graphes sont interprétés à la lumière des travaux publiés sur ce même sujet, afin de situer l'apport du présent travail.

Comme dans la plupart des travaux cités dans la littérature , nous prenons comme référence du matériau " le plâtre pur" et le simple coulage comme procédure de mise en œuvre pour pouvoir suivre l'évolution des différentes caractéristiques en fonction du dosage en sable et le compactage.

## I. RESISTANCE MECANIQUE

### I.1 RESISTANCE MECANIQUE SECHE

Les normes [45] et [46] définissent les résistances mécaniques sèches, comme étant la résistance des éprouvettes après avoir été séchées jusqu'à masse constante à la température  $T = 40 \pm 4^\circ\text{C}$ , et doivent être soumises rapidement au essais mécaniques .

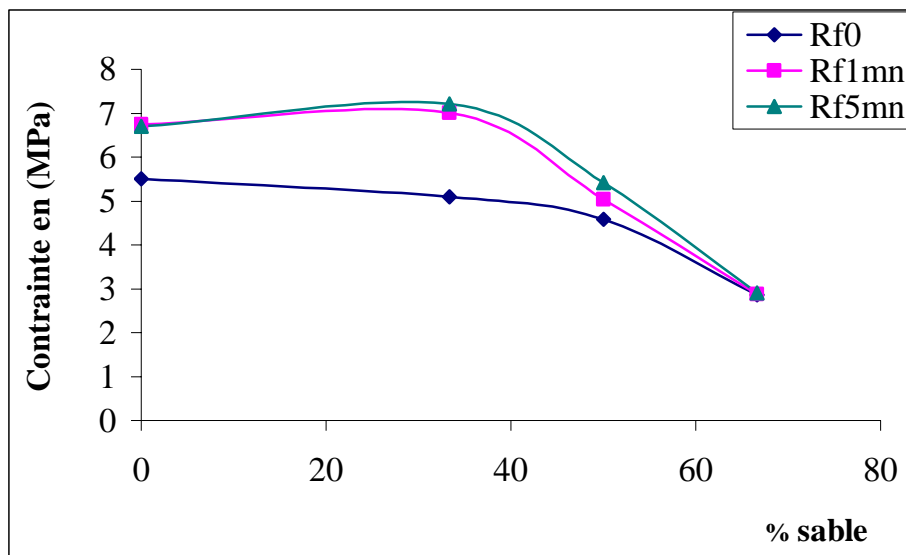
Sur les graphes des figures V.1 et V.2, sont représenté les résistances mécaniques sèches à la flexion  $R_f$  et la résistance à la compression  $R_c$ , et ce pour les mortiers de plâtre coulés simplement dont l'indice est « 0 », ceux compactés pendant 1 mn ayant l'indice « 1 » et ceux compactés pendant 5mn d'où l'indice « 5 » ; ces résistances sont tracées en fonction du dosage en sable : le 0 % représente le plâtre pur.

#### I.1.1 Mortiers coulés simplement

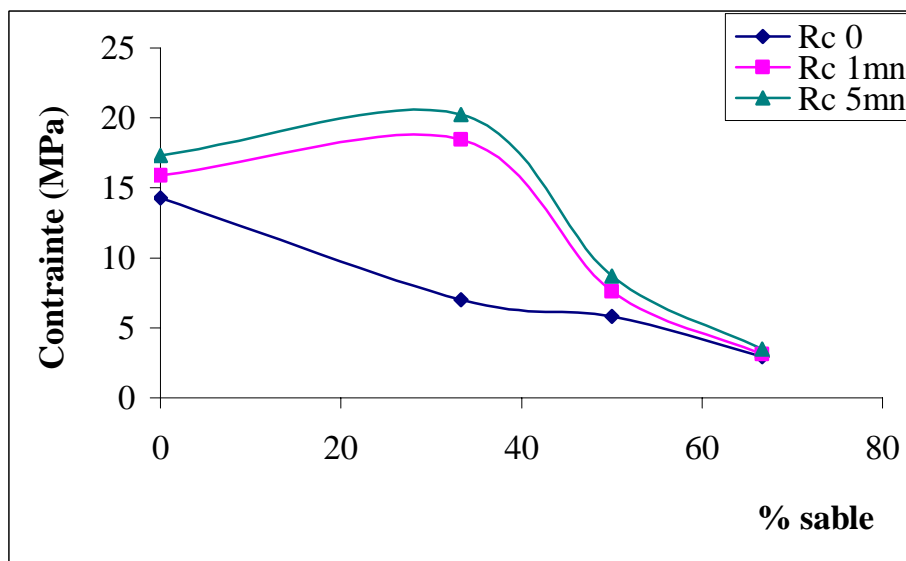
##### Evolution de la résistance en fonction du pourcentage de sable ajouté

Comme nous pouvons le constater en consultant les résultats illustrés par les figures V.1 et V.2 ; les résistances mécanique (à la flexion et à la compression) des mortiers coulés simplement exhibent une courbe avec une faible pente négative pour les mortiers allant du plâtre pur  $\equiv 0\%$  de sable jusqu'au mortier  $M_3$ , puis cette pente prend une allure accentuée toujours dans le sens négative.

La pente négative indique une diminution des résistances mécaniques.



**Figure V.1:** Résistance à la flexion des mortiers plâtre à l'état sec



**Figure V.2:** Résistance à la compression des mortiers de plâtre à l'état sec

## Conclusion

Tout comme [5], [27], [28] et [29], nous pouvons conclure que quelque soit le dosage en sable, nos mortiers ne présente aucune amélioration de la résistance mécanique en comparaison avec celle du plâtre pur ; et plus ce dosage croit, plus la résistance chute, ce qui peut être expliqué par une mauvaise adhérence entre le plâtre en cristallisation gypse et le grain de sable.

Il faut aussi signaler que la chute de la résistance à la compression est plus prononcée que celle de la résistance à la flexion.

## I.1.2 Mortiers compactés

### I.1.2.1 Evolution de la résistance en fonction de l'âge

#### a. Plâtre pur

Dès sa sortie du moule le matériau est presque sec, l'eau employée est donc soit, combinée (pour reformer les cristaux de gypse), soit adsorbée dans la structure du bloc.

Le peu d'eau libre s'évapore en quelques jours [7], ce qui permet un démoulage rapide et facile, d'où une utilisation des moules plus fréquente avec un bon rendement de ces derniers.

Les figures V.3 et V.4 représentent l'évolution des résistances à la flexion  $R_f$  et à la compression  $R_c$  du plâtre pur compacté respectivement pendant 1mn et 5mn, et ce en fonction de leurs âges.

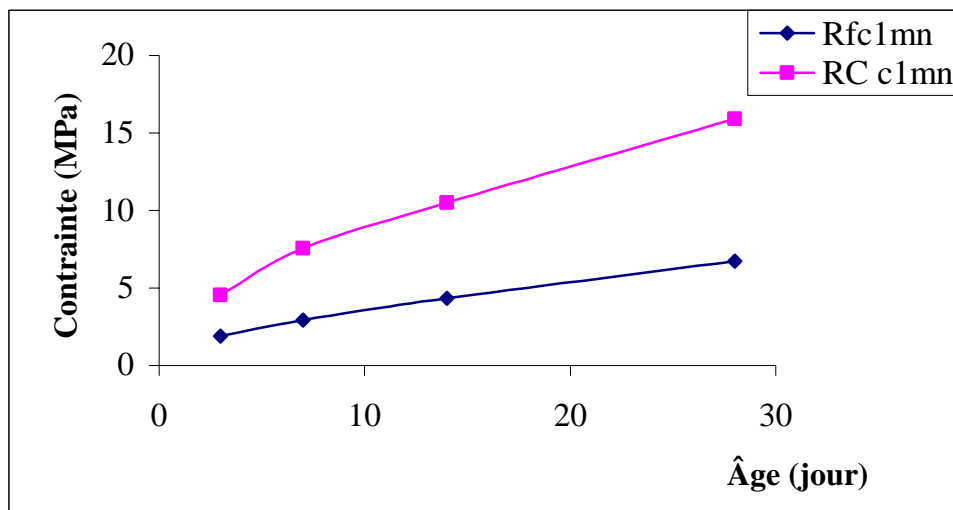


Figure V.3: Résistances mécaniques du plâtre pur compacté pendant 1mn.

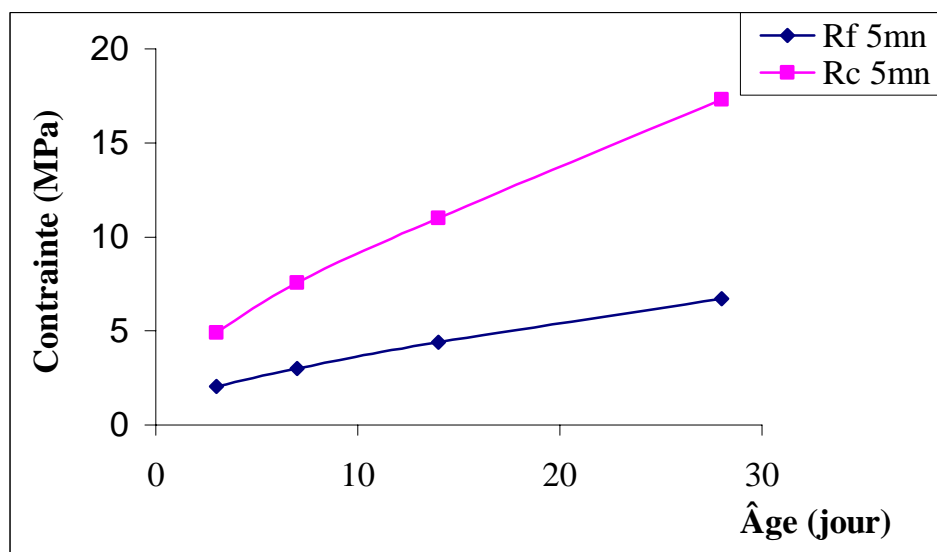


Figure V.4: Résistances mécaniques du plâtre pur compacté pendant 5mn.

Comme il apparaît clairement sur les figures ci-dessus, les éprouvettes de plâtre pur compactées acquièrent des résistances mécanique (flexion, compression) significatives de leur jeunes âges, qui évoluent avec ce dernier.

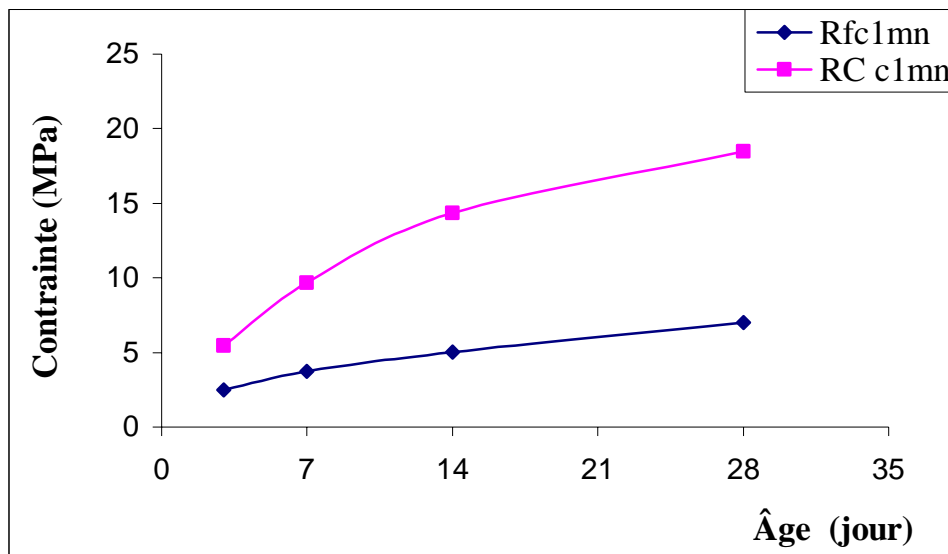
Cependant, il semble que le compactage statique a peu influencé la résistance à la flexion ; la résistance à la compression par contre marque une amélioration notable de les jeunes âges.

## Conclusion

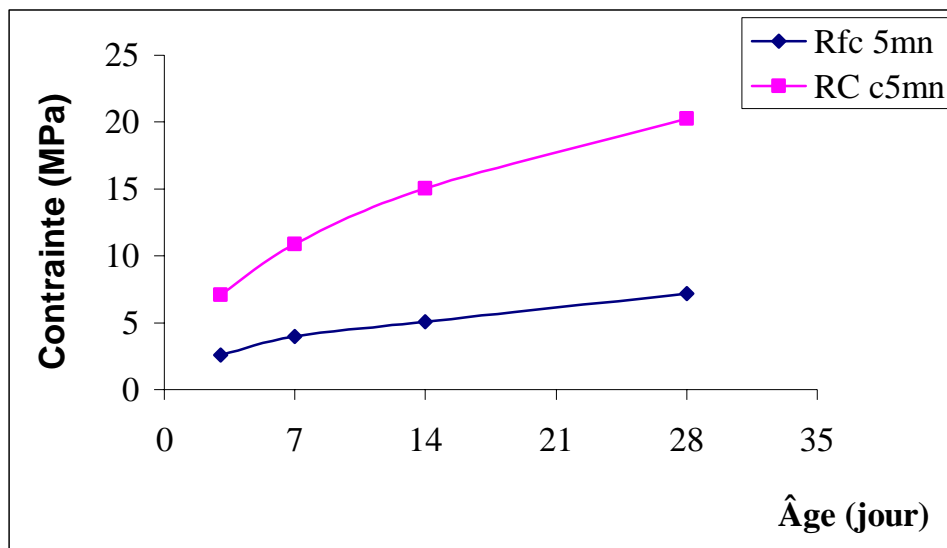
Le compactage apporte une amélioration notable des caractéristiques mécaniques du plâtre et cela dès le jeune âge.

### b. Mortier de plâtre + sable $M_2$ (66% plâtre + 33% sable)

Sur les figures ci après sont représentées les résistances mécaniques à la flexion  $R_f$  et à la compression  $R_c$  du mortier  $M_2$  compactés respectivement pendant 1mn et 5 mn à différents âges.



**Figure V.5:** Résistances mécaniques du mortier de plâtre  $M_2$  (flexion et compression) Compacté pendant 1mn.



**Figure V.6:** Résistances mécaniques du mortier de plâtre  $M_2$  (flexion et compression) Compacté pendant 5mn.

Les résultats illustrés par les figures V.5 et V.6 révèlent un progrès important pour la résistance mécanique de ce mortier. Il est clair que le compactage améliore sensiblement les résistances mécaniques car les éprouvettes compactées sont deux fois plus résistantes que celles coulées simplement.

Nous remarquons bien que la résistance à la flexion prend des valeurs importantes dès le jeune âge, puis elle devient moins accentuée à partir 14<sup>ème</sup> jour.

Par ailleurs, la résistance à la compression voit une augmentation importante quelque soit l'âge à considérer, ceci s'explique bien quand on sait que la résistance à la compression dépend essentiellement de la compacité, donc de la complexité de l'enchevêtrement du réseau cristallin.

Toutefois il faut signaler que c'est le mortier  $M_2$  qui enregistre les meilleures résistances à la rupture ; comme nous pouvons le constater sur les courbes des figures V.1 et V.2, ou cette variante représente toujours le maximum.

L'augmentation dans la résistance à la flexion est de l'ordre de 28% lorsque le compactage dure 1mn, et est d'environ de 31% lorsqu'il dure 5mn. Quant à la résistance à la compression, elle évolue de presque 62% suite à un compactage pendant qui dure 1mn, et de plus de 68% lorsque le compactage dure 5mn.

Il est indispensable d'évoquer ici que la résistance à la rupture que ce soit à la compression ou à la flexion évolue dans le même sens que le temps de compactage. Cette légère augmentation (de l'ordre de 3 à 5%) des performances mécaniques entre 1mn à 5mn de compactage peut s'expliquer par le fait que le compactage au-delà de 1mn intervient après la fin de la prise des différents mortiers.

## Conclusion

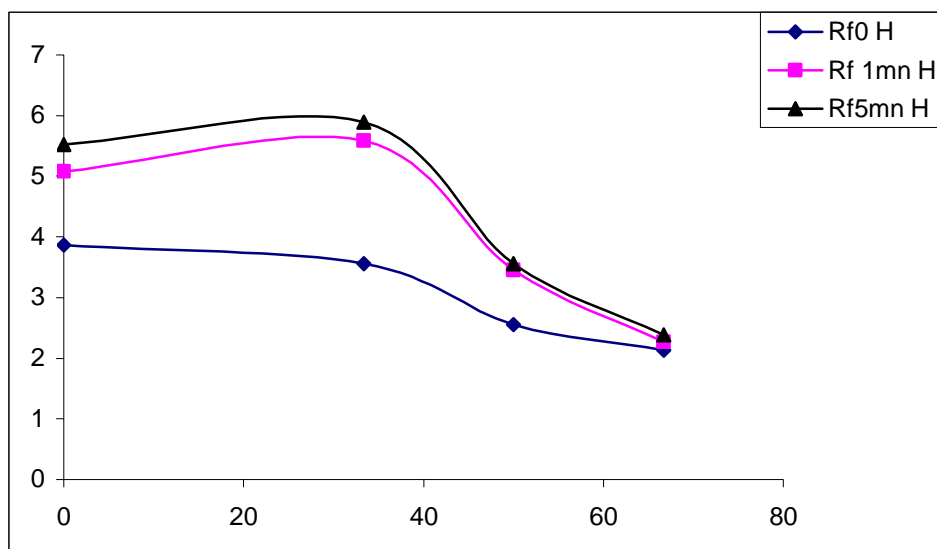
Comme le plâtre pur, le mortier (plâtre + sable) se prête bien au compactage, étant donné que, les valeurs de la résistance sont plus importantes sur ce mortier  $M_2$  que sur le plâtre pur notamment pour des temps de compactage de plus en plus élevé. En effet l'ajout de sable est réalisé en vue d'économiser le liant (plâtre), et aussi d'ajouter une certaine ductilité, ce qui présente un intérêt, du fait de permettre un mode de construction des maisons individuelles avec des matériaux localement abondant, donc relativement peu coûteux.

### I.2 RESISTANCE HUMIDE

Nous rappelons que la résistance à l'état humide des éléments en plâtre, correspond à la résistance des échantillons soumis aux essais juste après conservation à une température et humidité relative constantes.

Les figures ci après V.7 et V.8 exhibent la variation des résistances mécaniques humides : à la flexion  $R_{fH}$  et à la compression  $R_{cH}$ , des différents mortiers y compris le plâtre pur en fonction du dosage en sable, et ce pour les mortiers coulés simplement ayant l'indice « 0 » et ceux compactés pendant 1 mn correspondant à « 1 » en pendant 5 mn ayant l'indice « 5 ».

Ainsi nous pouvons apprécier l'effet simultané du dosage en sable et du temps de compactage sur les performances mécanique à l'état humide.



**Figure V.7:** Résistance à la flexion humide des mortiers de plâtre

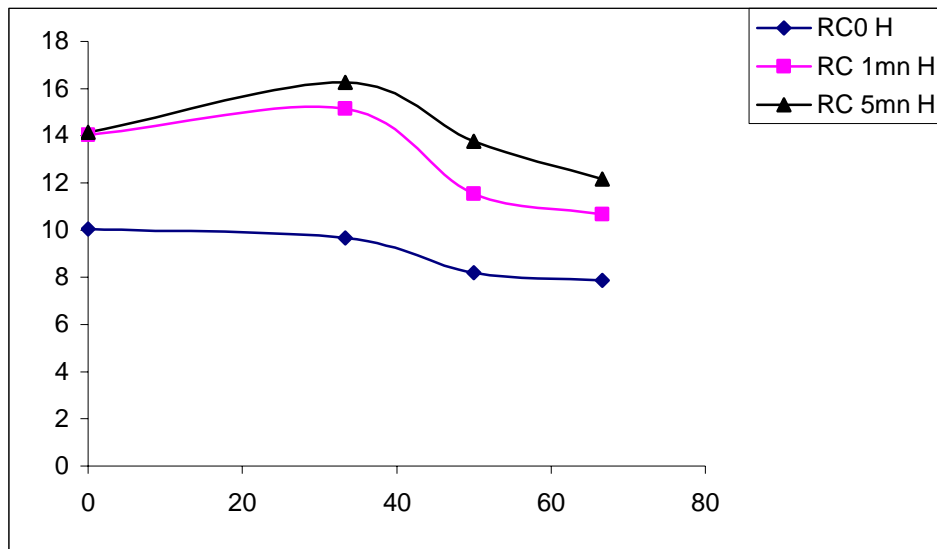


Figure V.8: Résistance à la compression humide des mortiers de plâtre

Les figures ci après V.9 et V.10 exposent l'évolution des résistances mécaniques humides (après 48 heures d'immersion): à la flexion  $R_{fH}$  et à la compression  $R_{cH}$ , des différents mortiers y compris le plâtre pur en fonction du dosage en sable, et ce pour les mortiers coulés simplement ayant l'indice « 0 » et ceux compactés pendant 1 mn correspondant à « 1 » en pendant 5 mn ayant l'indice « 5 ».

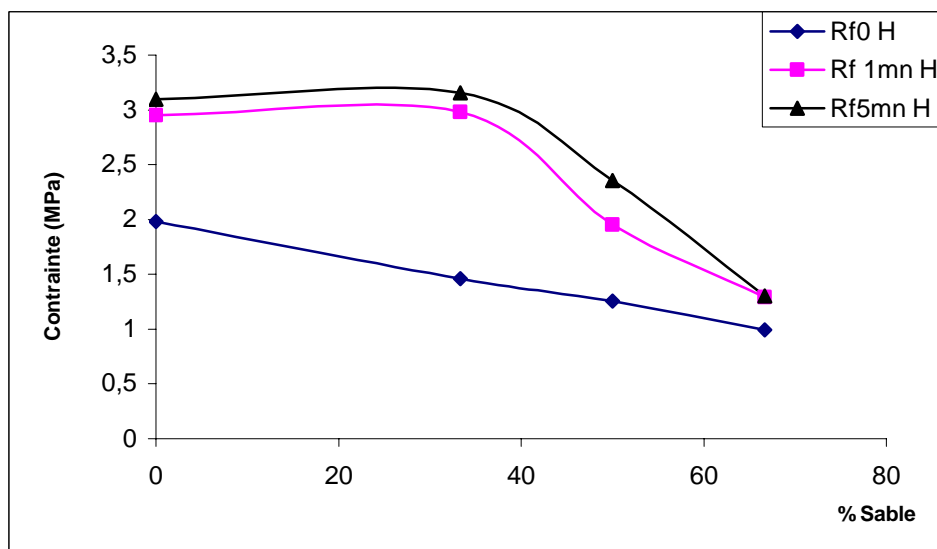
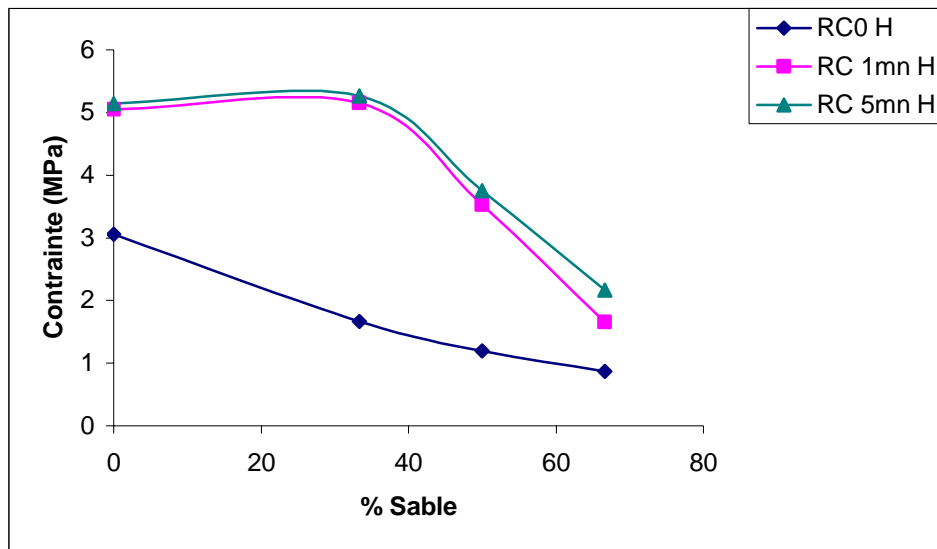


Figure V.9: Résistance à la flexion humide de mortiers de plâtre (Après saturation)



**Figure V.10:** Résistance à la compression humide des mortiers de plâtre (Après saturation)

En examinant les graphes sur les figures V.8, V.9, V.10 et V11, nous rejoignons le point de vue de plusieurs auteurs [2], [5] et [29], qui révèlent qu'un matériau à base de plâtre humidifié voit ses caractéristiques mécaniques baisser en présence d'humidité et chuter très rapidement après immersion, vu sa grande sensibilité à l'humidité ; c'est pourquoi il est préconisé lors de la conception des ouvrages en plâtre de tenir compte des caractéristiques mécaniques à l'état humide particulièrement s'il s'agit d'ouvrages porteurs comme ceux envisagés dans le présent travail.

Nous remarquons qu'il existe toujours une différence nette dans le comportement mécanique entre le matériau sec et humide et que cet écart est plus important après immersion totale. Cependant, cet écart se réduit dans le cas des mortiers compactés. Il est intéressant de souligner que même réduites à l'état humide, les résistances mécaniques restent acceptables pour le mortier M<sub>2</sub>.

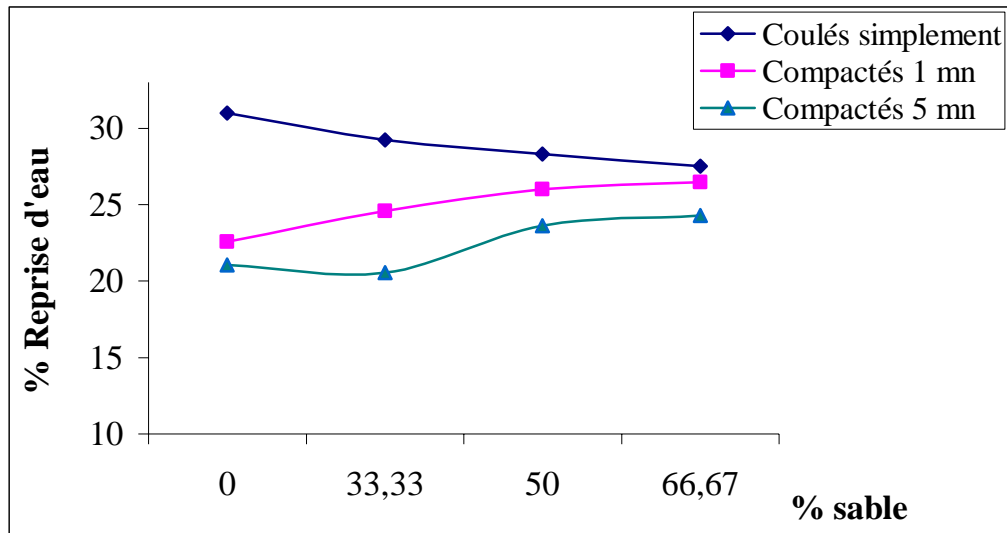
## Conclusion

Le compactage non seulement améliore nettement les caractéristiques mécaniques sèches à la rupture des matériaux à base de plâtre, mais minimise aussi les effets négatifs de l'eau sur ces derniers, il leur procure des valeurs acceptables à l'état humide.

## II CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Vu que les matériaux à base de plâtre, sont très reliés à la présence d'eau, et qu'ils se dégradent rapidement en présence de forte humidité, il est indispensable de voir l'influence de l'ajout de sable et le compactage sur les caractéristiques physique des différents mortiers de plâtre.

### II.1 pourcentage de reprise d'eau des mortiers de plâtre



**Figure V.11:** Pourcentage de reprise d'eau des mortiers de plâtre

En examinant les résultats de la figure V.9, nous remarquons que le pourcentage de reprise d'eau des mortiers coulés simplement diminue lorsque le pourcentage d'ajout de sable augmente, contrairement aux mortiers compactés dont la reprise d'eau augmente avec le pourcentage d'ajout de sable.

Le fait le plus notable est que le compactage réduit le pourcentage de reprise d'eau en comparaison aux mortiers coulés simplement. Ce pourcentage diminue de 27,2% lorsque le compactage dure 1mn, et de 32,03% lorsqu'il dure 5mn, pour le plâtre. Pour le mortier M<sub>2</sub> la capacité de reprise d'eau est réduite de 15% lorsque le compactage dure 1mn et de 30% lorsque celui-ci dure 5mn.

### Conclusion

La structure lâche du plâtre est à l'origine de sa grande sensibilité à l'eau. C'est les vides existants dans ce matériau qui retiennent l'eau, qui entraînent sa dégradation.

Le compactage semble être une solution intéressante à cette sensibilité à l'eau, puisque en réduisant le volume de ces vides, il réduit la reprise d'eau, et par conséquent améliore la durabilité.

## II.2 Coefficient de capillarité des mortiers de plâtre

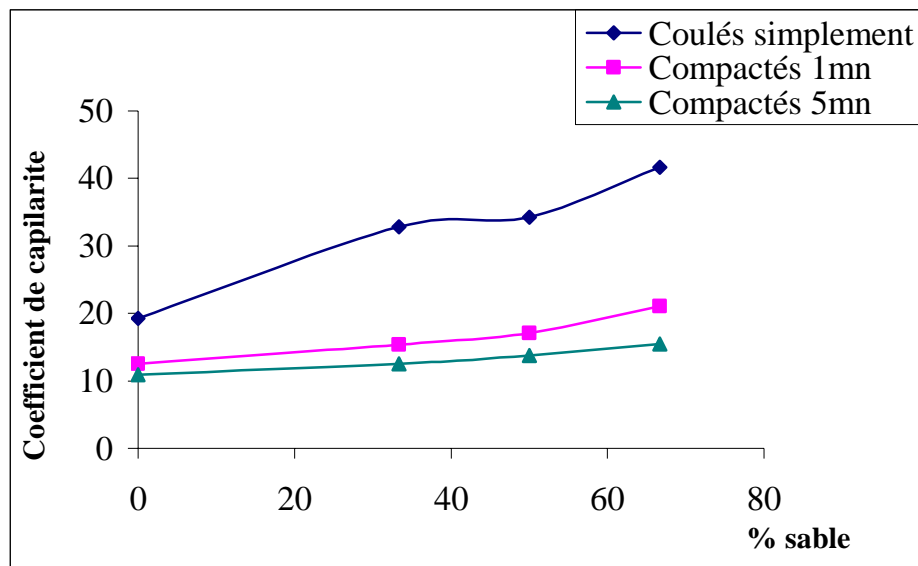


Figure V.12 : Coefficient de capillarité des mortiers de plâtre.

L'examen des résultats présentes sur la figure V.10 montrent qu'avec le compactage nous obtenons un matériau deux à trois fois moins capillaire que celui obtenu par simple coulage que se soit pour le plâtre pur ou pour le mortier de plâtre et de sable, et les résultats sont d'autant meilleurs que le temps de compactage est important.

### Conclusion

C'est en minimisant le volume des vides par compactage que nous améliorons la capillarité des matériaux à base de plâtre, et ce progrès est d'autant plus important pour un temps de compactage plus grand.

## II.3 Vitesse de saturation des mortiers de plâtre

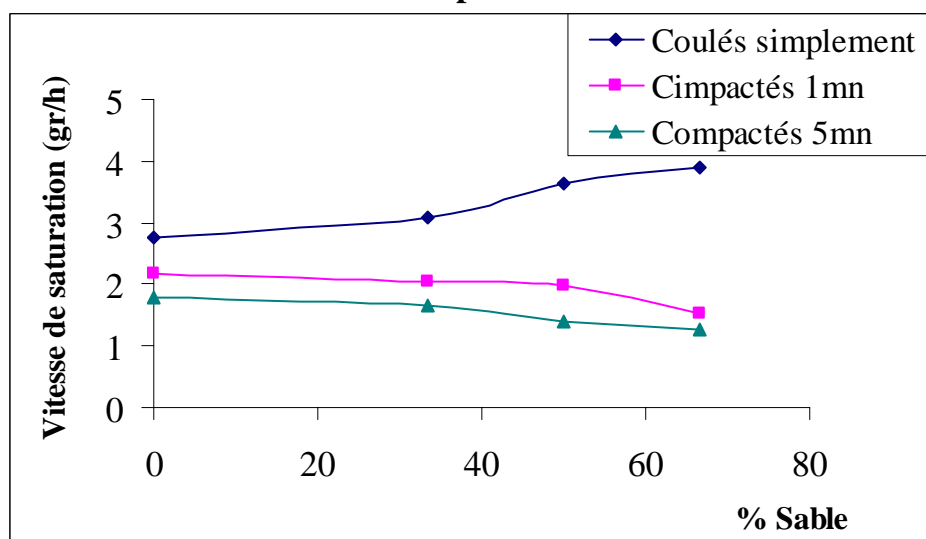


Figure V.13 : Vitesse de saturation des mortiers de plâtre.

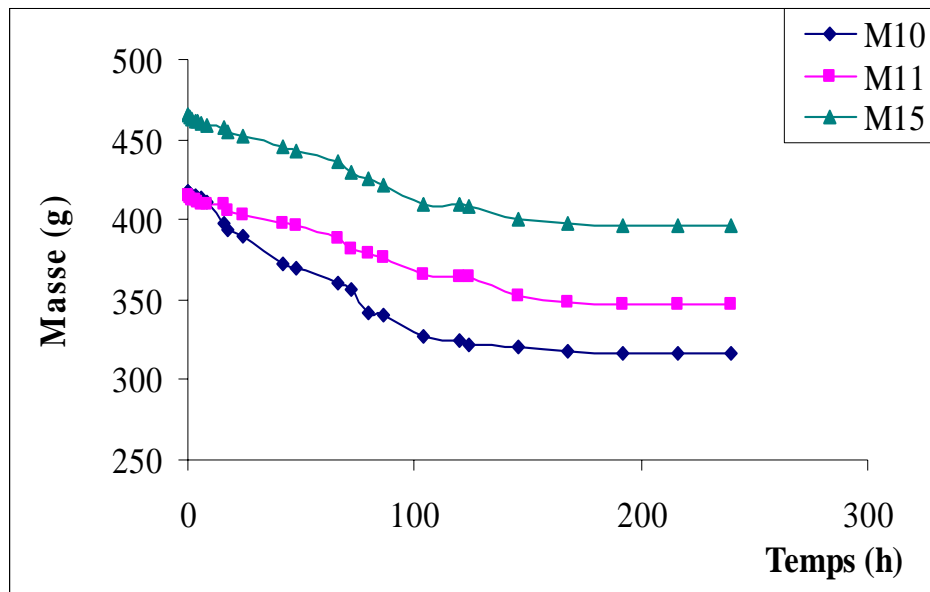
En examinant les résultats de la figure V.11, nous remarquons que la vitesse de saturation des mortiers coulés simplement varie dans le même sens que le pourcentage d'ajout de sable, contrairement aux mortiers compactés où la vitesse de saturation chute lorsque le pourcentage d'ajout de sable augmente. Le compactage d'une minute réduit cette vitesse de 21% pour le plâtre pur, et de 35% lorsqu'il dure 5mn.

## Conclusion

L'ajout du sable associé au compactage réduit la vitesse de saturation. Cette réduction est proportionnelle au pourcentage d'ajout de sable et varie entre 20 et 60% pour un compactage d'une minute, et entre 35 et 67% lorsque le mortier est compacté pendant 5mn.

### II.4 Evaporation d'eau

#### ❖ plâtre pur



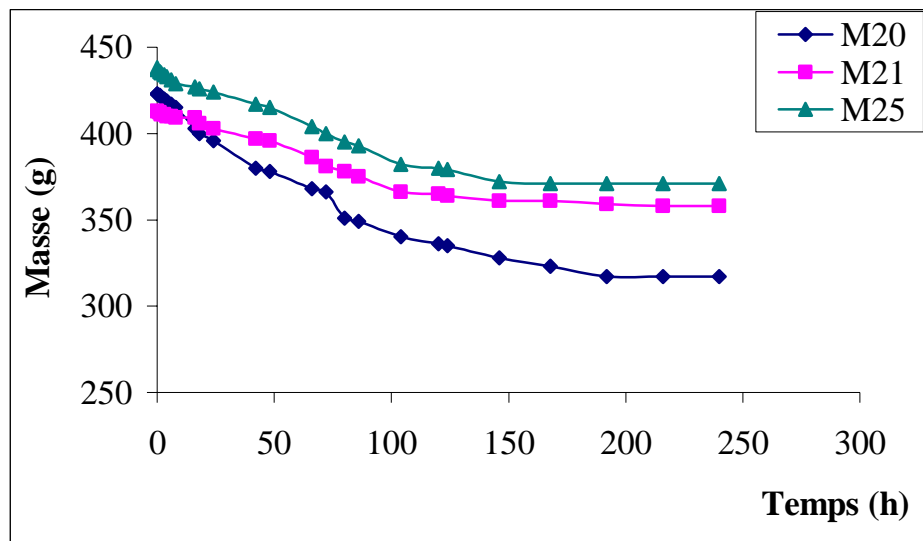
**Figure V.14:** *Evaporation d'eau du mortier de plâtre pur jusqu'à stabilisation (masse constante).*

M<sub>10</sub> : Mortier de plâtre pur coulé simplement ;

M<sub>11</sub> : Mortier de plâtre pur compacté pendant 1mn ;

M<sub>15</sub> : Mortier de plâtre pur compacté pendant 5mn ;

### ❖ Evaporation d'eau des mortier de plâtre + sable



**Figure V.15 :** Evaporation d'eau du mortier  $M_2$  jusqu'à stabilisation de la masse.

$M_{20}$  : Mortier composé de 66.67% de plâtre + 33.33% de sable coulé simplement ;

$M_{21}$  : Mortier composé de 66.67% de plâtre + 33.33% de sable compacté pendant 1mn ;

$M_{21}$  : Mortier composé de 66.67% de plâtre + 33.33% de sable compacté pendant 5mn.

A travers les figures V.12 et V.13 qui illustrent l'évaporation des différents mortiers de plâtre, nous remarquons que la vitesse d'évaporation pour des mortiers compactés est supérieure à celle des mortiers coulés simplement ; la seule explication à notre avis est que la réduction des vides entre les grains empêche la pénétration en profondeur des eaux absorbées, contrairement à ceux coulés simplement. Et puisque la quantité d'eau est plus importante dans le dernier cas, elle prend plus de temps pour s'évaporer.

### Conclusion

Le compactage possède un autre avantage, il empêche la pénétration de l'eau absorbée en profondeur du matériau et lui permet de la libérer facilement après saturation, ce qui limitera le risque de dégradation de la structure en question.

### III. ETUDE THERMIQUE

Dans cette partie, nous étudions les caractéristiques thermiques (conductivité thermique et résistance thermique) de nos mortiers de plâtre en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- Le dosage en sable en % de poids ;
- Le temps de compactage ;
- La masse volumique.

Dosage en sable	Temps de compactage (mn)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermique	
			Mesure par les boîtes	Mesure par le CTmètre
0%	0	11.67	0.425	0.51
	1	14.85	/	0.62
	5	15.30	/	0.7075
33.33%	0	13.08	0.45	0.553
	1	16	/	0.925
	5	16.63	/	0.9535
50%	0	13.6	0.475	0.604
	1	16.77	/	1.046
	5	17.35	/	1.171
66.67%	0	13.92	0.5	0.625
	1	17.21	/	1.163
	5	17.66	/	1.2805

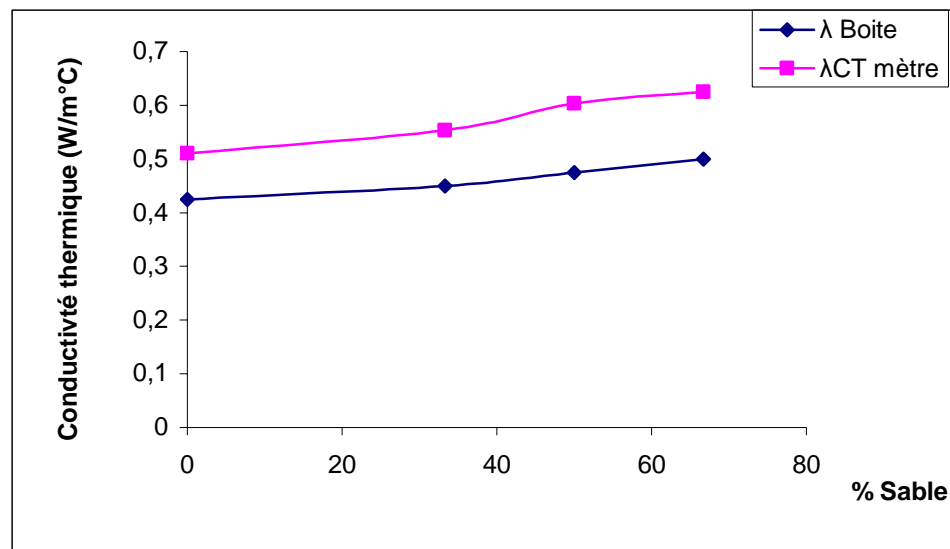
**Tableau V.1 :** *Tableau récapitulatif des conductivités thermiques mesurées pour différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage.*

Les résultats sont d'abord donnés dans des tableaux, puis illustrés par des courbes synthèses représentant les caractéristiques thermiques en fonction de mêmes paramètres, à la lumière desquels nous pouvons apprécier l'influence de deux paramètres simultanément

L'analyse des résultats obtenus, nous permet de mieux comprendre le comportement thermique de nos mortiers de plâtre et de choisir le mortier de plâtre ayant les meilleures performances thermiques.

### III.1 Comparaison des résultats mesurés avec la boîte et avec le CT mètre

Les courbes sur la figure ci après illustrent l'évolution de la conductivité thermique des différents mortiers de plâtre coulés simplement déterminées par les deux méthodes : la boîte et le CT mètre, en fonction du pourcentage d'ajout de sable.



**Figure V.16 :** *Conductivités thermiques des différents mortiers de plâtre en fonction du dosage en sable mesurés avec la boîte et CT mètre.*

$\lambda_{\text{Boite}}$  : conductivité thermique des mortiers coulés simplement mesurées par la méthode des boîtes

$\lambda_{\text{CT mètre}}$  : conductivité thermique des mortiers coulés simplement mesurées par le Ct metre

Nous remarquons que les deux courbes sont pratiquement semblable, et l'écart entre elle est quasi constant.

Les deux courbes et montrent une légère augmentation de la conductivité thermique en fonction du dosage en sable.

Dans le tableau suivant, sont donnés les conductivités thermiques du plâtre pur, obtenus par les deux méthodes, ainsi que celle donnée par la référence [36].

	$\lambda$ (W/m.°C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Résultats donnés en littérature [36]	0.50	1100-1300
Résultats donnés par la boîte	0.425	1167
Résultats donnés par le CT metre	0.51	1167

**Tableau V.2 :** *Conductivités thermiques et masse volumique du plâtre mesurées avec la boîte et le CT metre*

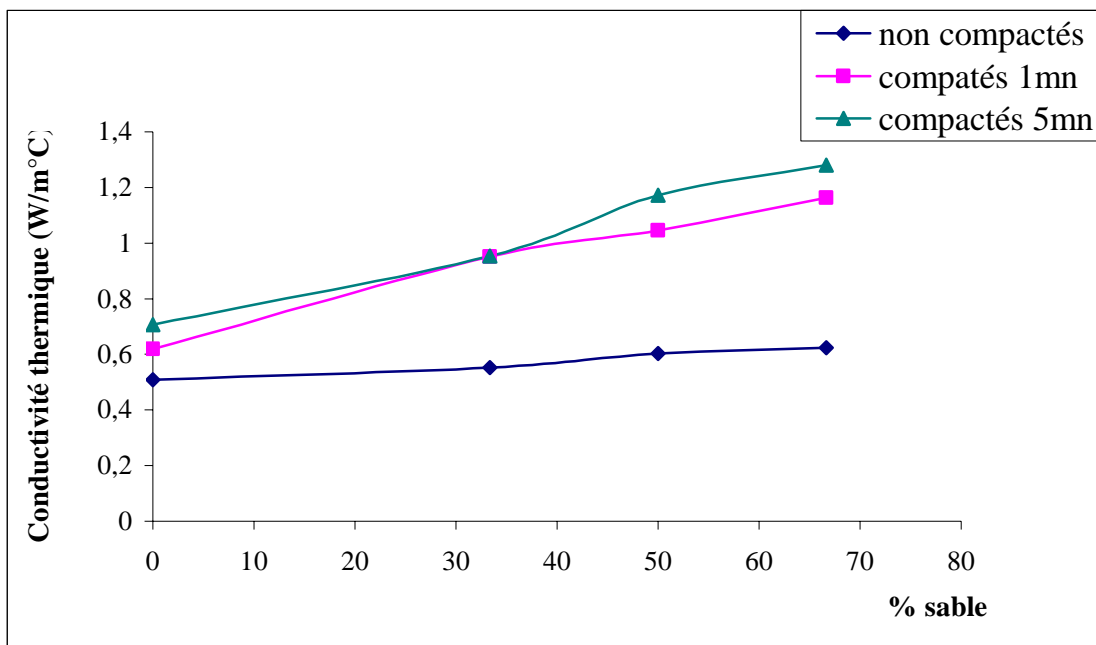
Nous constatons que c'est les valeurs de la conductivité thermique déterminée par le CT metre qui rejoignent celle donnée par d'autres travaux [36], à 0.01 près, contrairement aux conductivité thermiques déterminé par la boîte, qui est à 0.075 près.

Donc, nous pouvons conclure que c'est les valeurs données par le CT metre qui sont les plus fiable ; ce qui est confirmé par la référence [49], et nous retenons pour la suite de notre étude

## III.2 CONDUCTIVITE THERMIQUE

### III.2.1 Evolution de la conductivité thermique en fonction du dosage en sable

Sur la figure VI.14 nous essayons de suivre l'évolution de la conductivité thermique des différents mortiers de plâtre en fonction de l'ajout en sable et le temps de compactage simultanément.



**Figure V.17 :** *Conductivité thermique des différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage.*

En consultant les résultats illustrés par les courbes dans la figure V.17; nous constatons que la conductivité thermique augmente avec l'ajout de sable. Pour les mortiers non compactés, cette augmentation est faible, contrairement à celle des mortiers compactés, pour lesquels l'accroissement est considérable.

Pour les mortiers compactés 1 mn, la conductivité thermique démarre d'une valeur de 0.51 w/m°k pour 0% sable (plâtre pur), et évolue progressivement avec une pente assez importante pour atteindre la valeur de 0.925 W /m.°k pour le mortier M<sub>2</sub> (composé de 33.33% de plâtre et 66.67% de sable).

Nous remarquons qu'à 0% de sable (plâtre pur) le compactage d'une durée d'une minute accroît la conductivité thermique des mortiers coulés simplement de 14.58% et de 16.64% lorsqu'il dure 5mn.

Il est très important de signaler que le mortier M<sub>2</sub> qui a la plus faible conductivité thermique pour les mortiers compactés, car compacté pendant une minute il possède une valeur de la conductivité thermique presque double de celle du même mortier non compacté ( $\lambda_0 = 0.553 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_1 = 0.952 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ ), et lorsque le compactage dure 5mn, la conductivité thermique ne varie que de 1.34% ( $\lambda_5 = 0.954 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ ) par rapport au même mortier compacté pendant 1mn.

Au-delà de ce dosage en sable la conductivité thermique évolue dans le même sens que le dosage en sable et le temps de compactage avec une pente relativement faible.

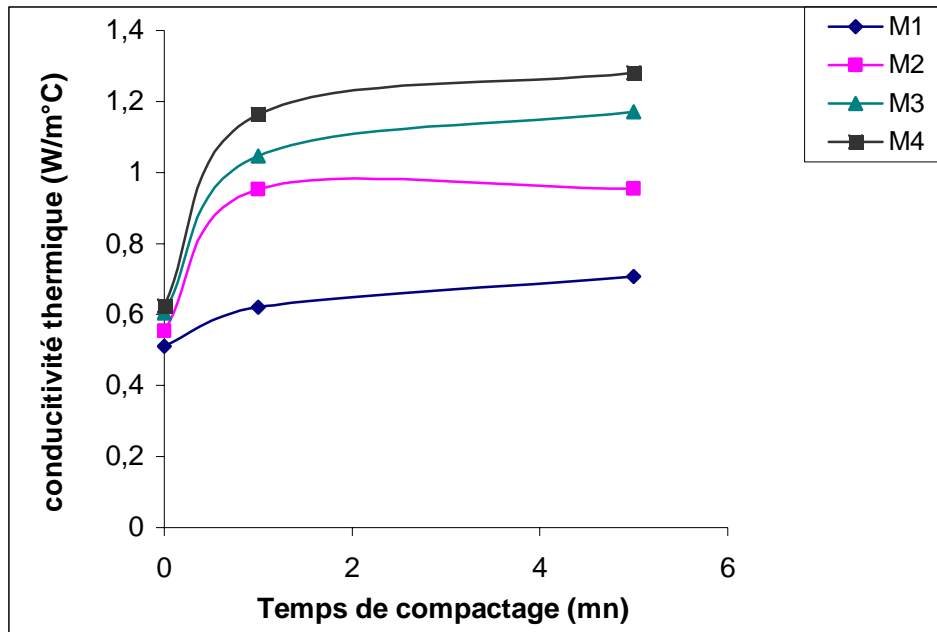
## Conclusion

Nous pouvons conclure que quelque soit le dosage en sable la conductivité thermique croît avec le dosage en sable et dans le même sens que le temps de compactage.

### III.2.2 Evolution de la conductivité thermique en fonction du temps de compactage à différents dosages en sable

Sur les graphes ci après est tracée la conductivité thermique des différents mortiers de plâtre (à différents dosage en sable de 0% c'est-à-dire plâtre pur jusqu'à un dosage de 33.33% de plâtre + 66.67% sable) en fonction du temps de compactage :

- Les éprouvettes ayant pour coordonnée 0 mn correspondent aux éprouvettes coulées simplement (non compactées) ;
- Les éprouvettes ayant pour coordonnée 1 mn correspondent aux éprouvettes compactées pendant 1mn à l'état frais du mortier ;
- Les éprouvettes ayant pour coordonnée 5 mn correspondent aux éprouvettes compactées pendant 5mn aussi à l'état frais.



**Figure V.18 :** *Conductivité thermique à différents temps de compactage pour différents mortiers de plâtre*

M1 : plâtre pur ;

M2 : mortier composé de 67% sable et 33% de plâtre ;

M3 : mortier composé de 50% de plâtre et 50% de sable ;

M4 : mortier composé de 33% de plâtre et 67% de sable.

Lorsque nous examinons la figure V.18 qui englobe les différentes courbes des différents mortiers en fonction du temps de compactage, nous remarquons que :

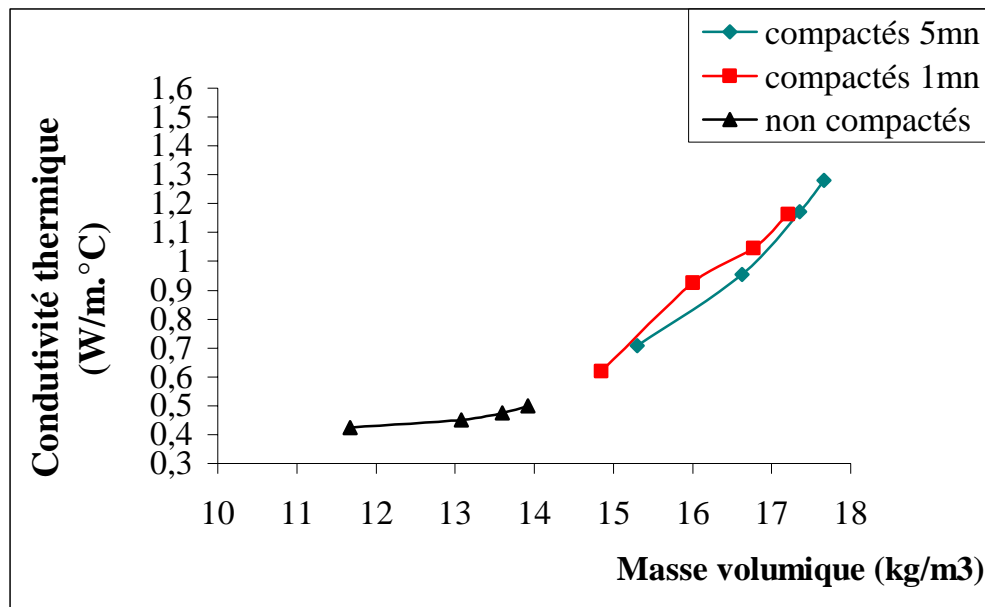
- Toutes les courbes ont la même allure ;
- Le compactage amplifie la conductivité thermique
- La conductivité thermique prend une valeur presque double de celle des mortiers non compactés, elle évolue rapidement puis marque un palier. Ceci peut s'expliquer –comme précédemment- par le fait que le compactage au-delà d'1mn intervient après la fin de la prise des mortiers.

## Conclusion

Comme d'autres caractéristiques, la conductivité thermique est directement proportionnelle au temps de compactage lorsque ce dernier intervient avant la fin de la prise.

### III.2.3 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique

Sur la figure ci après, les courbes représentent l'évolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique des mortiers coulés simplement (non compactés, ceux compactés 1mn et ceux compactés 5 mn.



**Figure V.19 :** Evolution de la conductivité thermiques des différents mortiers de plâtre à différents temps de compactage fonction de la masse volumique.

En consultant les courbes sur la figure VI.19, la première remarque est que la conductivité thermique augmente avec l'accroissement de la masse volumique. Cette augmentation est faible pour les mortiers coulés simplement. Par contre, les mortiers compactés subissent une nette augmentation de la conductivité thermique avec l'augmentation de la masse volumique. Cette augmentation est de l'ordre de 46 % pour les mortiers compactés 1 mn et d'environ 66 % pour ceux compactés 5 mn.

Cette augmentation de la conductivité thermique correspond donc à l'accroissement de la masse volumique qui à son tour est due à :

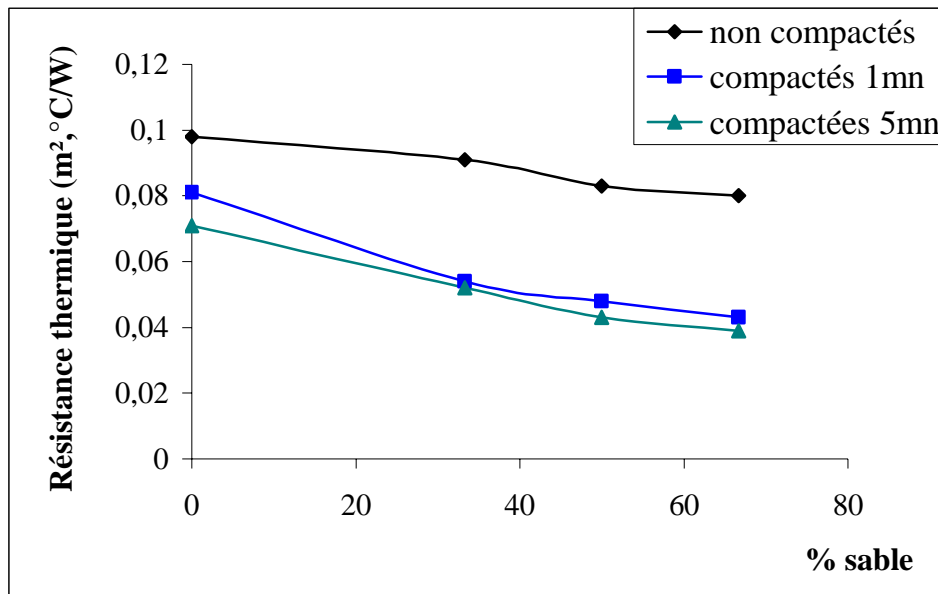
- L'ajout de sable, qui a une masse volumique plus importante que celle du plâtre.
- Le compactage, qui élimine l'air contenu dans les vides intergranulaire, ce qui rend la structure plus dense

D'autres parts, nous remarquons que les deux courbes des différents mortiers compactés 1mn et 5mn ont une allure semblable, ce qui indique que le compactage au-delà d'une minute influe très peu sur la conductivité thermique, ce qui a été pré justifié par le fait que le compactage allant au-delà d'une minute intervient après la fin de prise.

### III.3 RESISTANCE THERMIQUE

#### III.3.1 Evolution de la résistance thermique en fonction du dosage en sable

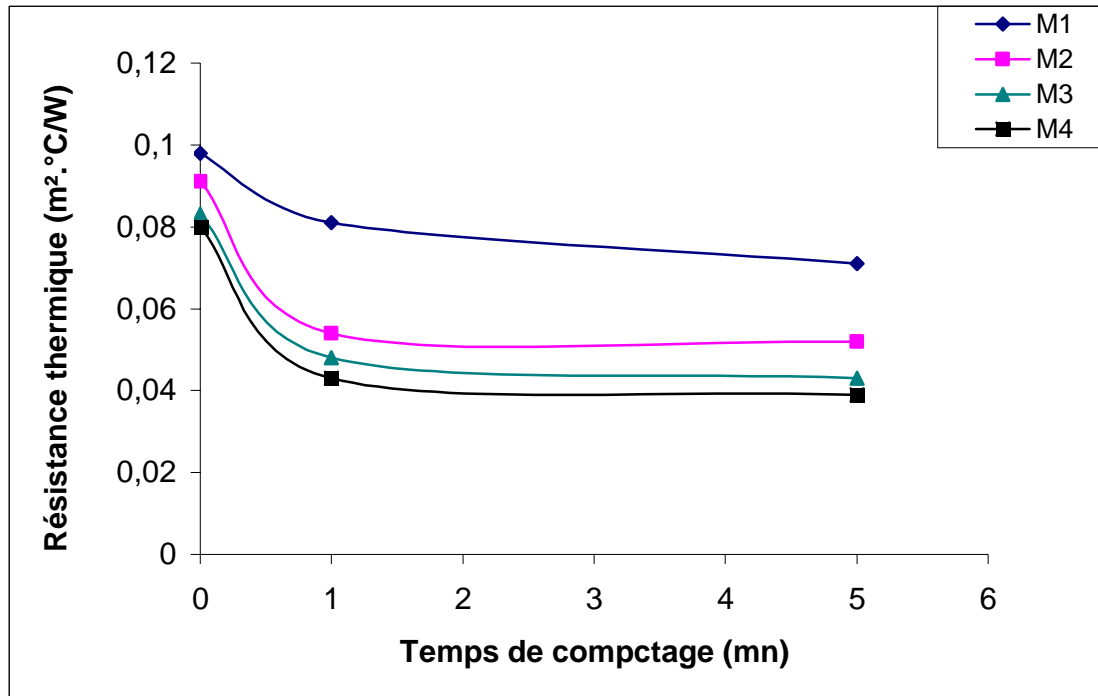
Il faut signaler que la résistance thermique est inversement proportionnelle à la conductivité thermique ; ce qui explique l'allure inverse des courbes de la résistance en fonctions des mêmes paramètres (dosage en sable et temps de compactage) de celles de la conductivité thermique.



**Figure V.20 :** Résistances thermiques des différents mortiers de plâtre en fonction du dosage en sable à différents temps de compactage.

Nous constatons que la résistance thermique de tous nos mortiers diminue avec l'ajout de sable. Cette baisse est faible pour les mortiers non compactés ; et devient plus accentuée lorsque l'ajout de sable est accompagné par le compactage. Même au-delà d'une minute de compactage la résistance thermique des mortiers continue de baisser, mais légèrement.

### III.3.2 Evolution de la résistance thermique en fonction du temps de compactage et du dosage en sable



**Figure V.21** : Résistances *thermiques* des différents mortiers de plâtre en fonction du temps de compactage pour différents dosages en sable.

M1 : plâtre pur ;

M2 : mortier composé de 67% sable et 33% de plâtre ;

M3 : mortier composé de 50% de plâtre et 50% de sable ;

M4 : mortier composé de 33% de plâtre et 67% de sable

Le compactage affaiblit la résistance thermique, cet abaissement est considérable entre  $t = 0$  mn (mortiers non compactés) et 1 mn de compactage, mais il est négligeable au-delà d'une minute de compactage.

### Conclusion

La résistance thermique évolue dans le sens inverse du dosage en sable et le temps de compactage, ceci est dû à l'augmentation de la densité (masse volumique) et à l'élimination des vides par compactage.

**Conclusion**

Nous pouvons conclure que la conductivité thermique est directement proportionnelle à l'ajout de sable, le temps de compactage, contrairement à la résistance thermique qui l'est inversement.

L'évolution des caractéristiques thermiques précitées est due essentiellement à la suppression de l'air des vides à l'intérieur des pores.

Toutefois il est indispensable de souligner c'est le mortier nommé  $M_2$  compacté qui a donné les meilleures performances thermique c'est-à-dire la plus faible conductivité thermique et plus grande résistance thermique et est aussi celui qui a enregistré les meilleures résistances mécaniques, donc c'est ce mortier qui sera retenu et introduit dans les calculs thermiques de vue d'une meilleure exploitation.

# ***EXPLOITATION DES RESULTATS***

Sachant à l'avance que le compactage augmente  
les performances mécaniques,  
et nuis aux performances thermique.

L'optimum entre une bonne résistance mécanique et  
une isolation thermique acceptable  
est obtenu pour le mortier nommé  $M_2$ .

*Ce mortier est comparé aux deux matériaux*  
les plus utilisés dans la construction : la brique et le béton.

Le but du présent chapitre est de trouver la meilleure disposition, afin d'améliorer au  
maximum les performances thermiques et atteindre un niveau de confort minimal d'un mur  
isolant recommandé la réglementation

## I. INTRODUCTION

La plupart des récentes recherches visent la réduction du coût des constructions et ce en utilisant des matériaux localement disponible.

La présente étude a démontré qu'un mortier  $M_2$  composé de 33% de plâtre et 67% de sable (pourcentage en poids), compacté a enregistré des résistances mécaniques important qui restent acceptables même à l'état humide, celui ci peut être utilisé comme élément porteur pour une construction allant jusqu'à R + 2, ce même élément ainsi obtenu confère une isolation thermique acceptable.

Dans ce chapitre, en vue de valoriser au maximum thermiquement le présent matériau, nous comparons un mur de construction en mortier  $M_2$ , avec les deux matériaux les plus utilisés dans la construction, nous citons la brique et le béton.

Cette comparaison se fait dans les conditions climatiques les plus défavorables : l'été et l'hiver.

Avant d'entamer cette comparaison, nous tenons à rappeler quelques notions de thermiques, ainsi que les hypothèses de calcul.

## II. MISE EN EQUATION DU PROBLEME THERMIQUE D'UN MUR SIMPLE

Nous étudions le transfert de la chaleur par conduction, dans un mur obéissant aux hypothèses suivantes :

- Régime permanent ;
- Sans sources internes ;
- Problème unidimensionnel (cas d'un mur à faces isothermes)

Nous introduisons ces hypothèses dans l'équation générale de la chaleur qui est :

$$\Delta T - \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{P}{\lambda} = 0 \quad (\text{VI.1})$$

$$\text{➤ Régime permanent} \Leftrightarrow \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (\text{VI.2})$$

$$\text{➤ Système sans source interne} \Leftrightarrow P = 0 ; \quad (\text{VI.3})$$

➤ Problème unidimensionnel (suivant x), nous traitons un mur à face isotherme.

Le laplacien du champ de température s'écrit :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (\text{VI.4})$$

L'équation (VI.1) devient :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (\text{VI.5})$$

L'équation (VI.3) traduit le mécanisme de transfert de chaleur par conduction en tout point du mur.

## II.1 Résolution du problème d'un mur simple

### II.1.1 Mur à faces isothermes

Dans ce cas, les parois internes et externes du mur sont maintenues à des températures  $T_1$  et  $T_2$  uniforme, constantes et connues (voir figure VI.1).

La solution de l'équation (VI.5) s'obtient par une double intégration et introduction des conditions aux limites

$$T(x) = A.x + B \quad (\text{VI.7})$$

Avec A et B des constantes d'intégration déterminés par les conditions aux limites qui sont :

$$T(o) = A \quad (\text{VI.8})$$

et

$$T(e) = B \quad (\text{VI.9})$$

Ce qui nous donne l'expression suivante de la température suivante :

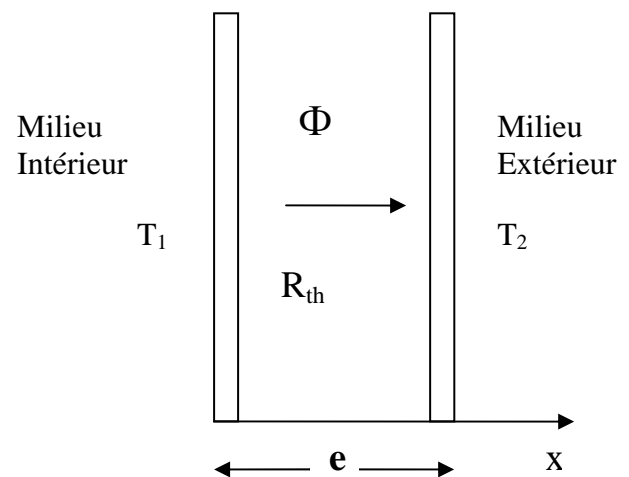
$$T(x) = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)}{e}.x \quad (\text{VI.10})$$

L'équation (VI.10) donne la température en tout point du mur.

### II.1.2 Flux thermique

Le flux thermique traversant le mur est donné par la formule suivante :

$$\Phi = -\lambda \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{e} \cdot S \quad \text{W/m}^2 \quad (\text{VI.11})$$



**Figure VI.1 :** schéma d'un mur de construction

### II.1.3 Résistance thermique

D'après l'équation (III.27) avec des températures imposées, nous avons l'expression suivante de la résistance thermique :

$$R_{Th} = \frac{T_2 - T_1}{\Phi} = \frac{e}{\lambda \cdot S} \quad \text{m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad (\text{VI.12})$$

### II.2 Mur simple en contact avec deux milieux fluides (Air)

Le mur est en contact avec deux milieux de températures  $T_i$  et  $T_e$  (voir figure VI.2) et de coefficients d'échanges convectifs intérieur  $h_i$  et extérieur  $h_e$ . Entre les parois et les milieux s'établit un échange convectif. Le problème est unidimensionnel, la conservation du flux : cédé par le milieu interne au mur, traversant le mur et reçu par le milieu externe.

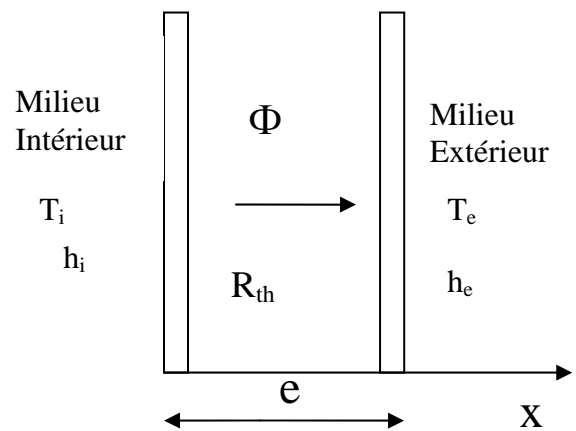


Figure VI.2 : Schéma d'un mur simple de construction

#### II.2.1 Résistance thermique

La résistance thermique  $R$  de ce mur est donnée par la formule suivante :

$$R_{Th_T} = R_{ci} + R_{th} + R_{ce} \quad \text{m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad (\text{VI.13})$$

Avec :

$$R_{ci} = \frac{1}{h_i} = 0.11 : \text{Résistance convective du milieu interne (Air)}$$

$$R_{ce} = \frac{1}{h_e} = 0.06 : \text{Résistance convective du milieu externe (Air)}$$

$h_i$  : coefficient d'échange superficiel intérieur (Air) ,

$h_e$  : coefficient d'échange superficiel extérieur (Air).

Et pour généraliser l'expression de la résistance thermique pour un mur multicouches, l'expression (VI.13) devient :

$$R_{Th_r} = R_{ci} + \sum_{j=1}^n R_{thj} + R_{ce} \quad \text{m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad (\text{VI.14})$$

### III. ETUDE COMPARATIVE DE TROIS TYPES DE MURS

Cette étude consiste à comparer les résistances thermiques et flux obtenu par calcul des trois murs suivant :

- Un mur en mortier de plâtre de la présente étude ;
- Un mur en brique ;
- Un mur en béton.

Cette étude est menée en considérant les conditions climatiques extrêmes d'été et d'hiver suivantes :

#### ❖ Régime d'hiver

$T_{bi} = 21\text{°C}$  : Température intérieure de base [50] ;

$T_{be} = 4\text{°C}$  : Température extérieure de base [50] .

#### ❖ Régime d'été

$T_{bi} = 21\text{°C}$  : Température intérieure de base [50] ;

$T_{be} = 50\text{°C}$  : Température extérieure de base [50] .

Sachant qu'un matériau est d'autant meilleur que sa résistance thermique est grande, contrairement à la conductivité thermique qui est meilleure autant elle est faible, car elle reflète une capacité d'isolation.

La comparaison se fait suivant les étapes suivantes :

- En premier lieu, nous fixons l'épaisseur des trois murs à 0.15m, et nous comparons après calcul leurs résistances thermiques et flux thermiques,
- En second lieu, nous recherchons l'épaisseur équivalente de chaque mur qui correspond à la meilleure résistance thermique obtenu dans la première étape ;
- En fin, nous recherchons la disposition constructive du mur en mortier de plâtre donnant le meilleur rendement thermique.

Les résultats sont donnés sous forme de tableaux.

### III.1 Comparaison des trois murs à épaisseur égale

#### a. Régime hiver

Les trois murs ont la même épaisseur  $e = 0.15$  m, et une même surface de calcul  $S = 1\text{m}^2$ .

$T_{bi} = 21^\circ\text{C}$  : Température intérieure de base ;

$T_{be} = 4^\circ\text{C}$  : Température extérieure de base.

	Mortier de plâtre	Brique	Béton
$\lambda$ (W/m.°C)	0.925	/	1.75
$R_{Th} = \frac{e}{\lambda.S}$	0.162	0.30	0.0857
Résistance thermique totale (m <sup>2</sup> .°C/W) $R_{thT} = R_{ci} + R_{th} + R_{ce}$	0.332	0.47	0.256
Flux thermique $\Phi = \frac{T_{bi} - T_{be}}{R_T}$	51.21	36.17	66.41
Diagramme des températures (°C) $T_1 = T_i - R_{ci} \cdot \Phi$ $T_2 = \Phi \cdot R_{ce} + T_e$	$T_1 = 15.37$ $T_2 = 7.07$	$T_1 = 17.02$ $T_2 = 6.17$	$T_1 = 13.7$ $T_2 = 8$

**Tableau N° VI.1** : Calcul de la résistance thermique des différents murs, du flux thermiques et des températures sur le mur (en hiver)

**b. Régime été**

$e = 0.15m$  : Epaisseur des différents murs.

$S = 1m^2$  : Surface de calcul

$T_{bi} = 21^\circ C$  : Température intérieure de base ;

$T_{be} = 50^\circ C$  : Température extérieure de base.

	Mortier de plâtre	Brique	Béton
$\lambda$ (W/m.°C)	0.925	/	1.75
Résistance thermique totale (m <sup>2</sup> .°C/W) : $R_{thT} = R_{ci} + R_{th} + R_{ce}$	0.332	0.47	0.256
Flux thermique $\Phi = \frac{T_{bi} - T_{be}}{R_T}$	87.35	61.7	113.3
Diagramme des températures (°C) $T_1 = T_i - R_{ci} \cdot \Phi$ $T_2 = \Phi \cdot R_{ce} + T_e$	$T_1 = 40.4$ $T_2 = 26.24$	$T_1 = 43.21$ $T_2 = 24.7$	$T_1 = 37.54$ $T_2 = 27.8$

**Tableau N° VI.1** : Calcul de la résistance thermique des différents murs, du flux thermiques et des températures sur le mur (en été)

**Conclusion**

Quel que soit les conditions climatiques d'été ou d'hiver, c'est le mur en brique qui présente la meilleure résistance thermique et les plus faibles déperditions thermiques, suivi du mur en mortier de plâtre M<sub>2</sub>, puis du mur en béton

### III.2 Détermination de l'épaisseur équivalente à une résistance donnée

Maintenant, nous fixons la résistance thermique des trois murs, à celle obtenu pour le mur en brique, puis nous recherchons l'épaisseur du mur en mortier de plâtre et en béton, correspondante à la résistance thermique retenu.

La résistance thermique retenue dans notre cas est :

$$R = 0.30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$\begin{cases} R = \frac{e}{\lambda \cdot S} \\ S = 1 \text{ m}^2 \end{cases} \Rightarrow e = 0.3 \cdot \lambda \quad (\text{VI.11})$$

	Mortier de plâtre	Brique	Béton
e (m)	0.28	0.15	0.525

**Tableau N°VI.3 :** Calcul de l'épaisseur équivalente à une résistance donnée.

### Conclusion

D'après les résultats portés sur le tableau VI.3, le mur en mortier de plâtre, doit avoir une épaisseur de 0.28m (constructivement 0.30m), garantie une résistance thermique égale à celle d'un mur de brique de 0.15m, et le mur de béton doit avoir une épaisseur de 0.525m (constructivement 0.55m), qui est une épaisseur exagérée.

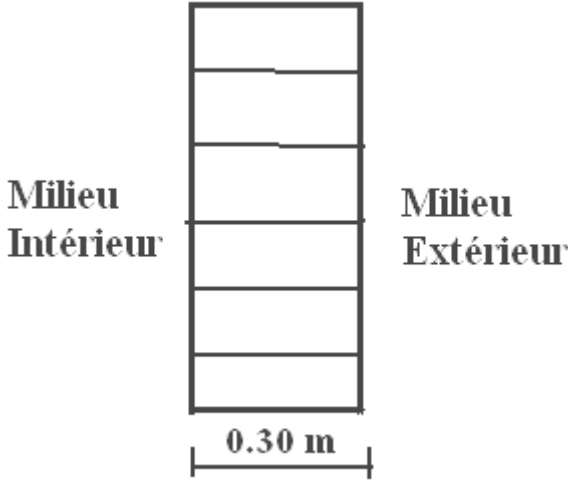
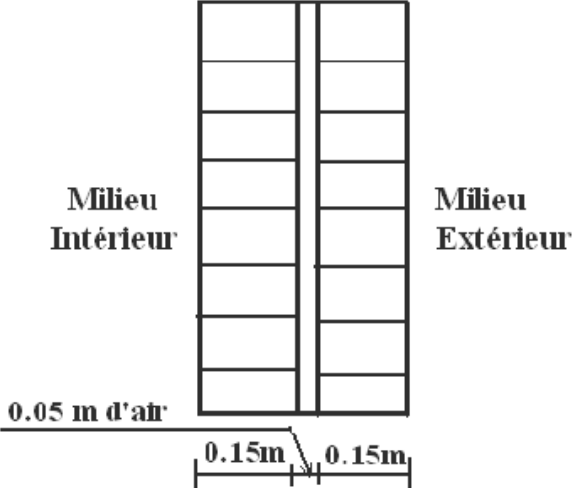
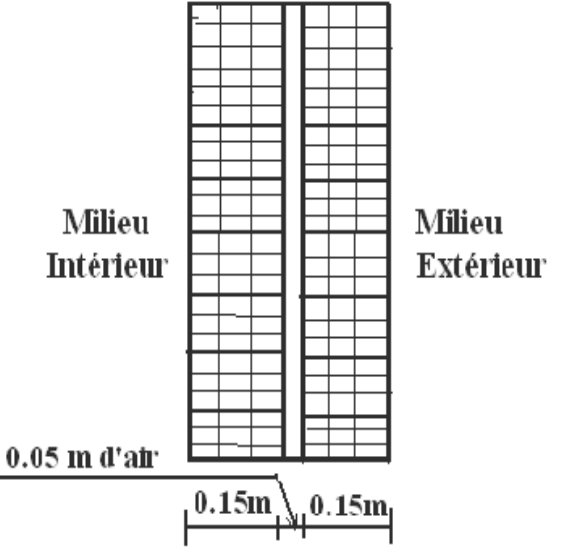
### III.3. Différentes dispositions constructives du mur en mortier en plâtre

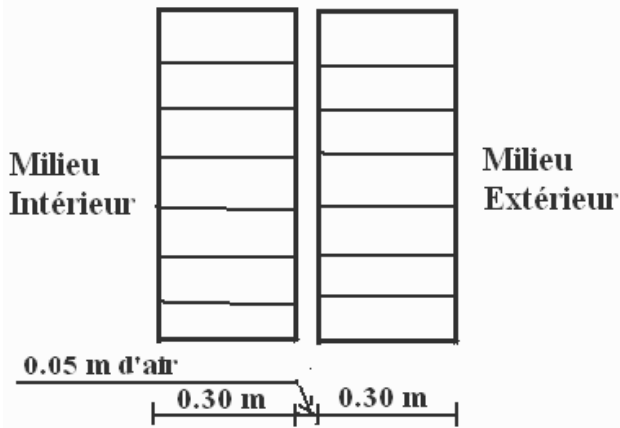
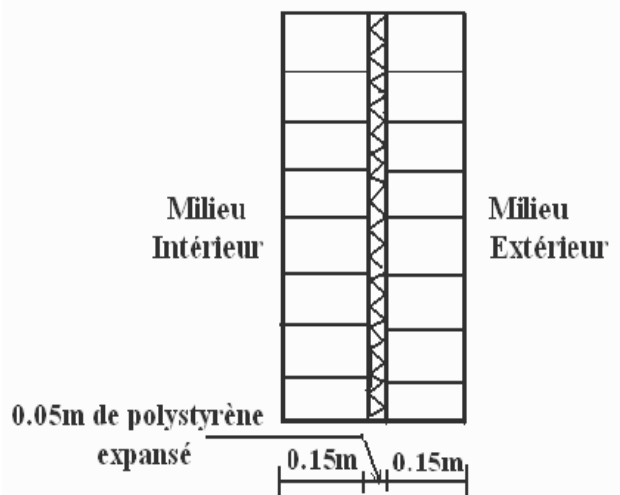
Cette étape nous permettra de cerner la disposition constructive du mur en mortier de plâtre  $M_2$  la plus performante thermiquement :

$$R_{\text{th air}} (0.05\text{m}) = 0.11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$\lambda_{\text{polystyrène}} (0.05\text{m}) = 0.039 \text{ W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{th polystyrène}} (0.05\text{m}) = 1.282 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

	Disposition du Mur	Caractéristiques thermique du mur
<p>Mur N°01</p> <p>En mortier de plâtre M<sub>2</sub></p>		$R = \frac{e}{\lambda}$ $\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$ <p>R = 0.324 m<sup>2</sup>.°C/W K = 2.024 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Mur N°02</p> <p>Double cloison en mortier de plâtre M<sub>2</sub></p>		<p>R = 0.434 m<sup>2</sup>.°C/W K = 1.656 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Mur N°03</p> <p>Double cloison en briques</p>		<p>R = 0.71 m<sup>2</sup>.°C/W K = 1.136 W/m<sup>2</sup>°C</p>

<p>Mur N°04</p> <p>Double cloison en mortier de plâtre M<sub>2</sub></p>		<p><math>R = 0.759 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}</math></p> <p><math>K = 1.076 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}</math></p>
<p>Mur N°05</p> <p>Double cloison en mortier de plâtre M<sub>2</sub></p>		<p><math>R = 1.606 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}</math></p> <p><math>K = 0.56 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}</math></p>

**Tableau VI.4 :** Comparaison des performances thermiques de différents murs

Le mur n°1 présente la plus faible résistance thermique et plus grand coefficient de déperdition surfacique.

En choisissant une disposition en doubles cloisons de 0.15m séparés d'une lame d'air de 0.05m, nous augmentons les performances thermiques, sauf qu'elle reste assez faible.

Pour atteindre un niveau de confort proche de celui d'un mur de doubles cloisons en brique, séparées d'une lame d'air de 0.05m ; il faudrait prévoir une double cloison de 0.30m d'épaisseurs séparées d'une lame d'air de 0.05m. Mais cette disposition est déconseillée vu la grande épaisseur du mur ainsi obtenu , qui risque d'empiéter la surface d'habitation.

Afin de diminuer l'épaisseur du mur nous proposons d'introduire une plaque de 0.05m polystyrène expansé entre deux cloisons de 0.15m. Ainsi nous atteignons une résistance thermique de  $1.606 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ , et un coefficient de déperdition thermique K de  $0.56 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

**N.B :**

Il faut juste préciser que l'utilisation des plaques de polystyrène expansé est sans risques de léser ses propriétés tant que les températures extrêmes ne dépassent pas les 70°C.

**Conclusion**

Les meilleures performances thermiques ont été obtenues pour le mur 05 composé de double cloison du mortier de plâtre M<sub>2</sub>, séparées d'une couche de 0.05m de polystyrène expansé.

La référence [51] confirme le choix en préconisant un coefficient de transmission surfacique K de 0.6 W/m<sup>2</sup>.°C ou une résistance thermique de 1.497 m<sup>2</sup>.°C/W pour assurer une isolation thermique suffisante d'une paroi extérieure.

Donc nous conseillons cette disposition lors de l'utilisation avec le mortier de plâtre M<sub>2</sub> qui garantit un confort intéressant.

***CONCLUSION  
GENERALE***

## CONCLUSION GENERALE

*En Algérie, il existe plusieurs bâtiments construits à base de plâtre. La durabilité de ces constructions est comparable à celle des bâtiments réalisés à base de ciment dans les régions où le régime de pluviométrie est caractérisé par l'alternance de courtes averses et de longues périodes de séchage ensoleillées.*

*Comme d'autres études (présentées en étude bibliographique), la présente a montré qu'il est possible de mélanger du sable au plâtre, et ce pour obtenir des mortiers amaigris. Mais en adoptant cette technique, nous n'avons constaté aucune amélioration des performances des dosages considérés. En plus, la mauvaise adhérence entre les grains de plâtre et le sable a causé l'effritement des éprouvettes ; c'est pourquoi nous avons eu recours au compactage, pour tenter de renforcer l'attraction entre les différents grains du mélange, et améliorer ainsi les performances visées. Suite à quoi, nous avons noté une amélioration significative des résistances mécaniques de tous les mortiers, y compris le plâtre pris comme matériau de référence, cette amélioration apparaît dès le jeune âge et progresse sensiblement, avec une pente prononcée jusqu'au 14<sup>ème</sup> jour, où elle devient moins accentuée.*

*En effet le maximum des résistances mécaniques à la flexion et ainsi qu'à la compression est abouti pour le mortier.*

*Pour cette variante de mortier, nous avons pu atteindre plus de 7 MPa en flexion, ce qui représente une évolution entre 28% à 31% pour respectivement 1mn et 5 mn de compactage par rapport au même mortier coulé simplement.*

*Quant à la résistance à la compression, nous avons réussi à atteindre plus de 21 MPa, l'équivalent d'une progression entre 62% et 68% pour les mêmes temps de compactage suscités.*

*Toutefois il faut signaler que malgré l'écart considérable qui existe toujours entre les performances mécaniques à l'état sec et celles à l'état humide. Le compactage a permis de maintenir ces dernières, même celles acquises après 48h d'immersion au-delà d'un seuil imposé par les recommandations de construction en plâtre.*

*Cet effet positif est expliqué lorsque nous comprenons que c'est la structure lâche du plâtre qui est à l'origine de sa grande sensibilité à l'eau, devant cet inconvénient majeur, le compactage a marqué un grand point en réduisant le volume des vides dans la structure cristalline, il a empêché l'eau de pénétrer en profondeur. D'où une réduction entre 15 et 30% de sa reprise d'eau, ceci permet une facilité de son évaporation plus tard, ce qui a rendu le matériau deux à trois fois moins capillaire et sa vitesse de saturation est réduite d'un taux allant de 20 à 60%*

*Les performances thermiques (conductivité et résistance thermiques) elles aussi à leur tour ont été également considérablement influencées par l'ajout de sable. Cet ajout de sable a agit défavorablement sur la conductivité thermique. Cette dernière a évolué positivement à faible pente avec le dosage en sable.*

*Avec une mise en œuvre par le compactage, la conductivité thermique à différents dosages en sable subit une évolution plus importante, les nouvelles valeurs sont presque doubles du même mortier coulé simplement.*

*Cet accroissement est induit par l'augmentation de la densité qui a lieu suite à la réduction des volumes des vides par le compactage.*

*Sachant que la résistance thermique est inversement proportionnelle à la conductivité thermique, et qu'un matériau est d'autant plus isolant que sa résistance thermique est grande, cette caractéristique représentative des différents mortiers y compris le plâtre pur a baissé avec l'ajout de sable, et cette baisse est plus significative avec le compactage, et continu a décroître pour des temps de compactage plus important.*

*Il est toute fois indispensable de soulever que l'évolution des différentes caractéristiques entre un compactage qui dure 1mn et celui allant jusqu'à 5mn est très faible (de l'ordre de 3 à 5%). Ceci est expliqué par le fait que la fin de la prise se fait juste après la fin de la première minute de compactage, raison pour laquelle l'effet de celui-ci est aussi faible.*

*L'optimum entre les caractéristiques mécaniques et thermiques est obtenu pour le mortier nommé  $M_2$ , malgré que ses performances thermiques ont baissé, il reste le mortier qui a marqué les meilleurs résultats thermiques, et il confère une isolation acceptable comparé aux deux matériaux les plus utilisés dans la construction : la brique et le béton, avec une double cloison de 0.30m d'épaisseur séparés d'une lame d'air de 0.05m ; mais le mur ainsi obtenu est trop assez large.*

*Son rendement thermique est explicitement amélioré, lorsque nous adoptons une disposition en doubles cloisons de 0.15m du mortier  $M_2$  séparé d'une plaque de 0.05m de polystyrène expansé. Sa capacité isolante accroît. Ce mur acquière une valeur résistance thermique qui amplifie de plus que le double de celle du mur en brique précité.*

*En conséquence le mortier ainsi choisi associé avec seulement une plaque de 0.05m de polystyrène expansé confère une isolation thermique considérable, qui permet une économie de l'énergie en diminuant la puissance des installations de chauffage et de la climatisation indispensable dans des constructions conçue par les procédés habituels.*

*Aussi l'utilisation des blocs de ce mortier de plâtre dans la structure en tant qu'élément porteur prévu pour une structure ne dépassant pas R+2, permet aussi une économie considérable notamment dans les endroits ou les sables et les plâtres sont abondants et relativement peut coûteux. Ceci doit sans doute procurer un nombre important d'avantages tel que :*

- *La régulation de l'ensemble de l'économie nationale, tout en donnant des solutions raisonnables au problème de logement ;*
- *La valorisation des ressources naturelles et la possibilité de mener une politique autonome de construction ;*
- *Ne pas avoir recours à une technologie compliquée ; d'où la non nécessité d'une main d'œuvre de grande qualification ;*
- *La grande légèreté des éléments, qui constitue une qualité très appréciable pour la main d'œuvre et permet des économies sur les transports et sur les engins de manutention ;*

*En définitif, nous présentons deux types de recommandations :*

- ❖ *Recommandations relatives à l'emploi du présent mortier plâtre en tant qu'élément porteur ;*
- ❖ *Recommandations pour les travaux de recherches avenir :*

### ***Recommandations relatives à la construction en plâtre***

- Il faut s'assurer de la qualité des sols de fondations par une étude géotechnique préliminaire ;*
- En cas de présence d'eau au voisinage de la construction, il est indispensable de disposer un drain phréatique ;*
- Les fondations sont réalisées en matériaux inaltérables à l'eau (béton armé, maçonnerie en pierre ou moellons) ;*
- Les murs porteurs seront disposés autant que possible symétriquement par rapport aux axes principaux du bâtiment ;*

### ***Recommandations relatives aux travaux à venir***

- *Utiliser un retardateur de prise convenable, pour que le compactage à des temps plus élevés ait davantage d'effet, et pousser le temps de compactage au-delà de 5mn ;*
- *Analyser selon le même présent procédé d'autres dosages compris entre 0% et 50%, de meilleurs résultats peuvent être obtenus.*
- *Associer au plâtre un ajout dont la conductivité thermique est faible, le polystyrène, ou la laine de verre par exemple avec le sable de dune en parallèle ;*
- *Mesurer l'énergie fournie par la machine de compactage.*

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **P.GOUSSET ; G.Magistry ; J.P.DETRIE ; P.Jarrault ; E.VELLINGER.**  
**LES INDUSTRIES, LEURS PRODUCTIONS ET LEURS NUISANCES.**  
« Industrie de la chaux du ciment et du plâtre ». Ed. Dunod 1970.
- [2] **SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLATRE ;** « Le plâtre –  
physico- chimie fabrication et emploi », Ed. Eyrolles, Paris 1982, 364p.
- [3] **GEOLOGIE :** <http://www.sfc.fr/Donnees/mater/platre/texpla.htm> / Avril 2003
- [4] **Fabrication du plâtre et des plaques du plâtre ;**  
<http://www.Lyc-du-batiment-saint-lambert.scola.ac-paris.fr/> Avril 2003
- [5] **MARC NOLHIER :** « Construire en plâtre » ; Ed. L'Harmattan, Paris 1986, 305p.
- [6] **L.CHASSEVENT :** « Recherches sur le sulfate de chaux ». Thèse de 1926. Masson
- [7] **L.CHASSEVENT :** Nombreux articles dans la revue des matériaux de construction.  
Plusieurs comptes rendus à l'Académie des Sciences, juillet – septembre 1947. D'après [8]
- [8] **A.C. BAOUMAN :** « Le travail du plâtre et les éléments préfabriqués en plâtre, série  
matériaux N°4, Ed : Institut Technique du Bâtiment et des travaux publics, 1973, 155p.
- [9] **L.CHASSEVENT :** « Etude de variation de volume des plâtres pendant et près leur  
prise. Revue des matériaux de construction, Paris, 1949. D'après [8]
- [10] **U.LUDWING, J.KHULMANN.** “Volumee stability of gypsum building plasters.  
Ement-kalk-Gips” n°7, 1977.
- [11] **SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLATRE ;** « Cahier technique –  
le plâtre abrite la vie- ».1984-1985
- [12] **I.CALIN, B. Lehembre,** « Guide des matériaux du bâtiment « Le plâtrier » » ; Ed  
Nathan 1998 Paris, 62p.
- [13] **C.COLLOMB.** « Comportement du plâtre mis en œuvre vis-à-vis de l'eau  
chimiquement non combinée ». Congrès Eurogypsum. Lucerne, 1970.
- [14] **J.DELMONTE.** « Transfaction of Amer ». Society of Mechanical ing. Avril 1946.
- [15] **J.COCAGNE et S.MANLEY :** « Recherche sur le plâtre. Rev. Mat. Const ; juin-  
juillet 1946. d'après [8]

- [16] **EMULSION SUR STABILISEE TECKNOKOT- FLINTKOT** : Fiche technique. Dérivés Bitume Algérie TECHNOGUM.
- [17] **P.GILARDI** : « Conférence prononcée au Centre d'Information et de Documentation Technique du Bâtiment, 1943 », Annal de l'I.T.B.T.P, Paris.
- [18] **G TOUTLEMONDE**. Notion sur les Matériaux de construction et la pratique des travaux. Edition EYROLLES Paris 1974
- [19] **REUNION D'INGENIEUR** « Notion sur les Matériau de construction ». Edition EYROLLES Paris 1979.
- [20] **P.GOUSSET avec G.MAGISTRY ; J.P.DETRIE avec P.JARRAULT et E. VELLINGER**. « Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre ».Ed Dunod, Paris 1970
- [21] **F.KHARCHI** :« Mortar of sand and plaster-economic materials », 1997 internattional conference on engineering materials » Ottawa-Canada Juin 1997.
- [22] **F.KHARCHI** :« Habitat saharien en plâtre et sable », congrès international sur les techniques modernes et leur rôle dans l'évolution de l'habitat rural et Saharien dans le monde ARABE, Tripoli LYBIE 10-12 octobre 2000.
- [23] **F.KODJA , M. HOUANTI** ; « Etude pour l'amélioration des caractéristiques mécaniques et physiques du plâtre », projet de fin d'étude, institut de génie civil, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 1992.
- [24] **W.ALBERCHT, W.STEINBACH** :« Influence des sables sur le début de prise des plâtres à mortier. Traduction CERILH d'un article paru dans Zement Kalk Gips n°4, 1961.
- [25] **W.KARGER** : « Caractéristique des éléments de construction en plâtre amaigri compte tenu de l'abaissement du taux en eau libre». Bauakademie der D.D.R, l'institut fûr Baustoff, Weimer, 1975.
- [26] **C.E.B.T.P** : « Fabrication et utilisation d'un plâtre cuit par sécheur routier » et « Etude Préliminaire sur mortier de plâtre compacté ». Plan de construction REXCOOP, paris, 1984.
- [27] **A.ACCETA , N.JACQUET et C. PETTANG**: « Compactage dynamique du mortier Sable/Plâtre » ; Centre de production « Dynaster ». Colloque « Construire en plâtre dans les pays en développement, Paris, 1985.
- [28] **J.M BROUARD**. BROUARD conseil, étude et recherches.
- [29] **C.E.B.T.P. ; L.C.P.C et MOHAMED KHALED** ; Colloque maghrébine sur les actions pour le développement de la construction en matériau locaux, « Projet de fabrication de pierre moulée à base de matériaux locaux (Sable, plâtre), communication du groupe GIMMU, Biskra les 3,4 et 5 décembre 1991.

- [30] **B.MEDDAH, K.MEDDAH**, « Contribution à l'étude du plâtre- amélioration des caractéristiques physico-mécaniques par compactage ». Projet de fin d'étude, institut de génie civil, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 1993
- [31] **J.ASTRANO. L.BESSADI. E. JOHANSON. S. LAID. H. TEGGOUR et N. TOUMI**. « Matériaux thermiquement isolants - béton mousse, panneau en laine de bois- » Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrés au Bâtiments (Algérie) et Centre d'études de l'Habitat LUND (Suède). Edition Lund ofset AB 1993.
- [32] **JEAN YVES PALHEIRE** « Confort thermique » ; <http://www.acamiens.fr/academie/pedagogie/Seconddegreprofessionnel/sti/Batiment/Confort-thermique/THERM0.html/> Fevrier 2003
- [33] **Isolation thermique** : <http://www.ac2d.com/isolation-thermique.html>  
<http://www.ideesmaison.com/> Fevrier 2003
- [34] **Ch. BRIZARD, H. RENAUD** :« métier du bâtiment :Isolation Thermique ». Edition Foucher, Paris 1995.
- [35] **D.QUENARS. J.P.LAURENT et H.SALLEE**. « Influence de la teneur en eau et de la température sur les paramètres thermiques du plâtre ». Revue thermique. Ed Paris, 1986.
- [36] **DTU (Document Thermique Unifié)** , « Règle de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Centre scientifique et technique du bâtiment. Paris 1977.
- [37] **NIR (A)** : « Heat storage in unsaturated soils, from theory tomographies application. Int. Conférence on subsurface heat storage, Stockholm, 1983.
- [38] **PROPAGATION DE LA CHALEUR** :  
<http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/NTPF2/SERIE2/chalrath.htm/> Fevrier 2003
- [39] **THERMOCINETIQUE LA CONDUCTION** :  
<http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/Cmther/thcincd.htm/> Fevrier 2003
- [40] **LOI DE FOURIER. EQUATION DE LA CHALEUR** :  
<http://www.sciences.univnantes.fr/physique/perso/blanquet/conducti/11intro/11intro.htm>  
Fevrier 2003
- [41] **M.GERY** : « Transfert de la chaleur ». Equipement de l'habitat ; département de génie civil et urbanisme, I.N.S.A ; Lyon.
- [42] **F.SALEM** : « Analyse du comportement thermoréologique d'un systeme constructive d'isolation par l'étérier » Thèse de doctorat, INSA Lyon France 1989.

- [43] **A.MOURTADA ; A.BLOCH ; G.MENGUY et M.LAURENT** « Conductivité thermique des mortiers d'isolation extérieure du bâtiment ». Revue générale de thermique, n° 267, mars 1984.
- [44] **ISO DIS 3050** : « Plâtre détermination des caractéristiques du taux de gâchage des pâtes fluides »
- [45] **ISO DIS 3051** : « Plâtre : détermination des caractéristiques mécaniques ».
- [46] **NA 527 : Plâtre** : « Plâtre : détermination des caractéristiques mécaniques ».
- [47] **ISO DIS 3050 : Plâtre** : « détermination des caractéristiques physique du plâtre pur ».
- [48] **NF 10-502 Plâtre** : « Produit de carrière : Mesure du coefficient d'absorption d'eau par capillarité »
- [49] **D.QUENARD, H. SALEE** « Determination of thermal conductivity dynamic method ». CSTB, Grenoble: 27 Septembre 1999.
- [50] **DTR . (Document De Réglementation Thermique)**. « Règles de calcul des déperditions calorifiques », Centre National des Etudes et Recherches Intégrés au Bâtiment ; Ed OPGI Mascara 1998.
- [51] **Energie +**, «Conception et Rénovation Energétique des Bâtiments Tertières » CD ROM version 3

***ANNEXE***

## I. Analyse granulométrique LASER

La granulométrie laser est un procédé d'analyse destiné à la détermination de la texture des poudres chimiques, organiques et minérales, ainsi que les liquides sous formes d'aérosols. C'est une méthode très rapide (quelques secondes), non destructive (l'échantillon peut être récupéré), et qui couvre une large gamme granulométrique.

Le principe de l'essai consiste à soumettre une quantité de poudre à un faisceau laser, celle-ci est collectée par un émetteur. Les particules solides de la poudre diffusent une lumière laser, celle-ci assure la collecte et le stockage de l'information.

## II. Description du dispositif expérimental

Le dispositif utilisé pour cette analyse est un granulomètre à laser composé principalement des éléments suivants (figure ci après) :

- **Un émetteur**

Qui renferme le laser et les composants électroniques qui produisent le faisceau laser pour l'analyse des échantillons.

- **Des lentilles**

Qui servent à collecter la lumière laser diffusée à partir des échantillons, et à la concentrer sur les composants électroniques du détecteur. Plusieurs lentilles sont disponibles, chacune d'entre elles couvre une certaine plage de granulométrie.

- **Un accessoire de réparation des échantillons**

Destiné à revoir les échantillons poudre, qu'ils soient dispersés dans un liquide ou analysés par voie sèche.

- **Une cellule de circulation**

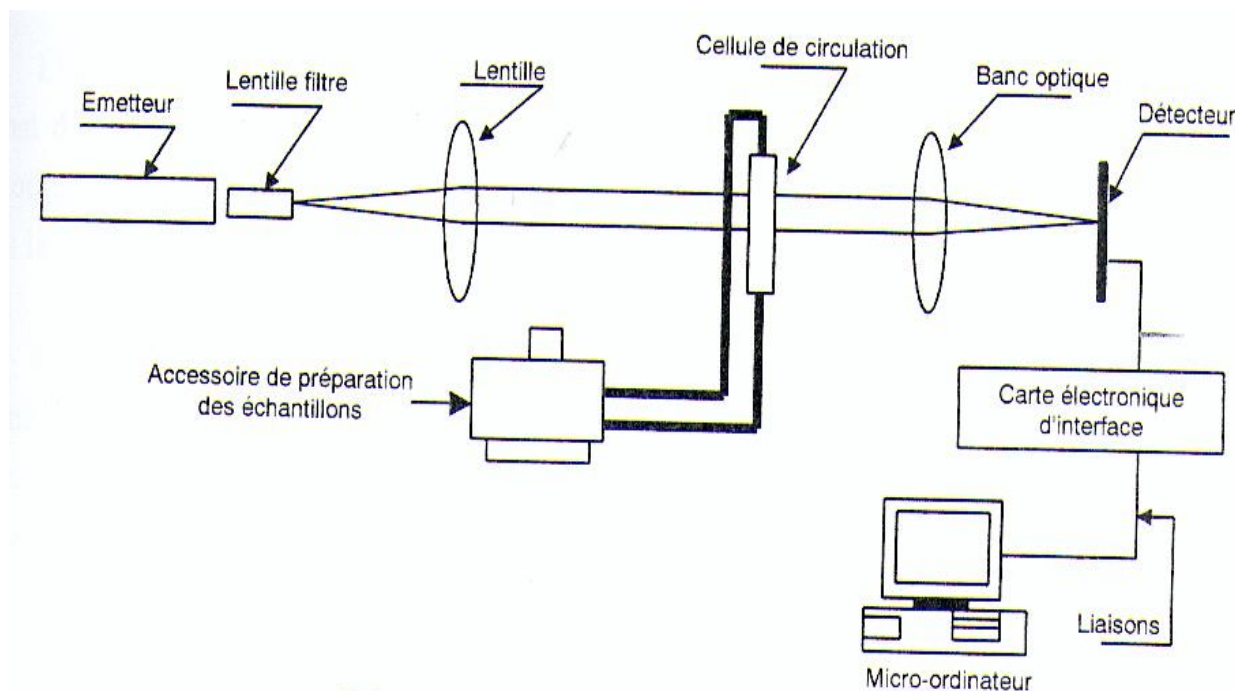
À l'intérieur de laquelle circulent la poudre et le dispersant ceux-ci sont maintenus en suspension par un accessoire externe, qui pompe la solution pour lui faire traverser la cellule de circulation.

- **Un banc optique**

Destiné à la collecte de l'information provenant de la lumière diffusée par les particules de l'échantillon.

- **Un récepteur**

Qui assure la collecte et le stockage de l'information. Les données sont ensuite envoyées au système informatique pour y être analysées.



**Figure N 1:** Granulométrie à Laser

### III. Description de l'essai

La poudre ainsi obtenue est ensuite placée à l'étuve. Une fois sèche, elle est désagrégée par un pilon en caoutchouc, puis placée dans un mélange magnétique pendant quelques heures. L'échantillon est enfin prêt à l'essai.

Une quantité de la poudre (1 à 3g pour une suspension liquide, et 1 à 100g pour une poudre sèche) est introduite à l'intérieur de l'accessoire de préparation des échantillons selon le mode adéquat (voie sèche ou voie humide). Si les grains sont très fins, procéder par voie humide, celle-ci correspond à la gamme  $[0.05\mu\text{m} ; 900\mu\text{m}]$ . Par contre, si les grains sont plutôt grossiers, opter pour la voie sèche qui correspond à la gamme  $[5\mu\text{m} ; 3500\mu\text{m}]$ .

Une combinaison entre les deux méthodes est possible, il suffit d'analyser un même échantillon par les deux voies, puis de faire la moyenne entre les deux résultats, ceci permet d'élargir la gamme  $[0.05\mu\text{m} ; 3500\mu\text{m}]$ .

L'échantillon mis dans la cellule est ensuite pompé par un accessoire externe lui permettant ainsi de traverser la cellule de circulation. Le faisceau laser produit par l'émetteur traverse la poudre, et la lumière laser diffusée à partir des particules solides est collectée par des lentilles, qui la centrent sur le récepteur.

Dans notre cas, les échantillons ont été analysés par voie humide, qui consiste à éparpiller l'échantillon à expérimenter dans un liquide, (il s'agit de l'alcool pour le cas du plâtre, et de l'eau pour le sable) afin de bien disperser les particules de l'échantillon, pour avoir la granulométrie réelle.

La masse totale de l'échantillon sec est égale à 3g.

c. La prise :

**c.1. Début de prise à l'aiguille de Vicat :** (norme NFB(2303)).

Ce temps est déterminé à l'aide de l'aiguille de Vicat s'enfonçant dans un moule tronconique remplie de la pâte de plâtre. Le début de prise est l'instant où l'aiguille cesse de s'enfoncer et s'arrête à une distance du fond du moule compris entre 1 et 5 mm.

L'aiguille, amenée au contact de la pâte doit pénétrer sans secousse et sans être soutenue.

L'appareil de Vicat est composé essentiellement d'un piston vertical mobile, muni à son sommet d'un plateau destiné à recevoir une surcharge amovible ou éventuellement des poids.

L'appareil est établie de manière à permettre la lecture directe en millimètre de la distance séparant l'extrémité inférieure de l'aiguille et la plaque support au moule tronconique.

**c.2 Fin de prise au doigt :**

La fin de prise correspond à l'instant où une pression d'un doigt ( pouce ou indes) exerce à la surface de la pâte en cours de prise, ne fait plus apparaître d'empreinte. Cette pression doit correspondre à un effort de 50 à 60 N, sur une surface d'environ 1 Cm<sup>2</sup>.

Mortier	Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)
100% plâtre	3	15
66.66% plâtre + 33.33% sable	10	25
50% plâtre + 50% sable	15	38
33.3366% plâtre +.66% sable	20	230

Tableau N°1 :  
*Début et fin de prise des différents mortiers*

## LES PRODUITS EN PLÂTRE ET LEUR MISE EN ŒUVRE

Comme on a pu le voir, les mécanismes d'hydratation peuvent être fortement modifiés par la nature des plâtres employés:

Semi-hydrate, surcuit, et par les modificateurs d'hydratation que l'on peut y ajouter.

C'est en jouant sur le choix des gisements, les modes de cuisson et le broyage, que le fabricant adapte son produit de base, à la demande du marché. Il intervient ensuite sur le plâtre en incorporant des agents modificateurs de prise, de viscosité, de rétention d'eau ou surtout autre caractéristiques suivant l'objectif qu'il cherche à atteindre.

### LES DIFFERENTS TYPES DE PLÂTRE:

#### a. Plâtre de construction:

Il existe quatre sortes de plâtre de construction:

- Le plâtre gros N° 1;
- Le plâtre gros N° 2;
- Le plâtre fin N° 1;
- Le plâtre fin N° 2;

En gros est en fin, le N°1 à un temps d'emploi court avec début de prise compris entre 8 et 3mn et une fin de prise allant de 18 à 20mn.

En gros et fin le N°2, représente un temps d'emploi allongé avec n début de prise compris entre 6 et 15mn, et une fin de prise comprise entre 15 et 45mn.

Le plâtre gros est réservé aux remplissage et rebouchage en forte épaisseur et à la couche de grossissement, c'est à dire à la première couche.

Le plâtre fin sert aux enduits intérieurs pour les murs et plafonds.

#### b. Plâtre à usages spéciaux:

- Plâtre T.H.D très haute dureté:

Réservé aux endroits exposés aux heurts, exemple: souterrain;

- Plâtre de surfacage:

Permettent de corriger certaines irrégularités et sont destinés à la finition;

- Plâtre de ragréage du sol:

Forment une sous couche, les revêtements du sol exigeant un support parfaitement plan et lisse.

- Plâtre à briqueter:

Réservé au montage des murs et cloisons en briques;

- Plâtre pour enduits extérieurs:

Utilisés pour la réfection extérieurs des murs anciens ou pour l'introduction des murs neufs.

- Plâtre à projection mécanique:

Permettent des enduits d'une dureté régulière assimilable à celle des T.H.D, certains sont étudiés pour assurer une protection spéciale contre l'incendie.

#### c. Plâtre pour préfabrication:

Le plâtre fin N°2 qu'on reconnaît par l'inscription PFC2, convient le mieux pour presque tous les travaux et on peut aussi se servir du plâtre à briquetier d'autres puisqu'il bénéficie du temps de prise assez long.

#### d. **Plâtre de moulage:**

- Plâtre à mouler pour Staff:

On appelle élément en staff, ou élément constitué de plâtre et d'une nature fibreuse, destiné à la finition et la décoration.

La qualité essentielle du plâtre, sera sa régularité aussi bien en temps de prise, qu'en finesse blancheur et taux de gâchage. Ses bonnes résistances mécaniques et sa stabilité dimensionnelle sont aussi des critères importants de qualité.

1. plâtre pour l'industrie céramique;
2. plâtre pour mère de moule;
3. plâtre pour roller;
4. plâtre pour pressage.

- Plâtre pour fonderies:

On utilise les plâtres de moulage en fonderie pour confectionner les moules mères, lesquels serviront d'empreinte pour les sables de coulage, soit comme liant à ces sables.

- Plâtre pour l'art dentaire:

Le prothésiste utilisera la plupart des plâtres de moulage pré-cités

- plâtres de moulage normaux pour les roches;
- plâtre dur ou extra-dur pour les injections ou reproduction des mâchoires;
- plâtre-pierre pour les reproductions fines soumises à des gros efforts purement mécanique ou d'usure;
- plâtre pour bandes-plâtreries:
- C'est des bandes de gaz chargés de plâtre et il suffit de les tremper dans l'eau.
- Le plâtre utilisé est un semi-hydrate  $\alpha$ .

### **LES ELEMENTS PREFABRIQUES:**

Il existe plusieurs types d'éléments préfabriqués, parmi les plus courants on cite:

#### **1. Carreau de plâtre:**

Ce sont des éléments de construction de petites dimensions (3 ou 4 m<sup>2</sup>, destinés à la réalisation de cloisons de distribution et de doublage de mur. Ils sont constitués de plâtre pur dont ils représentent toutes les caractéristiques de régularisation de l'hygrométrie ambiante, de protection contre le feu, l'isolation thermique et acoustique définie par la norme NFP72402.

#### **2. Les plaques de plâtre:**

Elles sont composées d'un corps en plâtre entre deux feuilles de carton constituant à la fois, son parement et son armature destinée à la réalisation de plafond, de cloison et doublages. Elle est définie par la norme NFP72402.

### 3. Autres éléments préfabriqués:

#### 3.1 Élément de cloison de hauteur d'étage:

Ce sont des éléments de cloisons sèches non porteurs à parement lisse de la hauteur de l'étage, préfabriqué en plâtre pur. Les éléments comportent des évidements cylindriques dans le sens longitudinal. Ils sont confectionnés dans des moules horizontaux, verticaux.

#### 3.2 Autres éléments:

Le plâtre se prête facilement à toutes forme de moulage. De nombreux inventeurs ou industriels ont présenté sur le marché des éléments préfabriqués très variés:

- Eléments pour coffrage perdus pour plafonds: servant de coffrage perdu pour le coulage des dalles en béton;
- Eléments technique tridimensionnelles; exemple: gaine technique;
- Eléments d'équipement traditionnelles; exemple: placards, cellule sanitaires;
- Eléments plan de grandes dimensions; exemple: plafond, panneaux de façades;
- Eléments de petites dimensions; exemple: hourdis alvéolaires.

#### **N.B:**

Nous avons cité quelques exemples et il ne fait aucun doute que d'autres éléments préfabriqués plus ou moins complexes ont été ou seront élaborés à partir de plâtre