

N° d'ordre : .....FS / UMBB / 2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس  
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



**Faculté des Sciences - Département de Chimie**

**Domaine :** Science de la matière

**Filière :** Chimie

**Spécialité :** Chimie analytique

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Présenté et soutenu par

**Grimes Abir  
Chili Aldjia**

**Thème**

**Élaboration et caractérisation physico-chimique d'un nouveau  
matériau : le plâtre médical.**

Juillet 2022

**Devant les membres de jury :**

<b>Mme Hammadou Souad</b>	Maitre de conférences A	FS-UMBB	Présidente
<b>Mme Kacel Sihem</b>	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Promotrice
<b>Mme Djebbari Baya</b>	Maitre de conférences A	FS-UMBB	Examinatrice
<b>Mme Khier Nawal</b>	Maitre de conférences A	FS-UMBB	Examinatrice

**Année universitaire : 2021 /2022**

## Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu tout puissant qui nous a donné la force d'atteindre nos objectifs. Ce travail a été réalisé au Centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de

Construction (CETIM) de Boumerdès.

Nous tenons à remercier chaleureusement Mr HACHLEF d'avoir accepté de réaliser ce stage pratique au niveau de la Société CETIM.

Nous adressons nos vifs remerciements à Mr BELLAL et l'équipe du laboratoire pour la caractérisation physico-chimique du matériau étudié.

Nous remercions également Le Directeur de l'Entreprise SOCOTHYD de Boumerdès pour la fourniture des bandes plâtrées.

Nous exprimons nos profonds remerciements à notre promotrice Mme KACEL – SADAOUI Sihem pour l'aide compétente qu'elle nous a apportée, pour sa patience, sa confiance et son œil critique qui nous a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections de notre mémoire de master.

Nous adressons nos respectueux remerciements à Mme HAMMADOU Souad qui nous fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nous remercions également chaleureusement Mme DJEBBARI Baya et Mme KHIER Nawal d'avoir

Accepté d'examiner ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à Mr IREKTI Amar pour nous avoir aidés dans la recherche bibliographique et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

## Dédicace

*Je dédie ce mémoire à ma famille Qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.*

*Ce mémoire représente donc l'aboutissement de soutien*

*Et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité.*

*Qu'ils en soient remerciés par ce modeste travail.*

*A mes amis*

## Sommaire

Introduction.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le plâtre .....</b>	<b>2</b>
I.1. Définition du plâtre : .....	3
I.2. Historique : .....	3
I.3. Le gypse : .....	4
I.3.1. Gypse naturel : .....	4
I.3.2. Gypse de synthèse : .....	5
I.3.3. Caractérisation du gypse : .....	6
I.3.3.1. Structure cristalline du gypse naturel : .....	6
I.4. Les anhydrites : .....	7
I.4.1. La réaction d'hydratation du plâtre (prise du plâtre) : .....	8
I.5. Définition des semi-hydrates : .....	10
I.5.1. Le semi-hydrate $\beta$ : .....	10
I.5.2. Le semi-hydrate $\alpha$ : .....	11
I.6. Propriétés chimiques et physiques du plâtre semi-hydrate : .....	12
I.6.1. Le semi-hydrate $\alpha$ : .....	12
I.6.2. Le semi-hydrate $\beta$ : .....	12
I.7. Principales propriétés du plâtre : .....	13
I.7.1. Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie : .....	13
I.7.2. Humidité des locaux : .....	14
I.7.3. Isolement acoustique : .....	16
I.7.4. Correction acoustique : .....	17
I.7.5. Résistance au feu : .....	17
I.8. Le plâtre médical : .....	17
I.8.1. Définition : .....	17
I.8.2. Céramiques utilisées comme substituts osseux : .....	18
I.8.3. Les plâtres dentaires : .....	18

I.8.4. Propriétés essentielles des plâtres dentaires : .....	19
I.8.5. La bande plâtrée : .....	21
I.8.6. Généralités sur la gaze : .....	22
I.8.7. Propriétés physiques du coton : .....	23
I.8.8. Les propriétés de la gaze : .....	24
I.8.9. Le titrage des fils : .....	24
<b>Chapitre II : Matériels et méthodes de caractérisation</b> .....	<b>26</b>
II.1. Essais physiques du plâtre : .....	27
II.1.1. Analyse par granulométrie : .....	27
II.1.2. Caractérisation de la pâte : .....	28
II.1.2.1. Mesure de la consistance normale de la pâte : .....	28
a. Méthode par saupoudrage : .....	28
II.1.2.2. Mesure des temps de prise : .....	29
a. Méthode du cône de Vicat : .....	29
b. Méthode du couteau : .....	31
II.1.3. La masse volumique : .....	32
II.2. Caractéristiques mécaniques du plâtre : .....	32
II.2.1. Moules et éprouvettes : .....	33
II.2.2. Méthode de la table à secousses : .....	33
II.2.3. Préparation des éprouvettes : .....	35
II.3. Essai de rupture par flexion : .....	37
II.3.1. Appareillage : .....	37
II.3.1.1. Dispositif de flexion : .....	37
II.3.1.2. Machines d'essai : .....	37
II.3.1.3. Modes opératoires : .....	37
II.3.1.4. Expression des résultats : .....	38
II.4. Essai de rupture par compression : .....	38
II.4.1. Appareillage : .....	38
II.4.1.1. Dispositif de compression : .....	38

II.4.1.2. Machine d'essai :	38
II.4.1.3. Modes opératoires :	39
II.4.1.4. Expression des résultats	39
II.5. Essai chimique :	39
II.5.1. Analyse par la fluorescence X	39
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	<b>40</b>
III.1. Introduction :	41
III.2. Analyse par granulométrie :	41
III.3. Caractérisation de la pâte de plâtre :	42
III.3.1. Détermination de la consistance normale (CN) :	42
III.3.2. Mesure des temps de prise :	42
III.3.3. La masse volumique	43
III.4. Résultats des essais mécaniques :	43
III.4.1. La flexion :	43
a. La résistance de courbe :	43
b. Interprétation des résultats :	44
III.4.2. Résultats de la compression :	44
a. La résistance de courbe :	44
b. Interprétation des résultats :	45
III.4.3. Analyse des résultats des essais mécaniques :	45
III.5. Essai chimique :	45
III.5.1. Analyse par la fluorescence X :	45
III.5.2. Calcule de la teneur équivalent en sulfate de calcium d'hydrate	46
III.5.3. Exigences relatives aux liants-plâtres	46
Conclusion générale	47
Références bibliographiques	48
Liste des figures	49
Liste des tableaux	50

## Introduction

Le plâtre est un matériau résultant de la cuisson du gypse, suivi de broyage. C'est aussi le même matériau gâché avec de l'eau et durci. Il est employé pour le moulage des formes ainsi que dans le bâtiment pour la confection d'éléments préfabriqués comme les carreaux, les panneaux, etc. En médecine, on désigne aussi par ce nom, l'appareil de contention et d'immobilisation moulé directement sur le patient : sur un membre, un segment de membre ou une articulation en cas de fracture osseuse ou de lésion ostéoarticulaire.

Les points forts du plâtre, par rapport aux autres matériaux de construction, sont essentiellement sa faible densité apparente et sa grande porosité (~50%), qui lui confèrent de très bonnes propriétés d'isolation thermique et phonique. Par ailleurs, ce matériau présente un pouvoir de régulation hygrométrique à l'intérieur des maisons et une bonne résistance au feu (présence d'eau de structure), tout cela pour un faible coût de production.

Cependant, le plâtre est un liant hydraulique (microstructure évoluant et se développant au cours de l'hydratation), mais de structure nettement plus simple que celle du ciment, et pouvant servir à la compréhension des autres matériaux de construction. Le présent mémoire est divisé en trois principaux chapitres : Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à l'historique du plâtre et son utilisation, au gypse avec ses deux types (naturel et synthétique), pour passer à la fabrication du plâtre en détaillant l'étape de la cuisson et donner les différentes réactions de déshydratation, la classification de ces derniers suivant des différents paramètres est nécessaire pour spécifier pour chaque type de plâtre son domaine d'utilisation.

Puis après l'étude des propriétés primordiales du plâtre qui lui différencie des autres matériaux et mettre chacune d'elles en valeur, on rentre dans le contexte du sujet de cette étude qui est les propriétés du plâtre médical après avoir donné les classes de ce dernier en basant sur le plâtre utilisé pour l'immobilisation orthopédique qui est utilisé sous forme des bandes plâtrées en le combinant avec le support textile qui est la gaze.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de l'appareillage expérimental utilisé pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques. Les protocoles expérimentaux, et l'élaboration des échantillons des matériaux étudiés sont également exposés. L'ensemble des résultats obtenus, ainsi que leurs interprétations, fait l'objet du troisième chapitre. Enfin, nous présentons une conclusion générale sur l'étude réalisée et tous les résultats expérimentaux obtenus.

# Chapitre I :

## Généralités sur le plâtre

### I.1. Définition du plâtre :

Les plâtres sont surtout connus comme matériaux de confection des modèles de travail [1]. Le gypse constitue la matière première du plâtre. Ce di-hydrate de sulfate de calcium ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), déshydraté par une cuisson au four, se transforme en plâtre ou héli-hydrate de sulfate de calcium. La structure et les caractéristiques physiques de l'héli-hydrate obtenu ( $\alpha$  ou  $\beta$ ) vont dépendre des conditions de cuisson : température, pression, environnement, ...

Un certain nombre de composants solubles dans l'eau (Chlorures, sulfates, borates...) sont ajoutés à la poudre d'héli-hydrate pour ajuster le temps et l'expansion de prise [2].

### I.2. Historique :

Le plâtre est un des plus vieux matériaux de construction utilisé par l'homme avec la chaux et la terre cuite. Les premiers signes d'emploi de plâtre remontent à environ 9000 ans.

La faible température nécessaire à la production du plâtre et l'abondance de gypse naturel dans la nature sous forme de support pour fresques murales (fouilles en Anatolie) expliquent cette ancienneté d'utilisation. L'un des premiers exemples d'utilisations du plâtre en construction est l'assemblage de blocs de pierre constituant la grande pyramide de Khéops.

Plus récemment, la généralisation de l'emploi du plâtre est liée à un édit de Louis XIV. Promulgué en 1667, Cet édit faisait suite à l'incendie de Londres l'année précédente, le plâtre étant déjà connu pour sa résistance au feu, imposant l'utilisation d'un enduit de plâtre dans les maisons à ossature de bois.

Actuellement, le plâtre est utilisé soit directement en enduit, ou bien en éléments préfabriqués, carreaux ou plaques (couche de plâtre entre deux cartons). C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation intérieure, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu. La conductivité thermique d'un enduit de plâtre est de l'ordre de  $0.26 \text{ W.m}^{-1}.\text{c}^{-1}$ , contre 1,15 pour un enduit de ciment ou 50 pour de l'acier.

Ces propriétés s'expliquent par la très grande porosité du matériau (l'air est un excellent isolant) et par présence d'eau de structure (environ 20 %). Le plâtre dégage de l'eau en présence de chaleur, stabilisant ainsi la température murale à des valeurs inférieures à  $200^\circ\text{C}$ . Une couche de plâtre de  $1 \text{ m}^2$  et de 10 mm d'épaisseur représente une réserve d'eau

De 1,4 litre, qui va se dégager et limiter la progression de feu, sans aucun dégagement de gaz toxique ou de fumées [3].

### I.3.Le gypse :

Le gypse est un sulfate de calcium di-hydraté de formule chimique  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  est considéré comme le matériau de base de la fabrication industrielle des plâtres. Il existe deux grandes catégories de gypses : les gypses naturels et les gypses synthétiques :

#### I.3.1.Gypse naturel :

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont des roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. On considère généralement que le gypse résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Les gisements les plus importants datent de l'ère secondaire ou tertiaire. Le gypse est présent en quantités relativement importantes dans la nature. Il existe de nombreux gisements dans le monde : en France, au Mexique, en Espagne, ...

Le gypse se cristallise dans le système monoclinique. À l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée dans laquelle alterne une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium. Les principales variétés que l'on rencontre dans la nature sont :

- Sous forme macro cristallisée : le gypse lamellaire, le fer de lance, le gypse lenticulaire.
- Sous forme micro cristallisée, l'albâtre le gypse fibreux, le gypse saccharoïde le gypse éolien (Figure 1).

Gypse saccharoïde



Rose de sable



Figure 1 : Différents systèmes de cristallisation de gypse.

Le gypse exploité dans l'industrie du plâtre est une roche cristallisée à grains généralement fins (gypse saccharoïde). Il est rarement pur et se trouve mélangé à des impuretés en nombre et proportion variables d'une carrière à l'autre : argile, calcaire, silice, dolomite, anhydrite, ...

### I.3.2. Gypse de synthèse :

Le gypse de synthèse est le produit d'une réaction chimique industrielle. Les principales sources de gypse chimique sont :

La fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse) par attaque du phosphate naturel.

- La fabrication d'autres acides minéraux (acide borique : brogypse, acide fluorhydrique : fluor gypse) ou organique : organo-gypse (acide citrique, tartrique, ...)
- La fabrication de l'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) conduit également à une production de gypse appelé titanogypse.
- La désulfuration des gaz et fumées : l'oxydation de l'anhydride sulfureux  $\text{SO}_2$  (énanhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux, produit un gypse appelé désulfogyps.

Pour des raisons techniques et économiques, la production de gypse de synthèse est limitée. En effet, l'élimination des impuretés produites au cours de ce type nécessite des traitements chimiques coûteux.

Concernant le plâtre utilisé dans cette étude, il est issu de la cuisson du gypse naturel provenant d'Espagne [4].

### I.3.3. Caractérisation du gypse :

Le gypse est un minéral tendre dans l'échelle de Mohs qui compte 10 degrés (dureté 1,5 à 2 selon la face cristalline). Il est soluble dans l'eau (1,75 g/l à 0°C, 2,1 g/l à 38 °C et 1,69 g/l à 100 °C, avec augmentation de solubilité dans l'eau salée). Selon les impuretés, sa couleur est très variable : blanc, beige, gris, jaune, rouge, ...

Il se présente sous forme cristalline en variétés compactes grenues (gypse saccharoïde) ou fines (albâtre), en grands cristaux prismatiques (fer de lance ou pieds d'alouettes), en cristaux lamellaires ou fibreux, ou encore il est amorphe. La densité du minéral est de 2,31 à 2,33 [5].

#### I.3.3.1. Structure cristalline du gypse naturel :

Le gypse ou sulfate de calcium di-hydraté ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) cristallise dans le système monoclinique (Figure 2). [6]

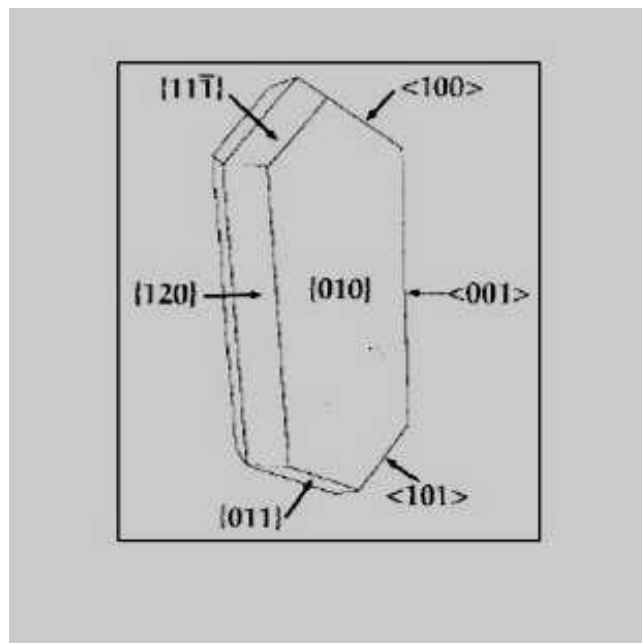


Figure 2 : Morphologie du cristal de gypse.

Les éléments constituant la structure du gypse sont les suivants : des ions  $\text{SO}_4$  formant des tétraèdres dont l'atome central est le soufre et les sommets des atomes d'oxygène ; des atomes de calcium, chaque atome est relié à huit atomes d'oxygène dont deux appartiennent à des molécules d'eau, chacune étant liée à deux atomes d'oxygène de deux tétraèdres  $\text{SO}_4$  différents et à un atome de calcium.

Le gypse présente une structure feuilletée en couches parallèles dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate  $\text{CaSO}_4$ . Chaque couche de sulfate est constituée de chaînes  $\text{Ca-SO}_4\text{-Ca-SO}_4$ . Chaque molécule d'eau présente deux types de liaisons avec les couches de sulfate : d'une part une liaison avec son propre feuillet, d'autre part une liaison faible avec le feuillet adjacent (Figure 3).

L'existence de cette grande inégalité entre les forces de liaison et en particulier l'existence de la liaison faible, explique la facilité de clivage suivant le plan parallèle aux couches et la forte anisotropie de dilatation [7].

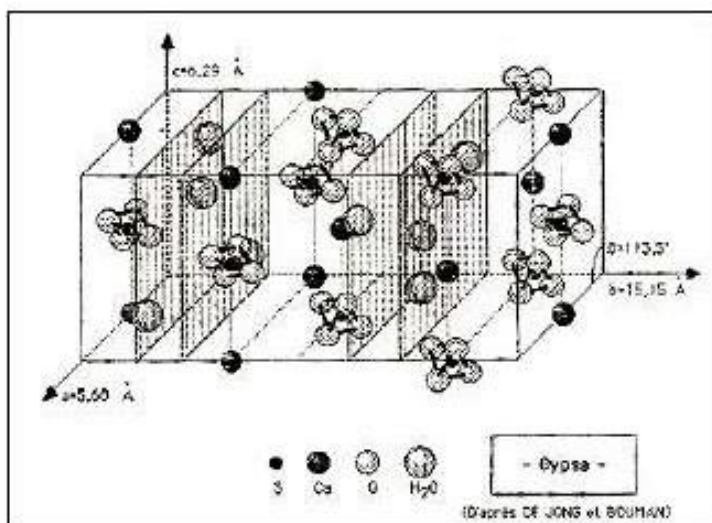


Figure 3 : Structure cristalline du gypse.

À l'échelle moléculaire, il présente une structure feuillée dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium comme il est présenté dans la figure 3 [8].

En effet la structure du gypse présentée au-dessus montre bien qu'elle avait des molécules d'eau dans sa structure, ce qui conduit par cuisson du gypse à des changements de structure par déshydratation avec l'apparition de plusieurs variétés structurales et on obtient également le plâtre.

#### I.4. Les anhydrites :

L'anhydrite naturelle de formule chimique  $\text{CaSO}_4$  se rencontre dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gites métallifères. On considère qu'elle s'est formée, comme le gypse, par évaporation de l'eau de mer, mais elle peut également résulter d'une

déshydratation lente du gypse sous l'effet d'une pression importante lors de plissements géologiques [9].

L'anhydrite est aussi obtenue à des températures élevées lors de la cuisson du gypse selon la température de cuisson du gypse, on peut obtenir les anhydrites I, II ou III qui présentent des structures cristallographiques différentes.

L'anhydrite III est la première forme allotropique obtenue à 200 °C. Elle est soluble dans l'eau et se réhydrate très rapidement en semi hydrate au contact de l'eau en phase vapeur, au cours d'une réaction appelée réversion :



L'anhydrite III de structure hexagonale se transforme en anhydrite II de structure orthorhombique vers 220 °C pour le semi hydrate  $\alpha$  et vers 350 °C pour le semi hydrate  $\beta$

L'anhydrite est une espèce stable thermodynamiquement qui se réhydrate lentement au contact de l'eau liquide.

À 1230 °C, l'anhydrite se transforme en anhydrite I de structure cubique qui ne se réhydrate que très difficilement. L'anhydrite I est instable à température ambiante et se décompose à 1250

°C Selon la réaction :



#### I.4.1. La réaction d'hydratation du plâtre (prise du plâtre) :

La première étude de la prise du plâtre est due à Lavoisier 1768. Dès cette époque, Lavoisier parle d'un processus de cristallisation. Il dit : si après avoir enlevé au gypse son eau par le feu, on la lui rend, il la reprend avec avidité, il se fait une cristallisation subite et irrégulière, et les petits cristaux qui se forment se confondant les uns avec les autres, il en résulte une masse très dure [10].

Le Chatelier propose ensuite un mécanisme en 1887, fondé sur un phénomène de dissolution-précipitation. Le principe de Chatelier repose essentiellement sur la différence de solubilité entre le semi hydrate  $\alpha$  et  $\beta$  sont données sur la figure 4.

Du fait de la plus grande solubilité des semi hydrates (9,00 g/L) à température

ambiante, la solution en équilibre avec le plâtre est en sursaturation par rapport au gypse. Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4$  provenant du semi hydrate se déposent sur les germes de gypse et les cristaux croissent pour le Chatelier, les deux phénomènes (dissolution et précipitation) sont simultanés.

Cependant, des techniques contemporaines (calorimétrie, conductimètre...) ont montré l'existence d'une phase de latence juste après la dissolution de semi hydrate, ce qui a conduit de nombreux auteurs à développer des modèles plus élaborés. Les différences avec la théorie de le Chatelier sont subtiles, mais permettent de rendre compte de la période de latence. On considère ici que c'est un équilibre de solubilité qui fixe la teneur en semi hydrate de la solution et non un équilibre dynamique résultant de la compétition entre la dissolution et la précipitation. Le système se stabilise alors, et cette compétition n'intervient que plus tard, après la germination du gypse.

Une autre théorie, dite « colloïdale » est due à Michaelis qui propose un mécanisme selon lequel la période de latence correspondrait à la formation d'un hydrate supérieur du dihydrate, autour des particules de semi hydrate en cours de dissolution. Cette couche d'eau adsorbée est à rapprocher d'une structure gel qui est ensuite de la germination du gypse [11].

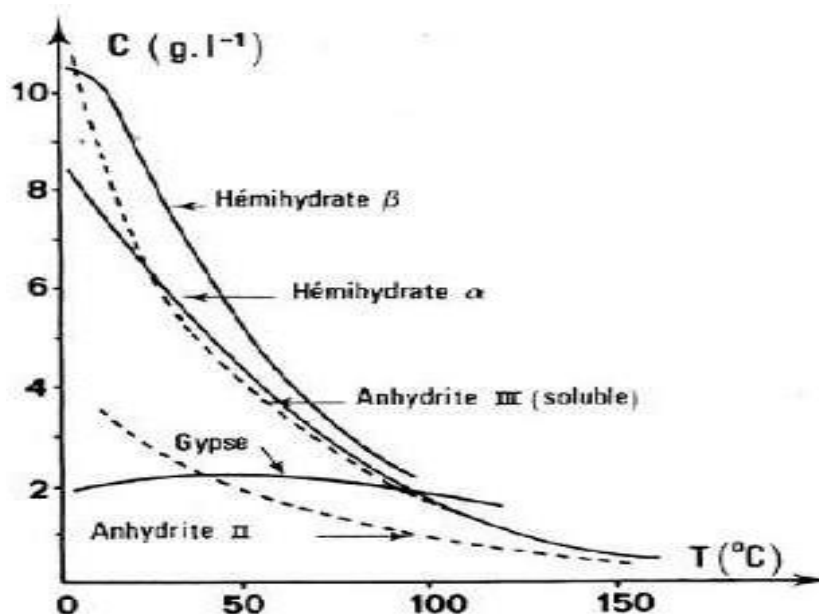


Figure 4 : solubilité des différentes phases du sulfate de calcium en fonction de la température.

La prise du plâtre est une réaction du type dissolution –germination – croissance, elle est donc très sensible au milieu dans lequel elle se produit. La présence de défauts, tels que la

présence d'impuretés dans le récipient de gâchage ou d'impuretés extérieures, est à l'origine des germes de di hydrate. Aussi, l'utilisation d'un malaxeur à grande vitesse peut broyer des cristaux de gypse fraîchement formés et favoriser la formation de nouveaux germes. La seconde notion à prendre en compte, afin de comprendre ce phénomène de germination-croissance, est celle de « diamètre critique ».[12]

Le diamètre critique est le diamètre qui permet au germe de gypse de ne pas disparaître lors de perturbations locales de saturation (gradient de concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{-2}$  par exemple).

Ces perturbations peuvent intervenir au cours de l'ajout d'accélérateur ou de retardateur. En effet, lorsqu'une baisse de saturation en ions  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{SO}_4^{-2}$  aura lieu, le germe tendra à passer en solution pour ré-saturer la solution autour de lui. S'il est trop petit il disparaîtra, s'il a un diamètre suffisant, il diminuera et se remettra à croître lorsque la saturation aura repris.

Les faciès des cristaux, leur enchevêtrement, la nature et la quantité de contacts inter cristallins et donc les propriétés mécaniques du matériau final sont largement influencées par les conditions de température, de pH et la présence d'adjuvants.

#### I.5.Définition des semi-hydrates :

Les semi-hydrates (ou les demi-hydrates), sont obtenus au début de l'opération de déshydratation du gypse :

La température est environ 150 °C selon la réaction suivante :

150 °C à 160 °C



- La teneur en eau variée de 0,15 à 0,66 %.

On trouve deux types des semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$  [13].

##### I.5.1.Le semi-hydrate $\beta$ :

Les plâtres  $\beta$  sont obtenus dans des fours à pression atmosphérique, ils sont utilisés comme plâtres de construction ou préfabrication (Figure 5).

Un bon four de cuisson de plâtre  $\beta$  sera celui qui permettra d'obtenir une grande régularité de cuisson du plâtre avec une composition aussi proche que possible des 100 % de semi-hydrate

afin d'avoir un temps de prise long, de l'ordre de 15 à 17 mn (suivant la qualité de la pierre).

Le plâtre obtenu ne devra également pas comporter d'incuits car ils accélèrent le début de prise du mélange ce qui peut gêner le remplissage des moules. On préférera un plâtre cuit à des températures légèrement supérieures et comportant des traces d'anhydre-3.

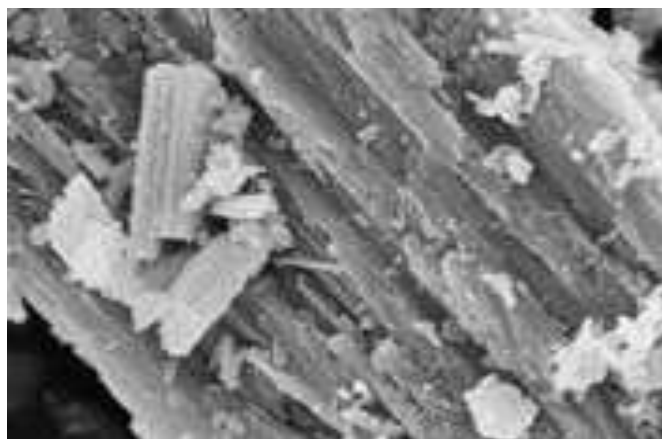


Figure 5 : photo prise au MEB de forme d'hémi hydrate  $\beta$  (5cm).

#### I.5.2. Le semi-hydrate $\alpha$ :

Les plâtres  $\alpha$  sont obtenus dans des autoclaves afin de cuire le gypse sous pression (en général autour de 6 à 9 bars). On obtient alors des plâtres durs, très liquides (car le gain de gypse cuis sous pression n'a pas explosé et sa surface de contact avec l'eau est faible), (Figure 6). Ces types de plâtres sont utilisés en tant que plâtre de modelage pour la décoration et la réalisation d'objets d'arts (statues...). Les plâtres  $\alpha$  ont des caractéristiques de résistances mécaniques élevées grâce à des taux de gâchage (Eau/plâtre) très faibles de 0,25 à 0,5 d'eau pour 1 de plâtre.

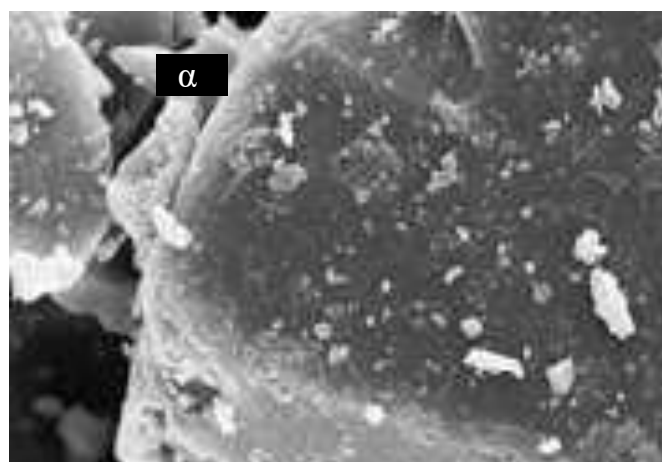


Figure 6 : photo prise au MEB de forme d'hémi hydrate  $\alpha$  (5cm).

## I.6. Propriétés chimiques et physiques du plâtre semi-hydrate :

### I.6.1. Le semi-hydrate $\alpha$ :

- Le semi- hydrate  $\alpha$  est compact et cristallin.
- Sa solubilité dans l'eau est inférieure à celle du composé  $\beta$ .
- Le contact avec l'eau donne un mélange fluide.
- C'est un constituant de très haute qualité, utilisé en particulier, comme plâtre dentaire.
- Il possède une grande résistance mécanique.
- Le temps de prise est inférieur à celui des semi hydrates  $\beta$  [14].

### I.6.2. Le semi-hydrate $\beta$ :

- Il est floconneux et il présente des fissures écailleuses.
- Sa solubilité dans l'eau est supérieure à celle du composé  $\alpha$ .
- La combinaison avec de l'eau donne un mélange plus épais.
- Il nécessite une grande quantité d'eau pour le gâchage.
- Leur temps de prise est plus long.
- Il possède une faible résistance mécanique (10 fois moins que le semi hydrate  $\alpha$ ).
- Il est considéré comme un constituant essentiel de plâtre préfabriqué [15].

Les caractéristiques des semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$  sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques des semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$ .

Les caractéristiques	Semi-hydrate $\alpha$	Semi-hydrate $\beta$
Masse volumique	2.76	2.63
Teneur en eau (%)	6,2	6,2
Masse moléculaire (Cm <sup>3</sup> )	145,15	145,15
Volume moléculaire (g)	52,4	55,2
Temps de prise (min)	15 à 20	25 à 35
Expansion mm/m	2,8	1,8
Résistance à la traction (sec) Mpa	6,5	1,3
Système cristallin	Rhomboédrique	Rhomboédrique

Solubilité dans l'eau à 20 °C (en g de Ca SO4 pour 100 CM)	0,36	0,74
Chaleur d'hydratation à 258 Cal/mol de gr	Voie humide 4100	Voie humide 4600
Chaleur spécifique molaire Cal/mol de gr	16,95-0,039	11,48-0,06
Solubilité dans l'eau à 3°C, 9/ 100 ml	0,825	1, 005
Cristallisation	Compacte	Spongieuse
Surface spécifique	Faible	Elevée
Gâchage saturation	Fort	Faible

### I.7. Principales propriétés du plâtre :

#### I.7.1. Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie :

Du fait de sa faible conductivité thermique, le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique des parois (C 3 370). Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique. Les plâtres spéciaux qui incorporent des charges d'agréats légers ont des conductivités thermiques de l'ordre de 0,18 à 0,20 W.m<sup>-1</sup>. k<sup>-1</sup>

Du fait de sa forte inertie thermique et de sa faible conductivité thermique, le plâtre élimine le phénomène de paroi froide. Le plâtre permet de plus, en association avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles (0,03 à 0,04 W.m<sup>-1</sup>. k<sup>-1</sup>), qui sont des matériaux spécifiques de l'isolation.

Ainsi, dans une atmosphère maintenue à 20 °C et à 85 % d'humidité relative, le plâtre perd la totalité de son eau non combinée, soit sensiblement 50% de sa masse, en moins de 30 jours. Des mesures de laboratoire ont prouvé que ce résultat est identique à celui qui peut être obtenu par un traitement en étuve à 50 °C Poursuivi jusqu'à masse constante. Ce séchage s'effectue d'ailleurs quelle que soit l'humidité relative de l'air ambiant et le plâtre continue à perdre son eau non combinée même lorsque l'humidité relative devient très élevée, de l'ordre de 95 %. Il résulte encore d'essais de laboratoire que le plâtre séché, maintenu en milieu isotherme mais placé en ambiance saturée, reprend après un temps comparable à celui du séchage, une humidité d'environ 1 % en masse.

Des essais ont été effectués sur des plâtres préalablement séchés, puis maintenus à une humidité relative constante élevée (95 %) et soumis à des cycles de température de 12 °C d'amplitude (entre 12 et 24 °C) et de durée variable de 4, 6, 12 et 24 h. Les mesures faites, en pesée.

Le plâtre absorbe l'eau lorsque la quantité d'eau vapeur dans l'atmosphère augmente, c'est-à-dire quand la température croît. De plus, le plâtre perd sensiblement la masse d'eau absorbée dans le cas contraire ; la masse d'eau entre le plâtre et l'atmosphère (qui augmente avec la durée du cycle) représente de 0,1 à 0,2 % de la masse du plâtre. Le plâtre est donc capable de jouer un rôle important, même en tenant compte de la vitesse des échanges qui dépend évidemment de la nature du plâtre, de sa compacité, de son taux de gâchage et de sa surface de contact avec l'ambiance. Mais, il reste qu'en cas de condensation d'eau à sa surface, le plâtre est capable de l'absorber et de s'opposer ainsi au ruissellement pour la rejeter ensuite dès que les conditions hygrométriques s'y prêtent.

#### I.7.2. Humidité des locaux :

Le plâtre est un matériau poreux et, bien qu'il soit rarement laissé nu et qu'il soit souvent recouvert de peinture, de papier ou de tissu, il doit très généralement être examiné comme tel du point de vue des échanges hygrométriques avec l'atmosphère ambiante, car, mis à part les peintures laquées des salles d'eau ou certains revêtements plastifiés, les couches minces de peinture ou de papier, comme les tissus, sont perméables. Un certain nombre de données expérimentales et des mesures de laboratoire permettent de situer le rôle que le plâtre peut contribuer à amortir lesdites variations au cours du temps. On sait par exemple qu'un ouvrage en plâtre exécuté avec un pourcentage d'eau de gâchage courant, abandonné à lui-même, perd progressivement son eau excédentaire, plus ou moins rapidement selon les conditions hygrothermiques de l'ambiance, pour parvenir à un état d'équilibre qui reste constant. La transmission indirecte par les éléments adjacents est plus difficile encore à saisir et à évaluer et il n'en est pas tenu compte dans les mesures de laboratoire. Dans la pratique, on admet qu'elle introduit une chute d'isolation de l'ordre de 5 à 7 dB (A). Selon les lois de masse et de fréquence, l'isolation d'une paroi est fonction de sa masse propre et de la fréquence des sons pour une fréquence donnée, l'indice d'affaiblissement acoustique croît proportionnellement au logarithme de masse par mètre carré de la paroi. De même, pour une masse donnée, l'indice d'affaiblissement acoustique est proportionnel au logarithme de la fréquence sonore. La loi de

masse, cependant, ne tient pas compte de la fréquence de la paroi. Cette fréquence, fonction mathématique de la masse et de la rigidité de la paroi correspond, par un phénomène analogue à une résonance, à une perte d'isolement. Cette fréquence critique est d'autant plus gênante qu'elle se situe vers les fréquences plus élevées. À l'égard de ces lois le plâtre n'occupe pas une situation privilégiée

Puisque sa masse volumique relativement faible le défavorise plutôt, notamment vis-à-vis de la loi de masse.

Mais il s'agit là de lois théoriques visant des éléments homogènes et l'on sait depuis longtemps réaliser des cloisons légères généralement constituées par un assemblage de matériaux différents auxquelles les lois de masse et de fréquence ne s'appliquent plus et qui sont tout à fait capables d'assurer une bonne isolation.

Les possibilités du plâtre trouvent aussi bien leur application dans la recherche de l'amélioration de l'isolation d'une paroi existante que dans la construction de cloisons à hautes performances acoustiques. Ainsi, dans le cas d'un mur ayant une certaine masse, le doublage au moyen d'un élément léger en plâtre peut apporter une amélioration considérable. D'une manière générale, on peut noter que l'isolation obtenue par doublage est d'autant meilleure que les deux parois ont des épaisseurs et des masses différentes et que la lame d'air qui les sépare assure une meilleure liaison, notamment grâce à un remplissage avec un isolant.

Les éléments légers du type plaques de parement en plâtre permettent, par assemblage sur des ossatures métalliques, de constituer des cloisons à double paroi ayant des caractéristiques acoustiques élevées et s'adaptant même dans certains cas à la réalisation des cloisons séparatives de logements.

L'isolation acoustique des cloisons, des doublages et des plafonds repose sur la désolidarisation des deux parements de l'ouvrage. Ainsi est formé un système masse-ressort-masse. Le parement situé côté émission, par sa flexibilité, limite la transmission par rayonnement de l'énergie sonore. Le matelas d'air et/ou le matelas fibreux présente un effet amortisseur absorbant une partie de l'énergie sonore qui lui est transmise. Le second parement, côté réception, ne retransmet, du fait de sa flexibilité, qu'une partie de l'énergie sonore qui lui est transmise, l'utilisation d'ossatures doubles désolidarisées améliore encore les performances acoustiques. Ce système constructif permet d'obtenir des performances supérieures à celles d'une paroi unique de masse équivalente. Selon la masse des parements et leur écartement, les performances possibles couvrent toute la gamme des exigences allant

jusqu'à un indice d'affaiblissement acoustique pondéré de 69 dB (A) pour une cloison d'une épaisseur totale de 225 mm et d'une masse surfacique de 70 kg/m<sup>2</sup>.

### I.7.3. Isolement acoustique :

Le domaine de l'acoustique [C3 362] est un domaine délicat. L'appréciation du rôle que le plâtre peut y jouer l'est donc tout autant. Il est possible, de dégager quelques données qui éclairent le sujet, étant du reste précisé qu'il ne sera nullement question ici de l'isolation aux bruits de chocs ou d'équipement qui relèvent de techniques particulières. Les considérations suivantes sont limitées aux bruits aériens.

L'acoustique obéit naturellement à des lois théoriques, mais dans les applications qu'on en fait, au plan pratique, elle relève davantage de l'art que de la science par les soins qu'elle exige, par les précautions sans lesquelles en particulier la moindre faille. Le moindre pont phonique risque d'en anéantir les résultats puisqu'un tel pont suffit à permettre la transmission des vibrations des ambiances qu'il met en communication par la continuité des murs et cloisons qu'ils apportent, les enduits manuels ou projetés assurent une isolation aux transmissions de bruits aériens et une garantie contre les ponts phoniques résultant de fissures, de la porosité des matériaux, ...

Cette continuité des murs et des cloisons est également réalisée dans l'emploi des divers éléments préfabriqués de cloison à base de plâtre correctement mis en œuvre, avec lesquels l'intégralité des joints d'assemblage fait nécessairement l'objet d'un collage ou d'un masticage ininterrompu qui reconstitue la continuité de l'écran acoustique isolant les locaux adjacents. Le plâtre, cependant, obéit aux lois générales de l'acoustique. Du point de vue théorique, la transmission directe de l'énergie sonore conditions qui lui sont imposées par la géométrie et les matériaux du local, peut communiquer à ce dernier une acoustique moins satisfaisante.

Le plâtre, grâce à son aptitude au moulage, à la préfabrication comme à la constitution d'éléments décoratifs à reliefs, se prête à la réalisation de panneaux, de structures architecturales ou ornementales capables de supprimer ou d'atténuer les réverbérations gênantes des bruits ou des sons émis dans une pièce. Le coefficient d'absorption phonique (coefficient de Sabine) d'une plaque de parement en plâtre de 12 mm, perforée et posée sur une couche de 18 mm de laine minérale, est de 0,74 alors que celui d'une couche de 50 mm de laine minérale est de 0,93. Cela montre qu'il est aisé de constituer des parois absorbant une fraction importante des sons et n'en renvoyant qu'une faible partie.

#### I.7.4. Correction acoustique :

La transmission de l'énergie sonore se fait aussi, à l'intérieur d'un même local, par réflexion sur les différentes parois qui en limitent le volume. C'est le phénomène de la réverbération.

Enfin, sous l'action du feu, le plâtre ne donne naissance à aucun gaz ou vapeur de caractère toxique, corrosif ou asphyxiant, aucune fumée, ni aucun produit de décomposition combustible ou susceptible d'activer la combustion.

#### I.7.5. Résistance au feu :

L'une des propriétés les plus caractéristiques du plâtre est son comportement remarquable au feu, qui a été reconnu et éprouvé de tout temps. Cette protection a pu autrefois être obtenue grâce à d'élardes garnissages de plâtre remplissant complètement les intervalles séparant les éléments de construction. Elle peut aussi consister en enduits projetés de plâtre spéciaux (spécial feu) ou en enduits traditionnels comportant, de préférence, une armature légère de solidarisation ancrée sur l'ouvrage.

Elle peut être réalisée par un enrobage fait au moyen d'éléments préfabriqués du type plaques de plâtre (avec ou sans carton superficiel) ou du type moulé, comme les carreaux de plâtre. Mais si cette protection par le plâtre, ancienne d'emploi, peut se présenter sous différentes formes, en s'adaptant aux modes de construction, elle repose toujours sur le même principe. L'excellent comportement du plâtre au feu résulte de plusieurs propriétés.

Le plâtre est incombustible. Il est classé A 1 sans essai par décision de la commission européenne du 4 octobre 1996 établissant la liste des produits appartenant aux classes à « aucune contribution à l'incendie ».

### I.8. Le plâtre médical :

#### I.8.1. Définition :

Un plâtre médical est un plâtre issu du gypse naturel mais qui possède des propriétés bien précises pour permettre de l'utiliser dans le domaine médical comme substituts osseux, plâtre dentaire ou après l'association de plâtre avec la gaze en formant des bandes plâtrées pour l'immobilisation des fractures osseuses. Chacun de ces trois domaines préfère des propriétés plus ou moins différentes de l'autre comme il est indiqué dans les paragraphes suivants.

### I.8.2. Céramiques utilisées comme substituts osseux :

La problématique du comblement de défauts osseux est critique en orthopédie. Pour résoudre le problème des greffes osseuses dans des situations telles que les pathologies ostéoarticulaires dégénératives, les malformations et déformations vertébrales, les séquelles de traumatologie osseuse ou les tumeurs de l'appareil locomoteur, des biomatériaux de comblement osseux synthétiques ou d'origine naturelle sont utilisés.

Les principales classes de céramiques bioactives et résorbables utilisées cliniquement durant ces dernières décennies sont les suivantes : les phosphates de calcium, le sulfate de calcium, et les verres bioactifs.

Alors le plâtre est l'un des premiers matériaux utilisés pour les greffes osseuses synthétiques à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Avec la possibilité de contrôler ses propriétés mécaniques par son taux de porosité. La forme semi hydratée ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) utilisée pour les applications biomédicales est principalement de type  $\alpha$ , permettant après hydratation l'obtention d'un matériau avec de meilleures propriétés mécaniques. Quelques rares études, ont montré la capacité du sulfate de calcium à favoriser la précipitation de phosphate de calcium à sa surface. La libération importante et rapide des ions calcium lors de la dissolution du matériau est supposée aider à la différenciation des ostéoblastes. Ce matériau est la céramique qui se résorbe le plus rapidement (quelques semaines en in vivo), sa cinétique de dégradation dépendant principalement de son taux de porosité.

### I.8.3. Les plâtres dentaires :

Le plâtre à usage dentaire est préparé à partir de gypse naturel compact monocristallin qui possède de meilleures propriétés ; alors que la norme internationale ISO-6873 de 2012 définit cinq types qui se différencient notamment par leurs compositions, leurs propriétés et par leurs applications en odontologie :

#### a) Type I : Plâtre pour empreintes dit « Tendre » :

Ce Type de plâtres peut être utilisé pour la coulée d'empreintes d'étude ou d'arcades antagonistes mais reste mieux indiquées pour les montages en articulateur.

#### b) Type II : Plâtre pour modèles :

Le Plâtre de type II Est un plâtre utilisé pour la réalisation de modèles d'étude

éventuellement destinés à être montés en articulateur, sans grande précision.

c) **Type III : Plâtre dur pour modèles :**

Le Plâtre de type III dont le constituant principal est l'hémi hydrate  $\alpha$  trouve les mêmes Indications que les deux types précédents et son utilisation montre des modèles d'une meilleure résistance à la compression et à l'abrasion.

d) **Type IV : Plâtre extra dur à dureté élevée et faible expansion :**

Le Plâtre de type IV est un plâtre qui présente une très bonne résistance à l'abrasion et à la compression. L'hémi hydrate  $\alpha$  le constituant qui lui confère de meilleures propriétés physico-chimiques. Ce Plâtre nécessite une quantité minimale d'eau pour le mélange et après la prise ils sont parmi les plâtres les plus denses, les plus résistants et les moins expansifs.

e) **Type V : Plâtre extra dur, à dureté élevée et haute expansion :**

Le Plâtre de type V Est aussi un plâtre extra dur, mais dont l'expansion de prise est plus élevée.

#### I.8.4. Propriétés essentielles des plâtres dentaires :

**a) Précision dimensionnelle :**

Certains plâtres ayant une précision dimensionnelle exceptionnelle, avec un coefficient d'expansion inférieur à 0,1% du même ordre que les résines polyuréthanes.

Les mécanismes liés étroitement à la précision dimensionnelle du plâtre sont l'expansion de prise et l'expansion hygroscopique, cette dernière étant souhaitée ou non par l'opérateur.

➤ L'expansion de prise

- Par élévation de la température,
- Par réduction du rapport Eau/Poudre,
- Par Augmentation du temps de malaxage,

➤ L'expansion Hygroscopique

Est un processus physique qui consiste en l'immersion de l'empreinte dans de l'eau directement après son remplissage. La valeur pourra alors être doublée car l'eau apportée en excès majorera la croissance des cristaux d'hémi hydrate.

**b) Résistance à l'abrasion :**

La résistance à l'abrasion demeure la propriété la plus faible du plâtre pierre et ce malgré les

améliorations industrielles significatives apportées aux plâtres. Le plâtre reste en retrait sur ce point ainsi que sur son caractère cassant.

**c) Dureté de surface :**

Selon Le plâtre pierre utilisé, on obtient des mesures comprises entre 60 et 80 Kg.mm<sup>2</sup>.

**d) Facilité de manipulation, rapidité de préparation :**

L'usage du plâtre pierre offre un protocole de mise en œuvre relativement aisé. Reposant essentiellement sur un rapport eau/poudre adéquat, un malaxage complet, une coulée fine et un démoulage appliqué.

**e) Absence de nuisance :**

En regard des dizaines d'années de son utilisation, le plâtre et ses constituants semblent être minoritaires pour l'utilisateur durant leur usage. Le plâtre est sans danger avère durant toutes les étapes de sa manipulation.

**f) Compatibilité avec les matériaux d'empreinte :**

Cette compatibilité physico-chimique avec les différents matériaux à empreinte est une des explications à sa large utilisation en prothèse scellée pour la coulée de modèle.

**g) Influence de la couleur :**

Cette notion d'influence de la couleur est assez subjective car le choix de la couleur du plâtre dentaire dépend de la préférence de chacun [33].

L'immobilisation orthopédique des fractures osseuses s'agit de faire une réduction de la Fracture par manœuvres externes et d'immobiliser le membre dans un plâtre (botte plâtrée). L'avantage théorique est de ne pas ouvrir les foyers de fracture (pas de risque d'infection).

On retrouve en Ancienne Egypte les toutes premières traces de l'existence d'appareils d'immobilisation orthopédique. L'immobilisation des fractures était réalisée par des attelles en bois rembourrées de coton. Spécialistes en embaumement, les égyptiens employaient également des bandages constitués de plusieurs épaisseurs de bandelettes de lin collées ensemble, et y incorporent du plâtre.

Ce sont les Arabes qui semblent réellement avoir pour la première fois utilisé le plâtre, à la fin du X<sup>ème</sup> siècle, pour l'immobilisation orthopédique en préparant des mélanges comme suit : Le plâtre était composé d'oxyde de calcium mélangé à du blanc d'œuf, réalisant un pansement rigide des fractures. Pour augmenter la solidité, des mélanges à base d'argile, d'eau ou de blanc d'œuf étaient parfois réalisés. Toutes ces préparations

étaient moulées directement sur le membre après réduction de la fracture.

Les habituels bandages et attelles étaient ensuite mis en place. La technique ne trouva que peu d'écho en Europe Occidentale. Il y eut quelques essais limités à Berlin en 1814 : les appareils plâtrés réalisés selon la méthode arabe étaient jugés trop lourds, épais et difficiles à découper.

Le plâtre a été utilisé en Russie pour traiter les fractures dès 1816. La méthode fut notamment utilisée pour soigner les blessés de la guerre de Crimée. La technique consiste à tremper des morceaux d'étoffe prédécoupés dans du plâtre liquide, avant leur application directe sur le membre protégé par des bas et des tampons de coton.

C'est de cette méthode que l'inspiration de la technique du « bandage ami donné » était inventée en 1835. Après avoir confectionné sur le membre lésé une attelle de carton poreux et épais, imbibé d'une solution amidonnée. Le médecin Seutin entourait le membre de bandes de

gaze imprégnée également d'amidon. Le bandage amidonné était long à appliquer, séchait lentement et de manière non homogène ce qui provoquait des distorsions et des rétrécissements. Il disparut rapidement après l'invention de la bande plâtrée « la technique est simple, que le plâtre peut être appliqué sans assistance, qu'il est solide, garde sa forme et peut être utilisé pour corriger des difformités ». Il ajoute que le matériau est « poreux, permettant la respiration. Il peut être ôté facilement, et a une apparence acceptable. De plus, il est bon marché ». Une des premières améliorations suggérées dès 1860 fut de rendre le plâtre résistant à l'eau en l'enduisant d'un mélange de laque dissoute dans de l'alcool. Initialement, la bande était confectionnée au moment même de l'application, par saupoudrage de la toile par du plâtre.

Vers 1890 apparaît la première bande plâtrée commerciale. Durant l'application de ces bandes, la plus grande partie du plâtre était délogée lors du trempage. Dans les années 1930, la première bande à plâtre adhérent était créée, par l'utilisation d'agents liants (amidon, gomme, résine, dextrine, et actuellement polymères synthétiques) retenant le plâtre dans la crinoline [34].

#### 1.8.5. La bande plâtrée :

La bande plâtrée est un pansement rigide fait de compresses enduites de plâtre. Ces bandes sont mouillées, puis appliquées de façon à prendre la forme de la région anatomique, pour maintenir les fragments osseux dans leurs rapports normaux jusqu'à la formation

d'une cal osseuse solide.

- La fonction de la bande plâtrée est d'immobiliser et de maintenir les fragments osseux en place.
- Une immobilisation totale du membre est nécessaire jusqu'à ce que le plâtre soit durci, ce qui prend au moins une heure.
- Les différents composants de la bande plâtrée :

La bande plâtrée est constituée principalement de deux composants :

- ☞ Le plâtre qui est présenté dans les paragraphes précédents.
- ☞ Le support textile qui est la gaze tissée à partir des fibres de coton.

#### I.8.6. Généralités sur la gaze :

C'est un tissu blanchit et purifié de coton hydrophile à armure toile à mailles peu serrées, mais toujours séparées (**Figure 7**). Il existe plusieurs types définis par le nombre de fils au centimètre carré. La gaze est tissée avec des fils de trame et de chaîne, plus ou moins gros.

- ☞ **Le fil de chaîne** se trouve toujours dans le sens de la longueur du tissu.
- ☞ **Le fil de trame** se trouve toujours dans la largeur du tissu.

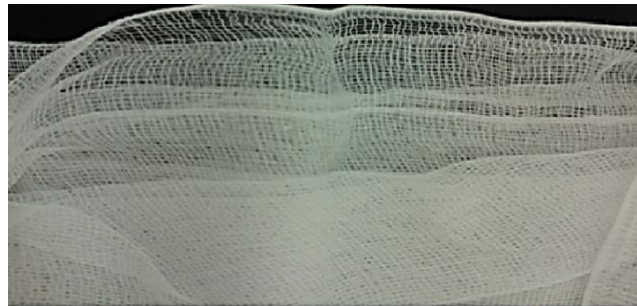


Figure 7 : Photo d'une gaze hydrophile.

La matière première de fabrication de la gaze est le coton.

Le coton est une fibre d'origine végétale, il provient des fibres qui entourent la graine du cotonnier (**figure 8**). Il s'agit d'un arbuste de la famille des malvacées du genre «Gossypium». Parmi plusieurs espèces de cotonnier (environ 1500 espèces) 4 espèces seulement sont, par raison de longueur La fibre de coton a la forme d'un ruban plat vrillé sur lui-même jaunâtre à l'état écru.



Figure 8 : Plants de cottonnier

Les différents constituants du coton sont résumés dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Composition chimique de la fibre de coton [16]

Substance	Teneur
Cellulose	88 à 96 %
Substances pectiques	0,7 à 1,2 %
Cire	0,4 à 1,0 %
Protéines	1,1 à 1,9 %
Cendres	0,7 à 1,6 %
Autres composants organiques	0.5 à 1.0 %

Le constituant majoritaire du coton est de loin la cellulose à  $\approx 90\%$  enrobée par d'autres constituants tel que les cires, les pectines, l'eau avec d'autres poussières de matière colorée, protéines, potassium, magnésium, calcium et sodium ... [17]

#### I.8.7. Propriétés physiques du coton :

##### a) La densité :

La densité de 1,5 à 1,53mg/mm.

Taux de reprise :

- Dans les conditions normales environ 85%.
- Dans une atmosphère saturée à 100% il est de 25% environ.

##### b) Le toucher : Doux et agréable.

### I.8.8. Les propriétés de la gaze :

La gaze possède des propriétés bien spécifiées qui nous permettent de la différencier des autres types textiles parmi ses propriétés essentielles on cite les suivantes :

#### a) L'armure toile :

Dans un tissu, la façon dont les fils de chaîne et les fils de trame se croisent présente un dessin que l'on appelle armure. Les 3 armures fondamentales sont la toile, le sergé et le satin, toutes les autres en sont dérivées.

La toile est l'armure la plus simple et la plus ancienne, cependant elle reste l'armure la plus tissée au monde (draps, chemises, etc.). C'est l'armure la plus résistante à l'usure en raison du nombre de points de liage maximum entre les fils chaînes et les fils trames (Figure 9). Un tissu toile présente le même aspect à l'endroit qu'à l'envers d'où la possibilité de retourner le tissu sauf pour les tissus imprimés, brodés ou grattés. Les principaux dérivés de l'armure toile sont le natté et le cannelé. [18]

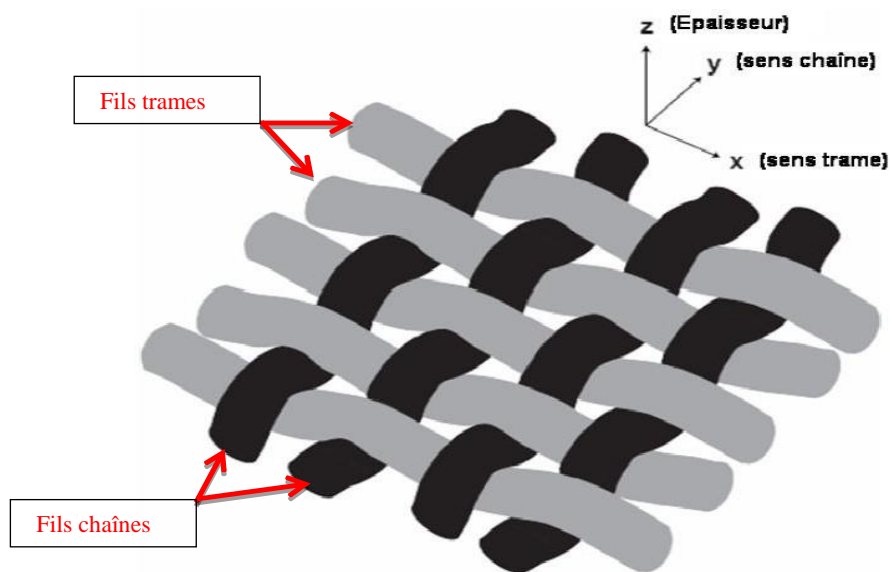


Figure 9 : Représentation schématique d'un tissu toile.

### I.8.9. Le titrage des fils :

C'est la mesure utilisée pour déterminer la finesse d'un fil et souvent appelé le numéro métrique symbolisé par Nm, le tex et le denier.

- a) **Le numéro métrique (Nm) :** C'est l'unité utilisée pour le titrage des fils discontinus (fibres), il est très important, il est exprimé par le nombre de mètres au gramme ou de kilomètre au kilogramme. Le titrage du fil en Nm est inversement proportionnel à

la grosseur du fil. (Nm10 est plus gros que Nm 100) Autrement dit, dans ce système, un fil est d'autant plus fin que son titre en Nm est élevé.

➤ Il existe deux types de numéros métriques.

✓ **Numéro métrique en chaîne (Nmch.)** : C'est la longueur de fil de chaîne sur leur masse.

✓ **Numéro métrique en trame (Nmtr)** : C'est la longueur de fil de trame sur leur masse.

b) Le tex :

Le tex indique le poids, en grammes, de 1000 m de fil. exemple : 25 tex = 25 g pour 1 000 m de fil

c) Le denier : Le denier indique le poids, en grammes, de 9 000 m de fil. Par exemple : 20 deniers = 20 g pour 9 000 m de fil. Il s'utilise essentiellement pour les fils synthétiques continus fins.

d) La masse d'un mètre carré (surfacique) :

Elle représente la masse de la gaze en gramme sur la surface en mètre carré, cette caractéristique de la masse est plus répandue, parce qu'elle indique si la gaze est lourde, moyenne ou légère.

e) La densité :

**La densité absolue** : elle est le nombre de fils sur 10 centimètres de gaze. Il existe la densité en chaîne et en trame symbolisées respectivement (Dch et Dtr).

**La densité géométrique** : Elle est caractérisée par la distance entre les axes de deux fils voisins de la chaîne ou de deux fils voisins de trame.

f) Résistance et ténacité :

La résistance correspond à la force mesurée lors de la rupture du fil sous traction au dynamomètre. Elle s'exprime en newtons (N) : 1 N = 0,10197 Kgf ou 1Kgf = 9,81 N. La ténacité correspond à la résistance ramenée à 1 tex, elle s'exprime donc en newtons ou en cent newtons par tex. Cela permet de comparer la résistance des fils indépendamment de leur Grosseur.

$$\text{Ténacité ou } \sigma \text{ (N/tex)} = \frac{\text{Force (N)}}{\text{Titre (tex)}}$$

g) Allongement à la rupture :

Il correspond à l'allongement du fil mesuré lors de sa rupture sur un dynamomètre. Il s'exprime en pourcentage (%).

**Rigidité ou module d'élasticité :**

La rigidité se caractérise par le module d'Young, dont le symbole est E. Le module d'Young représente la capacité d'un matériau à s'opposer à une déformation. En effet, le rapport entre la contrainte de traction appliquée à un matériau et la déformation qui en résulte est constant tant que la déformation reste faible et que la limite d'élasticité n'est pas atteinte.

# Chapitre II :

## Matériels et méthodes de caractérisations

## II.1. Essais physiques du plâtre :

### II.1.1. Analyse par granulométrie :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la distribution de la taille des particules présentes au sein des échantillons secs (poudres, farines, sables...) ou plus exactement de leurs rayons. Elle permet la mesure de tailles comprises entre 0,02 et 2000  $\mu\text{m}$ ,

#### a. Appareillage :

- 1) Tamis de contrôle conformes à la norme internationale Iso 565.
  - 200  $\mu\text{m}$  et 100  $\mu\text{m}$  pour les éléments fibres en plâtre.
- 2) Spatule en bois ou en matière plastique.
- 3) Balance, précise à  $\pm 0,1$  g (Figure 10).
- 4) Dessiccateur.

#### b. Détermination du refus à 200 $\mu\text{m}$ et 100 $\mu\text{m}$ :

- Prélever environ 200 g sur l'échantillon conservé hermétiquement et les sécher jusqu'à masse constante à  $40\text{ C}^\circ \pm 2\text{ C}^\circ$ . Laisser refroidir dans un dessiccateur jusqu'à la température ambiante. Peser  $50\text{ g} \pm 5\%$  et les transvaser sur un tamis de contrôle.
- Maintenir le tamis de contrôle d'une main, légèrement incliné, en le tapotant par des mouvements de l'autre main, selon une fréquence d'environ 125 fois par minute, de sorte que la dispersion du plâtre soit toujours égale.
- Faire pivoter le tamis de  $90^\circ$  tous les 25 mouvements. Après 1 min, peser le résidu et revenir au tamis à l'aide d'une brosse. Pour suivre le tamisage jusqu'à ce que la masse de plâtre traversant le tamis en 1 minute n'excède pas 0,4 g.
- A l'aide d'une brosse, Pour suivre le tamisage jusqu'à ce que la masse de plâtre traversant le tamis en 1 minute n'excède pas 0,2 g. Brosser ensuite la surface intérieure du tamis, pour en éliminer ce qui y adhère avant de peser le résidu retenu sur le tamis. Dans le cas du tamis de 100  $\mu\text{m}$ , l'essai est réalisé de la même manière et dans les mêmes limites que pour le tamis de 200  $\mu\text{m}$  (Figure 11).



Figure 10 : Balance, précise à  $\pm 0,1$



Figure 1 : Tamis de contrôle

### II.1.2. Caractérisation de la pâte :

La mesure de la qualité d'un plâtre médical se fait grâce à une série d'essais selon les directives de la norme française NFB12-401 :

➤ La consistance normale.

➤ Le temps de prise.

#### II.1.2.1. Mesure de la consistance normale de la pâte :

La consistance normale de la pâte du plâtre médical se traduit comme étant la quantité d'eau nécessaire pour avoir une pâte normale plastique, elle est calculée en pourcent du poids de plâtre et donnée sous forme d'un rapport eau/plâtre (E/P).

##### a. Méthode par saupoudrage :

Cette méthode est utilisée pour les enduits à base de plâtre. La détermination de la masse de l'enduit (en grammes) pouvant être fixée par saupoudrage dans 100 g d'eau.

L'appareillage comprend :

- Récipient cylindrique en verre de 66 mm de diamètre intérieur, de 66 mm de hauteur et portant des repères de niveau à 16 mm et 32 mm au-dessus de la surface intérieure du fond ;
- Chronomètre ;
- Balance ayant une précision de  $\pm 0,1$  g.

Le mode opératoire consiste à verser 100 g d'eau dans le récipient en verre, en prenant soin de ne pas humidifier la partie supérieure de la paroi cylindrique. Déterminer la masse  $m_0$  avec une précision,  $\pm 5$  g. La durée totale du mode opératoire suivant doit être de  $120 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ . saupoudrer tout d'abord le plâtre uniformément à la surface de l'eau, de telle sorte que la pâte plâtreuse ait atteint le premier repère au bout de 30 s, puis le deuxième repère après 60 s, continuer le saupoudrage jusqu'à ce que la pâte de plâtre soit parvenue environ 2 mm en dessous de la surface de l'eau au bout de  $90 \text{ s} \pm 10$  pendant les 20 s à 40 s qui suivent, saupoudrer une quantité suffisante de mortier à la surface de l'eau et sur le bord du récipient en verre de manière à ce que la surface de l'eau disparaisse. Il convient que tous les petits grumeaux secs de mortier apparaissant en cours d'opération soient humectés dans les 3 s et 5 s.

Pour les mortiers qui se déposent lentement, il est possible que les traits de repère ne soient pas atteints dans le temps requis. Dans ce cas, le mortier doit être saupoudré de sorte à n'être projeté que sur les parties de la surface de l'eau ou le mortier est absent, et non par-dessus le mortier déjà saupoudré. La durée de saupoudrage doit être stipulée.

Avant la pesée, éliminer l'excédent de plâtre du bord du récipient en verre. Déterminer la masse  $m_1$  avec une précision de  $\pm 0,5$  g.

Le rapport eau /plâtre R s'obtient à l'aide de la formule :

$$R = \frac{100}{m_1 - m_0}$$

Où :

$m_0$  est la masse du récipient en verre et la masse de l'eau, en g égale 205 g.

$m_1$  est la masse du récipient en verre et la masse de l'eau et la masse de plâtre, en g égale 350g.

$$\text{Eau / plâtre} = \frac{\text{eau}}{\text{plâtre}} = \frac{100}{145} \times 100$$

$$R = 69\%.$$

#### II.1.2.2. Mesure des temps de prise :

Il est nécessaire de connaître le début et fin de prise des pâtes de plâtre afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte qui seront ensuite confectionnés.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat et la méthode de couteau qui donne deux repères pratiques : Le début de prise et la fin de prise.

##### a. Méthode du cône de Vicat :

La profondeur de pénétration du cône de Vicat, dans une pate composée de plâtre et d'eau, diminue au fur et à mesure que la prise progresse. Ce principe est utilisé pour déterminer le Délai de la prise.

L'appareil de VICAT (qui porte le nom de l'ingénieur français), est composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre comme représentée sur la figure 12.



Figure 12 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible.

**L'appareillage contient :**

- Une balance précise à 0,1 g près ;
- Un chronomètre à 0,1s près ;
- Une éprouvette graduée de 250 ml, Une règle à araser ;
- Spatule métallique ; Cuve métallique ;
- Plâtre médical ; Eau potable.

Disposer l'anneau de Vicat sur la plaque en verre, le bord le plus large étant en contact avec la plaque en verre. Mélanger 350g de plâtre avec la quantité d'eau 242 ml déterminer selon la méthode de saupoudrage. Transvaser l'excédent de plâtre sur l'anneau. Araser l'excédent avec la règle maintenue en position verticale.

Actionner la tige de guidage à l'aide du déclencheur pour faire pénétrer le cône dans le plâtre ; répéter cette opération toutes les 30 secondes en changeant chaque fois le lieu de chute de l'aiguille (Figure 13). Noter la durée  $t_1$  au bout de laquelle la profondeur de pénétration parvient à  $22 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  au-dessus de la plaque en verre

À la fin déterminer les délais de prise d'après les conditions suivantes :

- **Début de prise** : C'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du gâchage et celui où l'aiguille ne pénètre plus jusqu'au fond du moule.
- **Fin de prise** : C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant du gâchage et celui où l'aiguille ne pénètre pas dans la pâte.

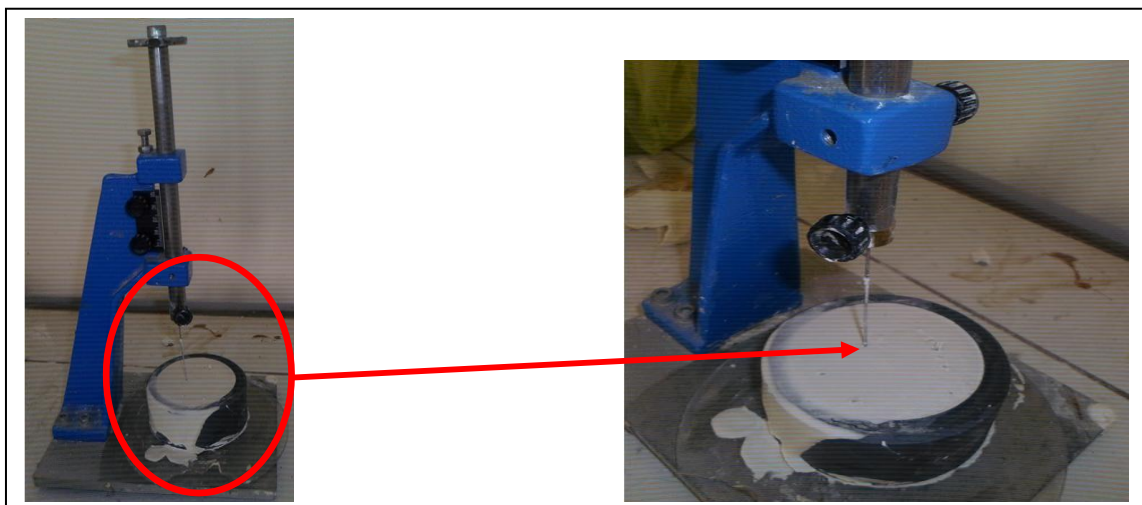


Figure 13 : La mesure des temps de prise de la pâte de plâtre.

**b. Méthode du couteau :**

Le temps de début de prise est le temps, en minutes, au bout duquel les bords d'une fente pratique à l'aide d'un couteau à travers la pâte de plâtre, cessent de se rapprocher.

La fin de prise est atteinte lorsque la pression du pouce sur la galette ne fait plus sortir d'eau et ne laisse pas d'empreintes (Figure 14).

**L'appareillage comprend :**

- Couteau muni d'une lame d'environ 100 mm de longueur, de 16 mm de largeur et d'une épaisseur de 1 mm ;
- Spatule ;
- Plaque lisses en verre (de 400 mm de longueur et 200 mm de largeur minimales) ;
- Chronomètre ;
- Récipient de mélange, en matériau non réactif.

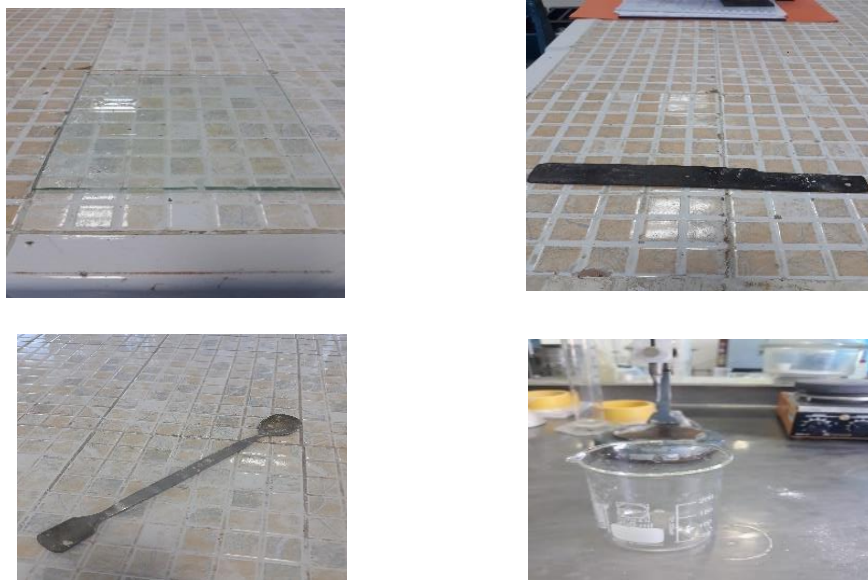


Figure 14 : appareillage de la méthode de couteau.

**➤ Confection de galettes de plâtre :**

Mélange le plâtre ou l'enduit avec la quantité d'eau déterminer en (méthode par saupoudrage). Noter le moment le premier ajout de plâtre dans l'eau. Verser ensuite la pâte de plâtre sur la plaque en verre.

**➤ Détermination du temps de début de prise  $T_I$  :**

Détermination du temps de début de prise en découpant des fentes dans la galette. Nettoyer le

couteau et le sécher après chaque découpe. Le temps de début de prise  $T_i$  est obtenu au moment où les bords d'une fente découpée au temps  $T_1$  cessent de se rapprocher.

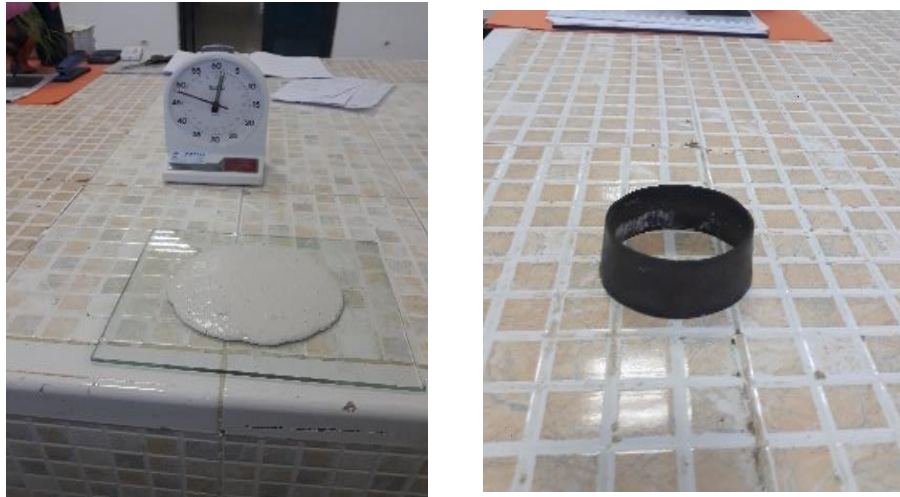


Figure 15 : Appareillage de temps de début de prise.

### II.1.3. La masse volumique :

La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume. Elle est généralement notée par les lettres grecques  $\rho$  (rhô) ou  $\mu$  (mu). On utilise ces deux notations en fonction des habitudes du domaine de travail. Elle est déterminée par le rapport :

Avec :  $\rho = m / V$

$\rho$  : La masse volumique.

$m$  : la masse mesurée.

$v$  : le volume.

### II.2. Caractéristiques mécaniques du plâtre :

La présente norme algérienne spécifie des méthodes de détermination des caractéristiques mécaniques suivantes des plâtres

- Résistance à la rupture par flexion.
- Résistance à la rupture par compression.

### II.2.1. Moules et éprouvettes :

Des moules normalisées permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 40mm×40mm et de longueur 160mm, ces éprouvettes sont appelées éprouvettes « 4×4×16 ». Le moule qu'on a utilisé pour la préparation des éprouvettes est illustré dans la figure ci-dessous.

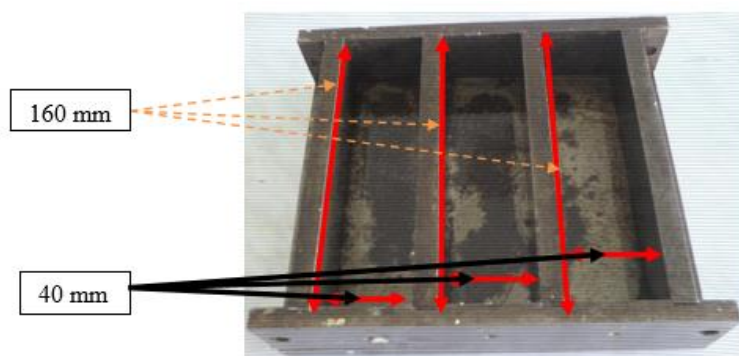


Figure 16 : Moule pour moulage des éprouvettes en plâtre

### II.2.2. Méthode de la table à secousses :

Cette méthode est employée dans le cas de plâtre prémélangés. Le rapport eau/plâtre est déterminé par tâtonnement jusqu'à ce qu'une galette de dimension spécifiée soit formée après enlèvement d'un moule rempli avec la pâte et étalement par secousses de celle-ci selon la méthode décrite.

#### a. Principe :

Détermination du rapport eau/plâtre du plâtre prémélange selon une consistance donnée.  
Détermination de la consistance par mesurage du diamètre d'une galette.

#### b. Appareillage :

- Malaxeur, récipient de mélange et batteur.
- Table à secousses et moule.
- Spatule.
- Chronomètre.

## c. Mode opératoire :

- Introduire dans le récipient 690 ml d'eau. Peser 1000 g de plâtre et l'immerger dans l'eau contenue dans le récipient. Mélanger le plâtre dans l'eau à l'aide d'une spatule pendant environ 1 minute.
- Mélanger ensuite la pâte à l'aide du malaxeur et du batteur, en sélectionnant une faible vitesse de rotation  $140 \text{ min}^{-1} \pm 5 \text{ min}^{-1}$  pendant 1 min.
- Placer le moule sur la table à secousses (Figures 17, 18).
- Verser la pâte à l'intérieur du moule jusqu'à remplir le moule, légèrement en excès. Une fois la prise terminée, araser l'excédent de pâte en pratiquant un mouvement de va-et-vient à l'aide du couteau ou de la règle métallique.
- Imprimer ensuite quinze secousses verticales à la table à secousses, à une vitesse constante d'un tour par seconde.
- Au bout, retirer le moule verticalement. Décoller tout morceau de pâte adhérant au



Figure 17 : Malaxeur a mortier



Figure 2 : La table à secousses.

moule.

## d. Expression des résultats :

Le rapport eau/plâtre R s'obtient à l'aide de la formule suivante :

$$R = \frac{m_3}{m_4} \quad \text{où}$$

$m_3$  est la masse d'eau contenue dans le mélange, en g ;

$m_4$  est la masse du plâtre, en g.

$$\text{eau/plâtre} = \frac{100}{145} \times 100$$

$$R = 69\%$$

$$100 \text{ g} \rightarrow 69 \text{ l eau}$$

$$1000 \text{ g} \rightarrow 690 \text{ l eau}$$

$$\text{eau/plâtre} = \frac{100}{145} \times 100 \quad R=69\%$$

100 g → 69 l eau

1000 g → 690 l eau

Alors :  $R = \frac{690}{1000} = 0,69$

II.2.3. Préparation des éprouvettes :

Mélanger le plâtre soumis à l'essai selon le mode opératoire décrit en méthode de la table à secousses (Figures 18-19).

Une fois atteint le degré de solidité adéquat, appliquer des marques d'identification sur les prismes. Conserver ceux-ci pendant 7 jours, refroidir les échantillons jusqu'à la température ambiante dans un dessiccateur. Faire sécher jusqu'à masse constante à 40 C° ± 2 C°.



Figure 19 : un desiccator.



Figure 3 : des éprouvettes dans un four.

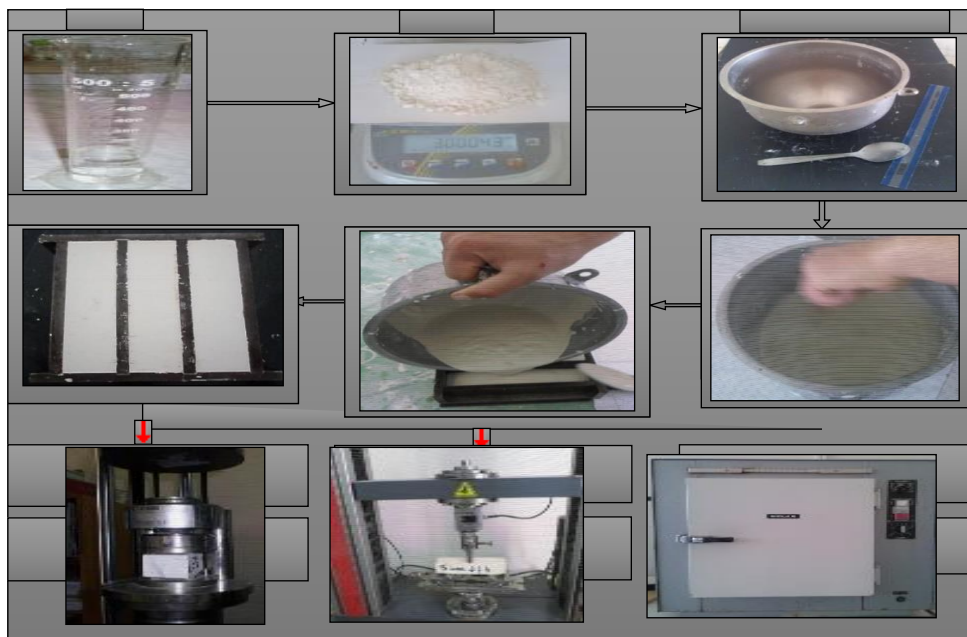


Figure 21 : Protocole de préparation des éprouvettes : 7 jours ; la réalisation des essais de flexion et de compression

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure 22.

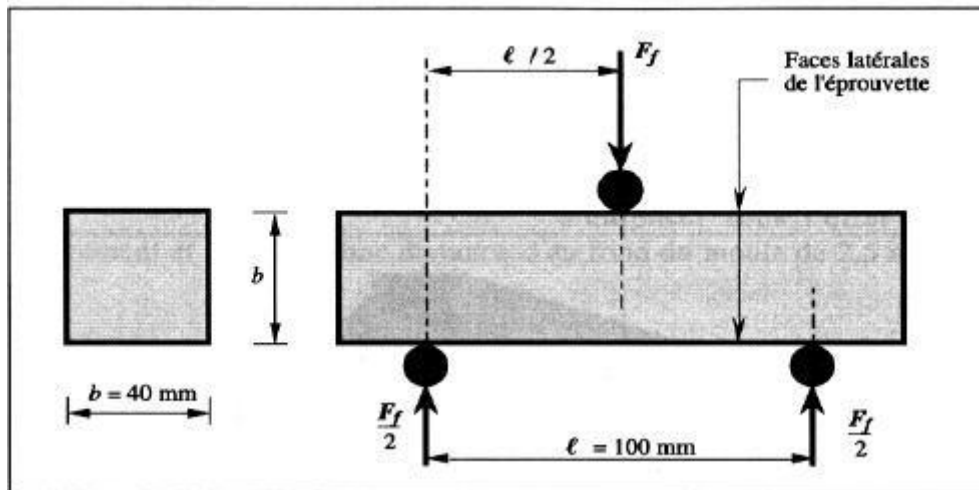


Figure 22 : Dispositif pour la rupture en flexion

Les essais sont effectués sur une machine de type Zwicky équipée d'un capteur de force de 10KN et piloté par le logiciel test expert 9.11

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure ci-dessous :

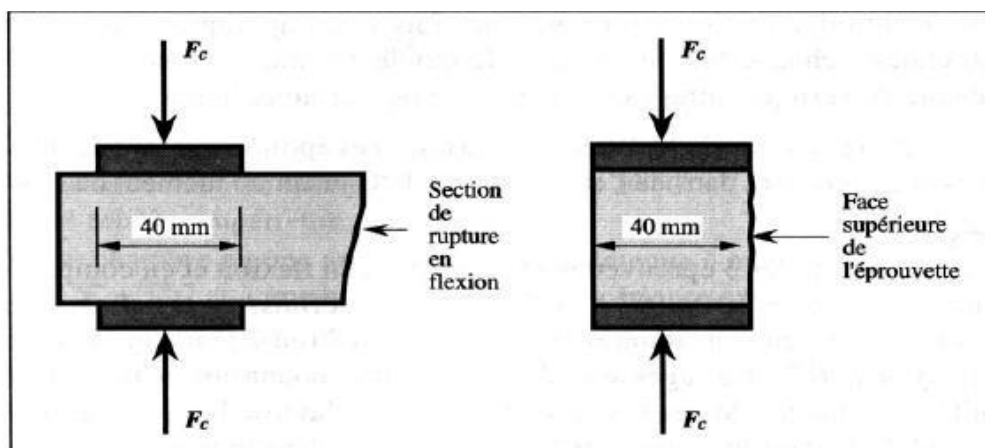


Figure 23 : Dispositif en rupture en compression

### II.3.Essai de rupture par flexion :

#### II.3.1.Appareillage :

##### II.3.1.1.Dispositif de flexion :

Pourvu de deux rouleaux d'appui de 10 mm de diamètre distants de  $100 \pm 1$  mm, et d'un rouleau de chargement de même diamètre.

Les trois plans verticaux passant par les axes des trois rouleaux doivent être parallèles. Pendant l'essai, un des rouleaux d'appuis et chargement doivent Pouvoir osciller légèrement par rapport à leur milieu dans leur plan vertical. Pour permettre une distribution uniforme de la charge sur la largeur de l'éprouvette prismatique. En évitant tout effort de torsion, ces plaques sont en acier dure elles sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai, de manière à avoir la même projection horizontale. L'une d'elles peut être inclinée légèrement pour permettre le contact parfait avec l'éprouvette.

##### II.3.1.2.Machines d'essai :

Dans laquelle le dispositif de flexion est adapté, permettant de mesurer de faibles charges avec une précision de 1% dans quatre cinquièmes supérieurs de l'échelle de mesurage (Figure 24).



Figure 24 : Machine d'essai flexion avant et après coupure.

##### II.3.1.3.Modes opératoires :

- Procéder à trois déterminations.
- Faire croître la charge P progressivement, de façon que la rupture se produise de 20 à 40s après le début de la mise en charge.

➤ Veiller à ce que les arêtes de l'éprouvette soient bien perpendiculaires aux rouleaux et à ce que le rouleau supérieur soit bien équidistant des rouleaux inférieurs et noter la charge maximale supportée par l'éprouvette.

#### II.3.1.4.Expression des résultats :

Le calcul de la résistance à la flexion  $P_F$  s'effectue à l'aide de la Formule :

$$P_F = 0,00234 \times P$$

Où

$P_F$  est la résistance à la flexion, en  $N/mm^2$ .

$P$  est la valeur moyenne de la charge de rupture, en N, d'au moins trois valeurs obtenus.

#### II.4.Essai de rupture par compression :

##### II.4.1.Appareillage :

##### II.4.1.1.Dispositif de compression :

Consistant en deux plaques en métal, d'au moins 10 mm et d'épaisseur de  $40 \pm 0,1$  mm de largeur et de longueur supérieure à 40 mm et de tolérance de planéité 0,1.

Surface de l'éprouvette et d'exercer perpendiculairement à celle-ci, sur la bille, un effort déterminé (Figure 25).

##### II.4.1.2.Machine d'essai :

Permettant, par sa construction et par ses possibilités de réglage, d'effectuer les essais avec une dispersion aussi faible que possible. Sa précision doit être de +1,5 % pour les charges les plus



Figure 25 : Machine d'essai de compression

faibles utilisées au carus, des essais, le plateau supérieur doit avoir une dimension au moins égale à la petite dimension des éprouvettes, et au plus égale à 100 mm

#### II.4.1.3. Modes opératoires :

Déterminer la résistance à la compression en appliquant une charge sur la partie brisée du prisme qui a été utilisé pour déterminer la résistance à la flexion.

Placer le dispositif de compression et l'éprouvette entre les plateaux de la telle manière :

- Que l'éprouvette soit comprimée par les ses faces latérales de moulage, sous une section de 40 mm×40 mm ;
- Que l'axe de la route du plateau supérieur passe par le centre des surfaces comprimées.
- Augmenter la charge à une vitesse telle que l'écrasement se produit entre 20 s 40 s après le début de mise en charge

#### II.4.1.4. Expression des résultats

La valeur moyenne des six résultats d'essai est calculée et exprimer en N/mm<sup>2</sup>. Le calcul de la résistance à la compression R<sub>C</sub> s'effectue à l'aide de la Formule :

$$R_C = \frac{F_C}{1600} \quad \text{Où}$$

F<sub>C</sub> est la charge maximale de rupture, en N ;

R<sub>C</sub> est la résistance à la compression, en N/mm<sup>2</sup> ;

1600 soit 40 mm× 40 mm, est la superficie des plaques, en mm<sup>2</sup>.

### II.5. Essai chimique :

#### II.5.1. Analyse par la fluorescence X

##### ➤ Principe

La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse chimique élémentaire utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X. Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X ; c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X.

Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition de l'échantillon, en analysant ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments. [17] Nous avons déterminé les teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, CaO<sub>1</sub>, SO<sub>3</sub> et Na<sub>2</sub>O

# Chapitre III :

## Résultats et discussions

### III.1.Introduction :

Le présent chapitre se consacre à la présentation des résultats obtenus au Laboratoire d'analyse de la société CETIM de Boumerdès, en ce qui concerne la caractérisation du plâtre médical contenu dans les bandes plâtrées fabriquées au niveau de l'entreprise SOCOTHYD de Boumerdès. Les résultats sont présentés suivant le même ordre du chapitre précédent pour faciliter l'accord de chaque essai avec ses résultats obtenus.

### III.2.Analyse par granulométrie :

Exprimer la masse du refus en pourcentage de la masse totale du plâtre médical qui est initialement 50g.

**Cas 1 :** Tamis de 200  $\mu\text{m}$ , la masse du refus en pourcentage de la masse totale de l'échantillon total égale 0% (Figure 26).

**Cas 2 :** Tamis de 100  $\mu\text{m}$ , la masse du refus en pourcentage de la masse totale de l'échantillon total égale 1,2 % car la masse du refus = 0,6 g tandis que la masse totale égale 50 g.

Le tamis le plus important est de 100  $\mu\text{m}$ .

Chaque type de plâtre étant caractérisé par des caractéristiques différentes qui

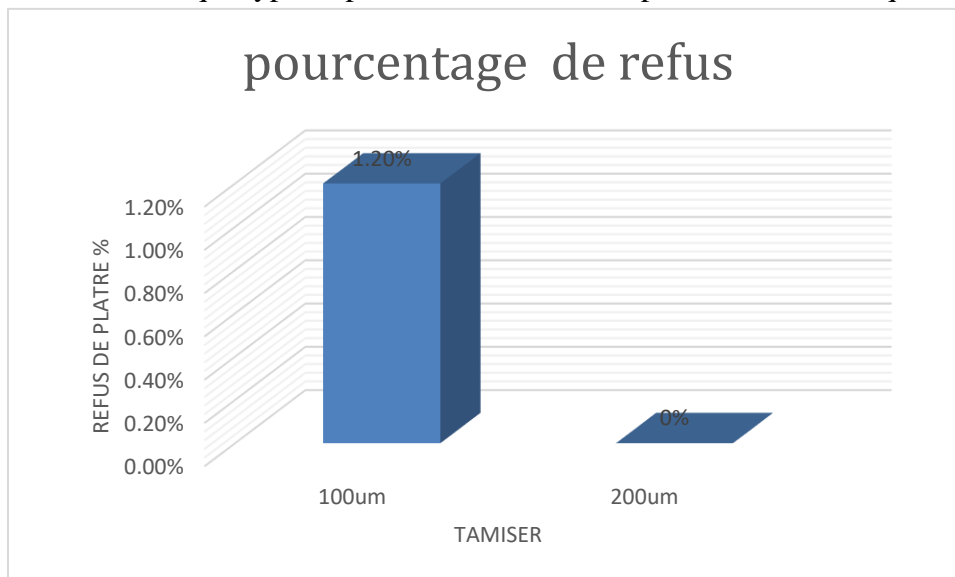


Figure 26 : Histogramme de pourcentage de refus du plâtre.

facilitent la méthode de travail ou minimisent le temps d'où le résultat de la granulométrie montre que dans ce travail le type des grains est très fin pour ce type de plâtre ce qui a donné un refus minimum pour 100  $\mu\text{m}$ .

### III.3.Caractérisation de la pâte de plâtre :

#### III.3.1.Détermination de la consistance normale (CN) :

La valeur de la consistance normale de plâtre est mentionnée dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats de la consistance normale du plâtre.

Type de plâtre	Nombre d'essais	Masse du plâtre (g)	Volume d'eau (ml)	Taux de gâchage E/P	CN (%)
Plâtre	1	145	100	<b>0.69</b>	69

Pour le calcul de la consistance normale on a pris le volume d'eau nécessaire pour que la pâte de plâtre soit normale ou bien ouvrable.

En général le gâchage du plâtre se fait avec un rapport Eau / plâtre (E/P) (0,3 – 0,5) pour l'hémi hydrate  $\alpha$  et un rapport (0,5–1,2) pour l'hémi hydrate  $\beta$ .

Comme le plâtre utilisé est un mélange des deux hémi hydrates  $\alpha$  et  $\beta$ , on constate que leurs taux de gâchage est égal à 0,69 pour le plâtre.

#### III.3.2.Mesure des temps de prise :

Les délais de prise du plâtre sont illustrés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des temps de début et de fin de prise du plâtre.

Type de plâtre	Nombre d'essais	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
Plâtre01	1	03 :50	04 :50

Le temps de prise est, le temps nécessaire pour mettre en œuvre de plâtre, le plâtre utilise dans notre recherche a un temps de prise court.

III.3.3. La masse volumique :  $\rho = \frac{350}{242} = 1,44 \text{ g/cm}^3$

III.4. Résultats des essais mécaniques :

III.4.1. La flexion :

La résistance à la flexion statique d'éprouvettes prismatiques de plâtre de dimension  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  est testée. Elle est préparée suivant le protocole donné précédemment. Les essais de flexion sont entrepris à 7 jours après le gâchage avec une vitesse de déplacement de traverse qui varie entre (0,5 et 0,7) mm/min afin d'avoir une durée de l'essai comprise entre (20 et 40 secondes). Les valeurs de la force et de déplacement de la traverse mobile sont enregistrées simultanément, les résultats sont présentés sous forme des graphes après traitement par Excel (Figures 27, 28).

❖ Flexion des éprouvettes à 7 jours :

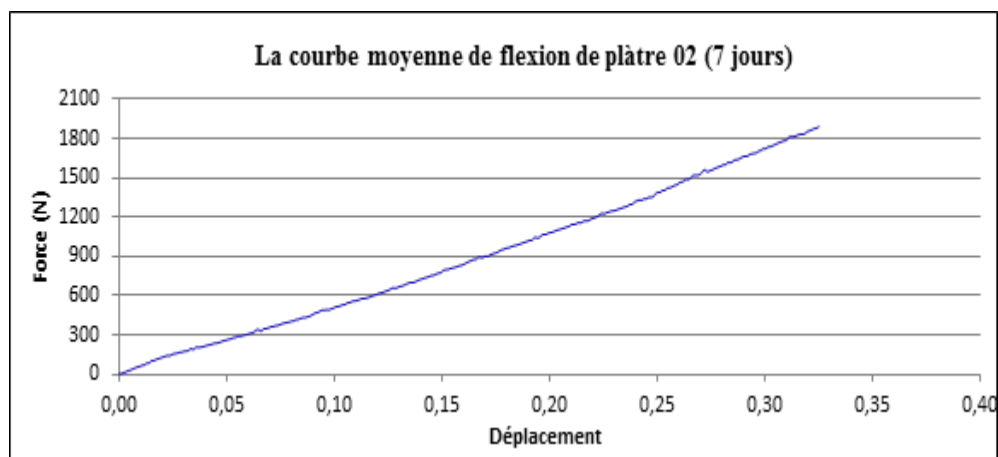


Figure 27 : Comportement en flexion de plâtre (7 jours)

a. La résistance de courbe :

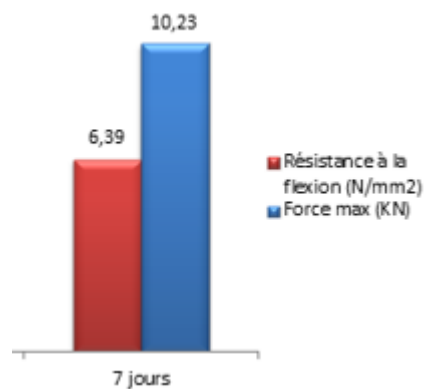


Figure 28 : Histogramme de la résistance de plâtre à la flexion.

NB : La force est en (KN), mais la résistance à la flexion est exprimée par ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ).

#### b. Interprétation des résultats :

L'allure de la courbe et l'histogramme de la résistance du plâtre à la flexion montre que le comportement du plâtre étudié est dur et fragile.

On remarque que la résistance du plâtre augmente au cours du temps, cela est expliqué par l'évaporation de l'eau résiduelle après gâchage avec l'utilisation d'un rapport E/P = 0,69 qui est dû à la formation des liaisons chimiques pour obtenir le gypse par réhydratation de l'hémi hydrate et cela assure la consolidation du gypse ainsi que l'augmentation de la résistance.

#### III.4.2. Résultats de la compression :

Les figures 29 et 30 montrent le comportement en compression du plâtre médical étudié.

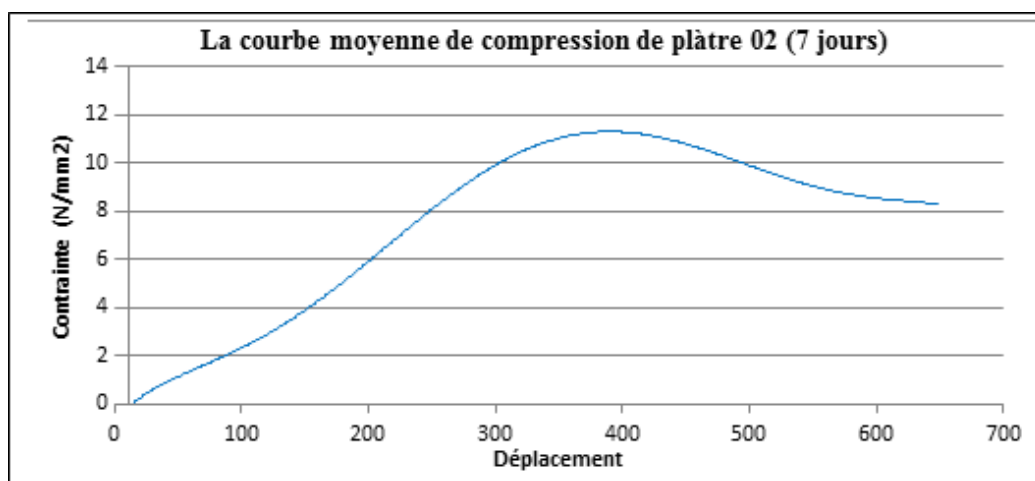


Figure 29 : comportement en compression du plâtre (7jours).

#### ❖ Compression des éprouvettes à 7 jours :

##### a. La résistance de courbe :

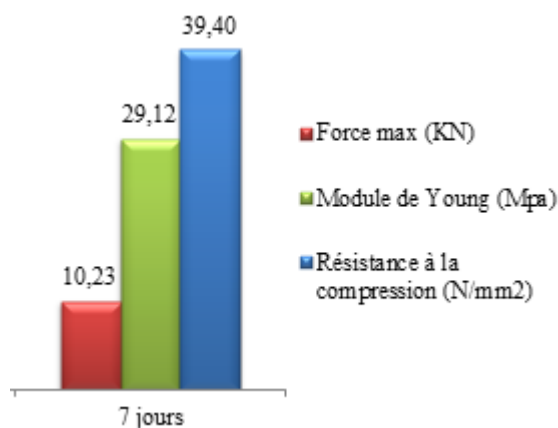


Figure 30 : Histogramme de la résistance du plâtre à la compression.

### b. Interprétation des résultats :

L'essai de compression illustré sur l'histogramme de la figure 30 montre que le plâtre a un comportement dur et fragile ainsi que la résistance du plâtre augmente avec le temps, cette augmentation s'explique par la formation des liaisons chimiques entre l'eau et l'hémi hydrate qui assure la cohésion du plâtre en formant le gypse, aussi les valeurs obtenues sont proches de celles de l'hémi hydrate ( $\alpha$ ) plus que celles de l'hémi hydrate ( $\beta$ ) ) alors on peut conclure que le plâtre est un mélange des deux types d'hémi hydrates avec une proportion de  $\alpha$  supérieur à  $\beta$ .

#### III.4.3. Analyse des résultats des essais mécaniques :

Le type de plâtre étudié possède un comportement mécanique qui est présenté sous forme des courbes qui se rassemblent où on a enregistré une rupture brutale qui confirme que le plâtre est fragile et dur.

#### III.5. Essai chimique :

##### III.5.1. Analyse par la fluorescence X :

La spectrométrie de fluorescence X est la méthode d'analyse chimique utilisée pour déduire la composition élémentaire du plâtre médical, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  et  $\text{TiO}_2$  (Tableau 5, Figure 31).

Tableau 5 : Composition chimique (% massiques) du plâtre médical.

N	Nom de l'échantillon (1-25)	Perte au feu (%)	Somme des conc. (%)	$\text{SiO}_2$ $\text{Si}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Al}_2$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_2$ (%)	$\text{CaO}$ $\text{Ca}_2$ (%)	$\text{MgO}$ $\text{Mg}_2$ (%)	$\text{SO}_3$ $\text{S}_2$ (%)	$\text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2$ (%)	$\text{Na}_2\text{O}$ $\text{Na}_2$ (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ $\text{P}_2$ (%)	$\text{TiO}_2$ $\text{Ti}_2$ (%)
1	PL-CHI	8.820 0	.100.000	1.04	0.23	0.01	40.3 0	0.57	48.3 8	0.35	0.27	0.02	0.01

A partir du dosage effectué pour le plâtre médical On remarque que le pourcentage de Cao et de SO<sub>3</sub> est d'ordre important atteignant les 88,68 % dans l'échantillon indiquant la présence d'une quantité essentielle de sulfate de calcium.

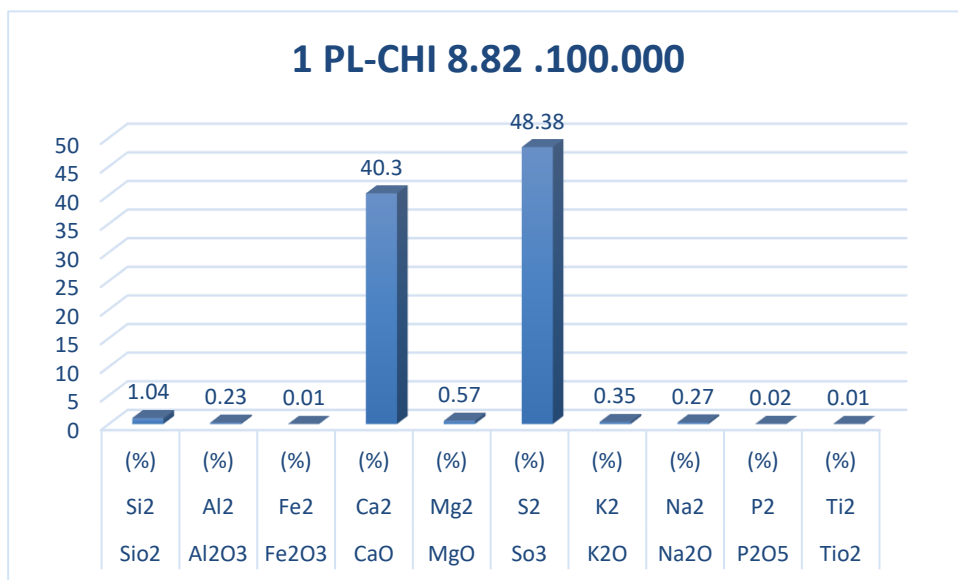
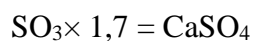


Figure 31 : Histogramme des constituants chimiques du plâtre médical.

### III.5.2. Calcule de la teneur équivalent en sulfate de calcium d'hydrate :

La teneur équivalent en sulfate de calcium d'hydrate se calcule en pourcent à partir de la formule



$$\text{Donc : } 48,38 \times 1,7 = 82,24\%$$

### III.5.3. Exigences relatives aux liants-plâtres :

La teneur en sulfate de calcium doit être au moins égale à 50%. Les propriétés des liants-plâtres doivent déterminer selon l'EN 13279-2

On peut conclure que ce type de gypse avec pourcentage 82,24% de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Il est de qualité supérieure.

## Conclusion générale

Le stage effectué au niveau de la Société CETIM nous a permis d'acquérir des connaissances dans le domaine de l'industrie et de comprendre l'importance des différents composants de la production du plâtre.

Ce travail vise à mettre en place des méthodes d'analyse permettant de caractériser le plâtre médical avec une série d'essais propres pour un matériau selon son comportement et son domaine d'utilisation.

Les résultats de la granulométrie montrent que la différence des grains est importante pour déterminer le type de plâtre, chaque type de plâtre étant caractérisé par des caractéristiques différentes qui facilitent la méthode de travail ou minimisent le temps.

La valeur obtenue pour la consistance normale des pâtes de plâtre est 69% qui est de valeur normale et optimale pour un mélange des deux types des hémihydrates  $\alpha$  et  $\beta$ .

La diminution de temps de prise pour la pâte à plâtre peut être effectuée par l'ajout de gypse broyé en faible quantité qui est considéré comme un accélérateur de prise.

Pour ce qui concerne les propriétés mécaniques du plâtre, les résultats montrent que le plâtre est fragile et dur. Le plâtre qui possède une bonne résistance à la flexion et à la compression.

L'ensemble des résultats obtenus durant notre étude sont conformes aux normes globales du produit ce qui explique la bonne qualité du plâtre médical étudié.

## Références Bibliographiques

- [1] G Burdairon: Abrégé de biomatériaux dentaires Masson édition, paris 1990 : p306
- [2] F Teaoka, J Takahashi: Dimensional changes and pressure of dental stones set in silicone rubber impressions. Dent Mater 2000 ; 16 :drite145-149
- [3] Sylvain MEILE (Ingénieur INSA) : ETUDE DE COMPORTEMENT MECANIQUE DE PLATRE PRIS EN RELATION AVEC SA MICROSTRUC
- [4] Céline Martias. Synthèse et caractérisation de matériaux composites à base de sulfate de calcium destinés à la protection incendie. Other. Université de Toulon et de Var, 2011. French. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-0076552> submitted on 4 jan
- [5] P. Marteau « Memento roches et minéraux industriels –Gypse et anhydrite-» rapport BRGM R37772, Orléans cedex 2- France, 06/1993
- [6] l'école polytechnique, 08/12/2006. HamoudaJaffel « Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du plâtre » Thèse de doctorat
- [7] Tetyana KURYATNYK « insensibilisation a l'eau des melangesa base de sulfate de calcium par ajout de clinker sulfo-alumineux » Thèse de doctorat, Ecole doctorale MEGA de Lyon, 05/10/2007, N0 de l'ordre 2007 ISAL-0063.
- [8] Céline Martias « Synthèse et caractérisation de matériaux composites à base de sulfate de calcium destinés à la protection incendie » thèse de doctorat, université du sud Toulon Var, 14/10/2011.
- [9] Frederic Charpentier, Michel Fontaine, Jean Fouin, VirgineStelmach « le plâtre matériau noble » Rapport de concours de la Diren –ile-de –France, 2000, N0 138
- [10] E. Karmazin, « Cinétique et mécanisme d'hydratation des sulfates de calcium semi hydratés – Etude par calorimétrie en régime isotherme », Thèse, INSA. Université de Lyon I, 1978
- [11] Par Daniel DALIGAND
- [12] D. Daligand, plâtre « techniques de l'ingénieur » Vol C910, 1-16
- [13] A. L. Lavoisier « Extrait de deux mémoires sur le gypse lus a l'académie royale des sciences » Mémoires de Lavoisier, [http : //www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765,pp.106-125](http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765,pp.106-125)
- [14] W. Michaelis, « the hardening process of hydraulic cements, cement & Engineering News
- [15] E. Karmazin, « Cinétique et mécanisme d'hydratation des sulfates de calcium semi hydratés – études par calorimétrie en régime isotherme »
- [16].NA 527 normes Algérienne « Plâtre, détermination de la finesse de mouture de produit en poudre » première édition -01/10/1992.Lafarge LSA SPA
- [17] : L'institut de Céramique Française : Philippe Orlice, Jean Pierre Mary, Vincent Tison, Thierry Poirier et Jean-Marie Gaillard. Le CFA Céramique Bourgogne : Philippe Dubois. LP
- [18]. A. ABREAL « Le gypse, plus qu'un minéral, un minerai »
- [19]. A. L. Lavoisier « Extrait de deux mémoires sur le gypse lus a l'académie royale des sciences » Mémoires de Lavoisier, [http : //www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765,pp.106-125](http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765,pp.106-125)

## Liste des figures

Figure 1 : Différents systèmes de cristallisation de gypse. ....	5
Figure 2 : Morphologie du cristal de gypse. ....	6
Figure 3 : Structure cristalline du gypse. ....	7
Figure 4 : solubilité des différentes phases du sulfate de calcium en fonction de la température. ...	9
Figure 5 : photo prise au MEB de forme d'hémi hydrate $\beta$ (5cm). ....	11
Figure 6 : photo prise au MEB de forme d'hémi hydrate $\alpha$ (5cm). ....	11
Figure 7 : Photo d'une gaze hydrophile. ....	22
Figure 8 : Plantes de cotonnier. ....	23
Figure 9 : Représentation schématique dun tissu toile. ....	24
Figure 10 : Tamis de contrôle ....	27
Figure 11 : Balance, précise à $\pm 0,1$ g. ....	27
Figure 12 :Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible. ....	29
Figure 13 :La mesure des temps de prise de la pâte de plâtre. ....	30
Figure 14 : appareillage de la méthode de couteau. ....	31
Figure 15 : Appareillage de temps de début de prise. ....	32
Figure 16 :Moule pour moulage des éprouvettes en plâtre. ....	33
Figure 17 :La table à secousses. ....	34
Figure 18 :Malaxeur a mortier ....	34
Figure 19 :des éprouvettes dans un four. ....	35
Figure 20 : un dessiccateur. ....	35
Figure 21 : Protocole de préparation des éprouvettes : 7 jours. ....	35
Figure 22 : Dispositif pour la rupture en flexion ....	36
Figure 23 :Dispositif en repture en compression ....	36
Figure 24 :Machine d'essai flexion avant et après coupure. ....	37
Figure 25 :Machine d'essai de compression ....	38
Figure 26 : Histogramme de pourcentage de refus du plâtre. ....	41
Figure 27 : Comportement en flexion de plâtre (7 jours) ....	43
Figure 28 : Histogramme de la résistance de plâtre à la flexion. ....	43
Figure 29 : comportement en compression du plâtre (7jours). ....	44
Figure 30 :Histogramme de la résistance du plâtre à la compression. ....	44
Figure 31 : Histogramme des constituants chimiques du plâtre médical. ....	46

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des semi-hydrates $\alpha$ et $\beta$ .....	12
Tableau 2 : Composition chimique de la fibre de coton .....	23
Tableau 3 :Résultats de la consistance normale du plâtre.....	42
Tableau 4 : Résultats des temps de début et de fin de prise du plâtre.....	42
Tableau 5 : Composition chimique (% massiques) du plâtre médical.....	45