

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Diplôme Master en Génie civil

Option : Structure

Thème :

Étude comparative de l'effet des noyaux d'olives et du verre trempé sur les propriétés physico-mécaniques du plâtre

Réalisé par :

-BRAKBI SARAH

-AITHADJI DINA

Encadre par :

Dr DJADOUF épse AREZKI SAMIA

Membre de jury :

Mr Tahakourt

Président

Mr Laichaoui

Examineur

2024/2025

Remerciements

Je tiens profondément à remercier tout d'abord ALLAH l'unique qui a permis à ce travail de voir la lumière. Je remercie infiniment mon encadrent pour son attention, ces conseille et ça précieuse aide.

(Dr : DJADOUF épse AREZKI SAMIA)

**Merci à M. Lillouch Samir, chef du département de
Génie Civil, pour ses conseils.**

**Un grand merci au technicien du laboratoire, M. Zoubiri
Djamel, ainsi qu'à Mme Saci pour leur disponibilité et leur
Compréhension au sein du laboratoire.**

**Nous remercions également tous les membres du jury qui ont
Accepté d'examiner notre travail.**

**Nous tenons aussi à remercier Tous mes enseignants de dp Génie Civil et
nous amis pour leur**

Soutien et leur encouragement tout au long de cette période.

Enfin, un grand merci à nous proches qui ont su nous soutenir,

Nous supporter, nous encourager pendant toute la durée de

Notre travail et plus particulièrement durant les derniers

Mois.

Merci infiniment.

Dédicaces

Mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont soutenu tout au long de ces longues années d'étude

Ma tante Nora

Mon cher frère Nordin et mes chère sœur Lamia et salsa et Leurs maris Salim et mouloud et leurs enfants (et mon Meilleur Ami et compagnie dans tout ma période universitaire (MADJI MEKSA): je vous remercie et je n'oublierai jamais votre soutien.

- Toute ma famille (brakbi et bouazza).

- MA binôme DIN ET SA MAMAN ainsi que

- Tous mes enseignants

- Mes chers amis, sans exception.

- Toute la promotion Génie Civil.

- Tous ceux qui ont contribué à ma réussite.

- Tous ceux qui sont dans mes pensées et que je n'ai pactés.

-Et enfin, je dédie ce mémoire à moi-même, en reconnaissance de mes efforts et de ma persévérance

BRAKBI SARAH

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à toutes celles et ceux qui ont marché à mes côtés, de près ou de loin, dans cette belle et exigeante aventure qu'est le parcours universitaire.

À mes parents, mes premiers repères. Merci pour votre amour inconditionnel, votre patience infinie et votre foi inébranlable en moi.

À mes sœurs, mes complices de cœur.

À mes copines, ces étoiles qui ont illuminé mes journées d'université. Merci pour les fous rires, les discussions profondes, et les souvenirs impérissables.

À ma binôme, mon alliée de combat, avec qui j'ai partagé doutes, espoirs, nerfs à vif et grandes victoires. Cette aventure n'aurait pas eu la même saveur sans toi.

À toute la promotion Génie Civil, avec qui j'ai bâti bien plus que des connaissances : des liens, des moments, une tranche de vie.

AITHADJI DINA

A blue scroll graphic with a dark blue border and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a darker blue shadow. The text is centered on the scroll.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction.....	3
I.2.Gypse	3
I.3.Plâtre	6
I.3.1.Fabrication du plâtre6
I.3.2. Les propriétés Physique de plâtre	8
I.3.3. Les propriétés chimiques	10
I.3.4.Les propriétés principales du plâtre	12
I.3.5.Types de plâtre et leur utilisation	13
<i>I.4. Présentation de L'olivier</i>	<i>14</i>
I.4.1.Répartition géographique	15
I.4.2.Caractéristiques physiques	16
I.4.3.Caractéristiques chimiques	17
I .4.4.Noyau d'olive	20
I .5.Historique du verre	20
I.5.1.Définition du verre.....	21
I.5.2.Composition du verre	22
I.5.3.Constituants d'un verre.....	23
I.5.4.Description de la molécule de silice	25
I.5.5.Les familles du verre	26

I.5.6. Les Types de verre	27
I.5.6.5.1. Le verre trempé.....	31
II.1. Introduction	35
II.2. Matériaux	35
II.2.1. Pâltre	35
II.2.2. Débris de noyaux d'olives.....	35
II.2.3. Le verre trempé	36
II.3. Masse volumique	37
II. 3.1. Masse volumique apparente	37
II.3.2. Masse volumique absolue	39
II .4.1. Analyse granulométrique par tamisage.....	41
II .4.2. Essai de début et de fin de prise	42
II.5. Caractéristique minéralogiques... ..	45
II .5.1. Méthode par diffraction aux rayons X (DRX).	45
II. 5.2. Analyse par spectrométrie infrarouge (IRTF).....	48
II. 5.3. Analyse chimique par spectrométrie de fluorescence (XRF).....	51
III.1. Introduction	53
III.2. Détermination du rapport E/P	53
III.3. Préparation des différentes éprouvettes	57
III.4. Caractéristiques physiques.....	58
III.4.1. Absorption d'eau, masse volumique apparente et porosité	59
III.4.1.1. Absorption d'eau	59
III.4.1.2. Laporosité	60
III.4.1.3. Masse volumique apparent capilire	60
III.4.2 Le retrait	61

III.4.3. Déterminationducoefficientl'absorptiond'eaupar capillarité.....	63
III.5. Caractéristiques mécaniques	65
III.5.1. Essai de résistance à la flexion	65
III.5.2. Essai Résistance à la compression.....	66
III.5.3. Auscultation sonique	68
III.6. Caractéristique thermique (mesure de la conductivité thermique	69
Conclusion	71
Conclusion générale	72
Références bibliographique	73

Liste des tableaux

Tableau I-1: Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate	12
Tableau I-2: Compositions chimiques des différents types de grignons	18
Tableau I-3 : Principaux constituants du verre	25
Tableau I- 4 : Familles du verre	26.
Tableau II-1 : Les résultats expérimentaux des masses volumiques de plâtre.....	38
Tableau II-2 : Les résultats expérimentaux des masses volumiques de verre.....	38
Tableau II-3 : Les résultats expérimentaux des masses volumiques le noyau d'olive	39
Tableau II-4 : Les résultats expérimentaux des masses volumiques absolue.....	40
Tableau II-5 : procéder ou mélange de plate ou malaxeur	43
Tableau II-6 : Résultats de la FRX de la poudre du verre trempé et du plâtre	52
Tableau III-1 : Détermination du rapport E/P (0%)... ..	53
Tableau III-2 : Détermination du rapport E/P (2%NO.....	54
Tableau III-3 : Détermination du rapport E/P (4%)	54
Tableau III-4 : Détermination du rapport E/P (6%)	55

Tableau III-5 : Détermination du rapport E/P (2% vt)	55
Tableau III-6 : Détermination du rapport E/P (4%).....	56
Tableau III-7 : Détermination du rapport E/P(6%)... ..	56
Tableau III-8 : Détermination du retrait linéaire... ..	62
Tableau III-9 : Détermination du retrait volumique.....	63

Liste des figures

Figure I-1:Roche de gypse	3
Figure I-1 :déférentes roches du gypse naturel	4
Figure I-3: Structure cristalline du gypse.....	5
Figure I-4: Extraction du gypse à ciel ouvert.....	6
Figure I-5: Concassage de gypse... ..	7
Figure I-6:Four cuisson du gypse	7
Figure I-8:Influence du rapport E/P sur la densité.....	10
Figure I-7:Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques	10
Figure I-9:Schéma déshydratation du gypse.....	11
Figure I-10 : Enduit de façade... ..	14
Figure I-11 : Les cloisons en plaques de plâtre.....	14
Figure I- 12: Arbre d'olivier.....	15
Figure I -13 : Carte oléicole d'Algérie.....	16
Figure I- 14 : Coupe schématique de fruit de l'olivier.....	17
Figure I- 15 : Structure de la cellulose... ..	19
Figure I.16 : La structure du quartz (a), silice vitreuse (b) et un verre à base de silice et sodium.....	22

Figure I-17 : Substitution de deux molécules SiO_2 par une molécule Al_2O_3 dans le verre de silicate (l'introduction de deux Al fait disparaître deux oxygènes non pontants).....	24
Figure I-18 : Représentation schématique d'un réseau cristallin de silice	25
Figure I-19 : Représentation schématique de la structure de verre de silice.....	26
Figure I-20 : Le verre plat.....	27
Figure I-21 : Transmission lumineuse du verre plat... ..	27
Figure I-22: Les fibres de verre	28
Figure I-23 : Le verre creux.....	29
Figure I-24 : Le verre à couches... ..	30
Figure I-25 : Fonctionnement optique du verre à couches	30
Figure I-26 : Verre trempé... ..	32
Figure I-27 : Illustration d'un verre feuilleté.....	33
Figure I-28 : Verre feuilleté décoratif.....	33
Figure I-29 : La performance Medilam de verre feuilleté... ..	34
Figure II.1: Plâtre utilisé (plâtre de Boudjellil).....	35
Figure II.2 : (a) Olivier, (b) Olives, (c) Débris de noyaux d'olives.....	36
Figure II.3: (a) Appareil coffee grinder (ASEIMT) , (b) Noyaux d'olives ,(c) Poudre de noyaux d'olives....	36
Figure II.4 : (a) Verre trempé, (b) Verre trempé après broyage	37
Figure II. 5: Outils pour l'essai de la masse volumique apparente.....	38
Figure II.6: Matériels de mesure de la masse volumique abs.....	40
Figure II.7 : La tamiseuse	41
Figure II.8 : Courbe granulométrique du VT.....	42
Figure II.9 : Courbe granulométrique de la poudre du NO.....	42

Figure II.10 : Appareil de Vicat.....	44
Figure II.11 : Début et fin de prise	45
Figure II.12 : Appareil DRX (Bejaia)....	46
Figure II.13: Les échantillons mis dans l'appareil.....	46
Figure II.14: DRX déplâtre.....	47
Figure II.15 : DRX du NO.....	47
Figure II.16 : DRX du VT... ..	49
Figure II-17 : Préparation de l'échantillon+ sel purifié KBr	49
Figure II-18 : Compactage de la pastille	49
Figure II-19 : Les pastilles obtenues.....	49
Figure II-20 : Appareil (IR)	49
Figure II.21: Spectre infrarouge (IRTF) du plâtre	50
Figure II.22: Spectre infrarouge (IRT.....	50
Figure II.23: Spectre infrarouge (IRTF) du VT.....	51
Figure II :24: Appareil FRX CRPC Bejaia.....	52
Figure III.1: Étalement du plâtre à différents rapport E/P(0%).....	54
Figure III.2 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P(2% NGO).....	54
Figure III.3 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (4% NGO).....	55
Figure III.4 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (6% NGO).....	55
Figure III.5 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (2% VT).....	56
Figure III.6 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (4% VT.....	56
Figure III.7 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P(6%VT)... ..	57
Figure III.8 : Confection des éprouvettes et démoulage.....	57
Figure III.9: Dispositif de la pesée hydrostatique.....	59
Figure III .10 : Évolution de l'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajout	59

Figure III .11 : Évolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout.....	60
Figure III .12: Évolution de la masse volumique en fonction du pourcentage d'ajout... ..	61
Figure III.13: Pied coulisse.....	62
Figure III.14 : Essai du coefficient d'absorption d'eau.....	64
Figure III .15 : Évolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajout.....	64
Figure III .16: Essai de traction par flexion.....	65
Figure III.17 : Résistance à la flexion en fonction des pourcentages d'ajout.....	66
Figure III.18 : Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression.....	67
Figure III.19 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout.....	67
Figure III.20: Dispositif de mesure d'ultrason... ..	68
Figure III.21: Essai de mesure d'ultrason sur une éprouvette de plâtre.....	69
Figure III.22 : Résistance ue en fonction des pourcentages d'ajout	69
Figure III .23 : CT-mètre... ..	70
Figure III. 24 : Conductivité thermique en fonction du pourcentage d'ajout.. ..	70

Résumé :

Cette Recherche porte sur l'étude de l'impact de l'ajout de différents types de déchets (organiques, industriels ou de construction) sur le plâtre afin d'améliorer ou modifier ses propriétés. L'objectif est double : valoriser des déchets en les recyclant et améliorer les performances environnementales et mécaniques des matériaux de construction. L'évaluation comprend l'analyse des caractéristiques physico-mécaniques (résistance à la compression, dureté, densité, porosité) ainsi que de la durabilité (résistance à l'humidité, au vieillissement, à la dégradation chimique). Les résultats permettent de déterminer si ces matériaux composites peuvent être utilisés dans le secteur du bâtiment tout en respectant les normes de performance et de durabilité.

Mot clés : plâtre, noyaux d'olives, verre trempé , ajout, propriétés physico-mécaniques ,caractérisation thermique ,caractérisation physique et mécanique .

Abstract :

This research focuses on studying the impact of adding different types of waste materials (organic, industrial, or construction waste) to plaster in order to improve or modify its properties. The objective is twofold: to valorize waste through recycling and to enhance the environmental and mechanical performance of construction materials. The evaluation includes the analysis of physico-mechanical properties (compressive strength, hardness, density, porosity) as well as durability (resistance to moisture, aging, and chemical degradation). The results help determine whether these composite materials can be used in the construction sector while meeting performance and durability standards.

Keywords: plaster, olive pits, tempered glass, additive, physico-mechanical properties, thermal characterization, physical and mechanical characterization.

A blue scroll graphic with a dark blue border and rounded corners. The scroll is unrolled, showing the title text. The left edge has a vertical strip, and the top and bottom edges have small circular details suggesting the scroll's binding.

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, l'univers a pris conscience de la grande valeur de l'énergie et de l'intérêt à changer quelques technologies existantes par l'urgence d'optimiser la consommation de l'énergie. Parmi les secteurs d'activité touchés, on cite le secteur du bâtiment. D'autres préoccupations dans ce secteur sont désormais indispensables afin qu'il s'inscrive au mieux dans le cadre d'un développement durable. Il ne suffit pas de se contenter à limiter la consommation d'énergie de l'édifice bâti dans un souci de l'environnement mais à vérifier certains principes supplémentaires, accrédités aux matériaux de construction comme :

- l'utilisation de sous-produits agricoles dans leur composition
- la minimisation de l'énergie nécessaire à leur fabrication
- utilisation de ressources locales
- leur recyclage en fin de vie
- l'utilisation de matériaux biodégradables

Les matériaux de construction sont considérés comme étant un domaine très vaste sur lequel la recherche s'est toujours intéressée à les développer encore plus. Des matériaux traditionnels tels que le plâtre est visé dans cette recherche essayant d'améliorer ses performances vis-à-vis de l'eau et de surcroît améliorer sa durabilité.

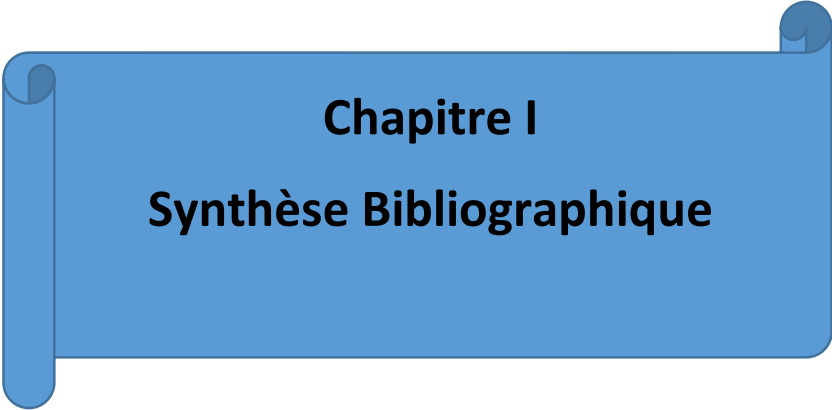
Le plâtre est très connu dans le domaine de construction de bâtiments, mais malgré l'existence d'énormes gisements de gypse comme matière première pour la production du plâtre dans de nombreuses régions du monde, son utilisation reste limitée. En effet, ce matériau est encore utilisé sous sa forme traditionnelle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

Réputé matériau ubiquitaire, le plâtre est apprécié pour sa mise en œuvre aisée, sa résistance au feu et ses aptitudes isolantes. Toutefois, ses propriétés peuvent être bonifiées par l'incorporation de ressources renouvelables ou recyclées. D'un côté, le grignon d'olive, un résidu solide de l'extraction de l'huile, avec sa structure poreuse et légère, permet d'alléger les mortiers tout en améliorant l'isolation thermique. Et d'un autre côté, le verre trempé recyclé,

sous forme de grains fins ou de poudre, peut renforcer la résistance mécanique et contribuer à réduire la densité globale du mélange.

L'étude propose d'évaluer l'impact de ces deux incorporations sur les propriétés physique et mécanique du plâtre, avec pour objectif de formuler un mortier plus durable, plus léger et potentiellement plus performant. Elle s'inscrit dans une logique d'économie circulaire en donnant une seconde vie à des déchets valorisables, tout en respectant les exigences techniques du secteur de la construction.

Ce mémoire se divise en trois grandes sections. La première propose une revue des connaissances actuelles sur les matériaux étudiés et leur application dans le secteur du bâtiment. La seconde partie détaille les matériaux choisis, les proportions adoptées ainsi que les protocoles expérimentaux mis en œuvre. Enfin, la troisième partie présente les résultats obtenus, leur analyse critique, et les pistes d'amélioration envisagées. La conclusion offrira une synthèse des principaux apports de cette recherche.

A blue horizontal scroll graphic with rounded ends and a slight 3D effect, containing the chapter title.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I.1. Introduction

Le plâtre est l'un des matériaux de construction les plus anciens utilisés par l'homme, les premiers signes de son utilisation remontant à environ 9 000 ans sous la forme de fresques de support (fouilles en Anatolie). La basse température requise pour produire la poudre de plâtre et l'abondance de gypse naturel dans la nature expliquent cette époque d'utilisation. Pour Pline, c'est Lysistrate de Sicyone, frère du sculpteur Lysippe qui produisit le premier moulage en plâtre sur nature à partir duquel il réalisa un tirage en cire. Si la tradition des masques funéraires moulés se retrouve aux périodes hellénistique et romaine, ce fut toujours en Égypte que la production de plâtre fut la plus importante (reliefs, médaillons, attaches d'anses, pieds de vase, plats). Actuellement, le plâtre est utilisé soit directement pour la peinture, soit pour des éléments préfabriqués, dalles ou planches (une couche de gypse entre deux cartons). C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation intérieure en raison de ses propriétés thermiques et acoustiques et de sa résistance au feu. La conductivité thermique des enduits de plâtre est d'environ $0,26 \text{ W.m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, tandis que 1,15 pour le ciment et 50 pour l'acier [1].

I.2. Gypse

Le gypse (**Figure I.1**) est un sulfate de calcium di-hydraté de formule chimique ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Il est considéré comme le matériau de base de la fabrication industrielle des plâtres.



Figure I-1: Roche de gypse [3].

Il existe deux grandes catégories de gypse, les gypses naturels et les gypses synthétiques :

a) Gypse naturel

Le gypse est une roche sédimentaire déposée en strates plus ou moins horizontales à l'échelle d'un bassin sédimentaire (**Figure I.2**). C'est un sulfate de calcium di-hydraté contrairement à l'anhydrite qui est un sulfate de calcium ne contenant aucune molécule d'eau (il est anhydre). On obtient du plâtre par déshydratation partielle du gypse.

Le gypse et l'anhydrite se forment par évaporation de l'eau de mer sous un climat chaud et sous une faible tranche d'eau, dans des conditions comparables à celles d'un marais salant. Dans la séquence évaporitique, se déposent en premier lieu les carbonates (*aragonite*, *calcite*, *dolomite*), puis les sulfates (gypse d'abord puis anhydrite) et enfin les chlorures (Halite NaCl puis Sylvite KCl). Lorsque la concentration en sulfates de calcium dans l'eau de mer est trop élevée pour rester en solution, il y a précipitation de petits cristaux de gypse. C'est l'agglomération de ces petits cristaux lors de l'empilement des autres séquences sédimentaires qui conduira à la formation de la roche gypse. On parlera alors de couches de gypse ou encore de masses. Ces couches de gypse, se trouvent alors enfouies. Elles sont mises à jour soit naturellement par l'érosion, soit par des exploitations à ciel ouvert ou souterraines [3].



(a) Rose des sables

(b) Albâtre

(c) Sélénite

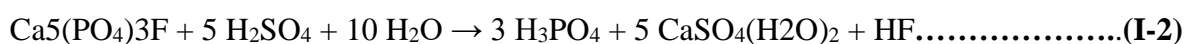
Figure I-2: Différentes roches du gypse naturel [3].

b) Gypse de synthèse

Le Gypse de synthèse est le produit essentiel d'une réaction chimique industrielle. Sa production est limitée à cause des impuretés ainsi que pour des raisons techniques et économiques. En effet, pour l'élimination de ces derniers produits au cours de ce type nécessite des traitements chimiques coûteux.

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, etc...)



- La fabrication de l'oxyde de titane (TiO_2) : conduit également à une production de gypse appelé titan gypse.
- La désulfuration des gaz et fumées : l'oxydation de l'anhydride sulfureux SO_2 (anhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux.

c) Structure cristalline de gypse naturel

Les éléments qui composent la structure du gypse sont les suivants : les ions SO_4 forment un tétraèdre avec le soufre au centre et l'oxygène au sommet ; des atomes de calcium, chacun lié à huit atomes d'oxygène, dont deux sont des molécules d'eau, chaque atome d'oxygène étant lié à deux atomes d'oxygène de différents tétraèdres SO_4 sont reliés à un atome de calcium. Le gypse a une structure empilée de couches parallèles dans laquelle une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium alternent. Chaque couche de sulfate est constituée de chaînes $\text{Ca-SO}_4\text{-Ca-SO}_4$. Chaque molécule d'eau a deux types de liaisons avec la couche de sulfate : d'une part elle se lie à ses propres flocons, et d'autre part elle se lie faiblement aux flocons adjacents. 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 [4].

À l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium comme il est présenté dans la (**Figure I-3**) [4]. En effet la structure de gypse présentée 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.

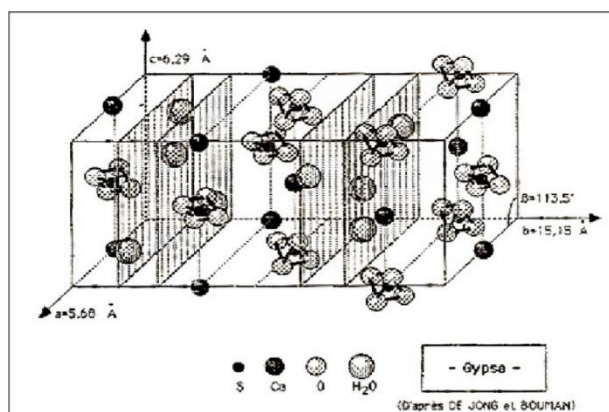


Figure I-3: Structure cristalline du gypse [5].

I.3. Plâtre

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

- L'anhydrite, ou sulfate de calcium anhydre, assez rare, qui répond à la formule chimique CaSO_4 .
- Le gypse, ou sulfate de calcium à deux molécules d'eau, di hydraté, très abondant, qui répond à la formule chimique $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$.

Le mot plâtre désigne à la fois le matériau de structure solide (plâtre pris) et la poudre qui permet de l'obtenir. Cette poudre (sulfate de calcium hémi hydraté, $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$) s'obtient en déshydratant du gypse, selon la réaction [I.1].



I.3.1. Fabrication du plâtre

a) L'extraction de la matière première

Le gypse, un minéral essentiellement composé de sulfate de calcium hydraté. Il peut être extrait à ciel ouvert (**Figure I.4**) ou en carrière souterraine. Dans le cas de l'usine COLPA, c'est la carrière de (Manhargypse) qui fournit le gypse, très réputé pour sa pureté, sa blancheur et sa régularité de teneur en humidité, qualités indispensables à la production des plâtres de spécialité.

**Figure I-4: Extraction du gypse à ciel ouvert [6].**

b) Le concassage et le calibrage

Le concassage (**Figure I-5**) a pour but de réduire le gypse extrait de la carrière en produits plus fin. Généralement, après un concassage, il ne subsiste plus de blocs dont la dimension est supérieure à 100 mm. Ce gypse devient donc transportable sur des bandes par exemple, et peut

être envoyé en usine pour le traitement ultérieur. De très nombreux types de concasseurs existent sur le marché et peuvent traiter jusqu'à (1 200 à 1 300 t/h) [6].



Figure I-5: Concassage de gypse [6].

c) La cuisson

Elle permet d'obtenir, par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre (**Figure I-6**). La déshydratation du gypse est la base de la fabrication des plâtres. Il est connu que suivant les conditions dans lesquelles s'opèrent cette déshydratation, les caractéristiques des plâtres obtenus seront différentes. La déshydratation des gypses est donc en fonction de la température, de la durée de cuisson, de la nature du gypse, de la granulométrie mais également d'autres paramètres comme la pression de vapeur d'eau.



Figure I-6: Four cuisson du gypse [7].

On distingue deux principes de cuisson selon les conditions de pression et de vapeur d'eau imposées:

➤ La Cuisson par voie sèche β (plâtre Bêta)

La plus utilisée, car moins coûteuse, est réalisée à la pression atmosphérique ou sous une faible pression partielle de vapeur d'eau. Vers des températures de 140 à 170 °C, l'eau du gypse s'élimine à l'état de vapeur sèche et donne un solide microporeux constitué

d'un assemblage de microcristaux, c'est l'hemi hydrate β , il nécessite un taux de gâchage $\frac{E}{P} < 0,6$. Il s'agit du composé principal de plâtres courants utilisés en tant que matériau de construction. Par chauffage vers 400 à 600 °C on obtient de l'anhydrite II, (CaSO₄) [8].

➤ **La Cuisson par voie humide α (plâtre Alpha)**

Qui s'effectue sous pression saturante de vapeur d'eau dans des autoclaves sous 2 à 7 bars pendant quelques heures. Le produit obtenu est l'hemihydrate α , il nécessite un taux de gâchage faible $E/P = 0,4$ et donne des plâtres dits "durs" ayant de très bonnes résistances mécaniques.

d) Le broyage

Le plâtre est réduit en particules de 200 μm grâce à un système de marteaux en rotation à l'intérieur d'un tamis (garantie d'une granulométrie maximale).

e) Le conditionnement et la logistique

L'usine dispose de plusieurs silos repartis sur différents postes de chargement en vrac qui permettent une logistique en flux tendu.

f) Le contrôle et la validation des produits

En amont (à l'extraction) l'état et la pureté du gypse font l'objet de contrôles périodiques des échantillons de gypse comme un long processus au niveau du laboratoire. Par exemple il faut vérifier la pureté, le temps de prise et la granulométrie de produits, ou encore qu'il soit facile à utiliser. Ces contrôles permettent la validation définitive des produits finis ainsi que le pilotage des paramètres de conduite de cuisson, de broyage et de mélange. Ils sont garants de la qualité des plâtres mis en vente [9].

I.3.2. Les propriétés physique du plâtre

a) Prise :

Les produits résultant de la déshydratation thermique du gypse ont la propriété, lorsqu'ils se trouvent au contact de l'eau, de retrouver leur degré d'hydratation initial et de reconstituer le gypse. Ce phénomène s'appelle la prise du plâtre. Plusieurs mécanismes ont été envisagés pour décrire ce processus qui se déroule en trois étapes successives [10].

- Reprise de l'eau pour reformer le di hydrate ;
- Cristallisation (qui constitue la prise proprement dite) ;

○ Durcissement.

La réaction de prise : $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \dots \dots \dots (\text{I-4})$

La réaction de cuisson : $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2 \text{H}_2\text{O} \dots \dots \dots (\text{I-5})$

b) Les phases de durcissement

- Dissolution des produits du semi-hydrate de Ca.
- L'hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate de Ca.
- La cristallisation de l'hydrate [10].

c) Facteur influençant la prise et le durcissement

Les temps de prise et le durcissement sont fonction de la nature du plâtre (présence de semi hydrate) et des facteurs suivants :

- Eventement (altération due à l'humidité) : prise autant plus rapide que le plâtre et plus frais.
- Quantité d'eau de gâchage : plus cette quantité et faible plus la prise et rapide.
- Température d'eau : l'eau chaude retarde la prise.

d) Adjuvants

- **Accélérateur de prise** : $(\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O})$ en faible quantité ; chlorure de sodium ; sulfate de potasse et alumine
- **Retardateur de prise** : phosphore ; gélatine ; colle ; chaux ; produit résultant de la dégradation de protéine animal.

e) Variation de volume

Après le gâchage, le plâtre augmente de volume, puis après plusieurs jours ou plusieurs semaines, on observe un léger retrait par rapport au gonflement initial. Ce retrait par séchage est d'autant plus important que l'atmosphère est plus sèche

f) Densité

La densité dépend à la variation de deux facteurs : la finesse de plâtre et le rapport de E/P

g) Influence de facteur E/P sur les propriétés physiques et mécaniques

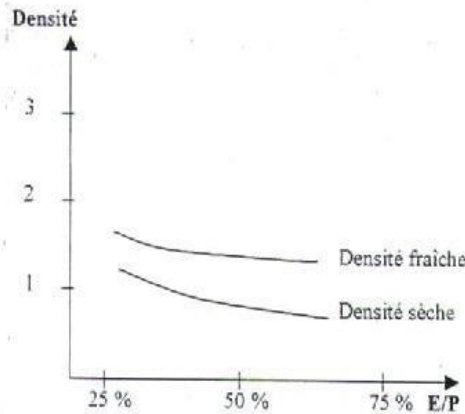


Figure I-7: Influence du rapport E/P sur la densité [10].

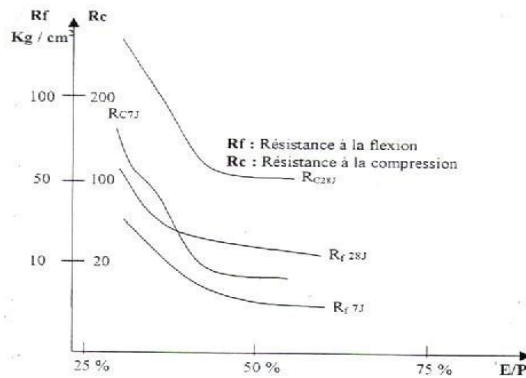


Figure I-8: Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques [10].

On remarque que le rapport E/P influe directement sur les propriétés de produit résultant où lorsque le rapport E/P élevé provoque une porosité élevée (**Figure I-8**). Le matériau devient moins dense d'où une chute sur les résistances mécaniques (**Figure I-7**). Selon les recommandations du C.N.E.R.I.B pour l'obtention d'une meilleure ouvrabilité et une résistance satisfaisante, recommandent l'utilisation d'un rapport E/P= 0,6 [11].

I.3.3. Les propriétés chimiques

a) Anhydrites

L'anhydrite naturelle de formule chimique CaSO_4 se rencontre dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gîtes 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 [4].

b) Définition de semi-hydrates

Les semi-hydrates (ou les demi-hydrates) sont obtenus au début de l'opération de déshydratation du gypse. La teneur en eau varie de 0,15 à 0,66 %.

La température selon la réaction suivante varie entre 50 °C à 160 °C



On trouve deux types des semi-hydrates α et β [12].

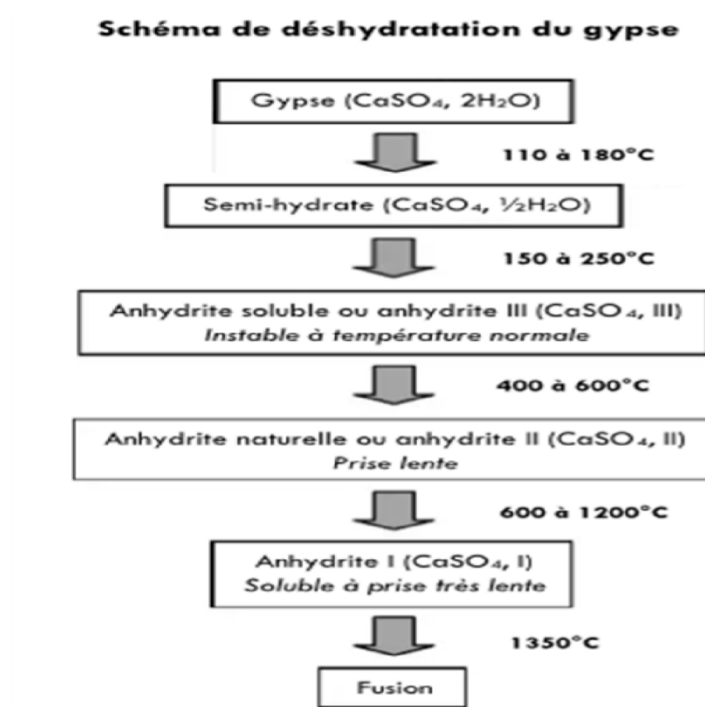


Figure I-9:Schéma déshydratation du gypse [13].

○ Les semi-hydrates α

Les semi- hydrates α sont compacts et ils ont une forme cristalline. Leurs solubilités dans l'eau est inférieure à celle du composé β . Leurs contacts avec l'eau donnent un mélange fluide. C'est un constituant de très haute qualité, utilisé en particulier, comme plâtre dentaire. Ils possèdent une grande résistance mécanique. Leurs temps de prise est inférieur à celle des semi hydrate β [14].

○ Les semi-hydrates β

Ils sont floconneux et ils présentent des fissures écailleuses. Leurs solubilités dans l'eau est supérieure à celle des composés α . La combinaison avec de l'eau donne un mélange plus épais. Ils nécessitent une grande quantité d'eau pour le gâchage. Leurs temps de prise est plus long. Ils possèdent une faible résistance mécanique (10 fois moins que les semi hydrate α). Ils sont considérés comme des constituants essentiels de plâtre préfabriqué [15].

Tableau I-1: Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate [15].

Propriétés	Semi-hydrate α	Semi-hydrate β
Masse volumique (kg/m ³)	2,76. 10 ³	2,63. 10 ³
Temps de prise (min)	15 à 20	25 à 35
Expansion (mm/m)	2,8	1,6
Résistance à la traction (MPa)	6,5	1,3
Résistance à la compression (MPa)	56	5,6
Solubilité dans l'eau à 20 °C (en g de CaSO ₄ pour 100 cm ³)	0,63	0,74

I.3.4. Les propriétés principales du plâtre

a) Régulation de l'hygrométrie

Par sa porosité, le plâtre absorbe l'humidité ambiante, mais il la restitue lorsque l'atmosphère devient plus sèche[15].

b) Isolation et absorption acoustique

Insonorisation des locaux : par sa masse, par colmatage des fissures du gros œuvre [16].

c) Isolation thermique

Car le plâtre a une faible conductivité thermique, de 0,4 à 0,6 W.m-1.°C, c'est à dire qu'il transmet mal la chaleur[16].

d) Protection contre l'incendie

Lors d'un incendie, le plâtre absorbe une grande quantité d'énergie calorifique car le phénomène de déshydratation est le même que lors de la cuisson du gypse. La protection est obtenue par des ouvrages entièrement en plâtre associé à de la vermiculite, ou de l'argile expansée etc [16].

e) Adhérence aux matériaux

En général très bonne sur tous les matériaux [16].

I.3.5. Types de plâtre et leur utilisation

Les principaux types de plâtre du marché et leurs utilisations les plus courantes, bien que non exhaustives, reposent sur les différentes variétés suivantes :

- Gypse grossier à grosse granulométrie. Le taux de rejet pour un tamis de 800 μ peut être compris entre 5 % et 20 %. Ils peuvent être utilisés seuls ou additionnés de sable ou d'un mélange de sable et de chaux, en principe pour la première couche d'enduit, la finition des murs et des plafonds, le remplissage épais pour l'étanchéité, etc.
- Pour le plâtre fin à peindre, le taux de tamisage du tamis de 800 μ est inférieur à 1 %, et le taux de tamisage du tamis de 200 μ est d'environ 25 %. Il en existe plusieurs types, soit bruts, soit à très haute dureté (T.H.D) ou allégés à la perlite. Ces enduits se détériorent généralement à un rapport **E/P** proche de l'unité. Ils peuvent être appliqués manuellement ou par pulvérisation mécanique [17].

a. Plâtre de construction

On distingue les plâtres gros ou fins. Ils sont utilisés :

- Pour l'assemblage des briques plâtrières ;
- Pour le lissage des revêtements ;

b. Plâtre à projeter

Destinés à la réalisation de tous les enduits intérieurs à la main ou la machine, il s'agit de plâtres fins et durs. On trouve des plâtres pour enduits spéciaux de très haute dureté (pour locaux très sollicités : cages d'escalier, couloirs).

c. Plâtre à modeler

Particulièrement fins, le plâtre à modeler sert à la réalisation de décors, de réparations de corniche, etc. Il est possible de l'utiliser par exemple, pour refaire l'angle sortant ébréché d'un mur. On se sert aussi de plâtre à modeler dans les activités manuelles, pour le moulage de figurines ou de décors variés.

d. Plâtre à prise retardée

Certains plâtres sont dits “à prise retardée”, l’addition d’un adjuvant permettant d’obtenir un début de prise de l’ordre de 8 à 15 minutes et une fin de prise de 15 à 45 minutes, voire 1 heure. Ces produits peuvent être utilisés pour les réparations délicates qui demandent du temps ou pour des travaux de scellement exigeant un éventuel repositionnement des éléments à fixer pendant une certaine durée. Ils sont pratiques pour l’amateur qui manque d’expérience.

e. Plâtre de surfacage

Il s’agit d’un plâtre très fin additionné d’adjuvants, que l’on applique en couche très mince après projection d’un plâtre pour enduit, pour corriger les petits défauts de surface avant la finition (**Figure I11**) [18].

f. Plâtre de Paris

Sûrement le produit le plus utilisé par les professionnels de la construction, car il est très fin et sert aussi bien dans la réparation, la couverture et le moulage décoratif.



Figure I-10 : Enduit de façade [19].



Figure I-11 : Les cloisons en plaques de plâtre [20].

I.4. Présentation de l'olivier

L'olivier est un arbre vigoureux qui peut atteindre non taillé 10 à 15 m de hauteur (Figure I.12). Des branches tortueuses aux nombreux rameaux arrondis à feuilles oblongues, lancéolées. Fleurit entre mai et juillet donnant des fruits gros, à formes variées. Sa très longue culture le rendit plus adapté, et fertile, mais en revanche, il devient sensible au froid ou à la

chaleur. L'olivier est cultivé pour son fruit, consommé frais ou sous forme d'huile après pressage. C'est une angiosperme dicotylédone arbustive, le genre *Olea* est composé d'une trentaine d'espèces, dont seul l'olivier a des fruits comestibles [21].

Une multitude de variétés très fortement adaptées à divers milieux sont multipliées et cultivées dans différentes régions d'Algérie comme la Rougette de Mitidja, ou encore la Ronde de Miliana. De par sa pérennité et sa très grande rusticité, l'olivier se prête assez bien à une récolte des fruits sans beaucoup de soins préalables.

L'olivier est toujours vert, ses dimensions et ses formes varient avec les conditions climatiques, l'exposition, la fertilité du sol et les variétés, mais si on le laisse végéter seul il prend couramment une forme pyramidale, peut atteindre 12 à 15 mètre de hauteur et son tronc se maintient le plus souvent élancé de bas en haut.

L'olivier, comme la plupart des plantes naturalisées dans le bassin méditerranéen, est originaire de la région caucasienne où sa culture commença il y a 6 000 ou 7 000 ans, puis il se diffusa sur les côtes de la Syrie, de la Palestine et en Egypte. Les Grecs participèrent à l'extension de l'aire oléicole avec leurs colonies d'Emilie et de Provence, les Romains permettaient ensuite une grande extension des oliveraies et un essor des échanges d'huiles d'olive [21].



Figure I- 12: Arbre d'olivier

I.4.1. Répartition géographique

I.4.1.1. En Algérie

La superficie oléicole de l'Algérie est de 383 443 hectares (ha) avec 50 369 990 oliviers dont 44 664 333 oliviers et 5 705 657 oliviers isolés. Le nombre d'oliviers en production est

de 30 527 175, soit 61% du nombre total d'oliviers plantés en Algérie [25]. L'oliveraie Nationale occupe 4,54% de la superficie agricole occupée (8 465 040 ha). La culture de l'olivier est concentrée dans la région centrale avec 160 515 ha, suivie de la région orientale avec 132 439 ha et de la région occidentale avec 73 032 ha, représentant respectivement 41,86%, 34,54% et 19,05% de la superficie des oliveraies. Le Sud est partie prenante du développement de l'oléiculture, ce qui a un impact sur le développement de l'oléiculture au niveau national, représentant 4,55% de la superficie de 17 457 ha [25]. La carte oléicole d'Algérie selon est représentée dans la (figure I.14)

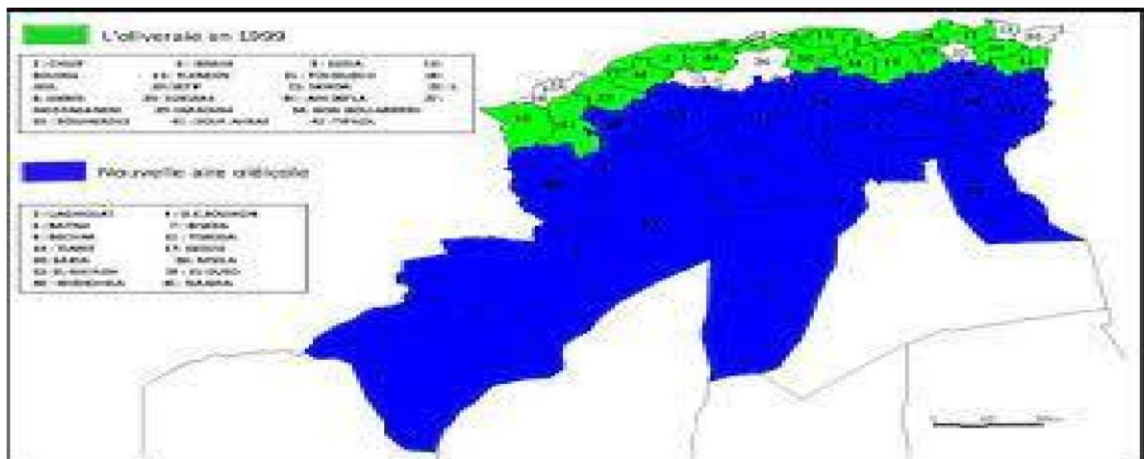


Figure I -14 : Carte oléicole d'Algérie.[26]

I.4.2. Caractéristiques physiques

Les grignons bruts renferment la coque du noyau, réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive, environ 25% d'eau et une certaine quantité d'huile qui favorisent leur altération rapide.

Les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus d'extraction.

Les grignons épuisés partiellement dénoyautés sont constitués essentiellement par la pulpe (mésocarpe) et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés [27]

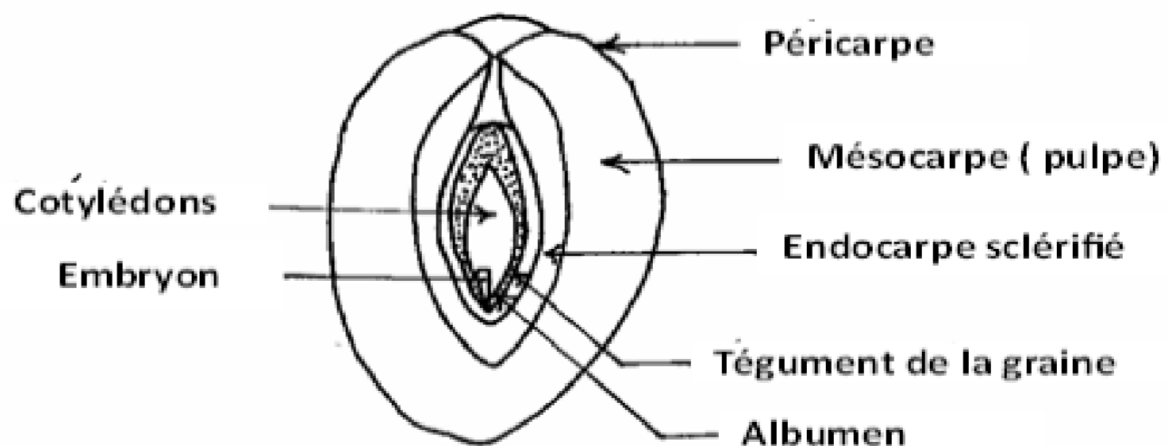


Figure I- 18 : Coupe schématique de fruit de l'olivier

I.4.3. Caractéristiques chimiques

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux, les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses.

L'épuisement par les solvants diminue les teneurs en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute, (Tableau I.2) [28]

Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brute.

Tableau I 2: Compositions chimiques des différents types de grignons [28]

Types de grignon	Matière sèche (%)	Matières minérales (%)	Matières Azotées Totales (%)	Cellulose Brute (%)	Matières Grasses (%)
Grignon brut	75-80	3-5	5-10	35-50	8-15
Grignon gras					
partiellement dénoyauté	80-95	6-7	9-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85-90	7-10	8-10	35-40	4-6
Grignon épuisé					
partiellement dénoyauté	85-90	6-8	9-14	15-35	4-6
Pulpe grasse	35-40	5-8	9-13	16-25	26-33

Les valeurs indiquées ci-dessus sont très variables principalement pour les grignons bruts et les grignons gras partiellement dénoyautés et ne peuvent être considérées que comme indicatives.

Il est à noter que ces différents grignons proviennent d'olives d'origines variées et ont subi des traitements différents.

I.4.3.1. La cellulose brute

Comme mentionné ci-dessus, le taux de cellulose brute est élevé pour les grignons non dénoyautés. Le dénoyautage partiel réduit considérablement cette teneur, mais même la pulpe pure contient autour de 20 % de cellulose brute [28].

La cellulose est un polymère naturel qui a un rôle structural de première grande majorité des parois végétales. La molécule de cellulose est constituée d'environ 14 000 unités de glucose [32]. Les molécules de glucose sont associées par une liaison β osidique C1-C4, le constituant élémentaire est la Cellobiose (voir Figure I.19)

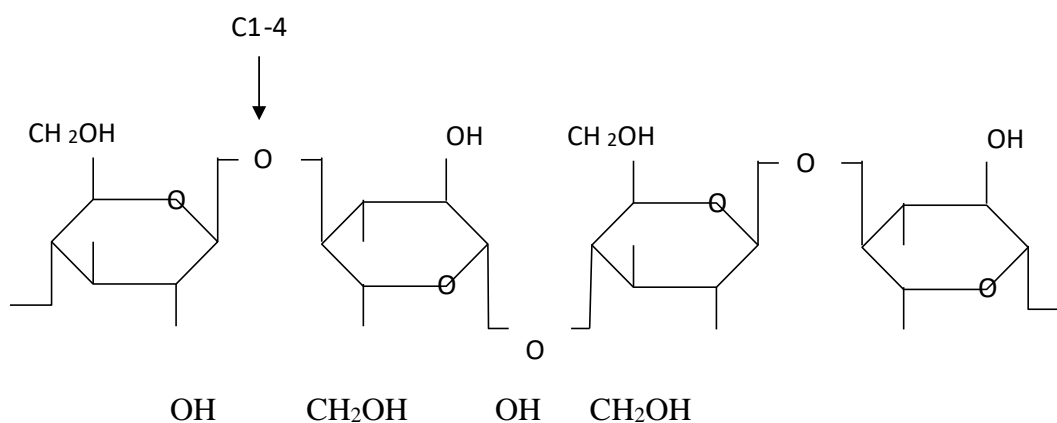


Figure I- 19 : Structure de la cellulose [29]

I.4.3.2. Les lignines

La lignine, l'une des matières qui n'appartient pas aux éléments celluloseux de la cellulose brute, est un dérivé aromatique polymérisé qui constitue la majeure partie de la fraction ligneuse des végétaux, provenant de la copolymérisation de trois alcools spécifiques [30].

I.4.3.3. Les matières azotées totales

Leurs teneurs varient selon le type de grignon mais restent relativement modestes. L'azote protidique constitue plus de 95 % de l'azote total et sa solubilité est particulièrement faible (1,5% de l'azote total 3%). D'ailleurs une grande partie des protéines (80 à 90 %) est liée à la fraction lignocellulosique. [31]

I.4.3.4. Les lipides

La matière grasse des grignons est très riche en acides gras en C₁₆ et C₁₈ insaturés qui constituent 96% du total des acides gras. Les grignons sont très vulnérables à l'oxygène atmosphérique responsable en grande partie de l'altération des propriétés organoleptiques [31].

I.4.3.5. Matières minérales (cendres)

Les grignons en plus des matières grasses, azotées, pariétales, comprennent aussi des matières minérales dites Cendres brutes qui sont, normalement, faibles (3 à 5 %). Les teneurs

élevées qu'on peut rencontrer sont dues à l'absence de lavage et aux contaminations provenant du sol [31].

I.4.4.Noyau d'olive

La quasi-totalité d'olive est produit par les pays méditerranéens dont l'Algérie qui produit environ 1% de la production mondiale. Les noyaux d'olives sont des sous-produits naturels d'origine végétale issue essentiellement de procédés tels que la préparation d'huile d'olive et l'obtention d'olives dénoyautées pour le commerce. Ces déchets sont des matériaux carbonés habituellement utilisés dans différents domaines, pour l'alimentation animale, pour produire de l'huile de grignons d'olive, pour la fabrication de quelques produits cosmétiques et depuis quelques années, ces derniers sont utilisés dans le domaine génie civile.

Les noyaux d'olives constituent le troisième produit majeur des déchets issus des industries alimentaires pouvant trouver un débouché dans la fabrication de matériaux de construction.

L'olive est une drupe, dont la peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau, avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse. D'abord verte, elle devient noire à maturité complète. Le noyau très dur, osseux, est formé d'une enveloppe (endocarpe) qui se sclérifie l'été à partir de la fin juillet, et contient une amande avec deux ovaires, dont l'un est généralement stérile et non fonctionnel : cette graine (rarement deux) produit un embryon, qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables [32].

I.4.4.1. Caractéristiques des noyaux d'olive

- Forme : ellipsoïdale ➤ La taille : petite à moyenne.
- Poids de 20 grains : 10 à 15g.
- Couleur : verte et noire.
- Surface : grossière.

I.5. Historique du verre

Le verre est l'une des meilleures créations de l'humanité. Il a été inventé à l'âge du Bronze, bien que la nature l'ait créé depuis fort longtemps avec les verres issus des roches

Mésopotamie, l'Égypte et la Syrie. La découverte de ce matériau reste liée à des opérations de métallurgie ou de céramique. Les plus anciens verres découverts ont des compositions similaires à ceux d'aujourd'hui. Ces verres n'étaient pas transparents mais opaques et colorés par des métaux tels que le cuivre, le cobalt volcaniques. La localisation de la première production est encore indéterminée entre la, le fer, l'antimoine ou l'étain. Ces métaux donnent une coloration rouge ou bleu-rouge pour le cuivre, bleu pour le cobalt, noir, vert-brun pour le fer, jaune pour l'antimoine et blanc pour l'étain. Mais l'identification de ces colorants n'a été faite qu'à une époque proche.

L'industrie du verre soufflé est apparue aux Ve et Xe siècles, cette fabrication se faisait par deux techniques à savoir : Le soufflage en couronne : produit dans l'ouest de la France et en Angleterre où sa production dura jusqu'au XIXe siècle. Le verre plat ne prit son essor qu'à partir de l'invention de ce nouveau procédé. Il s'agit d'abord d'un vase soufflé à fond plat, que l'on fait ensuite tourner face à l'ouverture d'un four. Le soufflage en manchon : produit dans l'est de la France et en Europe centrale. C'est un cylindre de verre obtenu par l'allongement de la paraison cueillie par le verrier, puis fendu, ramolli et aplati. Ces procédés furent utilisés durant tout le moyen âge pour la fabrication des vitraux[33].

I.5.1. Définition du verre

La première question qui se pose quand on veut étudier le verre est tout d'abord de savoir à quoi correspond réellement le verre : quelles sont les propriétés, les comportements physiques, les composants ou la structure permettant de déclarer qu'un matériau quelconque est un verre?

Le verre le plus couramment utilisé est constitué de silice, mais cet élément n'est pas incontournable pour élaborer un verre, et donc n'est pas un critère de définition du verre.

Le verre étant un solide, on s'intéresse aux propriétés des solides. Ceux-ci se répartissent en deux catégories : les solides cristallisés et les solides amorphes. Dans un solide amorphe, l'arrangement des atomes est aussi désordonné que dans un liquide. L'ordre à longue distance, c'est-à-dire au-delà de l'échelle de la distance interatomique, que l'on trouve dans les cristaux n'existe plus. Le verre ne présente aucun arrangement atomique au-delà de la distance interatomique : pour un verre à base de silice il est impossible de prédire la position d'un atome de silicium ou d'oxygène à grande distance. La figure(I.20) montre la différence de structure entre le quartz, la silice vitreuse et un verre à base de silice et de sodium [33].

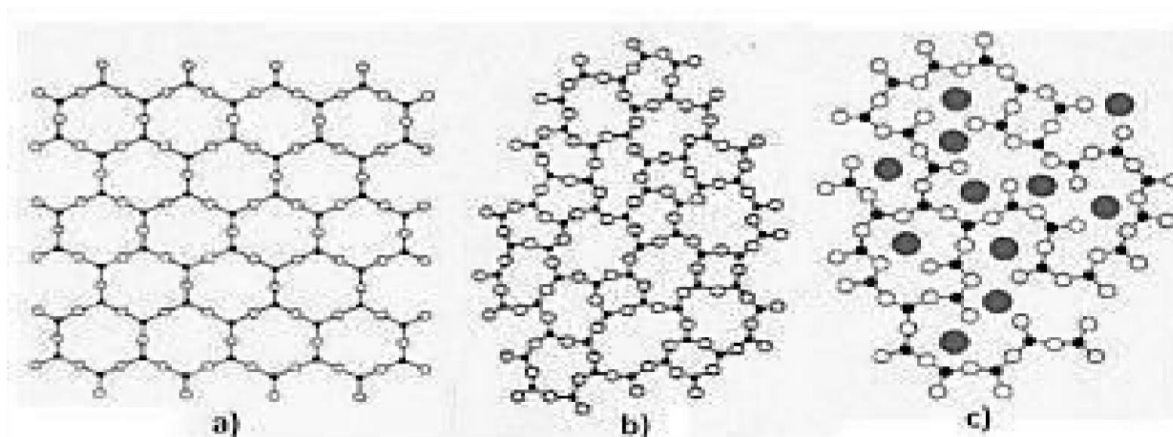


Figure I.20 : La structure du quartz (a), silice vitreuse (b) et un verre à base de silice et sodium• : Si, O, Na.

Définition opérationnelle du verre : « Le verre est un solide obtenu par figeage d'un liquide qui n'a pas cristallisé ». Cette définition restreint le terme verre aux seuls produits obtenus par trempe d'un liquide.

Une autre définition thermodynamique est proposée : il s'agit d'un matériau hors d'équilibre, dont l'énergie est supérieure à celle des produits cristallisés correspondants et dont le retour à une situation plus stable (cristallisation) ne peut pas se faire qu'après des durées considérables.

Les verres classiques sont caractérisés par une absence de cristallinité, et par leur faculté de passer progressivement et réversiblement à un état de plus en plus fluide lorsqu'on élève la température. Au cours de ce passage, on assiste à une modification des propriétés qui traduisent ce que l'on appelle la transition vitreuse. L'état physique correspondant est appelé état vitreux. Cette propriété est fondamentale dans les applications techniques [33].

I.5.2.Composition du verre

La silice SiO_2 est le principal composant des verres actuellement fabriqués, mais elle n'est pas le seul composé permettant de former du verre. D'autres oxydes, dits "formateurs", peuvent être utilisés pour fabriquer des verres. Ces verres sont d'ailleurs qualifiés de "verre d'oxydes". Les oxydes formateurs les plus utilisés dans l'industrie verrière sont la silice (SiO_2), l'oxyde de Bore (B_2O_3), et l'oxyde de Phosphore (P_2O_5). De nombreux autres oxydes peuvent être utilisés pour certains verres spécifiques : GeO_2 , As_2O_3 , Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , TeO_2 , Al_2O_3 , Ga_2O_3 et V_2O_5 . L'emploi majoritaire de la silice est principalement dû à sa présence en grande quantité dans le monde entier, et donc à son faible coût. Il subsiste cependant un problème de taille à

l'emploi de la silice : sa température de fusion très élevée. Elle est en effet de 1723 °C, et le liquide obtenu est très visqueux. Ceci implique donc de monter à une température supérieure à 2000 °C pour pouvoir mettre en forme la silice vitreuse. Cette température de fusion élevée peut cependant être abaissée par l'ajout de produits, que l'on appelle des "fondants".

L'exemple historique de fondant est le sel alcalin naturel, appelé natron. L'ajout de Na_2O va modifier la structure de la silice vitreuse, en coupant des chaînes de $\text{O}-\text{Si}-\text{O}$ $\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ en groupements de $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$. Ils transforment donc des oxygènes pontants en oxygènes non pontants. Ce sont ces transformations qui vont induire une diminution de la température de fusion du verre. Les oxydes alcalino-terreux peuvent également jouer le rôle de fondants, en coupant de la même manière les liaisons du réseau primaire formé par les oxydes formateurs. Il existe une troisième catégorie d'oxydes, dont l'action est beaucoup moins clairement définie : les oxydes "intermédiaires". Ces oxydes vont en effet pouvoir agir soit en tant que formateurs, soit en tant que modificateurs, selon la composition du verre[34].

I.5.3. Constituants d'un verre

Trois grandes catégories de constituants peuvent intervenir dans la composition d'un verre[34].

I.5.3.1 Oxydes formateurs

L'oxyde de silicium SiO_2 est le meilleur oxyde formateur dans l'industrie verrière, car il se trouve abondamment dans la nature sous forme de sable (quartz). Les sables utilisés dans l'industrie verrière contiennent plus de 99% de SiO_2 avec un taux d'impuretés inférieur à 0,2%[34].

I.5.3.2 Oxyde modificateurs

Pour abaisser de plusieurs centaines de degrés la température d'élaboration et de vitrification de la silice des oxydes alcalins comme le sodium Na_2O et le potassium K_2O , appelés en industrie « soude » et « potasse », sont introduits sous forme de « fondants ».

Les compositions sont essentiellement à base de carbonate de sodium. Une partie de Na_2O est introduite sous forme de sulfate : le sulfate de sodium se décompose à haute température libérant des bulles de SO_2 qui facilitent l'affinage. Le nitrate NO_3 est ajouté pour ses propriétés oxydantes. K_2O , plus cher, est utilisé dans les verres au plomb « cristal » et certains verres colorés.

La chaux CaO est un composant important qui assure la stabilité des verres courants. Elle est introduite sous forme de carbonate de calcium, les calcaires, ou associée à la magnésie MgO dans la dolomie[34].

I.5.3.3 Oxydes intermédiaires

Il existe une autre catégorie d'oxydes entre les formateurs et les modificateurs dont la fonction est moins nettement définie et qui peuvent jouer, selon la composition du verre, le rôle de formateur ou de modificateur. On les appelle oxydes intermédiaires. Un exemple est constitué par BeO, MgO et ZnO. S'il y a peu d'ions alcalins dans le verre, Be^{2+} , Mg^{2+} et Zn^{2+} jouent le rôle d'ions modificateurs en créant deux oxygènes non-pontant. En revanche, s'il y a suffisamment d'ions alcalins, Be^{2+} , Mg^{2+} et Zn^{2+} peuvent se placer en position tétraédrique, l'équilibre des valences étant apporté par deux ions alcalins voisins. BeO, MgO et ZnO jouent alors le rôle de formateurs de réseau.

La présence des alcalins à une influence analogue sur le rôle joué par Al_2O_3 . Quand il est seul cet oxyde ne vitrifie pas. Introduit dans la silice pure, Al^{3+} adopte la coordinence 6, inapte à la formation d'un réseau vitreux. Al_2O_3 joue alors le rôle de modificateur. Mais lorsque Al_2O_3 est introduit dans un verre contenant des alcalins, il devient possible à Al^{3+} de se substituer à Si^{4+} dans le réseau si, à son voisinage, se trouve un Na^+ qui compense la charge négative excédentaire (Figure I.22). Chaque Al_2O_3 introduit fait disparaître la paire d'oxygènes non-pontant qui était associée aux deux ions sodium[34].

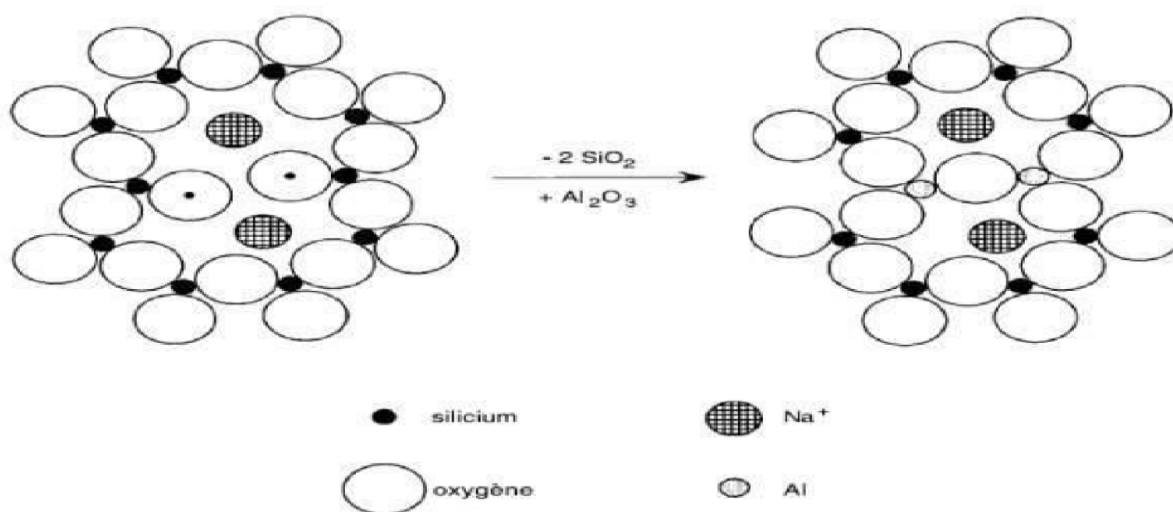


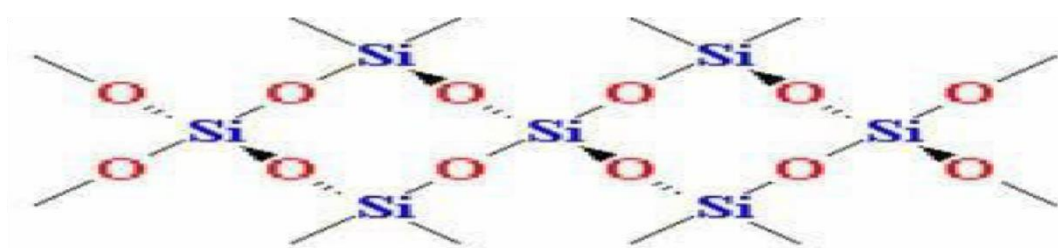
Figure I-22 : Substitution de deux molécules SiO_2 par une molécule Al_2O_3 dans le verre de silicate (l'introduction de deux Al fait disparaître deux oxygènes non pontants)

Tableau I.3: Principaux constituants du verre

			Formateurs			
SiO₂	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅		B ₂ O ₃	GeO ₂	Sb ₂ O ₃
			Modificateurs			
CaO	PbO		Li ₂ O		Na ₂ O	K ₂ O
			Intermédiaires			
Al₂O₃	TiO ₂	ZrO ₂		BeO	MgO	ZnO

I.5.4. Description de la molécule de silice

Chaque atome de silicium est placé au centre d'un tétraèdre et lié à quatre atomes d'oxygène (figure I.23). Ces tétraèdres sont liés ensemble par le sommet de telle sorte que chaque atome d'oxygène est lié à deux atomes de silicium.

**Figure I-23 :** Représentation schématique d'un réseau cristallin de silice

Dans le cas du verre où chaque molécule de silice est identique (tétraèdre) mais où l'organisation des unes et des autres est inexistante (figure I.24). Cette fausse organisation se situe entre celle des solides (ordonnée donc cristallisée) et celles des liquides (en mouvement donc amorphe). L'état vitreux est cet état solide amorphe (non cristallisé) caractérisé par la distribution désordonnée des molécules qui conservent néanmoins des distances fixes entre elles.

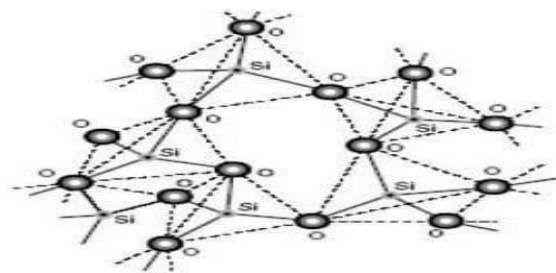


Figure I-24 : Représentation schématique de la structure de verre de silice

L'Anhydride borique B_2O_3 est un formateur couteux, souvent il est associé à la silice (verres borosilicatés) introduit sous forme de $B(OH)_3$ pur, ou plus communément sous forme de borax $2B_2O_3 \cdot Na_2O$ anhydre ou hydraté. Les verres courants contiennent moins de 1% de B_2O_3 . L'anhydride phosphorique P_2O_5 entre dans la composition de verres spéciaux[34].

I.5.5. Les familles du verre

Les principales familles du verre sont représentées dans le tableau ci-dessous[34] :

Tableau I- 4: Familles du verre

Familles du verre	Composants du verre	Principales applications
Sodo-calcique	SiO_2 CaO Na_2O	Vitrage, bouteilles, flacon et verre à boire
Borosilicate	SiO_2 B_2O_3 Na_2O	Pharmacie, Laboratoire et culinaire
Aluminosilicate	SiO_2 B_2O_3 Al_2O_3 Na_2O	Fibre de renforcement
Cristal	SiO_2 PbO K_2O	Verrerie d'art Flacon de luxe
Silice	SiO_2	Fibre optique
Zircone	SiO_2 ZrO_2 Na_2O	Renforcement du ciment
Bio verres	Na_2O CaO SiO_2 P_2O_5	Médecine
Vitrocéramique	Li_2O Al_2O_3 SiO_2	Culinaire Optique

I.5.6. Les Types de verre

I.5.6.1 Les verres plats

Les vitres étaient jadis fabriqués par étirage (procédé Pittsburgh), et les glaces par laminage, suivi d'un travail mécanique. Actuellement, on prépare les verres de vitrage par flottage sur un bain d'étain (procédé Pilkington). Le verre s'aplatit sur ce bain et peut présenter toutes les épaisseurs comprises entre 3 et 18mm[34].



Figure I-25 : Le verre plat

□ Performance □

- Transmission lumineuse élevée: bon éclairage naturel des espaces intérieurs.
- Larges possibilités de création architecturale, utilisé en simple ou double vitrage.
- Les performances spectrophotométriques des verres MFG sont données en simple vitrage pour toutes les épaisseurs.

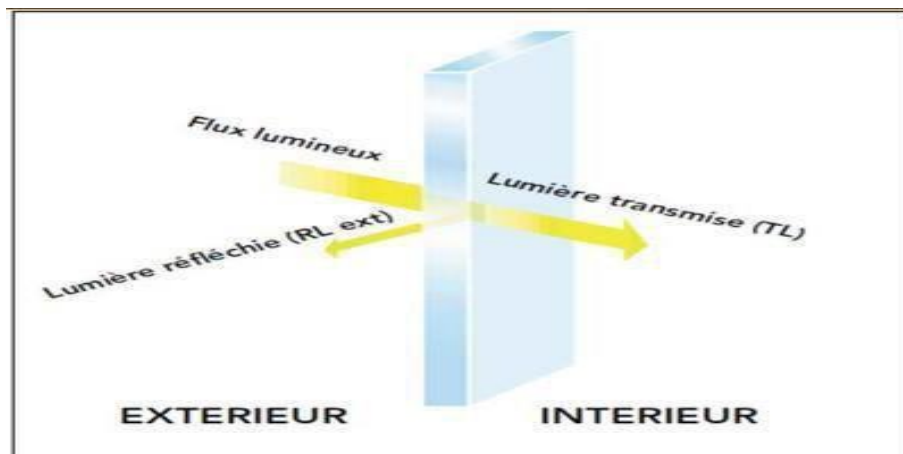


Figure I-26 : Transmission lumineuse du verre plat.

I.5.6.2. Les fibres de verre

Elles sont obtenues par étirage de verre fondu, jusqu'à ce qu'elles présentent un diamètre compris entre 0,5 et 15 μm . Il est possible de fabriquer des fils longs, continus et multifilaires aussi bien que des fibres courtes de 25 à 30 cm de long. Tissées dans certains textiles, les fibres de verre constituent d'excellentes étoffes et de très bons matériaux d'ameublement grâce à leur stabilité chimique, leur solidité et leur résistance au feu et à l'eau.

Les fibres de verre seules, ou associées à des résines, forment d'excellents isolants électriques. En imprégnant les fibres de verre de plastique, on obtient une fibre de verre mixte qui allie la solidité et l'inertie du verre à la résistance aux chocs du plastique.

Parmi les procédés de fabrication des fibres de verres, il y a l'étirage mécanique à grande vitesse, la vitesse déterminant le diamètre des fibres qui est compris entre 1 et 8 μm . Ces fibres sont destinées à l'ameublement, au renforcement de matière plastique ou du caoutchouc, du plâtre, du papier, à l'isolement électrique ou à la fabrication de tissus industriels[34].

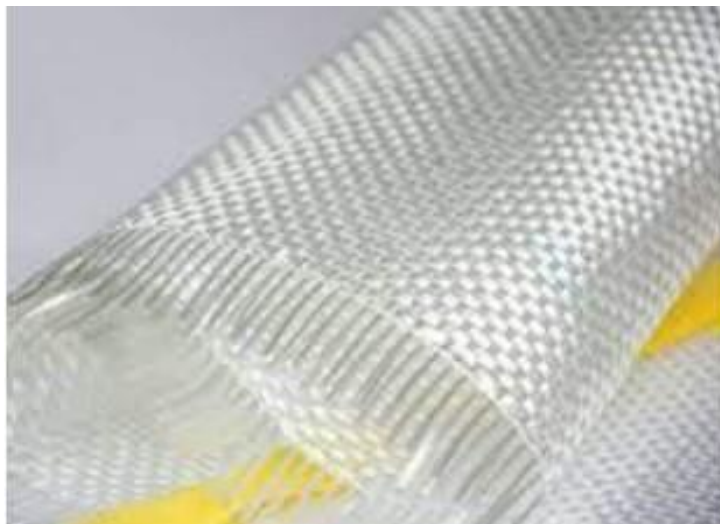


Figure I-27: Les fibres de verre

I.5.6.3. Les verres creux

Les verres creux sont utilisés pour fabriquer les bouteilles, les flacons, les tubes, les ampoules, les briques et les pavés. La composition du verre est différente suivant le produit fabriqué. Pour un contenant de produits alimentaires, on emploie un verre sodo-calcique. Une quantité déterminée du verre fondu est introduite dans un moule et pressée vers 400-450°C.

Les moules sont en acier spéciaux et leurs surfaces souvent chromées. Les presses à main permettent de fabriquer jusqu'à 300 pièces/heure et les presses automatiques (comportent une série de moules) jusqu'à 1000 pièces/heure. Le procédé primitif de soufflage à la bouche, encore pratiqué dans la verrerie d'art ou scientifique a été mécanisé pour augmenter les rendements[34].



Figure I-28 : Le verre creux

I.5.6.4. Le verre à couches

Par définition, les ‘verres à couches’ sont des produits verriers de types industriels (très généralement des produits élaborés à partir de verre ‘float’) qui sont revêtus d’une couche mince, en général composée d’oxydes métalliques. L’épaisseur de cette couche est de l’ordre de 10 nanomètres (soit un centième de micromètre) à 800 nanomètres ($0,8 \mu\text{m}$). Pour optimiser les performances, la couche peut être constituée d’un empilement de plusieurs sous couches.

Le rôle de cette couche est de modifier le comportement optique (exemples : les vitrages antireflets, les vitrages réfléchissants utilisés pour réduire le facteur solaire), chimique (exemples : les vitrages ‘autonettoyants’, vitres hydrophobes), électrique (dépôts conducteur électrique et transparent) ou encore mécanique (exemple : les traitements contre les rayures) [34].



Figure I-29 : Le verre à couches.

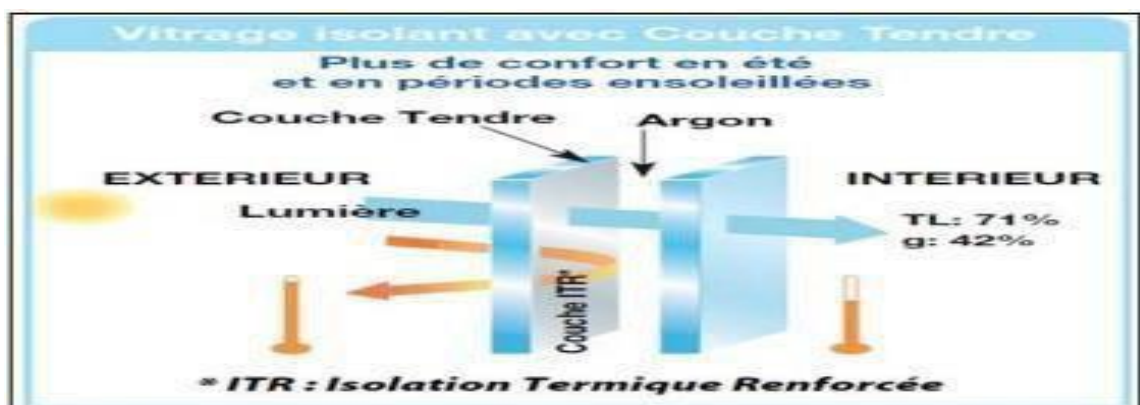


Figure I-30 : Fonctionnement optique du verre à couches

□ Performances □

La performance thermique d'un double vitrage incorporant un verre à couches tendres est nettement supérieure à celle d'un double vitrage classique. Les avantages d'une telle isolation thermique sont nombreux :

1. Diminution sensible des dépenses de chauffage (électricité, gaz, bois...)
 2. Amélioration du confort
- Quasi-suppression de la zone froide près des parois vitrées
 - Utilisation maximale de l'espace

- Réduction des risques de condensation sur le verre intérieur
- Un haut niveau de transmission lumineuse
- Un faible niveau de transmission énergétique (facteur solaire faible).

I.5.6.5. Les verres transformés

I.5.6.5.1. Le verre trempé

Il s'agit d'un verre ayant subi un traitement thermique de renforcement augmentant considérablement sa résistance aux contraintes mécaniques et thermique. Il existe pour cela deux procédés : la trempe thermique et la trempe chimique.

La première consiste à chauffer le verre jusqu'à environ 600-650 °C avant de subir un refroidissement brutal par jets d'air. Le verre trempé ne peut plus se découper ou se façonner. Si le verre se brise pour une raison quelconque, il se fragmente en de multiples morceaux non coupant, dont la grandeur dépend de l'état de trempe. Ce qui permet de minimiser les risques de blessures profondes. On retrouve les principales applications de ce verre dans le bâtiment (portes, balustrades, allèges, cabine douche, ...). La trempe chimique obtient significativement les mêmes résultats, mais avec une technique différente : le verre est placé dans un bain à 400°C composé de sels de potassium. Le remplacement des ions sodium du verre par les ions potassium du bain va créer la même compression du verre que par le procédé thermique.

Un verre trempé peut être 5 fois plus résistant qu'un verre ordinaire. La figure (Fig. I.31) met en relief l'aspect du verre trempé[34].

Performance

Le verre trempé est un matériau ayant bénéficié d'un traitement thermique spécifique qui renforce considérablement ses caractéristiques physiques. Il se distingue notamment par plusieurs atouts :

1. Grande résistance aux impacts : Comparé au verre classique, il présente une solidité accrue, capable de supporter des chocs bien plus importants.
2. Excellente tenue à la flexion : Ce type de verre peut encaisser des efforts de flexion sans se fissurer facilement.

3. Sécurité renforcée : Lorsqu'il se casse, il se fragmente en petits morceaux peu tranchants, limitant ainsi les risques de blessures graves.

4. Stabilité thermique : Il tolère des températures élevées ainsi que des variations thermiques soudaines sans se détériorer.

5. Longévité : Sa robustesse face aux contraintes mécaniques et thermiques en fait un matériau durable dans le temps.

Grâce à ces qualités, le verre trempé est largement utilisé dans des domaines variés comme la fabrication de portes, de parois vitrées, de mobiliers modernes ou encore de protections d'écran pour appareils électroniques.

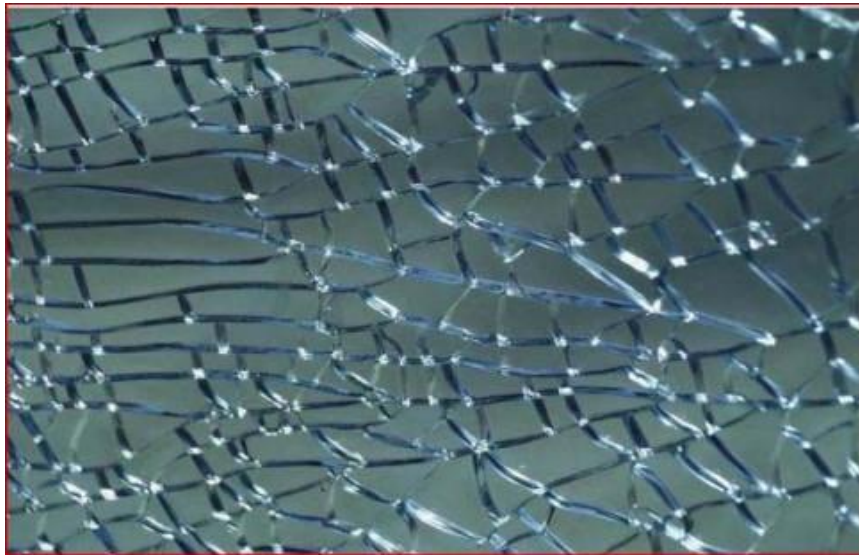


Figure I-31 : Verre trempé.

I.5.6.5.2. Le verre feuilleté

Il est composé de deux ou plusieurs feuilles de verre assemblées à l'aide d'un ou plusieurs films plastiques (le PVB : Poly Vinyl Butyral), résine ou gel. Après la mise en place des composants, l'adhérence parfaite est obtenue par traitement thermique s'il s'agit de film plastique (par autoclave). En présence de résine, la mise en place se fait par coulage de résine liquide entre les verres et à la faire durcir sous des lampes ultra-violet. Ce type de verre ne peut être ni coupé, ni scié, ni percé ou façonné.

Ces performances peuvent être la limitation des blessures en cas de bris, la protection contre l'effraction, protection contre les armes à feu, les explosions, les incendies, isolation

acoustique, la décoration. Le nombre et l'épaisseur de chaque élément du vitrage feuilleté est normalisé avec la notation suivante : 44.2 par exemple signifie que le vitrage comporte deux couches de verre épaisses de 4 mm chacune ainsi que 2 intercalaires PVB que l'on peut apercevoir sur la figure (Fig.I.32). Le 33- 1 comprend donc 2 feuilles de verre de 3mm d'épaisseur + 1 feuille de PVB (épaisseur de 0.38mm) [34].

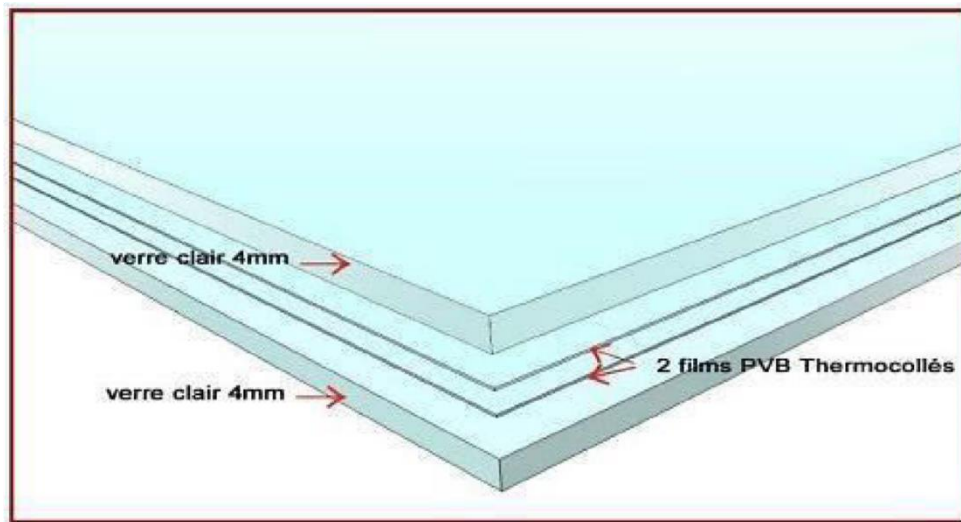


Figure I-32 : Illustration d'un verre feuilleté 44.2.



Figure I-33 : Verre feuilleté décoratif.

Le verre feuilleté Medilam est fabriqué à base de verres clairs MFG et conformes aux normes EN572-9 et EN 410 en vigueur en Europe, collés entre eux par un intercalaire PVB (Butyral Poly Vinyle).

Le Medilam résiste à l'impact, lors d'un choc avec un corps étranger, le verre se fendille, la fracture est localisée au point d'impact sans altérer la visibilité.

L'intercalaire PVB maintient les morceaux de verre en place, ce qui diminue le risque de coupure par l'éclat de verre. Il assure par ailleurs l'étanchéité de la proie. De plus l'énergie

résiduelle du corps est absorbée par cet intercalaire lors du choc, le vitrage empêche donc le passage du corps si l'impact n'est pas disproportionné[34].

□ Performance □

Le Medilam assure une protection :

- Contre les blessures
- Contre la chute de personnes
- Contre la chute d'objets
- Contre le vandalisme et l'effraction
- Contre les rayons ultra-violets

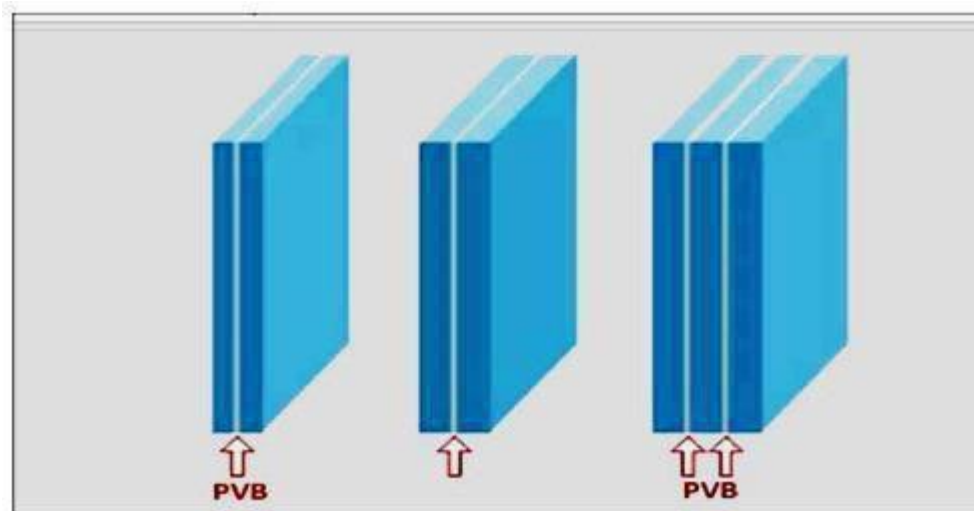


Figure I-34 : La performance Medilam de verre feuilleté

A blue horizontal scroll with rounded ends and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document.

Chapitre II

CARACTERISATION DES MATIERES

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les matériaux utilisés dans le protocole de confection de plâtre. Leurs caractérisations s'avèrent nécessaires pour bien interpréter les résultats des essais physico-mécaniques et de durabilité donnés au chapitre III.

Les matériaux utilisés dans cette étude sont : le plâtre, les noyaux d'olives (NO) et le verre trempé (VT).

II.2. Matériaux

II.2.1. Plâtre

Le plâtre utilisé dans cette étude est un plâtre de construction de la région de Boudjellil (**Figure II-1**).

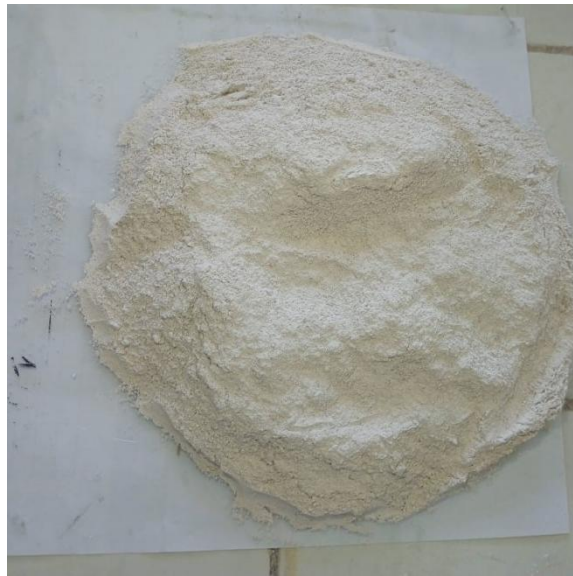


Figure II.1: Plâtre utilisé (plâtre de Boudjellil)

II.2.2. Débris de noyaux d'olives

Les grignons d'olives récupérées d'une huilerie de la commune de Chemini (Agmade) située à Sidi Aiche, wilaya de Bejaia. Cette source d'énergie renouvelable, abondante et disponible reste très mal exploitée (**Figure II-2**). Les grignons d'olives sont séchés pendant quelques jours à l'air libre pour faciliter l'opération de séparation des débris de noyaux de la pulpe résiduelle. Cette séparation est réalisée à l'aide d'un tamis et les débris de noyaux d'olives obtenus ont subi un lavage à l'eau chaude afin d'éliminer au maximum la matière grasse. Puis ils sont séchés à l'air libre dans un endroit où il y a de l'ombre.

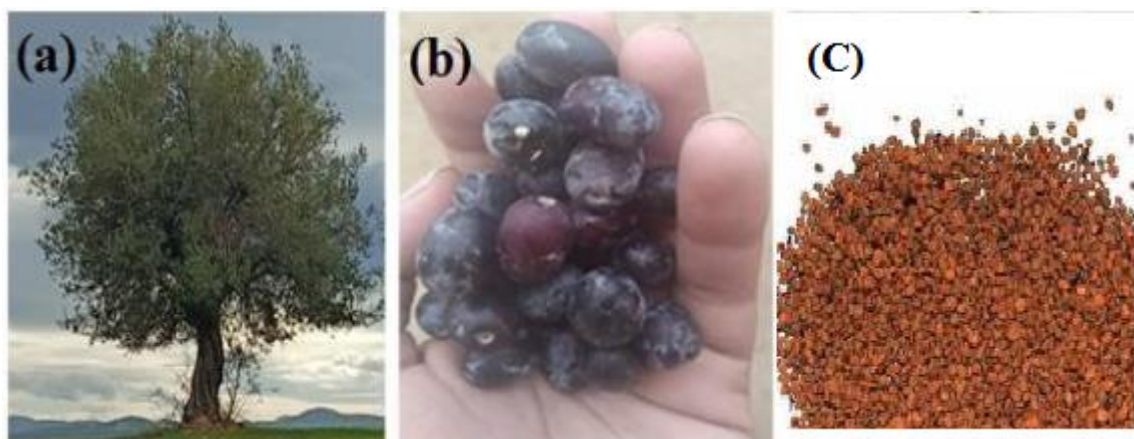


Figure II.2 : (a) Olivier, (b) Olives, (c) Débris de noyaux d'olives.

Les noyaux d'olives ont été encore broyés par un appareil coffee grinder (ASEIMT) (Figure II.3a). Une quantité de poids bien déterminée de noyaux placée dans un réceptacle de broyage (Figure II.3b) pour obtenir à la fin une poudre d'une granulométrie inférieur à 0.5mm (Figure II.3c).

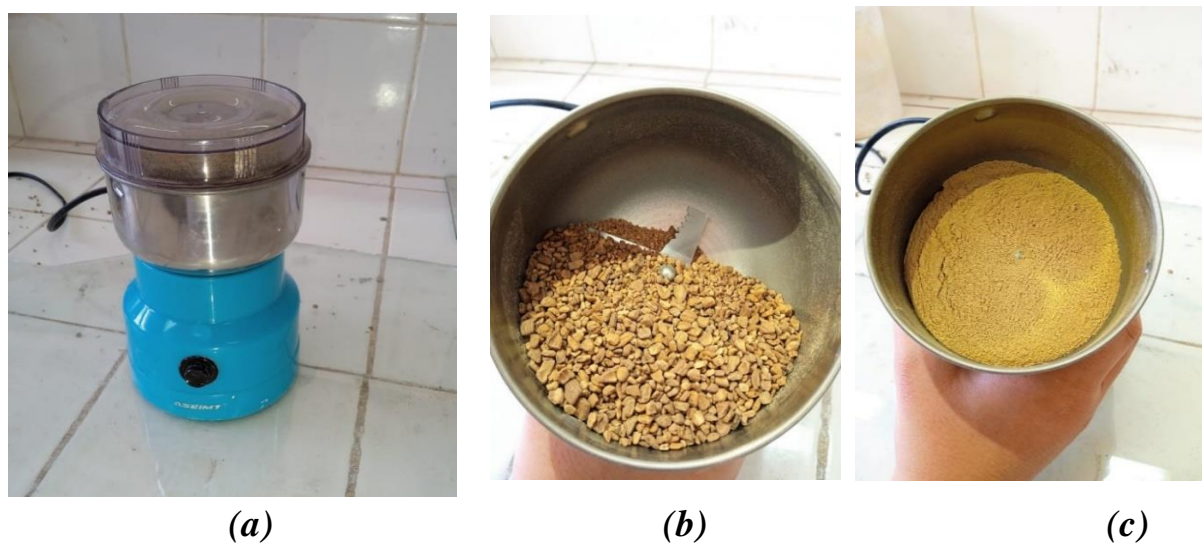


Figure II.3: (a) Appareil coffee grinder (ASEIMT) , (b) Noyaux d'olives ,(c) Poudre de noyaux d'olives

II.2.3. Le verre trempé

Le verre utilisé est un verre trempé. C'est un type de verre qui a subi un traitement thermique pour améliorer ses propriétés mécanique. Il est résistant cinq fois plus que le verre ordinaire. C'est un choix populaire dans le Domaine de la construction (fenêtre ; porteext) .

Dans notre étude, nous avons utilisé un déchet de verre trempé récupéré de l'entreprise SONATRACH de la wilaya de Bejaia . Les Figures II.4.a et II.4.b montrent respectivement le verre trempé avant et après broyage.



Figure II.4 : (a) Verre trempé, (b) Verre trempé après broyage

II.3. Masse volumique

II. 3.1. Masse volumique apparente (NF EN 1097-3)

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, comprenant les vides et les capillaires. Elle est généralement mesurée en grammes par centimètre cube (g/cm^3) ou kilogramme par mètre cube (kg/m^3) ou encore tonnes par mètre cube (t/m^3).

La masse volumique est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{\text{ap}} = \frac{m_2 - m_1}{V} \dots\dots\dots(\text{II .1})$$

M_1 = masse de conteneur en (kg).

M_2 = masse de conteneur rempli en (kg).

V = volume de conteneur en (m^3)

Mode opératoire

- Peser le conteneur vide et propre : (m_1)
- Poser le conteneur sur une surface horizontale et le remplir à l'aide de la pelle jusqu'à ce qu'il soit plein ;

- Ensuite enlever avec soin tout excédent au sommet du conteneur en veillant à ce que la surface soit étalée afin d'éviter la ségrégation ;
- Enfin peser le tout et enregistrer sa masse (m_2)
- Refaire l'essai trois et prendre la moyenne



Figure II. 5: Outils pour l'essai de la masse volumique apparente.

Tableau II.1: Résultats expérimentaux des masses volumiques du plâtre

ESSAI	$M_1(g)$	$M_2(g)$	$V(cm^3)$	$\rho_{ap} (g/cm^3)$	$\rho_{ap} (g/cm^3)$
1	1275	2384.39	1036.19	1.0706	1.0718
2	1275	2385.20	1036.19	1.0714	
3	1275	2387.39	1036.19	1.0735	

Tableau II.2 : Résultats expérimentaux des masses volumiques du verre trempé

ESSAI	$M_1(g)$	$M_2(g)$	$V(cm^3)$	$\rho_{ap} (g/cm^3)$	$\rho_{ap} (g/cm^3)$
1	1275	2744.88	1036.19	1.4185	1.4192
2	1275	2745.99	1036.19	1.4196	
3	1275	2747.11	1036.19	1.4197	

Tableau II.3 : Résultats expérimentaux des masses volumiques des noyaux d'olives

ESSAI	M1(g)	M2(g)	V(cm ³)	ρ_{ap} (g/cm ³)	ρ_{ap} (g/cm ³)
1	3.80	14.11	7.536	1.3680	1.3724
2	3.80	14.15	7.536	1.3707	
3	3.80	14.19	7.536	1.3787	

II.3.2. Masse volumique absolue (EN 1097-7 :1999)

C'est la quantité de matière par unité de volume absolu d'un objet. Elle est généralement mesurée en grammes par centimètre cube (g/cm³), kilogramme par mètre cube (kg/m³), ou tonnes par mètre cube (t/m³) et donnée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{m_1 - m_0}{V - \frac{m_2 - m_1}{\rho_l}} \dots\dots (II.2)$$

Où :

m₀ : la masse du pycnomètre vide en grammes (g) ;

m₁ : la masse du pycnomètre avec la prise d'essai de filler, en grammes (g) ;

m₂ : la masse du pycnomètre avec la prise d'essai de filler, rempli jusqu'en haut de liquide en grammes (g) ;

V : le volume du pycnomètre, en millilitre ;

ρ_l : la masse volumique liquide du filler à 25°C, en mètre cube ;

ρ_f : la masse volumique réelle de filler à 25°C (masse volumique apparente), en mètre cube ;

Mode opératoire

- Poser le pycnomètre sur la balance, faire le zéro ;
- Remplir le pycnomètre de liquide jusqu'au repère ;

- Peser le volume de liquide (m_0) ;
- Vider le pycnomètre ;
- Introduire le lot de matière à tester dans le pycnomètre.
- Peser le lot (m_1) ;
- Compléter le remplissage du pycnomètre avec le liquide ;
- Peser l'ensemble toluène + matière ;



Figure II.6: Matériels de mesure de la masse volumique absolue

Tableau II.4 : Résultats expérimentaux des masses volumiques absolues

ESSAI	$M_0(\text{g})$	$M_1(\text{g})$	$M_2(\text{g})$	$V(\text{ g/cm})^3$	$\rho_{\text{abs}}(\text{ g/cm}^3)$
Plâtre	58.268	68.30	150.883	100.6108	2.5561
Verre	58.268	68.30	151.253	100.6108	2.8579
Noyaux d'olives	58.268	68.30	151.155	100.6108	2.7674

Conclusion

D'après les résultats obtenus dans les Tableaux II.1, II. 2, II.3 et II.4, le plâtre a une faible masse volumique apparente et absolue par rapport aux autres enchantions. Vient après le noyau d'olive, ensuite le verre. Ce qui signifie qu'il est plus léger .

II .4.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage pondéral respectif des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

Le principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas (Figure II.16). Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Mode opératoire

Le matériau sera séché à l'étuve à une température 105°, on emboîte les tamis les uns sur les autres ,dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante de bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permet de récupérer les fillers pour une analyse complète. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage .



Figure II.7 : La tamiseuse utilisée

Figure II.8 : Courbe granulométrique du verre trempé

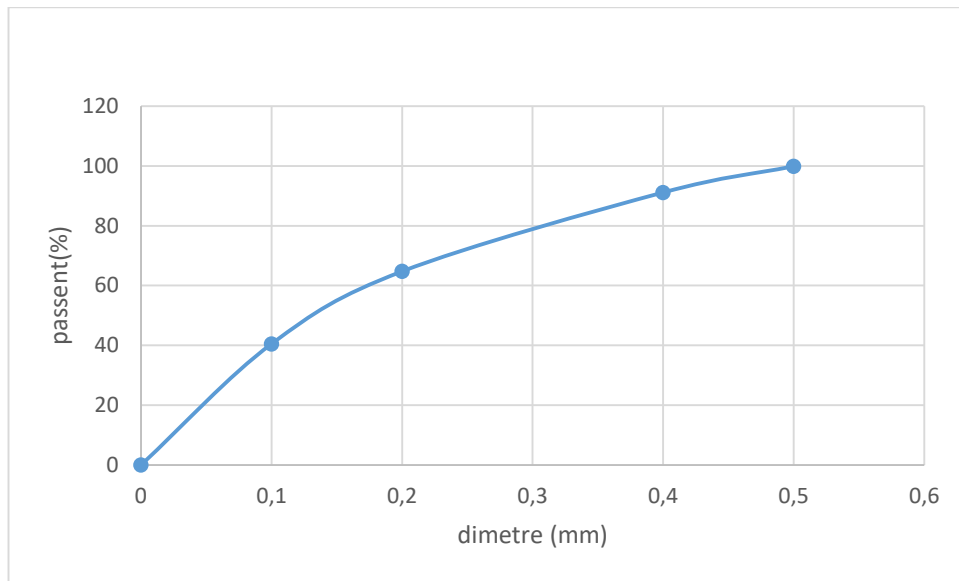


Figure II.8 : Courbe granulométrique du VT

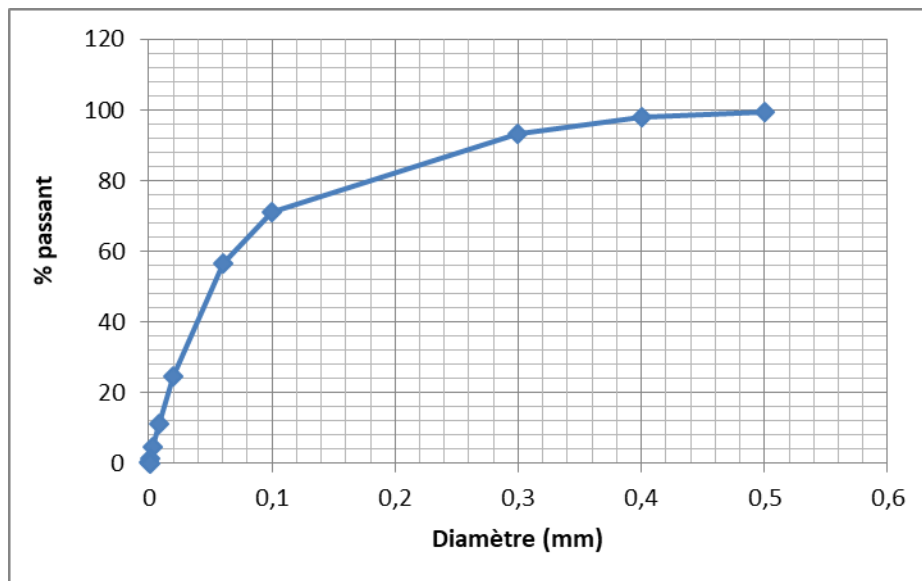


Figure II.9 : Courbe granulométrique de la poudre du NO

II .4.2. Essai de début et de fin de prise (NF P 18-417)

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte en mesurant la profondeur d'une aiguille dans la pâte.

Matériels utilisés

- Malaxeur normalisé

- Appareil de VICAT
- Une sonde normalisée de diamètre 1.13mm et de longueur 50mm
- Balance précise à 0,1 g près
- Une plaque en verre de base plane
- Des éprouvettes graduées en plastique
- Une spatule
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

Mode opératoire

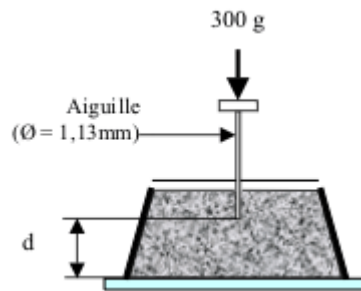
- 1- Régler l'appareil de Vicat muni de l'aiguille par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base plane et par ajustement du repère au zéro de l'échelle.
- 2- Relever l'aiguille en position d'attente
- 3- Procéder au mélange de la pâte de plâtre (250g de plâtre + eau) conformément à la norme en utilisant un malaxeur et selon les opérations montrées ci-dessous (E/P = 0.6)

Tableau II-5 : procéder ou mélange de plate ou malaxeur

Opérations	Eau	Plâtre	Malaxage	Raclage	Malaxage
Durées		5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
Malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

- 4- Introduire rapidement la pâte dans un moule tronconique sans tassement excessif (le moule étant placé sur la plaque de base plane) et placer l'ensemble dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat
- 5- Amener l'aiguille à la surface de l'échantillon

- 6- Lâcher l'aiguille sans vitesse initiale, cette dernière s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.
- 7- Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ($\sim 10-15$ mn) jusqu'à ce que $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$. (nettoyer l'aiguille à chaque opération).



De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau plus que de 0,5 mm.



Figure II.10 : Appareil de Vicat

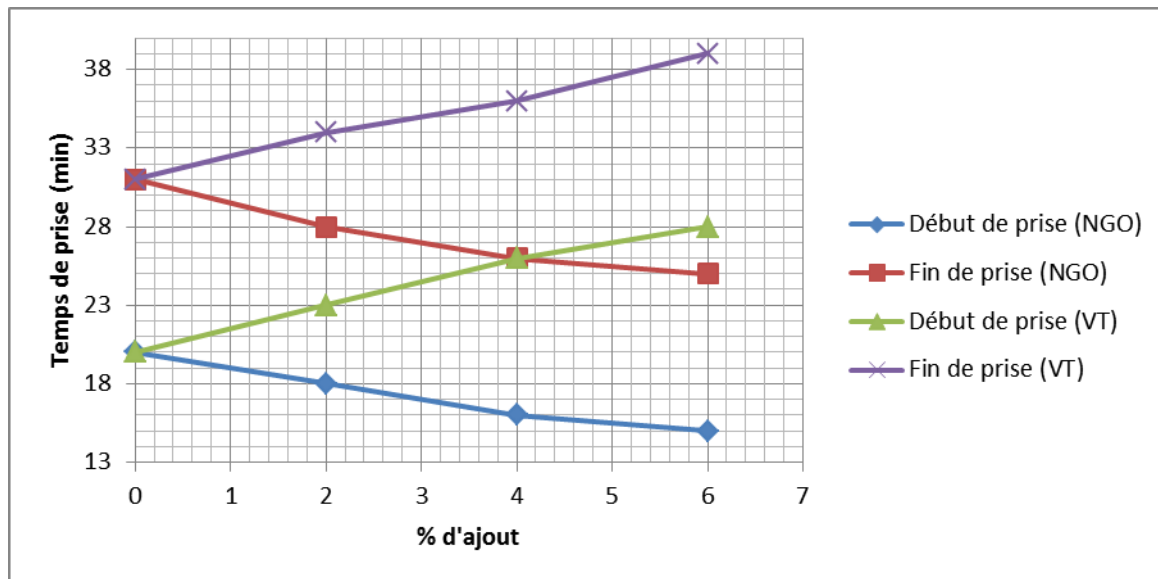


Figure II.11 : Début et fin de prise

La durée de la prise dépend de la nature du plâtre, de la température ambiante, de la quantité d'eau de gâchage, des adjuvants, etc. La plâtre est caractérisé par un temps de prise court et un durcissement rapide (20 à 25 cal/g).

Nous constatons que le début de prise du plâtre de Boudjellil est de 20 min et la fin de prise et de 31min. L'ajout de NO a fait diminuer le début et la fin de prise, par contre le VT retarde le temps de prise. Ceci peut être expliqué par le fait que les NO sont des matières végétales hydrophiles qui sont donc prédisposée à absorber l'eau d'hydratation du plâtre. En revanche le VT est une matière minérale hydrophobe qui a tendance à repousser l'eau, laissant l'eau du mélange au profit de l'hydratation du plâtre.

II .5. Caractéristiques minéralogiques

II.5.1. Méthode par diffraction aux rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX) est une analyse minéralogique indiquant la nature des phases cristallines et amorphes présentes dans les échantillons.

L'analyse permet d'avoir la composition minéralogique d'un assemblage argileux ou toute autre matière finement broyée.

Cette analyse consiste à appliquer un rayonnement sur un échantillon, ce rayonnement est renvoyé dans des directions spécifiques, qui dépend de la longueur d'onde des rayons X et de la distance entre des plans d'atomes ordonnés sur le réseau cristallin. Après la pénétration du cristal par le rayonnement il y'aura absorption d'une partie d'énergie et d'excitation des

atomes avec émission des radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau qui pourra être détecté.



Figure II.12 : Appareil
DRX (Bejaia)



Figure II.13: Les échantillons mis
dans
l'appareil

Les spectres de DRX des matières premières utilisées (plâtre, NO et VT) sont représentés respectivement aux Figures II.14, II.15 et II.16

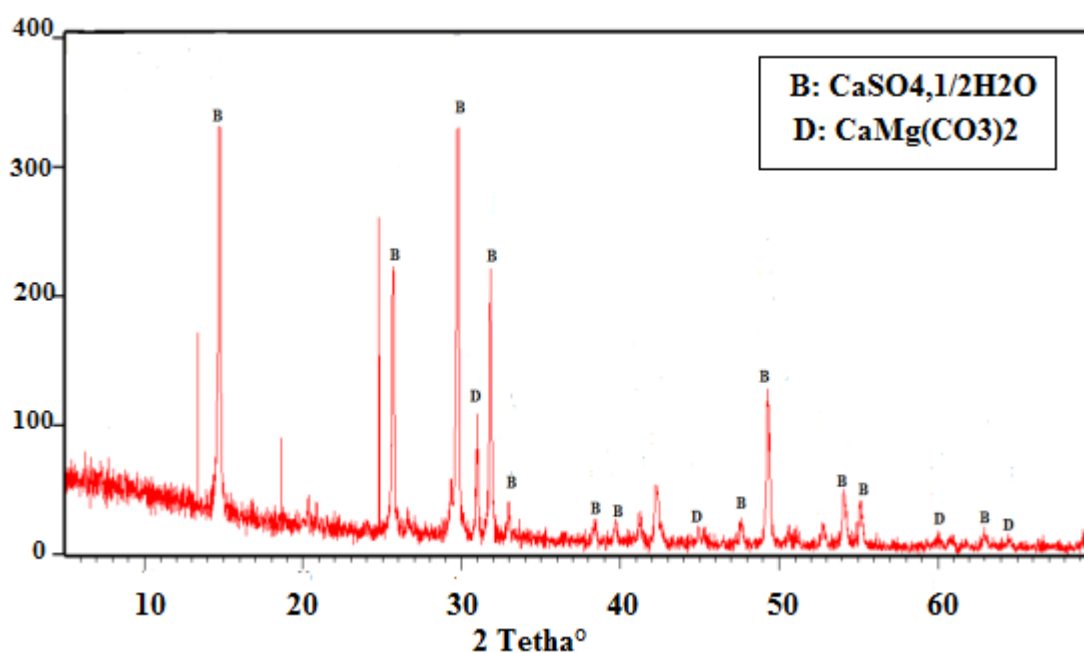


Figure II.14: DRX du plâtre

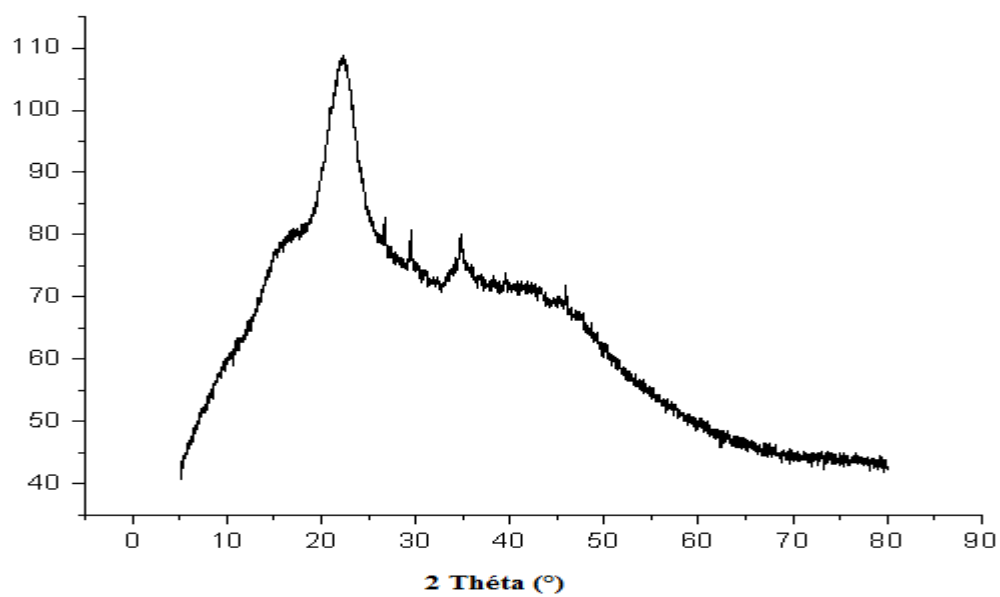


Figure II.15 : DRX du NO

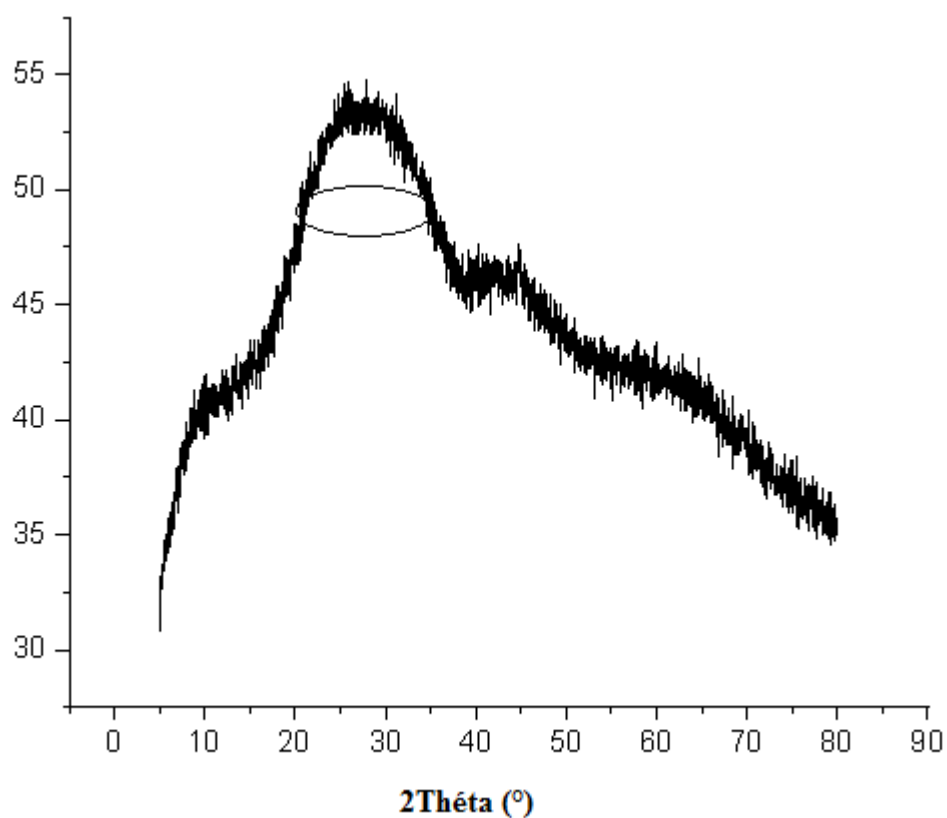


Figure II.16 : DRX du VT

D'après le diffractogramme du plâtre de Boudjellil, on constate la présence de l'hémihydrate ($\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$) à une intensité très élevée ainsi que la dolomite à une intensité faible.

Pour la DRX du NO, nous remarquons un pic vers $\Theta = 21^\circ$, qui représente des plans réticulaires des zones cristallines de structures cellulosiques des noyaux d'olives (Hu et al. 2015). Le spectre de la cellulose cristalline présente deux autres raies à 30° et 35° .

Par contre le DRX du VT, le verre utilisé est totalement amorphe, démontré par la présence d'un dôme (halo) compris entre 20° et 40° .

5.2. Analyse par spectrométrie infrarouge (IRTF)

La spectroscopie infrarouge est une méthode d'analyse structurale permettant de déterminer la nature des liaisons chimiques entre les atomes d'une molécule. Cette technique repose sur la mesure de la quantité de lumière absorbée par une substance, en fonction de la longueur d'onde, lorsqu'elle interagit avec le rayonnement électromagnétique.

Le but principal de l'analyse par spectroscopie infrarouge (IR) est d'identifier les groupes fonctionnels chimiques présents dans l'échantillon, en s'appuyant sur l'absorption ou la réflexion de ce dernier par le rayonnement électromagnétique.

Cette technique apporte des informations sur certaines caractéristiques des structures, car la fréquence de vibration des liaisons cation-oxygène dépend de la masse du cation, de la disposition de la liaison cation-oxygène et du paramètre de réseau.

Les informations recueillies à partir des spectres sont de deux types :

Qualitatives : Les longueurs d'onde auxquelles l'échantillon absorbe sont spécifiques aux groupes chimiques présents dans le matériau examiné.

Quantitatives : L'intensité de l'absorption à une longueur d'onde caractéristique est associée à la concentration du groupe chimique responsable de l'absorption.

Les pastilles des poudres à analyser sont constituées de 1% en masse du produit broyé et dispersé dans du KBr. Elles sont compactées sous une pression de 10 tonnes par cm^2 (10 x bars) pendant 15 minutes, pour former des pastilles translucides de 13 mm de diamètre.

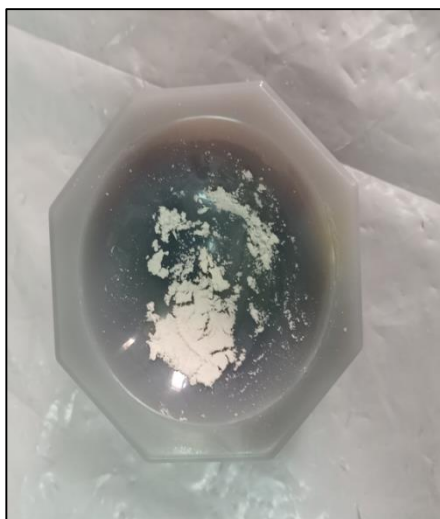


Figure II-17 : Préparation de l'échantillon sel purifié KBr



Figure II-18 : Compactage de la pastille



Figure II-19: Les pastilles obtenues



Figure II-20 : Appareil (IR)

Les spectres de l'infrarouge du plâtre, NO et VT sont donnés aux Figures II.21, II.22 et II.23.

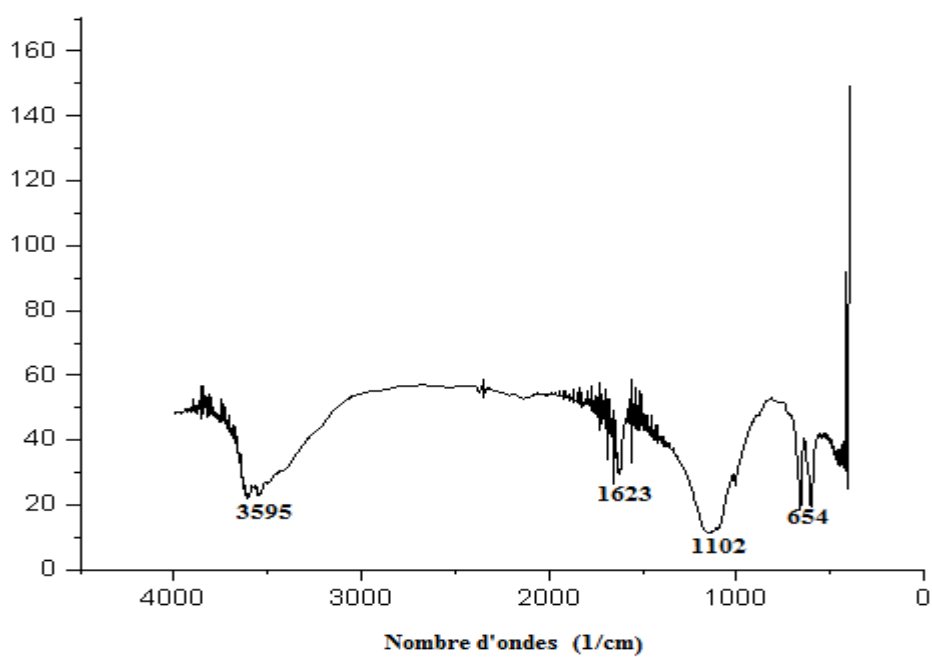


Figure II.21: Spectre infrarouge (IRTF) du plâtre

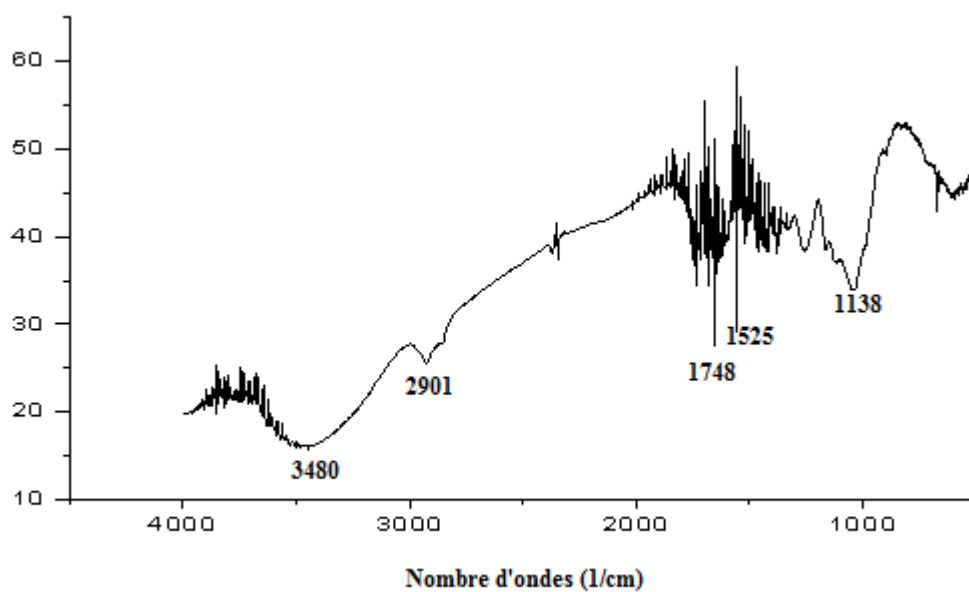


Figure II.22: Spectre infrarouge (IRTF) du NO

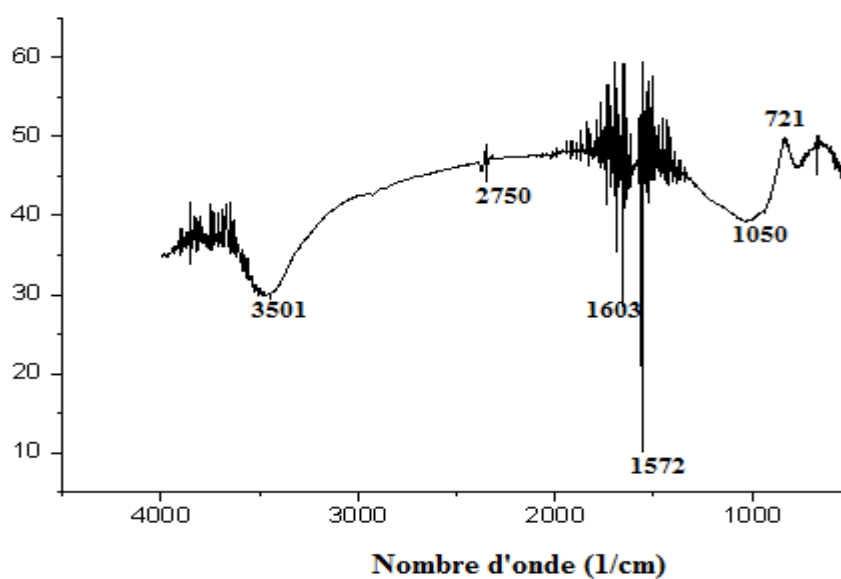


Figure II.23: Spectre infrarouge (IRTF) du VT

Le spectres d'Infrarouge du plâtre montre:

- Une bande à 654cm^{-1} qui peut être attribué à la vibration de déformation des ions $(\text{SO}_4)^{-2}$
- Une bande à 1102cm^{-1} qui correspond à la vibration d'élongation de $(\text{SO}_4)^{-2}$
- une bande à 1623cm^{-1} qui correspond à la vibration de déformation des molécules d'eau.
- et une bande à 3595cm^{-1} qui correspond à la vibration d'élongation des molécules d'eau

Pour les NO, leur composition est principalement constituée de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine. Les spectres Infrarouge obtenus montrent la présence de différents groupes oxygénés (O-H, acide-COOH, C=O,...) à côté des structures carboniques d'origine aromatiques et aliphatiques.

La présence des larges bandes au alentour de 3480 cm^{-1} correspond aux vibrations d'élongation de la liaison O-H des structures aromatiques et aliphatiques de phénol, groupe de la lignine et la cellulose. La bande qui apparaît au environ de 2901 cm^{-1} correspond à la vibration d'élongation asymétrique et symétrique de la liaison C-H de la cellulose. Les pics vers 1748 cm^{-1} sont caractéristiques de la vibration de valence du (C=O) des acides carboxyliques présents dans la lignine.

Enfin pour le spectre Infrarouge du VT, il est détecté:

- Une large bande autour de 1050 cm^{-1} qui caractérise la silice amorphe ce qui corrobore le spectre de la DRX de la matière.
- Présence de traces de quartz autour de 721 cm^{-1}
- Large bande près de 3501 cm^{-1} qui indique la présence d'un groupement hydroxyle
- Vibration d'allongement du groupe C=C autour de 1572 et 1603 cm^{-1}
- Vibration d'allongement C-H autour de 2750 cm^{-1}

5.3 Analyse chimique par spectrométrie de fluorescence (XRF)

La fluorescence X est une technique analytique qui peut être utilisée pour déterminer la composition chimique d'une matière. C'est une méthode d'émission atomique, similaire à la spectroscopie d'émission optique (OES), à la spectrométrie d'émission plasma (ICP) et à l'analyse par activation neutronique (spectroscopie gamma). Ces méthodes mesurent la longueur d'onde et l'intensité de la lumière des rayons X émise par les atomes énergisés de l'échantillon.

Les résultats de la FRX du plâtre et du VT sont présentés dans le Tableau II.6



Figure II :24: Appareil FRX CRPC Bejaia

Tableau II.6 : Résultats de la FRX de la poudre du VT et du plâtre

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃
VT (%)	75.32	2.01	12.44	6.4	3.26	0.42	0.12	0.03
Plâtre (%)	10.97	0.53	0.19	35.3	0.09	0.09	52.56	0.45

Conclusion

Ce chapitre a permis de caractériser les matériaux de base utilisés dans cette étude : le plâtre de Boudjellil, les débris de noyaux d'olives (NO) et le verre trempé (VT) recyclé. Les analyses physico-chimiques et minéralogiques ont montré que chacun de ces matériaux possède des propriétés distinctes influençant leurs comportements dans les mélanges.

Le plâtre se distingue par sa faible masse volumique, tant apparente qu'absolue, ce qui le rend plus léger que le verre et les noyaux d'olives. Les mesures de début et de fin de prise ont révélé que l'ajout de NGO accélère le temps de prise du plâtre, tandis que le verre trempé le retarde. Cette différence est principalement liée à la nature hydrophile des NO et à la nature hydrophobe du verre.

Les analyses DRX, IRTF et FRX ont permis d'identifier la composition minéralogique et chimique de chaque matériau, confirmant la présence d'hémihydrate dans le plâtre, de cellulose dans les NGO, et de silice amorphe dans le verre trempé.

Ces résultats sont essentiels pour interpréter, dans le chapitre suivant, le comportement mécanique et la durabilité des formulations à base de ces matériaux.

A blue horizontal scroll with rounded ends and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document.

Chapitre III : Résultats d'essais et interprétations

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous explorerons en détail l'effet de l'ajout de deux matières l'une végétale (le noyau d'olive (NO)) et l'autre minérale (le verre trempé (VT)) sur les propriétés thermiques et mécaniques et la résistance à l'eau du plâtre. Le but principal est de mettre en évidence les modifications causées par ces ajouts, aussi bien sur le plan de la performance thermique que sur la résistance mécanique du matériau tout en évaluant son comportement vis-à-vis de l'humidité.

Nous accorderons une attention particulière aux variations observées dans le retrait dimensionnel, ainsi qu'aux résistances à la flexion et à la compression. L'étude comprendra également une évaluation de l'absorption d'eau et du taux de porosité, deux éléments clés influençant la durabilité et l'efficacité du plâtre dans des conditions réelles d'utilisation.

Enfin, nous mettrons en lumière l'importance de ces résultats en soulignant leurs applications concrètes dans le domaine de la construction. Ce chapitre vise ainsi à offrir une compréhension globale des effets provoqués par les modifications de la formulation du plâtre en substituant une partie de plâtre par les deux ajouts suscités.

III.2. Détermination du rapport E/P

Dans le contexte expérimentale de la conception, il est planifié de conserver un ratio eau/poudre de plâtre (E/P) de 0.4, 0.5 et 0.6. Cette décision suit les recommandations techniques pour la fabrication du plâtre. Pour identifier le ratio E/P garantissant à la fois une bonne solidité et une maniabilité adéquate, une série de tests de consistance a été effectué sur des mélanges de poudre de plâtre et d'eau (voir les Figures III.1-7)

Les résultats des essais aux différents dosages sont résumés dans les Tableaux III.1-7.

Pour 0 % :

Tableau III.1 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	E/P	Eau (g)	Étalement (cm)
1	250	0.4	100	10.95
2	250	0.5	125	17.4
3	250	0.6	150	20.1



Figure III.1: Étalement du plâtre à différents rapport E/P (0%)

Pour 2 % NGO :

Tableau III.2 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	NGO (g)	E/(P+NO)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	245	5	0.5	125	18.1
2	245	5	0.6	150	23.7



Figure III.2 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (2%NGO)

Pour 4 % NGO :

Tableau III.3 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	NGO (g)	E/(P+NO)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	240	10	0.5	125	15.35
2	240	10	0.6	150	20.55

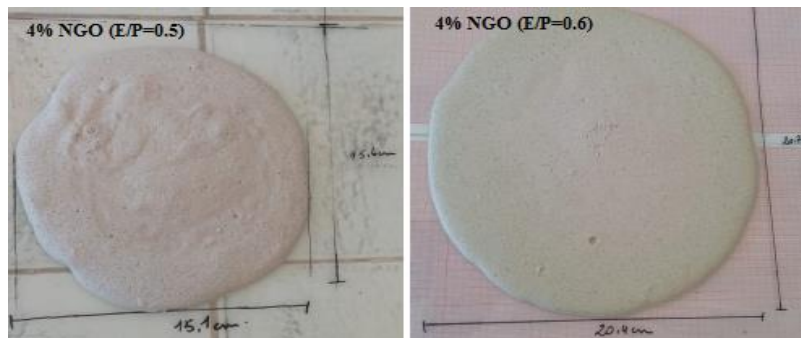


Figure III.3 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (4% NGO)

Pour 6% NGO :

Tableau III.4 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	NGO (g)	E/(P+NO)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	235	15	0.5	125	10.35
2	235	15	0.6	150	20.35



Figure III.4 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (6% NGO)

Pour 2% de verre trempé (VT):

Tableau III.5 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	VT (g)	E/(P+VT)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	245	5	0.5	125	18.55
2	245	5	0.6	150	22.35

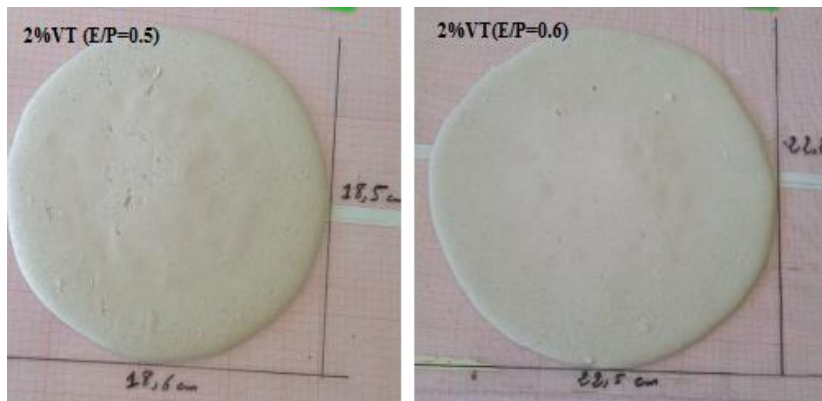


Figure III.5 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (2% VT)

Pour 4% VT :

Tableau III.6 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	VT (g)	E/(P+VT)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	240	10	0.5	125	19.3
2	240	10	0.6	150	23.7

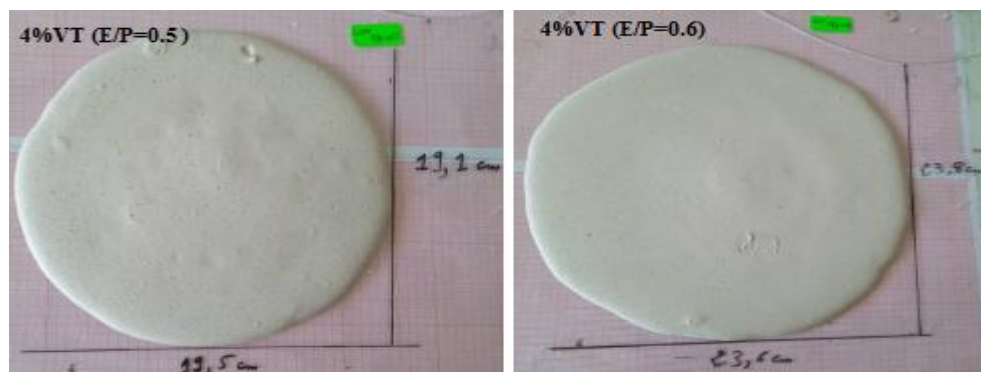


Figure III.6 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (4% VT)

Pour 6% VT :

Tableau III.7 : Détermination du rapport E/P

Essai	Plâtre (g)	VT (g)	E/(P+VT)	Eau (g)	Étalement (cm)
1	235	15	0.5	125	19.85
2	235	15	0.6	150	24.2

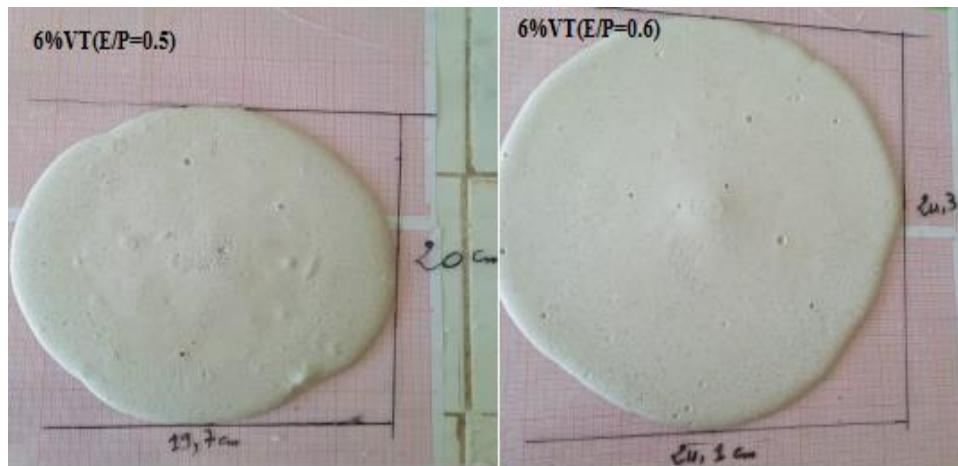


Figure III.7 : Étalement du plâtre à différents rapport E/P (6% VT)

III.3. Préparation des différentes éprouvettes

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques (Figure III.8) qui doivent être conformes à la norme NF P 18-400. Pour la confection et la conservation des éprouvettes, se reporter, suivant la catégorie de l'essai à celle des normes NF P 18-404 ou NF P 18-405.

Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimension : $(4*4*16 \text{ cm}^3)$



Figure III.8 : Confection des éprouvettes et démoulage

Le protocole de confection suit les étapes suivantes:

- Peser les poids voulus des matières à utiliser (plâtre, NO, VT)
- Peser l'eau en respectant le rapport $E/(P+\text{ajout})$, déterminé.
- Mettre l'eau dans un récipient, et saupoudrer le mélange (plâtre + %d'ajout) sur l'eau et bien mélanger.
- Verser le mélange dans le moule

- Démouler après 24h
- Conserver les éprouvettes pendant une semaine à l'air libre, ensuite les sécher dans l'étuve à une température de 50°C jusqu'à poids constant

III.4. Caractéristiques physiques

III.4.1. Absorption d'eau, masse volumique apparente et porosité

L'absorption d'eau par immersion est le résultat des mouvements capillaires dans les pores de plâtre qui sont ouverts sur le milieu ambiant. L'absorption d'eau donne une image sur la porosité, elle est donc utilisée comme un des indicateurs importants de la qualité du plâtre. Elle est déterminée par immersion d'une éprouvette de plâtre dans l'eau jusqu'à masse constante. Cette dernière est considérée comme constante lorsque deux pesées successives à 24 heures d'intervalle donnent une différence inférieure à 0,1%.

La masse volumique apparente et la porosité ouverte des échantillons sont déterminées par pesée hydrostatique en utilisant le dispositif montré sur la Figure III.9. Chaque échantillon est pesé à l'air et dans l'eau. Les échantillons sont d'abord séchés dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à ce que le poids soit constant. Des pesées à l'état sec dans l'air ont été prises. Ces échantillons sont immergés dans l'eau jusqu'à saturation complète. Une fois que les échantillons sont saturés, des pesées hydrostatiques en état saturé immergé sont réalisées puis elles sont suivies d'une pesée en état saturé à l'air.

L'absorption d'eau, la masse volumique apparente et la porosité ouverte (porosité accessible à l'eau) ont été évaluées en effectuant les calculs suivants :

$$A(\%) = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} * 100 \dots \dots \dots (III.1)$$

$$\rho_{app} = \frac{M_s}{M_h - M_e} \rho_e \dots \dots \dots (III.2)$$

$$P(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_h - M_e} * 100 \dots \dots \dots (III.3)$$

Avec: A : Absorption d'eau

M_s : Masse sèche dans l'air

M_h : Masse saturée dans l'air

M_e : Masse de l'échantillon immergé dans l'eau

ρ_e : Masse volumique de l'eau (Annexe 05.a-c)



Figure III.9: Dispositif de la pesée hydrostatique

III.4.1.1. Absorption d'eau

Cette étude a mis en évidence l'influence des ajouts sur le pourcentage d'absorption d'eau. Tous les échantillons avec ajout ont montré une évolution de cette absorption par rapport à l'échantillon témoin.

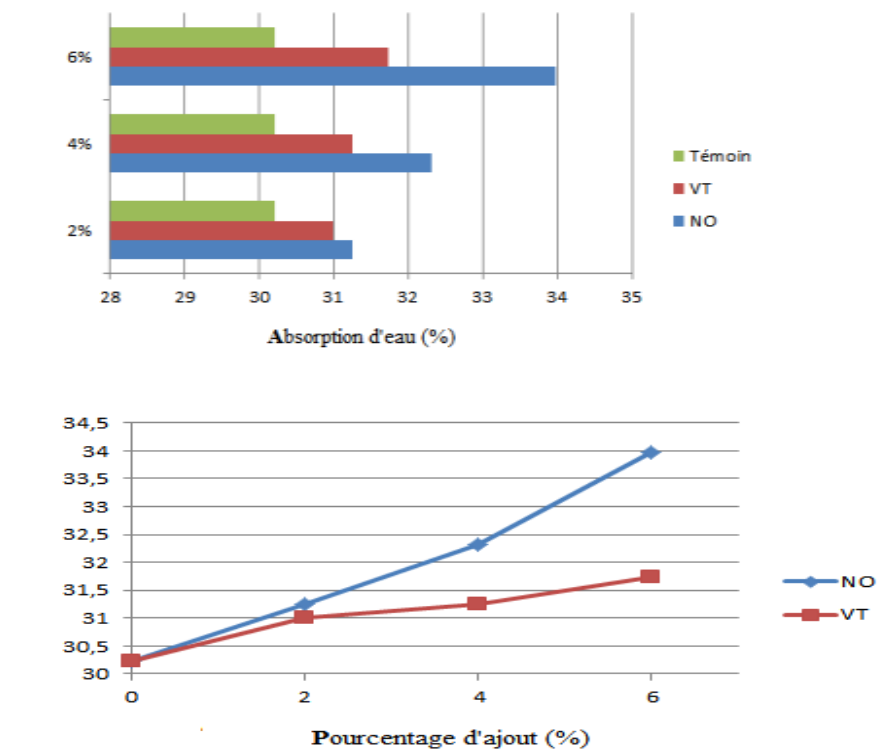


Figure III .10 : Évolution de l'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajout

Le graphique III.10, montre que les ajouts étudiés (NO et VT) influencent différemment sur l'absorption d'eau du plâtre obtenu. Il est clair que l'absorption d'eau croît en fonction du pourcentage d'ajout. Cela est en relation avec le volume de vides créé par l'ajout et la nature de l'ajout en soi même. Ce qui explique les plus grandes valeurs du pourcentage d'absorption des échantillons avec ajout de NO par rapport à l'ajout du VT. Le NO est une matière végétale et il a tendance à absorber plus l'eau.

Donc nous déduisons, que l'ajout rend un matériau hydrophobe, il le protège de l'humidité. S'il le rend hydrophile, il augmente sa capacité à absorber l'eau.

III.4.1.2 La porosité [NF P 18-554]

La porosité du plâtre est une caractéristique physique importante qui peut influencer sur sa densité, sa résistance mécanique, sa perméabilité à l'eau et à l'humidité. Les résultats du calcul du pourcentage de porosités ouvertes à l'eau, sont présentés par la Figure III.11.

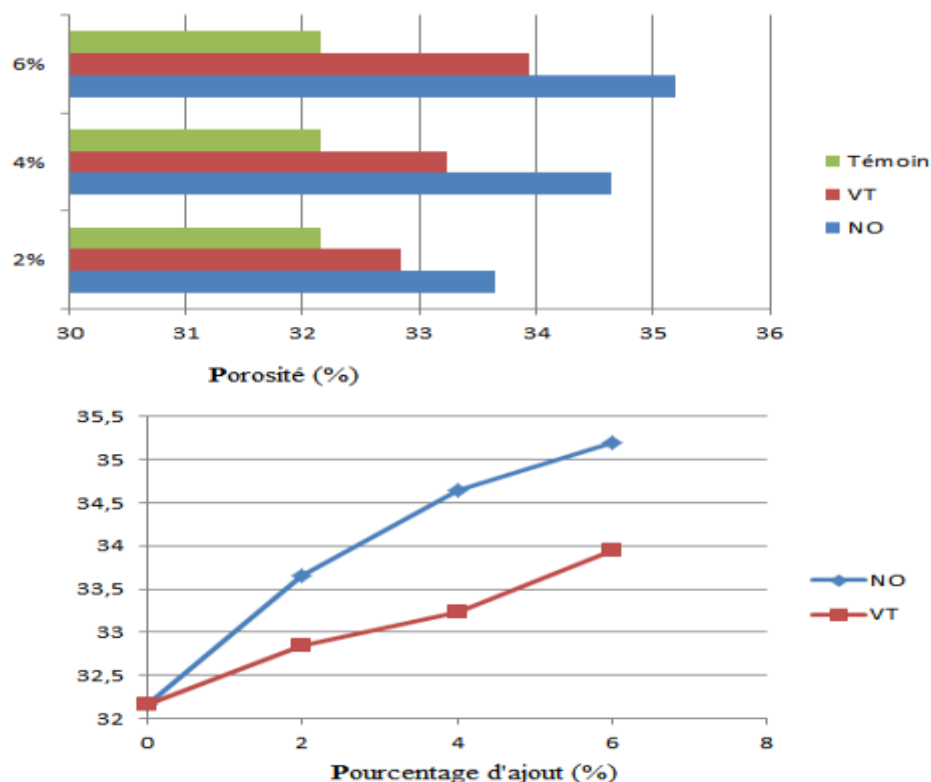


Figure III .11 : Évolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout

Nous avons constaté comme pour l'absorption d'eau que la porosité augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout.

III.4.1.3. Masse volumique apparente

la masse volumique, est une grandeur physique qui permet de connaître la quantité de matière (masse) contenue dans un certain volume.

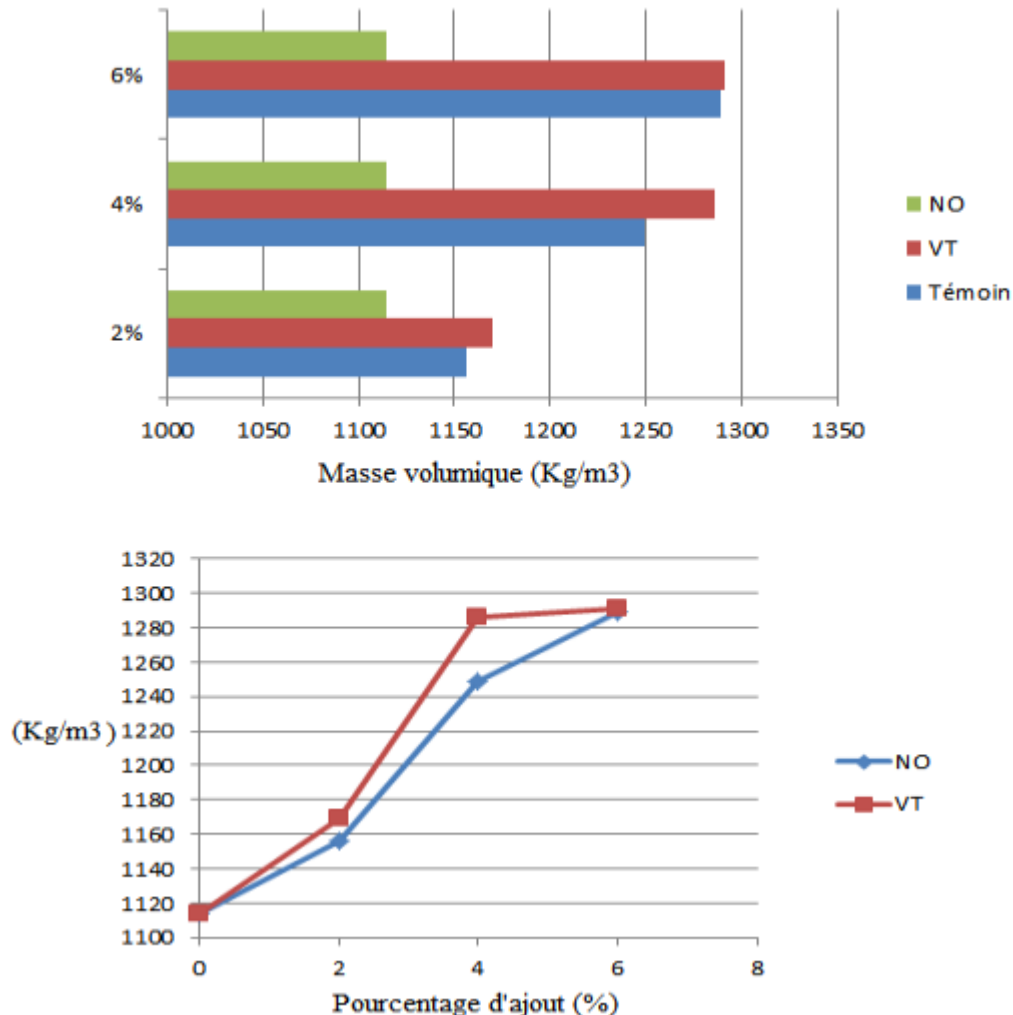


Figure III .12: Évolution de la masse volumique en fonction du pourcentage d'ajout

Les résultats des masses volumiques apparentes sont présentés par l'histogramme et la courbe de la Figure III.12. Le poids spécifique du plâtre est augmenté et ce quelque soit l'ajout utilisé. La substitution d'une partie de plâtre une fois par NO et une autre fois par VT qui présentent des densités plus importantes par rapport au plâtre (1.37 et 1.42 respectivement) devant celle du plâtre qui est de (1.07) a provoqué cette accroissement.

III.4.2. Le retrait

Le plâtre subit une expansion car l'hydratation du plâtre accompagne une augmentation de son volume à la suite d'une croissance des cristaux de CaSO_4 . Les dimensions (hauteur, longueur et largeur) ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. Le Pied à coulisse présenté par la

Figure III.13, est un instrument de mesure de précision utilisé pour mesurer des longueurs, des diamètres (intérieurs et extérieurs) et des profondeurs.



Figure III.13: Pied à coulisse

Pour le calcul du retrait, on utilise les formules suivantes:

Le retrait linéaire $\Rightarrow Rl = \frac{Li - Lf}{Li} * 100 \dots \dots \dots (III.4)$

Le retrait volumique $\Rightarrow Rv = \frac{vt - vf}{vi} * 100 \dots \dots \dots (III.5)$

L'hydratation du plâtre est accompagnée d'une expansion de l'ordre de 0,3 à 1,5% suivant les plâtres, suivie d'un léger retrait dû à l'évaporation de l'eau qui est de 1/10 du gonflement.
[GHOUMARI]

Tableau III.8: Détermination du retrait linéaire

(%) d'ajout		Retrait linéaire (%)
0		
NO	2	-0,0509
	4	0.0634
	6	-0.2546
VT	2	0.2541
	4	0.1589
	6	0.0636

Tableau III.9 : Détermination du retrait volumique

(%) d'ajout		Retrait volumique
0		2.5731
NO	2	-0.055
	4	0.3426
	6	-1 .045
VT	2	-0.1349
	4	0.4280
	6	1 .1325

III.4.3. Détermination du coefficient l'absorption d'eau par capillarité

Cet essai mesure le taux d'absorption d'eau par suctions capillaire des éprouvettes de mortier non saturées, mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique.

Avant les mesures de la sorption, les éprouvettes seront prés conditionnés dans l'étuve à environ 60°C jusqu'à une masse constante. L'essai de sorption détermine le taux ou la vitesse d'absorption par remontée capillaire d'une éprouvette cubique (4 x 4 x 16) mm³, placée dans un bac contenant d'eau (Figure III.14), de sorte que l'eau ne touche l'éprouvette que d'une hauteur de 1 cm de la profondeur du bac. On mesure alors l'augmentation de la masse de l'éprouvette en fonction du temps (10 min) par la formule III.6 donnée ci-après:

$$c = \frac{M}{S \cdot \sqrt{t}} * 100 = 31.6 (M/S) \dots \dots \dots (III.6)$$

M : masse d'eau en gramme absorbée par le plâtre depuis le début de l'immersion

S :surface de la face immergée exprimée en cm²

T : temps en minutes écoulé depuis le début de l'immersion (t=10 min)

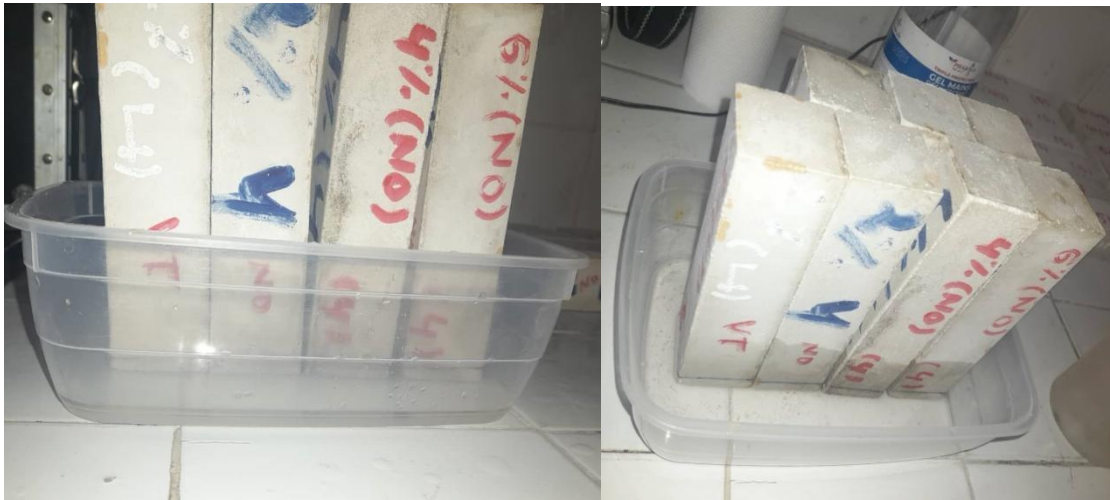


Figure III.14 : Essai du coefficient d'absorption d'eau

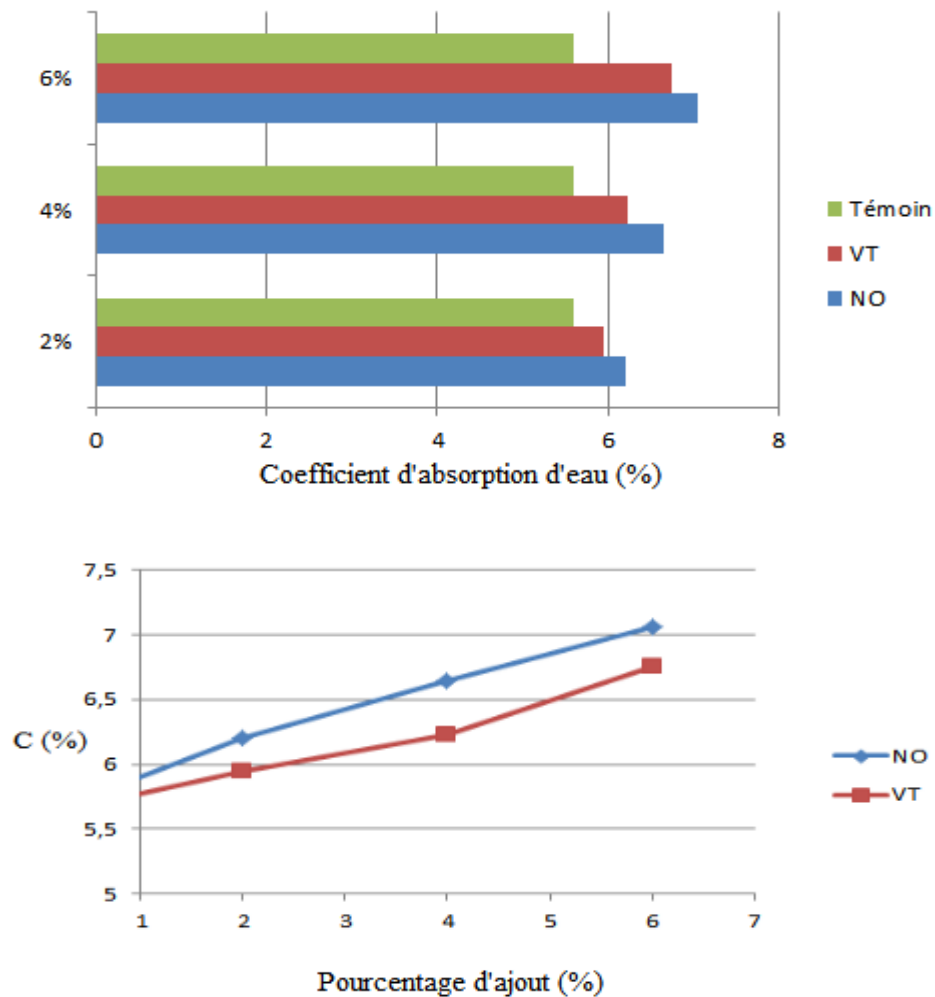


Figure III .15 : Évolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajout

le coefficient d'absorption d'eau (C) augmente avec le pourcentage d'ajout (voir Figure III.15). Ceci peut être expliquée par la porosité accrue dans les échantillons avec ajout de NO et VT. Le matériau avec ajout de VT présente une meilleure capacité à contrer les eaux par infiltration capillaire. En revanche, le matériau avec ajout de NO a tendance à aspirer l'eau vu sa forte capacité à l'absorber (matière végétale hydrophile)

III.5. Caractéristiques mécaniques

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion seront utilisés pour l'essai de compression sur les faces latérales de moulage sous une section de (40 mm x 40 mm).

III.5.1. Essai de résistance à la flexion

➤ Principe d'essai

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieur et inférieur. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée et la résistance en flexion est donnée.

➤ Conduite de l'essai

Cet essai est établi suivant la norme EN 196-1. La Figure III.16 présente le dispositif à rouleau utilisé en flexion à trois points; comportant deux appuis à rouleau distant de 100 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique (40x40x160) mm³, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée F_f .

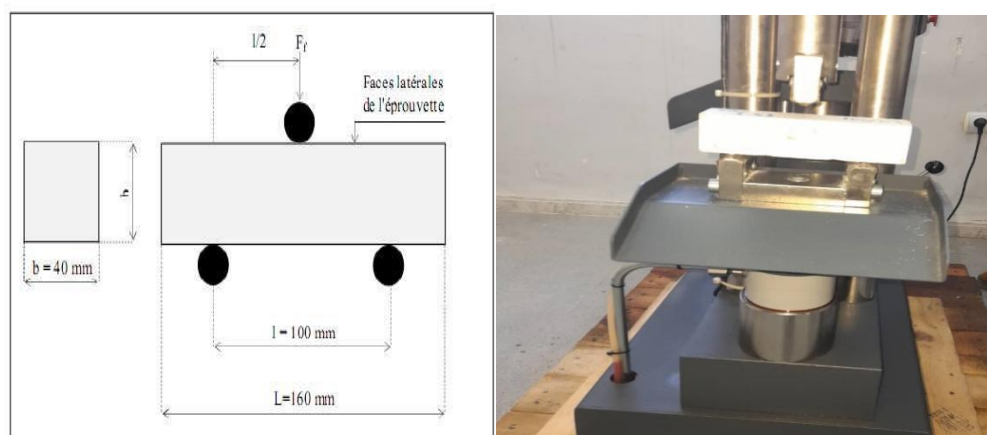


Figure III .16: Essai de traction par flexion

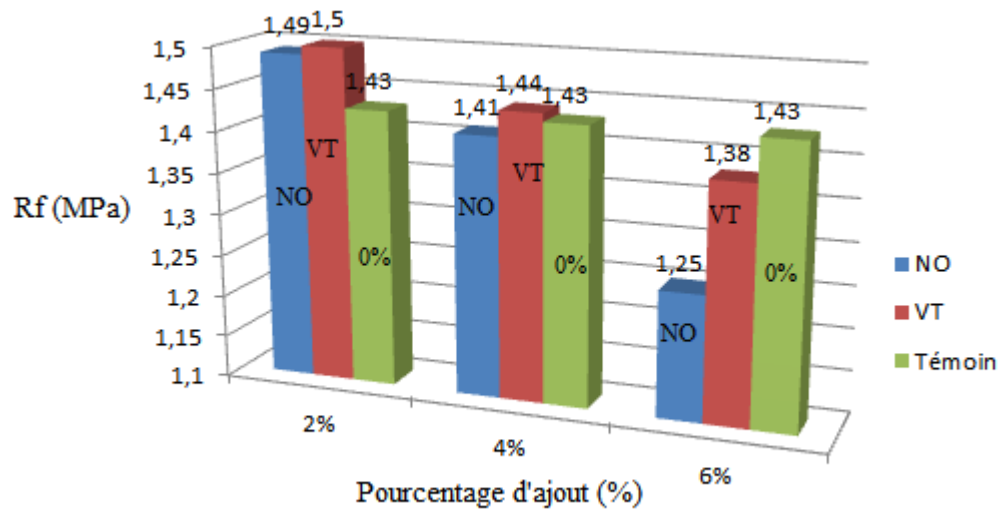


Figure III.17 : Résistance à la flexion en fonction des pourcentages d'ajout

Les résultats présentés à la Figure III.17, enregistrent une augmentation de la résistance à la flexion au dosage de 2 % d'ajout. Les valeurs pour les échantillons avec ajout de NO et VT sont respectivement 1,49MPa et 1,5MPa. Au-delà de ce pourcentage, la résistance diminue graduellement. À 6 %, le matériau contenant des noyaux d'olive affiche une résistance moindre ($\approx 1,25$ MPa) par rapport à celui avec du verre ($\approx 1,38$ MPa).

Cela suggère que, selon la méthode de pressage, un ajout modéré (2 %) améliore le matériau, mais une quantité plus élevée réduit sa cohésion interne. Le verre offre une meilleure résistance mécanique à haute concentration que les noyaux d'olive. Les essais de flexion utilisant la méthode de pressage montrent que la résistance maximale est atteinte à 2 % ajout pour les deux matériaux. Au-delà, on observe une diminution progressive, plus accentuée avec les noyaux d'olive. Le verre maintient une meilleure résistance à 6 %, ce qui indique une stabilité mécanique supérieure à des concentrations plus élevées.

III.5.2. Essai Résistance à la compression

➤ Objectifs de l'essai

Cet essai a pour objet la détermination de la résistance à la compression ou la résistance à l'écrasement des deux parties des éprouvettes de plâtre issues de la rupture après l'essai de flexion.

➤ Principe de l'essai

Cet essai est régi suivant la norme EN 196-1, exécuté avec une presse pour matériaux durs, comportant une mâchoire inférieure fixe et une mâchoire supérieure mobile.

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture, la résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. La Figure III.18, montre le dispositif expérimental de l'essai de compression

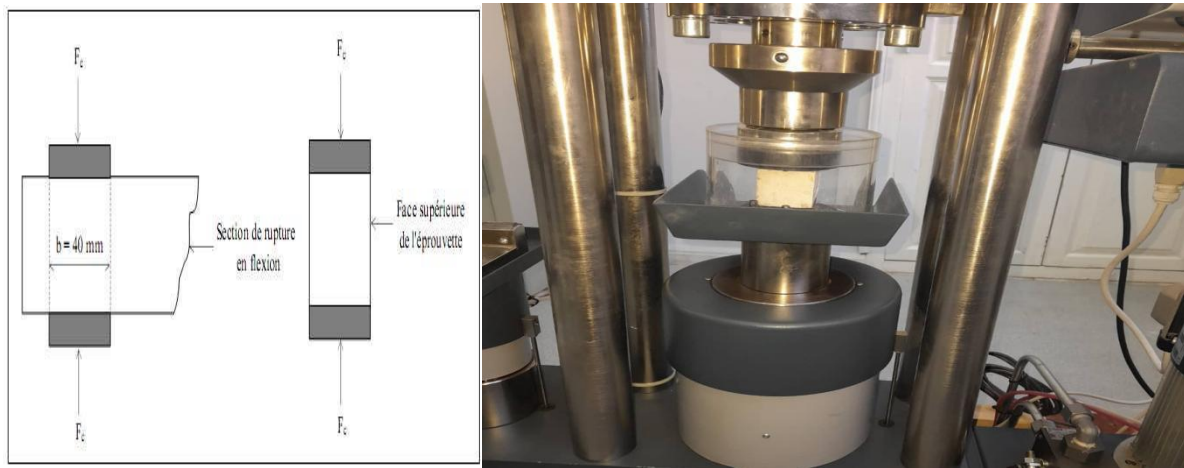


Figure III.18 : Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression.

La résistance à la compression comme montré dans la Figure III.19, atteint son pic à 2 % d'ajout, en particulier avec les NO. Au-delà de cette concentration, elle diminue progressivement.

Le VT présente une meilleure résistance à l'écrasement à des pourcentages plus élevés, ce qui indique une meilleure stabilité structurelle à long terme.

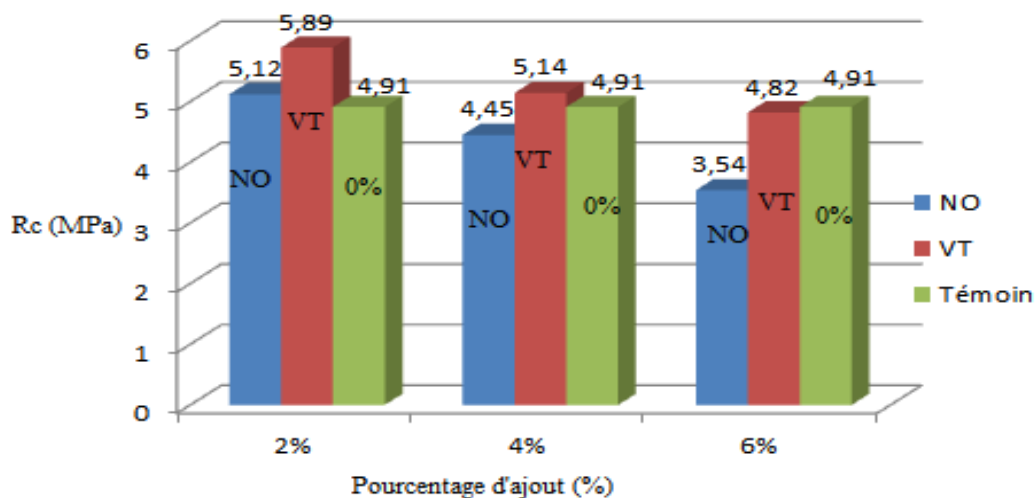


Figure III.19 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout

III.5.3. Auscultation sonore (NF P 18-418)

➤ Objectif de l'essai

L'appareil à ultrason sert au contrôle non destructif d'un matériau, les propriétés pouvant être déterminées sont les suivantes :

- L'homogénéité
- Cavités, fissures, défauts dus à l'effet du feu ou de gel
- Module d'élasticité
- Résistance à la compression

➤ Équipements nécessaires (Figure III.20)

- Un générateur d'impulsions électriques équipé d'un émetteur et d'un récepteur.
- Un dispositif de chronométrage permettant de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion et son arrivée (entre l'émetteur et le récepteur).



Figure III.20: Dispositif de mesure d'ultrason

➤ Conduite de l'essai

Il s'agit de mettre les deux sondes (Figure III.21), émettrice et réceptrice entre les extrémités de l'éprouvette de plâtre et de mesurer la vitesse du son à l'intérieur de ce matériau à partir du temps de propagation des ondes soniques donné par l'ultrason (dispositif de chronométrage).

La vitesse de propagation est calculée par la formule :

$$V = (L / T) * 10^6$$

Avec :

V : vitesse de propagation des ondes en (m/s)

L : distance entre les deux sondes en (m)

T : temps de propagation des ondes donné par l'ultrason en (μ s)



Figure III.21: Essai de mesure d'ultrason sur une éprouvette de plâtre

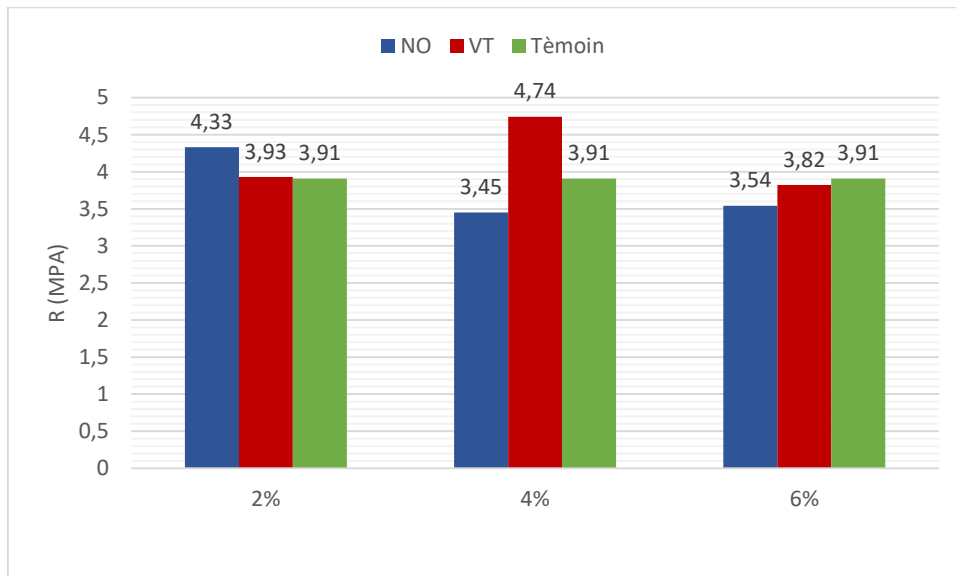


Figure III.22 : Résistance ue en fonction des pourcentages d'ajout

Le graphique de la Figure III.22, illustre l'impact de l'incorporation de verre sur la résistance mesurée par ultrasons. On constate que l'échantillon contenant du verre (VERRE) montre une amélioration graduelle des performances, en particulier à partir de 4 %, atteignant un maximum à 6 % (~2,4 MPa), contrairement à l'échantillon sans verre (NO) dont la résistance diminue légèrement. Ces résultats indiquent que l'ajout de verre améliore la densité ou la cohésion du matériau.

III.6. Caractéristique thermique (mesure de la conductivité thermique)

Le CT-mètre (Figure III.23) est un appareillage développé par le CSTB Grenoble (Hébert Sallée) qui utilise ce principe de mesure conformément à la norme NF EN 99315 et donne directement la valeur de la conductivité thermique avec une précision de 5% au maximum.

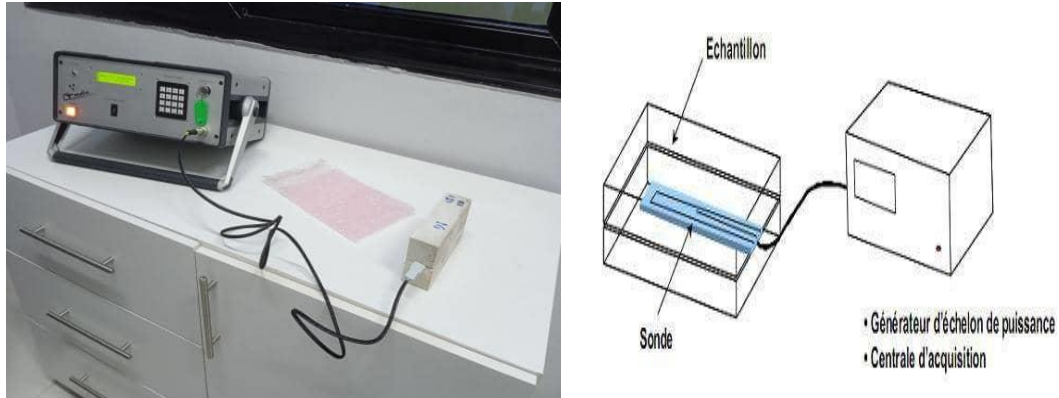


Figure III .23 : CT-mètre

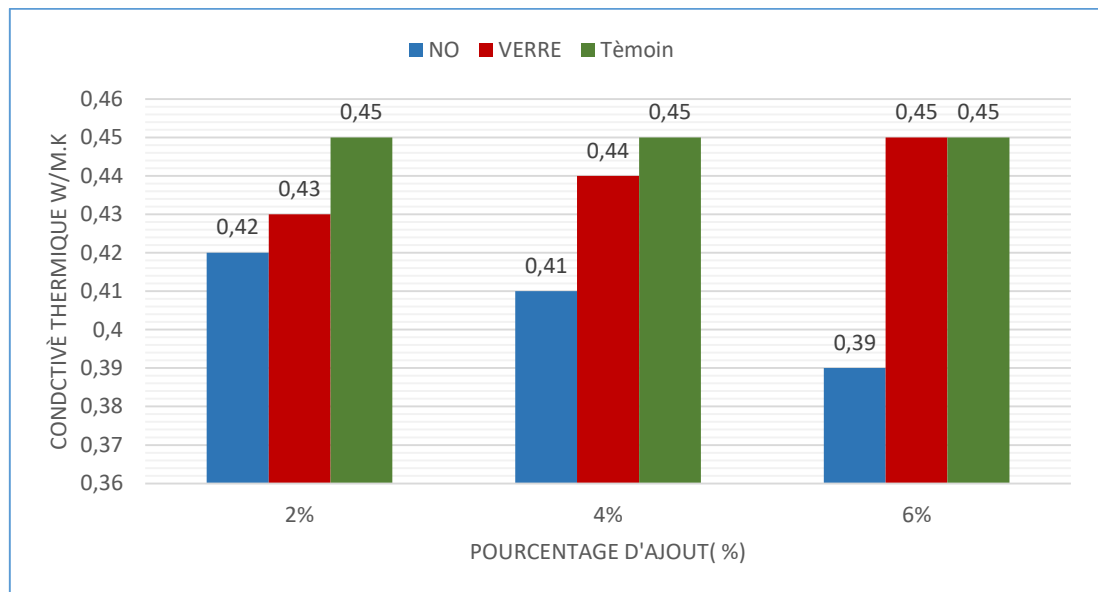


Figure III. 24 : Conductivité thermique en fonction du pourcentage d'ajout

Les mesures effectuées à l'aide d'un CT-mètre montrent que l'ajout de noyaux d'olive (NO) réduit progressivement la conductivité thermique du matériau, passant d'environ 0,45 à 0,38 W/m·K entre 0 % et 6 % (voir Figure III.24). En comparaison, le verre présente une conductivité plus élevée à tous les taux, avec une baisse moins marquée. Ces résultats indiquent que les noyaux d'olive sont plus efficaces que le verre pour améliorer l'isolation thermique.

Conclusion

Cette étude expérimentale a mis en évidence l'impact différencié de l'incorporation de matières végétales (noyaux d'olive) et minérales (verre trempé) sur le comportement du plâtre. L'ajout de NO améliore sensiblement les performances thermiques en réduisant la conductivité, au prix d'une augmentation de l'absorption d'eau et de la porosité. À l'inverse, le VT renforce la cohésion mécanique du matériau, notamment à des taux d'incorporation élevés, tout en conservant une porosité relativement faible. Les essais mécaniques ont montré une optimisation des performances à un taux d'ajout de 2 %, au-delà duquel les propriétés se dégradent. Ces résultats suggèrent que le choix du type et du dosage d'ajout doit être fait en fonction des priorités d'usage : isolation thermique ou performance mécanique.



Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail de recherche a permis de mener une étude approfondie sur l'amélioration des propriétés du plâtre par l'incorporation de matériaux recyclés tels que les noyaux d'olives (NO) et le verre trempé (VT). L'intégration de déchets dans le plâtre s'inscrit dans une approche durable visant à valoriser des matériaux résiduels tout en limitant l'impact environnemental du secteur de la construction. À travers l'évaluation des caractéristiques physico-mécaniques et de la durabilité du plâtre modifié, cette étude a permis de mettre en évidence que certains types de déchets peuvent être incorporés sans altérer de manière significative les performances du matériau, voire dans certains cas, les améliorer. Toutefois, les effets varient selon la nature, la granulométrie et la proportion des déchets ajoutés, ce qui souligne la nécessité d'un dosage rigoureux et d'une caractérisation approfondie.

Dans cette optique, une attention particulière a été portée à la caractérisation des matières premières utilisées. Les analyses physiques, géotechniques, minéralogiques et spectroscopiques ont révélé des différences notables entre les composants, confirmant leur potentiel d'utilisation en tant qu'additifs dans les formulations de plâtre. Ces études ont également permis de mieux cerner les effets attendus de ces ajouts sur les propriétés du matériau final.

Enfin, les essais expérimentaux réalisés au troisième chapitre ont permis d'évaluer l'impact de différentes proportions de NO et VT sur le comportement du plâtre. Les résultats ont mis en évidence des améliorations significatives en termes de performance thermique et de comportement mécanique, notamment en flexion et en compression. Les échantillons enrichis en verre ont montré une meilleure tenue mécanique, tandis que ceux contenant des noyaux d'olives ont affiché une porosité plus élevée, ce qui peut améliorer certaines propriétés d'isolation thermique. De plus, l'étude a démontré que l'ajustement du rapport eau/plâtre (E/P) joue un rôle crucial dans la maniabilité et la résistance finale du matériau.

Ainsi, cette recherche ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de matériaux de construction.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Sylvain meille. “Etude du comportement mécanique du plâtre pris en relation avec sa microstructure“, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquees de lyon, 2001.
- [2] Hamida mohamed lamine. “les Effet de l'humidité et caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction“, thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, page 6,2017.
- [3] <https://www.lesindustriesduplatre.org/du-gypse-au-platre/origine-platre-gypse/2022>.
- [4] Mermat fares.kiche abdnoure. “ Etude et caractérisation physique et mécanique de plâtre recyclé “, mémoire de master, Université Boumerdess, page 10,2017.
- [5] W. De Jong and J. Bouman. Zeitschrift für kristallographie. 100:275, p 40,1938.
- [6] Secret de fabrication du plâtre, “ Le plâtre industriel- L’Entrevous“, numéro 23 – page 13.
- [7]<https://french.alibaba.com/product-detail/Manufacturer-Calcined-Gypsum-Rotary-Kiln-Calciner62169280805.html> 2022.
- [8] Amitouche Nissa. “ Contribution à l’étude des propriétés physico- mécaniques des plâtres α et β avec l’ajout des fibres et de superplastifiant. CETIM“, mémoire de master, Université Boumerdess,2016.
- [9] Rachedi mokhtar. “Contribution à l’étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier“, Université Kasdi Merbah ouargla, page 21 ,2013, thèse du mèmre .
- [10] Gesmia amel kenza. “étude de propriété physique mécanique d’un composite de plâtre a base des fibres de sisal”, Université Amar Theliji Laghouat, page 20,2019, thèse du mèmre.
- [11] CNERIB : Recommandations pour la construction en plâtre“, Centre National D’études et de Recherche Intégrées au Bâtiment.Ministère de l’habitat, 2003.
- [12] 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](http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765), pah\$ge.Page106-125.

- [13] Henry gohor. Document “Technologie des bâtiments“, page 1.
<https://fr.scribd.com/document/472169825/Le-platre> 2022.
- [14] W. Michaelis. “The hardening process of hydraulic cements “, these doctorat,cement & Engineering News 1907, universite de michigan, 25 sept. 2007.
- [15] E. Karmazin. “Cinétique et mécanisme d’hydratation des sulfates de calcium semi hydratés – études par calorimétrie en régime isotherme “, Thèse doctort, INSA. Université de Lyon I, 1978.
- [16] Ben djillali khadra. “Cours MDC “. Universite Amar Theliji laghouat,2021.
- [17] Hamida mohamed lamine. “Les Effet de l'humidité caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction“, thèse de magister, Universite Mentouri de Constantine ,page 12,2017.
- [18]<https://www.systemed.fr/maconnerie-facades/materiaux-construction-polyvalentplatre,7188.html>2022
- [19]<https://www.actusenegalbtp.com/les-cloisons-en-plaques-de-platre-solution-efficace-alamenagement-et-a-la-decoration-des-pieces-de-votre-batiment/2022>
- [20]<https://www.toupret.com/enduit-professionnels/enduit-de-facade-egalissr-facade-poudre.html>
- [21] Zahra, Siouda, & Ouarda, Lalami (2020). Etude des différentes techniques culturelles pratiquées aux vergers d’olivier (*Olea europaea*) dans la région semi-aride, Wilaya de BordjBou-Arreridj (Doctoral dissertation). Université mhamed el bachir ibrahimi de bordj bou arréridj.
- [22] Verdier, E. (2003). L’Huile d’olive : son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique. (Thèse de doctorat). Université Henri Poincare-Nancy 1.
- [23] Mahbouli, A. (1974). L’économie oléicole dans le Bassin méditerranéen. L’olivier. Paris : CIHEAM, p. 39-43.
- [24] Maillard, P. (1975) L’olivier. Comité technique de l’olivier section spécialisée de l’INVFLEC. Paris, 137 p.
- [25] DSASI, (2014). Série B, direction des statistiques agricoles et des systèmes d’information. Ministère de l’Agriculture, de Développement Rural

- [26] ITAFV, (2008). L'oléiculture en Algérie "Situation actuelle de l'oléiculture en Algérie'
- [27] R. LOUSSERI et G. BROUSSE, "L'olivier Ed. Maisonneuve et Larose – Paris, 1978.
- [28] www.fao.org (Nombreux auteurs), Utilisation des sous-produits dans l'olivier en alimentation animale dans le bassin méditerranéen. 2005-2006.
- [29] P. KARLSON, "Biochimie ", 2ème Edition, 1971.
- [30] J. RODIER, "L'analyse de l'eau ". 8ème Edition Dumond, Paris, France, 1996.
- [31] A. NEFZAOU, Valorisation des grignons d'olives en alimentation animale". Laboratoire Nutrition Animale (INRA), Tunisie, 1996.
- [32] Recherche Google. «Noyau d'olive", <http://fr.wikipedia.org/wiki/olive.html>, 25 mars 2008.
- [33] Le site officiel de l'entreprise MFG CEVITAL <http://www.mfg.dz>
- [34] Documentation interne « présentation de l'entreprise MFG CEVITAL ».

Références normatives

(NF EN 1097-3) : méthode d'essai permettant de déterminer la masse volumique

(EN 1097-7 :1999) : **Le document décrit une méthode pour déterminer la masse volumique absolue du filler** à l'aide d'un pycnomètre. Il fait partie d'un ensemble de normes traitant ...

(NF P 18-560) : Dans la série des normes P 18-... qui concerne les granulats, la présente norme **définit la méthode à utiliser pour déterminer la granularité des granulats.**

(NF P 18-417) : norme définit une méthode d'essai, permettant de mesurer la dureté de surface du béton sans destruction de celui-ci, en déterminant à l'aide d'un

(NF P 18-400) : _décembre 1981. Norme En vigueur. Bétons - Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques.

(NF P 18-404) : étermination des caractéristiques mécaniques des bétons. Essai d'étude de convenance et de contrôle.

(NF P 18405) : décembre 1981. Norme En vigueur. Bétons - Essai d'information - Confection et conservation des éprouvettes.

(NF P 18-554): _Granulats — Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption. et de la teneur en eau des gravillons et caillou

(EN 196-1) : _Le présent document décrit la méthode permettant de déterminer la résistance à la compression et, facultativement, la résistance à la flexion d'un mortier