

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



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master en
Génie civil
Option : Structures
Thème

Effets de l'incorporation des mégots de cigarette dans le plâtre

Préparé par :

Encadré par :

Mme : KHENNOUS Sara

Mme : SID Romaïssa

Mme : MEZIANI. M

Member de jury:

Mr: BENYESSAD .D

Mme: AREZKI .S

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord à remercier en premier lieu « **ALLAH** », le Tout Puissant et Miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour mener à bien ce travail.

On voudrait remercier chaleureusement notre encadrant **Mme MEZIANI MERIEM** de nous avoir pris en charge et pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils.

On voudrait remercier les membres de jurys **MR BENYSAAD DJ.AMEL ET MME AREZKI.S** d'avoir accepté d'examiner notre modeste travail.

Enfin, à ceux qui ont apportés leurs soutiens de loin ou de près, trouvent ici, l'expression de nos vives et sincères remerciements.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Meheni et Fatima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mon cher mari : Nassim.
- ❖ A mes frères: Yanis ; Ania ; Sara
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : SID & KOBBI.
- ❖ Tous mes amis.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Sara** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

ROMAÏSSA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Houcine et Nedjima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mes frères; Khaled ; Samir ,
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : Khenous.
- ❖ Tous mes amis: Aicha, Ryma et Lynda.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Romaissa** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

Sara

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symboles	Désignation	Unités
ρ	la masse volumique	kg/m ³
E/P	Rapport eau / plâtre	/
ρ_b	la masse volumique de benzène	kg/m ³
ρ_{moye}	La masse volumique moyenne	kg/m ³
DRX	Diffraction aux rayons X	/
C	Carbone	/
H	Hydrogène	/
O	Oxygène	/
NF	Normes françaises	/
EN	Normes Européennes	/
ρ_{app}	La masse volumique apparente	kg/m ³
Ab	Le coefficient d'absorption	%
S	La surface spécifique	cm ² /g
Λ	La conductivité thermique	W.m.k
Rc	La résistance à la compression	MPa
Ø	Le diamètre	M
RF	La résistance à la flexion	MPa
V	Le volume	m ³
L	La longueur	M
V _L	Vitesse longitudinale	m/s
V	La vitesse	m/s
IRTF	Analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier	/
C°	Température	C°
E	Module d'élasticité	Gpa
C	Capillarité	[kg/ (m ² .min ^{0.5})].
CTH	Capacité Tampon Hydrique	/

Liste des figures :

Figure. I.1: Images de gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables,(b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse.....	3
Figure. I.2: .Projection de la structure cristalline du gypse.....	4
Figure. I.3: Extraction de gypse à ciel ouvert.....	5
Figure I.4: Concassage de gypse.....	6
Figure I.5: Four de cuisson du gypse.....	7
Figure. I.6:Mégot de cigarette.....	15
Figure I.7: Filtre usagée de cigarette en acétate de cellulose.....	16
Figure I.8 : Structures moléculaires d'acétate de cellulose.....	17.
Figure II.1:Le plâtre utiliser plâtre de Bouira.....	20
Figure II.2:Courbe de l'analyse sédimentométrie.....	22
Figure II.3:Mesure de la nasse apparente du plâtre.....	22
Figure II.4:Le pycnomètre+Benzène.....	23
Figure II.5:Perméabilimètre de Blaine.....	25
Figure II.6: Etapes suivie pour l'obtention de la mousse de mégot de cigarette.....	26
Figure II.7:Essai d'absorption d'eau des filtres de mégot de cigarette.....	28
Figure II.8: Préparations des échantillons pour l'essai IRTF.....	29
Figure II.9: Appareil d'infrarouge IRAffinity-Shimadzu.....	29
Figure II.10:Spectre infrarouge des mégots de cigarette.....	30
Figure II.11:Spectre infrarouge du plâtre.....	30
Figure II.12:Appareil DRX.....	31
Figure II.13:spectre DRX des filtres mégots.....	32
Figure II.14:spectre DRX du plâtre.....	32
Figure III.1: Etalement des pâtes de plâtre à différents rapport E/P.....	35
Figure III.2: Malaxage de la pâte de plâtre + mégots	36
Figure III.3: Moulage et conservation des mélanges.....	37
Figure III.5:Appareil Vicat.....	39
Figure III.6: Presse hydraulique type CONTROLS PILOT PRO.....	39
Figure III.7: Schéma type de l'essai de flexion.....	40
Figure III.8: Essai de résistance à la flexion.....	40
Figure III.9: Schéma type de l'essai de compression	41

Figure III.10: Essai de résistance à la compression.....	42
Figure III.11: L'appareil de CT. Mètre muni d'une sonde à fil.....	43
Figure III.12: Mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.....	44
Figure III.13:Processus de l'essai de porosité, densité apparente et absorption d'eau	45
Figure III.14: Essai MBV les (différentes solutions).....	47
Figure VI.1:Masse volumique des échantillons frais	48
Figure VI.2:Etalement des mélanges plâtre+mégot.....	49
Figure VI.3:Etalement des mélanges.....	49
Figure IV.4:Temps de prise des différentes échantillons.....	50
Figure IV.5:Porosité des différents échantillons.....	51
Figure IV.6: Absorption d'eau des différents échantillons	51
Figure IV.7 : Densité apparentes de différentes compositions	52
Figure IV.8:Coefficient d'absorption d'eau par capillarité des différents échantillons	53
Figure IV.9: Retentions d'eau des différents échantillons	53
Figure IV.10:La résistance à la flexion des différents mélanges	54
Figure IV.11 : La résistance à la compression des différents mélanges	55
Figure IV.12: Evolution de la conductivité thermique des différents mélanges	56.
Figure IV.13 : Evaluation de la vitesse longitudinale d'ondes sonique.....	57
Figure IV.14 : Evaluation de module de Young des différents échantillons.....	58
Figure IV.15: Capacité Tampon Hydrique(CTH) des différents mélanges.....	59
Figure IV.16: Classification des valeurs MBV selon le NORDST Project.....	59
Figure IV.17 : Spectre infrarouge de quelques mélanges	60

Table de matières

Résumé	
Abstract	
Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	
Symbole et abréviation	
Introduction Générale.....	1
<i>Chapitre I: Synthèse bibliographique</i>	
I.1 Généralités	
I.1.1 Définition du gypse	3
I.1.2 Structure cristalline du gypse.....	4
I.1.3 Définition du plâtre.....	4
I.1.4. Historique du plâtre.....	5
I.1.5. Fabrication du plâtre.....	5
I.1.5.1 L'extraction.....	5
I.1.5.2 Concassage –Calibrage.....	6
I.1.5.3.Cuisson	7
I.1.5.3. Le broyage	9
I.1.6. Différentes type du plâtre.....	10
I.1.7. Les propriétés physiques du plâtre.....	10
I.1.7.1.Prise.....	10
I.1.7.2 .Durcissement.....	12
I.1.7.3 .Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie	12
I.1.7.4.Isolation acoustique.....	12
I.1.7.5 .Résistance au feu.....	13
I.1.8. Domaine d'utilisation du plâtre.....	13

I.2: Les déchets.	
I.2.1 définition d'un déchet.....	14.
I.2.2 Les différents types de déchets.....	14
I.2.3. valorisation des déchets.....	15
I.2.3.1. Recyclage des déchets.....	15
I.2.3.2. L'avantage du recyclage.....	16
I.2.4. Mégot de cigarette.....	16
I.2.4.1. Définition de mégot.....	16
I.2.5 .composition de mégot.....	17
I.2.6. l'impact sur l'environnement.....	18
I.2.7. Le recyclage de mégot dans les différents domaines.....	18
I.2.8 .Conclusion.....	19

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

II.1 .Introduction.....	20
II.2. Matériaux utilisés.....	20
II.2.1. Plâtre.....	20
II .2.1.1 .La distribution granulométrique.....	21
II.2.1.2. La masse volumique apparente.....	22
II. 2.1.3. La masse volumique absolue.....	23
II. 2.1.4.La surface spécifique.....	24
II.2.2. Les filtres de mégots de cigarettes.....	25
II.2.2.1. Métaux lourds dans les filtres de mégots de cigarette.....	26
II.2.2.2. La masse volumique des filtres de mégots.....	27
II.2.2.3. Essai d'absorption de l'eau des filtres.....	28
II. 2.3. Microstructures des matériaux utilisés.....	28
II.2.3.1. Analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)...	29
II.2.3.2. Analyse structurale par diffraction de rayon (DRX).....	31
II.3. Conclusion.....	33

Chapitre III : Procédés expérimentaux

III.1. Introduction.....	34
III.2. Formulation des mélanges.....	34

III.2.1 Détermination du rapport E/P	34
III.3. Confection des éprouvettes et condition de conservation.....	35
III.4. Essai sur pâtes fraîches.....	37
III.4.1 Essai de consistance.....	37
III.4.2 Temps de prise.....	38
III.5 Essai sur pâtes durcies.....	39
III.5.1 caractéristiques mécaniques.....	39
III.5.1.1. Résistances mécaniques de la rupture par flexion.....	39
III.5.1.2. Résistance à la compression.....	41
III.5.2. Caractéristiques physiques.....	42
III.5.2.1. Conductivité thermique.....	42
III.5.2.2. Essai de l'ultrason.....	43
III.5.2.3. porosité et absorption d'eau.....	44
III.5.2.4. Densités apparente.....	45
III.5.2.5. Coefficient d'absorption d'eau par capillarité.....	45
III.5.2.6. Essai de retentions d'eau.....	46
III.5.3. Caractéristiques hygroscopique.....	46
III.5.3.1. Capacité tempo hydrique.....	46
III.5.4 Analyse par spectrométrie infrarouge a transformée de fourrier.....	47
III.6. Conclusion.....	47

Chapitre IV: Analyse et discussions

IV.1. Introduction.....	48
IV.2. Essai à l'état frais	48
IV.2.1. La mousse volumique	48
IV.2.2. Etalement	49
IV.2.1.3. Temps de prise	50
IV .3. Essais à l'état durci.....	51
IV.3.1. Essai d'absorption d'eau et de porosité.....	51
IV.3.2. Densité Apparente.....	52
IV.3.3. Coefficient d'absorption d'eau par capillarité	52
IV.3.4. Retentions d'eau.....	54
IV.3.6 : Résistance à la compression.....	54
VI.3.7. Conductivité thermique.....	56
IV.3.8. Vitesse sonique et module de Young.....	57

IV.4. Valeur de capacité Tampon Hydrique (CTH).....	58
IV.5. Analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de fourrier (IRTF).....	60
VI.5.Conclusion.....	62

Conclusion générale

Bibliographique

Annexes

Introduction générale

La gestion des déchets est devenue une problématique environnementale majeure de notre époque, et les mégots de cigarettes en sont un exemple préoccupant. Chaque année des milliards de mégots de cigarettes sont jetés dans l'environnement, causant des dommages écologiques significatifs. Ces déchets toxiques se dégradent lentement et libèrent des substances chimiques nocives qui polluent les sols et les cours d'eau.

Face à cette situation alarmante, des solutions innovantes et durables sont nécessaires pour atténuer cet impact environnemental. L'une des approches prometteuses consiste à recycler les mégots de cigarettes en les intégrant dans des matériaux de construction tels que le plâtre. Cette méthode non seulement réduit la quantité de déchets toxiques dans l'environnement mais améliore également certaines propriétés des matériaux de construction. En incorporant des mégots de cigarettes on peut obtenir un plâtre avec une meilleure densité et des propriétés d'isolation thermique accrues.

Cette stratégie de recyclage offre une double opportunité : elle permet de traiter un problème de pollution majeur tout en optimisant les caractéristiques des matériaux utilisés dans le secteur de la construction. De plus, l'adoption de telles pratiques pourrait sensibiliser le public et les industries à l'importance de la gestion durable des déchets, incitant à une utilisation plus responsable des ressources et à la recherche continue de solutions écologiques innovantes.

Le présent travail s'inspire de cette problématique environnementale et vise à incorporer des filtres de mégots usés dans des pâtes de plâtre. Ce travail de ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres, chacun abordant un aspect spécifique de l'étude.

Le 1^{er} chapitre présente un état de l'art sur l'incorporation des mégots dans les différents secteurs, notamment dans les matériaux de construction, et les impacts environnementaux associés à cette pratique, il inclut une revue détaillée sur le plâtre. Cette section pose les bases théoriques et justifie l'intérêt de l'étude.

Le 2^{ème} chapitre se concentre sur la présentation et la caractérisation physico-

chimique des matières premières utilisées à fin de comprendre leurs comportements et de recueillir les informations utiles à l'amélioration des performances du plâtre.

Dans le 3^{ème} chapitre, les procédés expérimentaux mis en œuvre pour l'incorporation des mégots de cigarettes dans le plâtre sont décrits en détail. Cela inclut la préparation des mélanges et des ratios d'incorporation, les conditions de cure, ainsi que les différents tests réalisés.

Le 4^{ème} chapitre est consacré à l'analyse et la discussion des résultats pour déterminer les relations entre les propriétés physico-chimiques de plâtre et les filtres des mégots de cigarettes.

Une conclusion générale vient clôturer ce travail du projet de fin d'étude. En conclusion cette étude apporte une contribution significative à la gestion des déchets de cigarettes usées et à l'amélioration des matériaux de construction tout en ouvrant la voie à des solutions innovantes et durables pour l'industrie de la construction.

Introduction générale

La gestion des déchets est devenue une problématique environnementale majeure de notre époque, et les mégots de cigarettes en sont un exemple préoccupant. Chaque année des milliards de mégots de cigarettes sont jetés dans l'environnement, causant des dommages écologiques significatifs. Ces déchets toxiques se dégradent lentement et libèrent des substances chimiques nocives qui polluent les sols et les cours d'eau.

Face à cette situation alarmante, des solutions innovantes et durables sont nécessaires pour atténuer cet impact environnemental. L'une des approches prometteuses consiste à recycler les mégots de cigarettes en les intégrant dans des matériaux de construction tels que le plâtre. Cette méthode non seulement réduit la quantité de déchets toxiques dans l'environnement mais améliore également certaines propriétés des matériaux de construction. En incorporant des mégots de cigarettes on peut obtenir un plâtre avec une meilleure densité et des propriétés d'isolation thermique accrues.

Cette stratégie de recyclage offre une double opportunité : elle permet de traiter un problème de pollution majeur tout en optimisant les caractéristiques des matériaux utilisés dans le secteur de la construction. De plus, l'adoption de telles pratiques pourrait sensibiliser le public et les industries à l'importance de la gestion durable des déchets, incitant à une utilisation plus responsable des ressources et à la recherche continue de solutions écologiques innovantes.

Le présent travail s'inspire de cette problématique environnementale et vise à incorporer des filtres de mégots usés dans des pâtes de plâtre. Ce travail de ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres, chacun abordant un aspect spécifique de l'étude.

Le 1^{er} chapitre présente un état de l'art sur l'incorporation des mégots dans les différents secteurs, notamment dans les matériaux de construction, et les impacts environnementaux associés à cette pratique, il inclut une revue détaillée sur le plâtre. Cette section pose les bases théoriques et justifie l'intérêt de l'étude.

Le 2^{ème} chapitre se concentre sur la présentation et la caractérisation physico-

chimique des matières premières utilisées à fin de comprendre leurs comportements et de recueillir les informations utiles à l'amélioration des performances du plâtre.

Dans le 3^{ème} chapitre, les procédés expérimentaux mis en œuvre pour l'incorporation des mégots de cigarettes dans le plâtre sont décrits en détail. Cela inclut la préparation des mélanges et des ratios d'incorporation, les conditions de cure, ainsi que les différents tests réalisés.

Le 4^{ème} chapitre est consacré à l'analyse et la discussion des résultats pour déterminer les relations entre les propriétés physico-chimiques de plâtre et les filtres des mégots de cigarettes.

Une conclusion générale vient clôturer ce travail du projet de fin d'étude. En conclusion cette étude apporte une contribution significative à la gestion des déchets de cigarettes usées et à l'amélioration des matériaux de construction tout en ouvrant la voie à des solutions innovantes et durables pour l'industrie de la construction.

I.1.Généralités sur le plâtre

I.1.1. Définition du gypse :

Le gypse appelé par les anciennes « pierres de lune » et actuellement « pierre à plâtre » appelé aussi demi-hydrate. Il se trouve sous deux formes : naturelle ou synthétisée.

Gypse naturel :

Le gypse naturel est une roche sédimentaire provenant de dépôts marins que l'on trouve avec le sel gemme, les marnes l'anhydrite, et pratiquement à tous les niveaux des ères géologique. Il se trouve dans la nature en quantité importante et sous multiples présentations physiques (**Figure. I.1**). Il se présente sous forme de deux structures :

- Hydraté de sulfate de calcium de formule chimique($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), c'est le gypse.
- Anhydre de formule CaSO_4 qui est l'anhydrite.

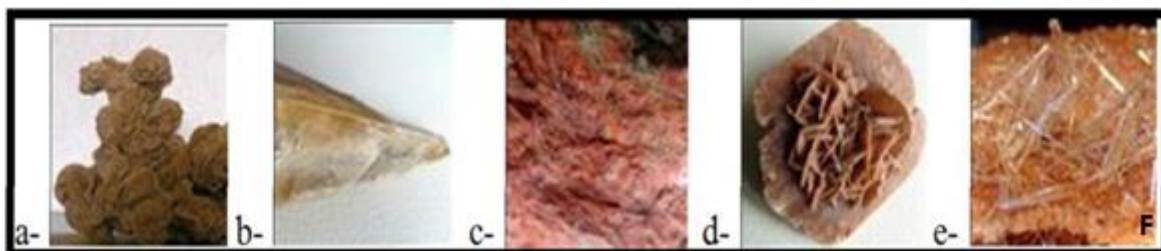


Figure. I.1.Gypse naturels:(a,d) Gypse rose des sables, (b)gypse en freelance, (c,e ,f) [1]

Le gypse peut présenter une structure fibreuse, lamellaire ou terreuse. Le gypse pur blanc, opaque, les cristaux sont incolores ou maclés en fer de lance ou en queue d'hirondelle ou encore dans des roses de sable, il est souvent coloré par des impuretés en jaune, en gris ou en brun (trace d'argile, de silice, d'oxyde de fer, de calcite....).[2]

Gypse de synthèse (chimique) :

Il est le résultat d'une réaction chimique industrielle, ou du traitement d'effluent contenant du H_2SO_4 .

Dans le premier cas, le gypse chimique est produit par :

- L'industrie d'obtention du sel marin.
- La neutralisation des taux résiduels acides, dont celles provenant de la

fabrication du dioxyde de titane, gypse de sulfuration (variétés très connues dans certains pays).

- Le traitement de certaine solution salures résiduaire.

Dans le second cas, le gypse (phosphore gypse) est un sous-produit de la fabrication de l'acide phosphorique, constituant principal des engrais minéraux modernes (phosphate de calcium ou d'ammonium).

Pour transformer le gypse naturel ou artificiel en plâtre, il faut procéder à un ensemble de phases : L'extraction, le concassage, le séchage, le deuxième concassage, la cuisson, le broyage et enfin l'ensachage. [3]

I.1.2. Structure cristalline du gypse :

Le cristal de gypse est de symétrie monoclinique, il est composé d'un empilement de couches d'ions calcium Ca^{2+} et sulfate SO_4^{2-} de forme tétraédrique avec un atome de soufre au centre et des atomes d'oxygène aux sommets. Ils sont séparés par des doubles couches d'eau (**Figure. I.2.**) [4].

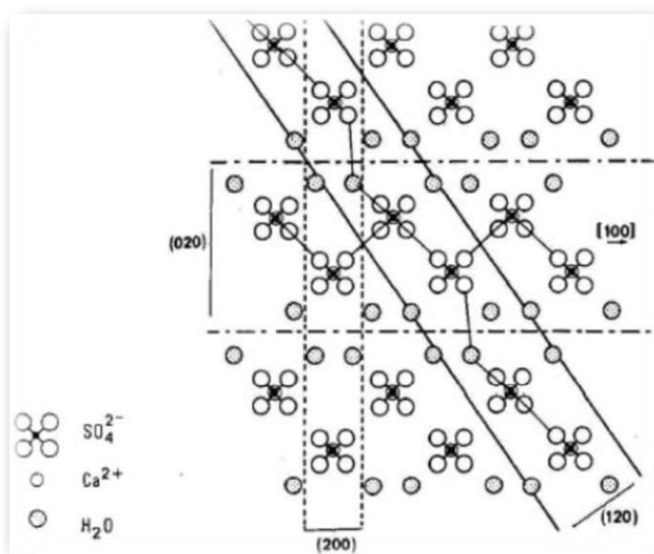


Figure. I.2.Projection de la structure cristalline du gypse [5]

I.1.3. Définition du plâtre

Le plâtre est obtenu à partir du gypse, une roche calcaire qui, une fois réduite en poudre et mélangée à de l'eau, produit une pâte boueuse facile à travailler. Un procédé de chauffage va déshydrater la structure ionique du gypse. Le broyage donnera un

résultat sableux mais fin.[6]

1.1.4. Historique du plâtre :

Le plâtre fut le matériau le plus anciennement utilisé avec la chaux et la terre cuite. La facilité d'obtention du plâtre grâce à une température de cuisson très faible et l'abondance de gypse dans la nature expliquent l'ancienneté de son utilisation qui remonte à environ 9000 ans. Au temps des Egyptiens, le plâtre était déjà utilisé comme mortier, mais surtout pour mouler des pièces décoratives. Le gypse est facile à extraire. Parfois, il est même présent en surface.

La grande pyramide de Khéops en Egypte, construite par l'assemblage de blocs de pierre en plâtre, est l'une des premières grandes utilisations du plâtre dans la construction.

Plus récemment, suite à l'incendie de Londres en 1666, Louis XIV a promulgué, en 1667, un décret dans lequel il exige la généralisation d'application des enduits en plâtre, déjà connu pour sa résistance au feu, sur toute ossature en bois.

Actuellement, le plâtre est utilisé pour les travaux d'intérieur soit en enduit ou bien en élément préfabriqués, carreaux ou plaques. [7]

I.1.5.Fabrication du plâtre:

I.5.1.1. Extraction:

Le plâtre provient du gypse, un minérale essentiellement composé de sulfate de calcium hydraté. Il peut être extrait à ciel ouvert ou en carrières sous terraine (**Figure. I.3.**).



Figure. I.3.Extraction de gypse à ciel ouvert [8]

I.5.1.2. Concassage-calibrage :

Le concassage a pour but de réduire le gypse extrait de la carrière en produits plus fins. Généralement, après un concassage, il ne subsiste plus de blocs dont la dimension est supérieure à 100mm (**Figure. I.4.**). Ce gypse devient donc transportable et peut être envoyé en usine pour un traitement ultérieur. De très nombreux types de concasseurs existent sur le marché et peuvent traiter jusqu'à (1200 à 1300 tonnes /h).

Voici quelques types de concasseur utilisés dans l'industrie.

Concasseur à mâchoire : Les blocs sont écrasés entre deux mâchoires cannelées, l'une fixe, l'autre animée d'un mouvement alternatif.

Concasseur à cylindre dentés : Les deux cylindres tournent en sens inverses. Les rendements sont importants.

Concasseur à cylindre unique et mâchoires : Le gypse est écrasé par un cylindre denté tournant devant une mâchoire fixe, bien adapté au traitement d'un matériau humide.

Concasseur à percussion (à marteaux) : Un cylindre à marteau fixe tourne à grande vitesse et projette ainsi les blocs contre les enclumes.

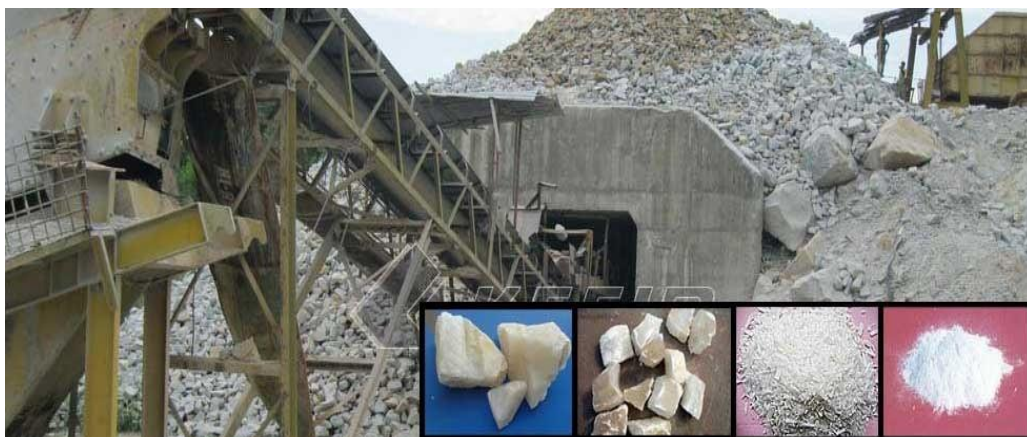


Figure. I.4. Concassage et calibrage de gypse [9]

I.5.1.3.Cuisson:

La cuisson permet d'obtenir, par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre (**Figure. I.5.**)

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 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.5. Four de cuisson du gypse [10]

On procède à la cuisson suivante deux principes essentiels :

- La cuisson en voie sèche (des tinées pour la fabrication du plâtre Béta).
- La cuisson en voie humide (destinée pour la fabrication du plâtre Alpha).

a) Cuisson du plâtre Béta

Après un premier broyage, la poudre fine calibrée est cuite à raison de 5 tonne par heure, dans des fours de type «four beau » a une température qui est variée entre 150° et 160°qui opère une cuisson indirecte du gypse placé dans une virole en rotation au-dessus de bruleurs à fioul.

b) Cuisson du plâtre Alpha

Les pierres de gypse, précédemment triées, sont déposées dans des paniers et mises dans des autoclaves (sorte de « cocotte-minute »). La cuisson s'effectue à une

pression pouvant aller jusqu'à 10 bars. Les caractéristiques du plâtre ainsi obtenu permettent un gâchage avec peu d'eau (5 à 6 fois moins qu'avec du plâtre Béta) pour un matériau offrant alors des résistances mécaniques beaucoup plus élevées.

Processus de cuisson du plâtre:

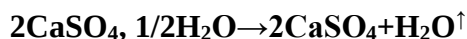
- **Déshydratation du gypse:**

La pression de vapeur d'eau augmente avec la température dans la matière à cuire, l'expulsion des molécules d'eau demi-hydrate entraîne la transformation de son réseau cristallin monoclinique en une symétrie trigonale, selon l'atmosphère de vapeur d'eau présente apparaissent des formes différentes d'hémi hydrate.

La forme différente des cristaux d'hémi hydrate α et β avec leur part respective influencent les propriétés physiques du plâtre. Le processus de déshydratations déroule comme suit :



La poursuite de la déshydratation de l'hémi hydrate fait apparaître les anhydrites :



Les impuretés contenues dans le gypse ne subissent pas de transformations chimiques lors de la fabrication du plâtre. Elles s'exercent toute fois une influence négative sur les propriétés physique des produits finaux en fonction de leur proportion (supérieur à 15%).

Dans le cas de plâtre de température élevée qui sont totalement déshydratés, les impuretés peuvent subir une transformation chimique.

- **Fabrication du semi-hydrate**

Le terme plâtre est utilisé pour désigner un matériau solide que l'on appelle autrement plâtre pris (gypse), c'est aussi la poudre ou encore le semi-hydrate qui permet, après gâchage d'obtenir le dit matériau solide.

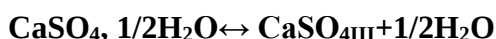
La fabrication de cette poudre consiste à éliminer partiellement de l'eau de constitution du gypse. Les phénomènes de cristallisation qui ont lieu sont décrits par plusieurs sauteurs et peuvent se résumer comme suit : en procédant à la cuisson entre 100 °C et 140°C, on obtient les semi-hydrates α et β selon que celle-ci est effectuée sous vapeur d'eau ou à l'air. Le semi-hydrate présente une structure cristalline

monoclinique.

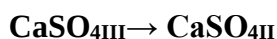
La transformation s'effectue suivant l'équation:



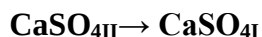
Si on poursuit la cuisson vers 200 ° C on a l'anhydrite III ($\text{CaSO}_{4\text{III}}$) ou l'anhydrite soluble, très instable, il s'hydrate assez rapidement en semi-hydrate au contact avec l'eau en phase vapeur. Sa structure cristalline est hexagonale. L'équation de la transformation est alors:



L'anhydrite III se transforme en anhydrite II ($\text{CaSO}_{4\text{II}}$), de structure cristalline orthorhombique, Lorsqu'on est aux l'entour de 250°C à partir du semi-hydrate α et vers 400°C à partir du semi-hydrate β :



Dans le cas où on cuit au-delà de 1200°C, on obtient l'anhydrite I, sa structure cristalline est cubique à faces centrées, la réaction se produit conformément à l'équation ci-dessus :



Les semi-hydrates α et β sont les principaux produits utilisés : le premier par un gâchage avec peu d'eau permet d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques. Il est utilisé pour les moulages spéciaux, la fabrication des prothèses dentaires, etc. Le second après gâchage conduit à un matériau moins dense et peu résistant. Il est utilisé dans de nombreuses applications comme les enduits, plafonds, etc.

I.1.5.4. Broyage:

Après la cuisson, les pierres sont broyées selon deux principes :

a)Le broyage standard:

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

b) Le broyage sélectif:

Comme dans le broyage standard, le plâtre est broyé par des marteaux en rotation puis aspiré à travers une « cage d'écureuil » en rotation. Selon son poids (donc sa taille), le grain de plâtre, soumis à deux forces opposées (centrifuge et aspiration), traverse ou non la cage d'écureuil. [11]

I.1.1.6. Les différents types du plâtre :

Les principaux types de plâtres commercialisés ainsi que leurs utilisations les plus courantes bien que non exhaustives sont en fonction des différentes variétés suivantes:

- Plâtres gros qui ont une forte granulométrie. Le refus au tamis de 800 μ pouvant être compris entre 5 et 20%. Ils peuvent être utilisés purs ou additionnés soit de sable, soit d'un mélange de sable et de chaux, et servent en principe pour la première couche des enduits, pour effectuer le dressage des murs et plafonds, pour exécuter des remplissages en forte épaisseur des scellements etc.
- Plâtres fins à enduire, pour lesquels le refus au tamis de 800 μ est inférieur à 1% et celui au tamis de 200 μ est de l'ordre de 25%. Il existe plusieurs types, soit normaux, ou présentant une très haute dureté (T.H.D) ou encore allégés à la perlite. Ces plâtres se gâchent généralement dans un rapport E/P voisin de l'unité. Ils peuvent être appliqués manuellement ou mécaniquement.

L'industrie plâtrière fournit également des plâtres à usages particuliers, c'est ainsi que l'on trouve les plâtres à briqueter, destinés au montage des cloisons de distribution, les plâtres chaux des surfacages, ainsi et surtout les plâtres pour préfabrication, essentiellement utilisés pour la fabrication de carreaux de plâtre, d'éléments de cloison en plaques de parement. [12]

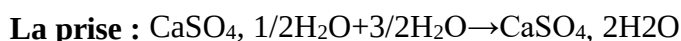
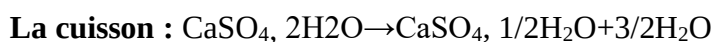
I.1.7. Les propriétés du plâtre :**I.1.7.1. Prise :**

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 initiale et de reconstituer du gypse. Ce phénomène s'appelle la prise du plâtre. Plusieurs mécanismes sont envisagés pour décrire ce processus qui se déroule en trois étapes

successives :

- Reprise de l'eau pour reformer le déshydrate.
- Cristallisation (qui constitue la prise proprement dite).
- Durcissement.

La prise est la réaction inverse du caisson.



Accélérateurs de prise

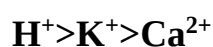
Dans le cas notamment de la préfabrication, il peut être nécessaire d'accélérer la prise du plâtre pour procéder à un démoulage plus rapide. On fait donc appel à des accélérateurs qui sont des produits minéraux formant des germes de cristallisation (gypse broyé par exemple) ou diminuant la solubilité du sulfate de calcium déshydraté (sulfates – sauf sulfate de fer–, acides sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium)

Retardateurs de prise

Pour de nombreuses utilisations dans le bâtiment, l'atour l'industrie, il est nécessaire de retarder la prise du plâtre pour permettre un travail plus facile. Plusieurs mécanismes peuvent être mis en jeu :

- Diminution de la vitesse de dissolution des phases anhydres.
- Diminution de la solubilité des phases anhydres.
- Absorption d'ions à la surface des cristaux de gypse en cours de croissance et incorporation de ces ions dans leur réseau.
- Formation de complexe limitant la diffusion vers les cristaux de gypse.

Les principaux retardateurs de prise sont les phosphates alcalins et d'ammonium, les acides organiques et leurs sels solubles (par exemple l'acide citrique et les citrates), les protéines dégradées. En général, l'efficacité des sels d'acides organiques suit la séquence :



Épaississeurs et rétenteurs d'eau:

Les épaississeurs, en augmentant la consistance de la pâte de plâtre, permettent

d'avancer le début d'emploi du plâtre. Un épaississe urbaine connu est l'amidon.

Généralement, ces produits ont aussi un effet retardateur de prise limité ; associés à des retardateurs plus puissants, ils permettent d'utiliser la pâte dès la fin du gâchage et d'augmenter la durée d'emploi. Ils facilitent en outre la mise en œuvre. Épaississeurs et rétenteurs ont permis le développement des plâtres modernes à long temps d'emploi et des plâtres projetés.

Certains épaississeurs sont également rétenteurs d'eau, c'est-à-dire qu'ils retiennent dans la pâte, en empêchant son évaporation ou son absorption par le support, une certaine quantité d'eau qui permet au plâtre de s'hydrater normalement durant la prise.

L'absence de rétenteur d'eau conduirait au grillage du plâtre simplement retardé appliqué sur son support.

I.1.7.2.Durcissement:

Le processus de durcissement comporte trois phases:

- Dissolution des produits du semi-hydrate.
- Hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate.
- Cristallisation de l'hydrate.

I.1.7.3. Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie:

Du fait de sa faible conductivité thermique λ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique. Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique. Les plâtres spéciaux qui incorporent des charges d'agrégats légers qui ont des conductivités thermiques de l'ordre de **0,18 à 0,20 W.m⁻¹.K⁻¹** sont particulièrement destinées à cet usage. Le plâtre grâce à sa forte capacité d'énergie thermique et à sa faible conductivité thermique, aide à éliminer le phénomène de parois froides, régule la température intérieure, limite les déperditions de chaleur et améliore le confort des occupants contribue à une maintenir une température stable à l'intérieur des bâtiments.

I.1.7.4. Isolation acoustique :

Le domaine de l'acoustique est complexe, ce qui rend l'évaluation de l'utilisation du plâtre tout aussi délicate. Il est essentiel de comprendre ses interactions avec l'eau,

sa durabilité en milieu humide et son impact sur l'écosystème.

I.1.7.5. Résistance au feu :

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

Ce comportement résulte des données suivantes:

- Le plâtre est incombustible.
- Mauvais conducteur de chaleur.
- Sous l'action de la chaleur, le plâtre durci ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) libère les 02 molécules d'eau contenues dans le déshydrate. [13]

I.1.8. Domaine d'utilisation du plâtre :

Le plâtre, utilisés ou forme d'enduit ou de mortier pour assembler des ouvrages en maçonnerie, figure parmi les matériaux de construction traditionnels. L'utilisation contemporaine du plâtre procède pour beaucoup de transformations industrielles, avec les plaques et les carreaux de plâtre.

Des applications nombreuses et très variées, pour la sécurité, la santé, l'esthétisme, la performance, le confort, dans le cadre de tout projet de construction du plus simple au plus complexe, le plâtre est toujours la solution idéale.

- Plaques hydrofugées.
- Systèmes de protection contre l'incendie: plaques feu.
- Résistance aux chocs: plaques de très haute dureté.
- Absorption acoustique : plaques perforées.
- Isolation acoustique: plaques épaisses.
- Décoration plaques pré-imprimées. [14]

I.2. Les déchets

I.2.1. Définition d'un déchet:

Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation et de consommation dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se débarrasser ou de l'éliminer.

Loi nationale algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001[15].

I.2.2. Les différents types de déchets

I.2.2.1 Déchets verts:

Les déchets verts sont des déchets organiques formés de résidus issus de l'entretien des espaces verts. En agriculture, les déchets verts sont en général utilisés compostés, ils peuvent tout de fois être utilisés broyés (sans compostage). Les sources de déchets sont nombreuses : les feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies et d'arbustes, résidus d'égouttage, déchets de jardin des particuliers collectés séparément, déchets de fleurissements, plantes et fleurs fanées, déchets de potager [16].

I.2.2.2. Déchets de verre:

C'est tous les déchets qui sont à base de verre comme les bouteilles. Le verre est la matière première pure pour fabriquer du nouveau verre car il peut être réutilisé sans aucune perte de qualité. La réutilisation réduit le déchet ainsi que la consommation de matières premières et d'énergie. De même, la réutilisation des bouteilles représente une économie significative d'énergie et de matières premières [17].

I.2.2.3. Déchets plastiques:

Le plastique est partout et dangereux ; on le trouve à la maison, à l'extérieur même les lieux de travail. Il représente un grand danger pour la nature et l'environnement ainsi que pour de nombreuses espèces d'animaux et constitue donc une menace sur toute la planète [18].

I.2.2.4.Déchets inertes:

Le déchet inertes sont des déchets qui ne constituent pas une menace pour l'environnement, ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique qui pourrait nuire à l'environnement.

Dans la famille des déchets inertes, on cite les pavés, le sable, les granulats, les tuiles, le béton et même les dallages [19].

I.2.2.5.Déchets ultimes:

Les déchets ultimes sont des déchets qui ne peuvent plus être valorisés, que ce soit par recyclage ou valorisation énergétique et qui ne sont plus adaptés pour le traitement économique à l'heure actuelle comme exemple déchets médicaux, de peintures. [20]

I.2.2.6.Déchet de fin de construction:

C'est les déchets générés par la construction, qui se trouvent sous plusieurs types:

Les déchets inertes, les déchets non dangereux, les déchets dangereux, les déchets industriels : Les déchets industriels spéciaux (D.I.S), les déchets industriels banals (DIB). [16]

I.2.3.Valorisation des déchets:

La valorisation concerne toute opération permettant une réutilisation des déchets par substitution de matière nécessitant ou non un traitement ou une transformation préalable : réemploi, recyclage, réintroduction dans la chaîne de production, etc. Alors que retraitement se réfère toute opération de valorisation ou d'élimination comprenant la préparation préalable des déchets [21].

I.2.3.1.Recyclage des déchets:

Le recyclage est défini comme toutes les réintroductions de matière dans le processus de production qui le dévie du flux de déchet. Ces derniers sont retraités en produits, ou matériaux aux fins de leur fonction première ou à d'autres moyens qui ne sont pas compris comme processus de recyclage: la valorisation énergétique, la valorisation des déchets de fin de construction et les opérations de remblayage [21].

I.2.3.2. L'avantage du recyclage :

Le recyclage réduit le volume des déchets (qui sont devenus une matière première secondaire), réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles. L'expansion actuelle du recyclage est le résultat de plusieurs facteurs, à savoir : la consommation croissante de ressources combinée à l'épuisement progressif de ces ressources et à la dépendance de l'approvisionnement de nos pays; avec l'ajout des impacts environnementaux importants qui façonnent l'exploitation de ces ressources [22].

I.2.4. Les mégots de cigarette :

I.2.4.1. Définition

Un mégot est le bout de cigare ou de cigarette qu'on a fini de fumer. (Dictionnaire de français Larousse) (**Figure. I.6.**)



Figure. I.6. Mégot de cigarette [22]

Le mégot mesure moins du tiers de la longueur de la cigarette et se compose du filtre (tube de tissu synthétique ordinairement coloré en périphérie par le fabricant et en son cœur par les goudrons retenus), de quelques restes de tabac consommé et de cendre. Selon l'intensité avec laquelle la cigarette a été fumée, le mégot a joué plus ou moins longtemps son rôle filtrant et s'est chargé plus ou moins des éléments toxiques qu'il est censé retenir.

Le mégot, composé d'un peu de tabac, du papier et de cendres, est plus petit ; fabrication industrielle, fabrication personnelle : le mégot moins ferme est pincé côté lèvres et vaguement cylindrique. Dans ce cas, l'usage d'un fume-cigarette permet d'éviter la formation d'un mégot par la combustion complète du tabac. [23]

I.2.5. Composition du mégot :

La cigarette en général est composée de 4000 substances nocives pour la santé de l'Homme, comme le goudron ou des métaux lourds voir radioactifs. Le mégot possède des résidus de ces substances en y ajoutant le filtre et le papier l'entourant. Autant dire qu'un mégot est un vrai cocktail de mort pour un écosystème. Alors les trois composants nécessaires du mégot d'une cigarette sont :

Le filtre (98% des cigarettes vendus sont avec filtre) : ce filtre, n'est pas en coton, mais fabriqué avec de l'acétate de cellulose (**Figure. I.7.**). L'acétate de cellulose est un plastique conçu par modification chimique de la cellulose (un polymère naturel). Les fibres de l'acétate de cellulose sont traitées avec un toxique, le dioxyde de titane, avant d'être densément compactées avec une substance irritante, le tri acétine, pour former le filtre.

- Le filtre est enroulé d'un papier qui contient également plusieurs substances chimiques et le reliquat de tabac (des restes de tabac).
- Le papier qui entoure le filtre.[24].



Figure. I. 7. Filtre usagée de cigarette en acétate de cellulose. [25]

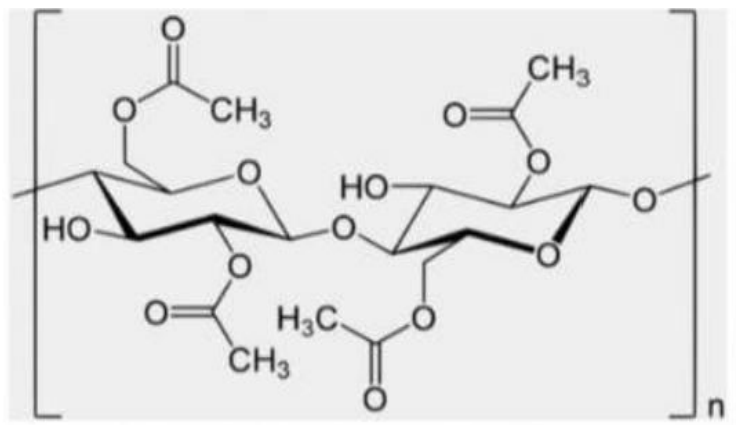


Figure. I. 8.Structures moléculaires d'acétate de cellulose. [26]

I.2.6. Impact des mégots sur l'environnement :

Les mégots de cigarettes ont un impact significatif sur l'environnement, notamment en contaminant les sols, les eaux de surface et les écosystèmes aquatiques. En plus de leur effet visuel indésirable, ils libèrent des produits chimiques toxiques tels que la nicotine, les métaux lourds et d'autres substances nocives lorsqu'ils se décomposent dans l'eau. Cette pollution peut entraîner des dommages graves pour la faune et la flore, perturbant les chaînes alimentaires et menaçant la biodiversité. De plus, les mégots de cigarettes peuvent obstruer les voies d'eau et contribuer aux inondations lorsqu'ils sont jetés dans les systèmes d'égouts. En résumé, les mégots de cigarettes représentent un problème environnemental majeur nécessitant une gestion et sensibilisation accrues pour réduire leur impact néfaste.

Les mégots de cigarettes sont généralement classés comme des déchets dangereux en raison de leur composition toxique et de leur impact nocif sur l'environnement et la santé humaine. Bien que le recyclage des mégots de cigarette ne soit pas toujours spécifiquement mentionné dans la législation, leur classification en tant que déchets dangereux découle de plusieurs facteurs. [27]

I.2.7. Recyclage de mégot dans les différents domaines :

Recyclage pour la fabrication de produits plastiques

Certains programmes de recyclage se concentrent sur la collecte et la transformation des mégots de cigarettes en matériaux plastiques réutilisables. Ces plastiques peuvent être utilisés pour fabriquer une variété de produits, tels que des palettes, des conteneurs, des bancs de parc, des poubelles et des doudounes. Une

entreprise appelée Terra Cycle, par exemple, propose un programme de recyclage des mégots de cigarettes pour les transformer en plastique dur utilisé dans la fabrication de mobilier urbain.[28]

Utilisation comme matériau de construction

Certains projets expérimentaux explorent la possibilité d'utiliser des mégots de cigarettes recyclés comme agrégat dans la fabrication de matériaux de construction, tels que le béton. Ces mégots peuvent être mélangés avec du ciment pour créer des pavés ou des briques écologiques, offrant ainsi une solution de recyclage innovante tout en réduisant la demande de matériaux vierges [29].

Conversion en énergie

Une autre approche consiste à utiliser les mégots de cigarettes comme source d'énergie. Des technologies émergentes permettent de traiter les mégots de manière à extraire leur contenu énergétique, notamment leur contenu en cellulose et en plastique, pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Cette méthode contribue à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à valoriser les déchets de manière plus durable [30].

Transformation en produits chimiques ou pharmaceutiques

Certains procédés de recyclage visent à extraire des composants chimiques spécifiques des mégots de cigarettes, tels que la nicotine, pour les réutiliser dans la fabrication de produits chimiques ou pharmaceutiques. Cette approche offre un potentiel de valorisation des mégots tout en réduisant les déchets chimiques nocifs pour l'environnement [31].

I.2.8.Conclusion :

L'incorporation des déchets de cigarette dans le plâtre offre une double opportunité : d'une part, elle permet de valoriser ces déchets en leur donnant une nouvelle utilité, et d'autre part, elle contribue activement à la lutte contre la pollution. En effet, chaque année, des milliards de mégots sont jetés dans l'environnement, ce qui représente un problème majeur de pollution, notamment pour les océans où ils finissent souvent par aboutir. En les incorporant dans le plâtre, non seulement nous évitons qu'ils ne se retrouvent dans la nature, mais nous les transformons en un matériau de construction durable et écologique. De plus, cette approche peut sensibiliser le public à la problématique des déchets de cigarette et encourager de meilleures pratiques en matière de gestion des déchets.

II. 1.Introduction :

Dans le présent chapitre, sont caractérisés les matériaux utilisés dans la composition des plâtres pris.

II.2.Matériaux utilisés :

Avant de procéder à la caractérisation des matériaux, il est essentiel de définir leurs origines.

Les matériaux employés dans cette étude sont le plâtre et les filtres des mégots de cigarette.

II.2.1. Plâtre :

Le plâtre utilisé est un plâtre de moulage de la région de Bouira, utilisé principalement pour tous types de support (**Figure. II.1.**).



Figure II.1 : Le plâtre utilisé (plâtre Bouira).

La composition chimique du plâtre utilisé est montrée sur le tableau ci-dessous.

Tableau II. 1. Les compositions chimiques de plâtre.

Elément	Teneur %
SiO₂	0.7
AL₂O₃	0.1
Fe₂O₃	0.08
CaO	39.15
MgO	0.53
SO₂	50.95
K₂O	0.03
Na₂O	0.09
Perte au feu	8.35

D'après le tableau II.1, les principaux composants du plâtre sont le CaO et le SO₂ qui représentent 39,15% et 50,95%, respectivement, affirmant que le composant le plus essentiel de ce plâtre est le sulfate de calcium. La valeur de perte au feu est liée à la présence de CaCO₃.

Les caractéristiques physiques du plâtre étudiées sont : la distribution granulométrique, la masse volumique apparente, la masse volumique absolue et la surface spécifique.

II.2.1.1 .La distribution granulométrique:

L'analyse granulométrique par sédimentation appelée aussi sédimentométrie, a pour objet la détermination de la distribution pondérale de la taille des particules passant au tamis de mailles 0.08mm, selon la norme **NF P94-057/1992**. [32]

Pour la préparation d'une solution de flocculant ajoutez 50g de flocculant à 100g d'eau distillée et laissez reposer pendant 24h. Dans un bicher, mélangez 39cm³ d'eau distillée pour obtenir 530cm³ de suspension, versez cette solution dans une éprouvette contenant 50g de l'échantillon, dont le diamètre des grains est inférieur à 0.08mm et laissez reposer pendant 12 heures. Soumettez ensuite le mélange à une agitation mécanique pendant 3 minutes en ajoutant 500cm³ d'eau distillée pour séparer les particules fines. Transférez la suspension avec un agitateur manuel pendant une minute pour l'homogénéiser.

Plongez le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après avoir déclenché le chronomètre. Faites la première lecture à 30 secondes puis des lectures successives de 2 minutes après la 3^{ème} lecture retirez le densimètre prenez la température au 2^{ème} degré près, continuez avec des lectures de 5, 10, 20, 40 et 80 minutes ainsi qu'à 2, 4 et 24 heures. Plongez lentement le densimètre 15 secondes avant chaque lecture et retirez-le immédiatement après. Notez la température de la suspension à chaque fois.

On peut voir sur la figure ci-dessous que le plâtre est un matériaux fin et limon (Figure. I I.2.)

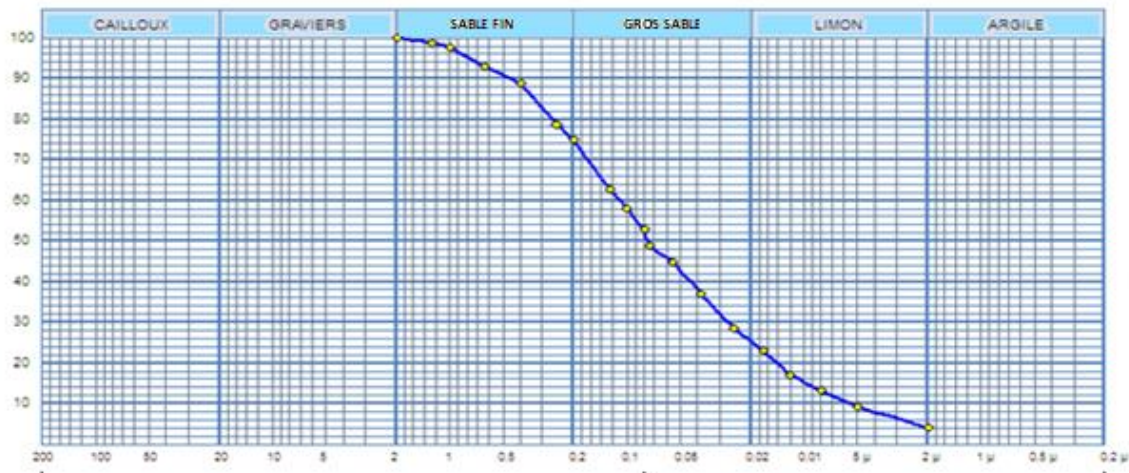


Figure II.2: Distribution granulométrique du plâtre.

II.2.1.2. La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente ρ d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

Pour déterminer la masse volumique du plâtre, il faut commencer par peser un récipient vide de volume V , notant cette masse m_1 , à l'aide d'un entonnoir, versez une quantité de plâtre dans le récipient jusqu'à ce qu'il déborde, utiliser une règle pour araser le matériau de la couche supérieure afin d'obtenir une surface parfaitement plane. Peser ensuite le récipient rempli de plâtre notant cette masse m_2 . Répéter cette opération au moins trois fois pour garantir la précision des mesures.

La masse volumique apparente du plâtre est obtenue en utilisant la formule suivante:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V}$$



Figure II. 3: Mesure de la masse volumique apparente du plâtre

Les résultats de l'essai de mesure de la masse volumique apparente sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II. 2:Résultats de l'essai de masse volumique apparente

L'essai	m1(g)	m2(g)	V (m³)	P (kg/m³)
1	445.25	1252.63	1000	0.807
2	445.25	1249.55	1000	0.804
3	445.25	1247.05	1000	0.801

La masse volumique apparente moyenne est : $\rho = 0.804 \text{ g/cm}^3$.

II. 2.1.3.La masse volumique absolue :

Selon la norme **NF P18-558** [33], la masse volumique absolue est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de sa matière.

Pour déterminer la masse volumique du plâtre, commencer par peser le pycnomètre, muni de son bouchon, vide pour obtenir la masse initial m1. Ensuite introduire le plâtre dans le pycnomètre et peser l'ensemble pour obtenir la masse m2. Compléter le pycnomètre avec du benzène en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air et de remplir jusqu'au repère avant de le peser à nouveau pour obtenir la masse m3. Après avoir vidé et nettoyé le pycnomètre, remplir ce dernier à nouveau de benzène jusqu'au repère et peser-le avec son bouchon pour obtenir la masse m4. La masse volumique absolue du plâtre est calculée par la formule suivante :

$$\rho_{ab} = \frac{\rho_b(m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2 - m_1 - m_3)}$$

ρ_b : La masse volumique de benzène à 20°C°

ρ_{ab} : La masse volumique apparente de plâtre.



Figure II.4 : Le pycnomètre benzène

Pour déterminer la masse volumique moyenne, nous avons effectués quatre essais qui sont représentés dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : masse volumique absolue de plâtre.

Essai	m1(g)	m2(g)	m3(g)	m 4(g)	T (°C)	$\rho_b(\text{kg/m}^3)$	$\rho_{ab}(\text{kg/m}^3)$
1	54.85	63.76	145.2	141.33	20	876	2668.87
2	53.88	58.88	144.84		20	876	2939.59
3	54.81	59.63	145.60	142.31	20	876	2799.68
4	53.98	64.94	148.85	141.15	20	876	2926.21

La masse volumique absolue moyenne est : $\rho_{ab}=2785\text{kg/m}^3$.

II. 2.1.4.La surface spécifique :

Selon la norme **EN196-6** [34], la finesse des poudres est mesurée sous forme de surfaces massique en observant le temps mis par une quantité fixée d'air pour traverser un lit de poudre bien compacté à des dimensions et porosité spécifiées. L'appareillage utilisé est le Perméabilimètre de Blaine (figure II.5).

Peser une quantité de masse $M=2.534\text{ g}$ de plâtre pour obtenir un lit de poudre de porosité $e=0.5$ avec $M=\rho \cdot v \cdot 0.5$ ($V=1.82\text{cm}^3$, $\rho= 2,785\text{ g/cm}^3$). Poser le disque métallique perforé sur l'épaulement au fond de la cellule et placer sur ce disque métallique un disque de papier filtre vierge. Il faut s'assurer que le disque de papier filtre couvre complètement la surface du disque métallique, ensuite placer la quantité pesée de poudre M dans la cellule en prenant soin d'éviter toute perte de matière. Tapoter la cellule pour nivelée la poudre. Placer ensuite le deuxième disque de papier filtre vierge sur la poudre nivelée insérer le piston plongeur jusqu'au contact avec le papier filtre. Placer la surface conique de la cellule dans le rodage conique au sommet du monomètre en utilisant un peu de vaseline pour assurer un joint étanche. Obturer le dessus du cylindre avec un bouchon adéquat, ouvrir le robinet d'arrêt et amener par une aspiration le niveau du liquide monomérique jusqu'à la ligne la plus haute. Ensuite, fermer le robinet d'arrêt et s'assurer que le niveau de liquide monomérique reste constant. Ouvrir le robinet d'arrêt et ajuster par une aspiration le liquide

monomérique au niveau de la ligne la plus haute. Fermer le robinet d'arrêt, enlever le bouchon du sommet du cylindre, le fluide manométrique va commencer à couler. Démarrez le chronomètre lorsque le liquide atteint le deuxième linge et arrêter-le lorsqu'il atteint la troisième ligne. Prenez ensuite la valeur de température affichée par le thermomètre.



Figure II.5 : Perméabilimètre de Blaine

La surface spécifique (s) est exprimée commodément par :

$$S = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{1-e} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0.1\eta}}$$

$K = 3,215$: constante de l'appareil

$e = 0,5$: porosité de lit

$t = 50,571$ (s) : temps moyen nécessaire pour que le liquide manométrique se déplace de la deuxième ligne à la troisième ligne du manomètre.

$\rho = 2,785$ (g/cm³) : masse volumique absolue du plâtre.

$\eta = 0.00001839$ (Pa.s) : viscosité de l'air à la température de l'essai qui est 24°C.

La surface spécifique de Blaine du plâtre est de 4281 cm²

II.2.2. Les filtre de mégots de cigarettes :

Les filtres de mégots de cigarettes utilisés désignent les résidus de cigarettes jetés par les fumeurs, collectés sur plusieurs sites et séparés du papier extérieur et du tabac usagé manuellement.

Les étapes à suivre pour l'obtention de filtre de mégots de cigarettes commencent par la collecte des mégots de cigarettes, que l'on récupère des cendriers publics ou des cafétérias ou bien ramasser par terre. Les mégots de cigarettes ont été séparés du papier extérieur, découpés en petits morceaux, puis broyés avec une machine électrique de 150W (moulin à café électrique) pendant trois intervalles de temps de 10s chacun (**figure II.6**).



Figure II.6:Etapes suivies pour l'obtention de la mousse de mégot de cigarette.

II.2.2.1. Métaux lourds dans les filtres de mégots de cigarettes

Outre les substances toxiques et polluantes qui résultent de la combustion de la cigarette, les filtres usagés contiennent aussi des métaux lourds et des hydrocarbures.

La constitution en métaux lourds des mégots de cigarettes collectés a été réalisée en utilisant la fluorescence des rayons X (FRX) et est présentée dans le tableau II.4.

La spectrométrie de fluorescence des rayons X (FRX) est une technique analytique chimique qui utilise la propriété physique de la fluorescence des rayons X. lorsqu'un échantillon est bombardé avec des rayons X, il réémet de l'énergie sous la même forme. Le spectre des rayons X émis est caractéristique de la composition chimique de l'échantillon, permettant ainsi de déduire sa composition élémentaire et les concentrations massiques des éléments présents. L'analyse a été réalisée au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse Physico-chimique (CRAPC) de l'Université de Bejaia l'aide d'un appareil de marque SciAps.

L'essai a été réalisé sur la même pastille utilisée dans le test de spectrométrie infrarouge (**titre II .2.3.1.**).

Les métaux lourds détectés ainsi que leurs taux sont présentés dans le tableau II.4.

Tableau II.4:Métaux lourds dans les filtres de mégots de cigarettes

Métal lourd	Teneur (mg/g)	Métal lourd	Teneur (mg/g)
Silicium	9.3565	Soufre	0.5942
Potassium	1.2839	Calcium	0.165
Titane	0.859	Manganèse	0.0394
Fer	2.889	Nickel	0.0084
Cuivre	0.3964	Zinc	0.2773
Arsenic	0.0034	Rubidium	0.0031
Strontium	0.0158	Plomb	0.0043
Aluminium	7.2544		

II.2.2.2. La masse volumique des filtres de mégots:

Pour déterminer la masse volumique d'un filtre de mégot de cigarette, ce dernier a été pesé à l'aide d'une balance de précision $\pm 0,01g$; et son volume a été calculé après avoir mesuré, par un pied à coulisse, sa longueur et son diamètre.

La masse volumique est donnée par la relation suivant :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

M : la masse du filtre (kg).

V : le volume du filtre (m³) donné par la formule suivant : $v = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot L$

L : la longueur du filtre (m).

Ø : diamètre du filtre (m).

Les résultats de mesure sur cinq filtres sont regroupés dans le tableau II.6.

Tableau II.5: masse volumique filtre.

Essai	m(kg)	Ø(m)	L(m)	V(m ³)	ρ (kg/m ³)
1	0.14*10 ⁻³	5.6*10 ⁻³	2.4*10 ⁻²	5.91*10 ⁻⁷	236.88
2	0.14*10 ⁻³	5.7*10 ⁻³	2.5*10 ⁻²	6.37*10 ⁻⁷	219.47
3	0.15*10 ⁻³	5.6*10 ⁻³	2.5*10 ⁻²	5.91*10 ⁻⁷	243.62
4	0.15*10 ⁻³	5.6*10 ⁻³	2.4*10 ⁻²	5.91*10 ⁻⁷	253.80
5	0.18*10 ⁻³	5.6*10 ⁻³	2.5*10 ⁻²	6.15*10 ⁻⁷	227.38

La masse volumique moyenne du filtre est : $\rho = 236.23 \text{ kg/m}^3$

II.2.2.3. Essai d'absorption de l'eau des filtres

Avant d'entamer la confection, il est nécessaire de connaître la quantité d'eau absorbée par les filtres des mégots de cigarettes broyés. Pour cela, un protocole de mesure a été suivi. Pesez le mégot sec pour obtenir son poids initial. Immergez ensuite le mégot dans l'eau et laissez-le absorber l'eau pendant un moment. Retirez le mégot de l'eau et laissez l'excès d'eau s'égoutter. Pesez enfin le mégot imbibé d'eau pour obtenir son poids final. La différence de poids entre le mégot imbibé et le mégot sec donne la quantité d'eau absorbée par le mégot (**figure II. 7**). Après avoir effectué ce calcul, il a été conclu qu'un gramme de mégots de cigarettes absorbe 3,23 gramme d'eau.



Figure II.7 : Essai d'absorption d'eau des filtres.

II. 2.3. Microstructures des matériaux utilisés:

II.2.3.1. Analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les échantillons de plâtre pure, plâtre avec différente substitution de mégot sont préparés pour une analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) en mode transmission, à l'aide d'un spectromètre de marque IRAffinity-1 Shimadzu (figure II.9). Tout d'abord, les échantillons sont broyés à l'aide d'un pilon en métal jusqu'à obtention d'une poudre fine (**figure II.8**). Ensuite, 0,002 g de l'échantillon broyé est mélangé avec 0,08 g de bromure de potassium (KBr). Le mélange obtenu est comprimé sous une pression de 70 KN exercée par une presse manuelle. Une pompe aspiratoire est utilisée pour dégager l'air des moules pendant 2 minutes, ce qui permet de former une pastille. Cette pastille est ensuite analysée à l'aide du spectromètre infrarouge à transformée de Fourier.



Figure II.8 : Préparation des échantillons pour l'essai IRTF.



Figure II.9 : Appareil d'infrarouge IRAffinity-1 Shimadzu.

Les spectres infrarouges des matériaux sont présentés dans les (figures II.10 et II.11).

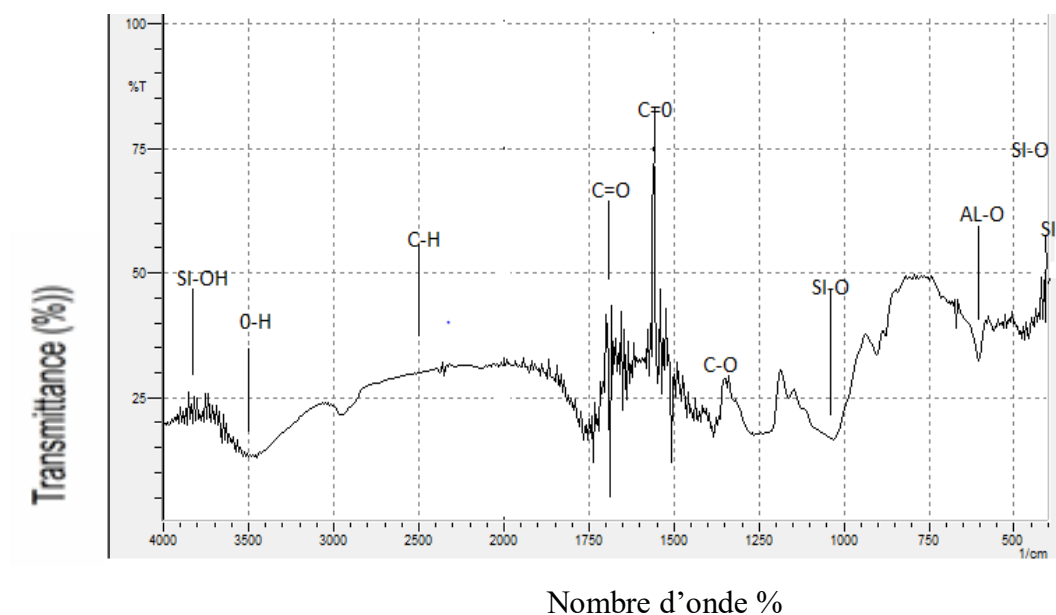


Figure II.10 : Spectre infrarouge de mégot de cigarette.

Le spectre infrarouge de la figure II.10 montre que

Un pic fort entre 3655cm^{-1} et 3408cm^{-1} ces vibrations indiquent la présence de liaison OH,

Un pic moyen entre 2700cm^{-1} et 2900cm^{-1} correspond à la liaison C-H,

Un pic autour de 1500cm^{-1} , 1750cm^{-1} correspondent à la liaison N-H

Un pic autour de 700cm^{-1} et 500cm^{-1} correspond à la liaison, CH=CH.

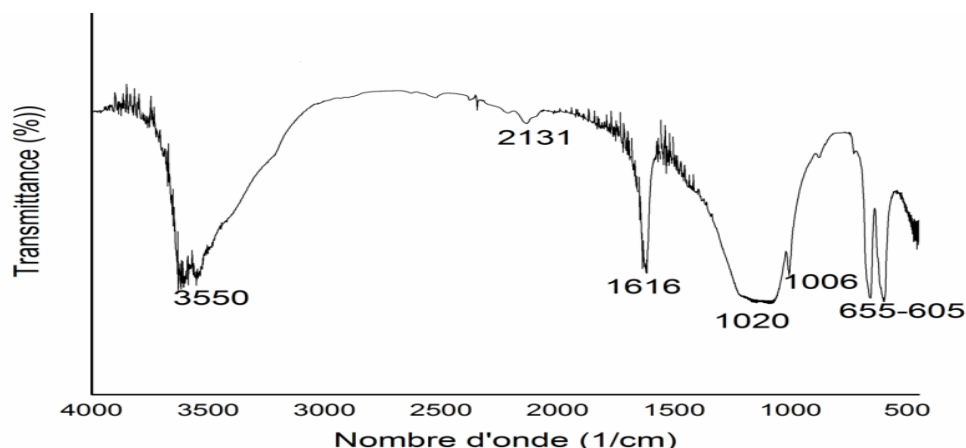


Figure II.11 : spectre infrarouge de plâtre.

On peut voir sur le spectre IRTF représenté sur la figure II.11, des bandes caractéristiques au plâtre peut être identifiées par :

Des doublets centrés à environ 1020cm^{-1} , 1006cm^{-1} , 655cm^{-1} et 605cm^{-1} qui correspondent aux élongations de la liaison S-O du sulfate de calcium SO_4^{2-} .

Des bandes caractéristiques de l'eau constitutive qui apparaissent au-dessus de 3000 vers 3550cm^{-1} liaisons O-H et d'une bande (doublet vers 1616cm^{-1} , 2131cm^{-1} O-H qui correspondent à des modes de vibration d'élongation et déformation de liaison O-H.

II.2.3.2. Analyse structurale par diffraction de rayon (DRX)

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique largement utilisée pour déterminer la structure cristalline des matériaux. Cette technique est applicable aux milieux cristallins qui possèdent un arrangement ordonné des atomes.

Les rayons X, lorsqu'ils interagissent avec la matière, sont diffusés sans perte d'énergie par les particules chargées électriquement, principalement les électrons. Dans les solides cristallins, où les particules sont organisées de manière périodique, le rayonnement diffusé devient significatif uniquement dans les directions où les rayons diffusés sont en phase. C'est dans ces conditions que l'on observe la diffraction.

Les analyses ont été réalisées avec un appareil de marque PIXcel au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse Physico-chimique (CRAPC) de l'Université de Bejaia.

Le digramme obtenue pour le plâtre et du filtre de mégot de cigarette sont donnés sur les (figure II.13 et II.14.)

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Meheni et Fatima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mon cher mari : Nassim.
- ❖ A mes frères: Yanis ; Ania ; Sara
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : SID & KOBBI.
- ❖ Tous mes amis.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Sara** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

ROMAÏSSA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Houcine et Nedjima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mes frères; Khaled ; Samir ,
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : Khennous.
- ❖ Tous mes amis: Aicha, Ryma et Lynda.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Romaïssa** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

Sara

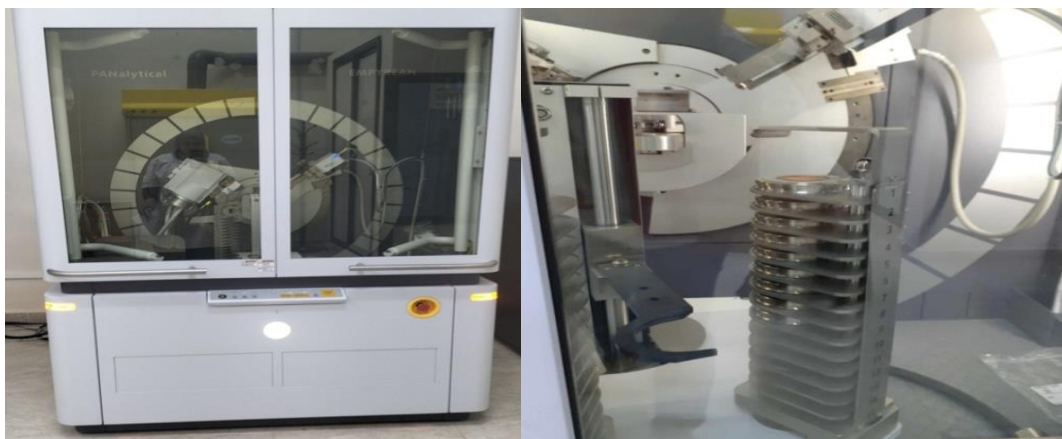


Figure II.12 : Appareil de DRX.

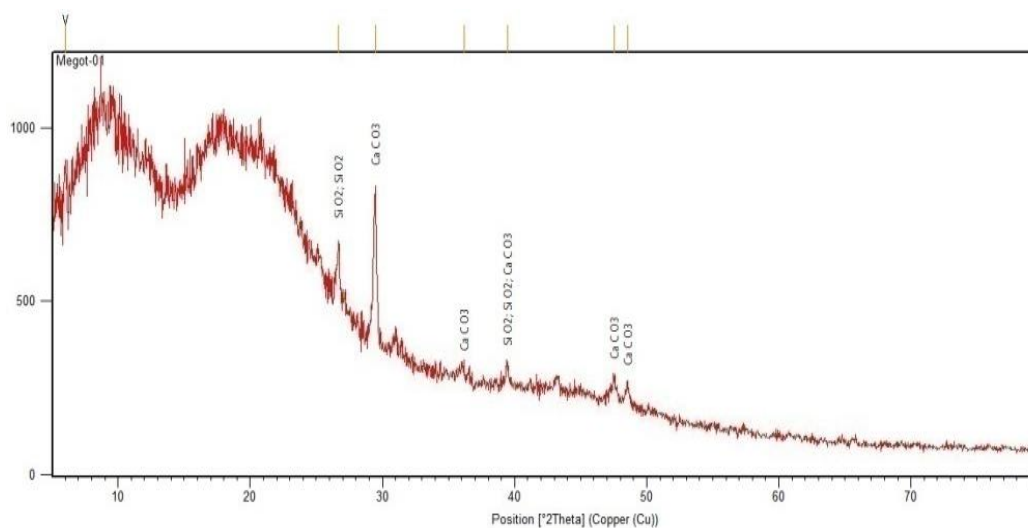


Figure II.13 : spectre DRX du filtre de mégot.

Le diagramme DRX (Diffraction des Rayons X) des filtres de mégots de cigarettes illustré dans la figure II.13 montre des pics de diffraction distincts à $2\theta = 16-18^\circ$ et dans la région de 40° . Cela indique la présence de dioxyde de silicium (SiO_2). Il y avait également des pics correspondant au carbonate de calcium (CaCO_3), confirmés par les plans 300 et 350, ce qui signifie que cette région, à $2\theta = 48-50^\circ$, devient plus ordonnée. Cela indique une structure cristalline.

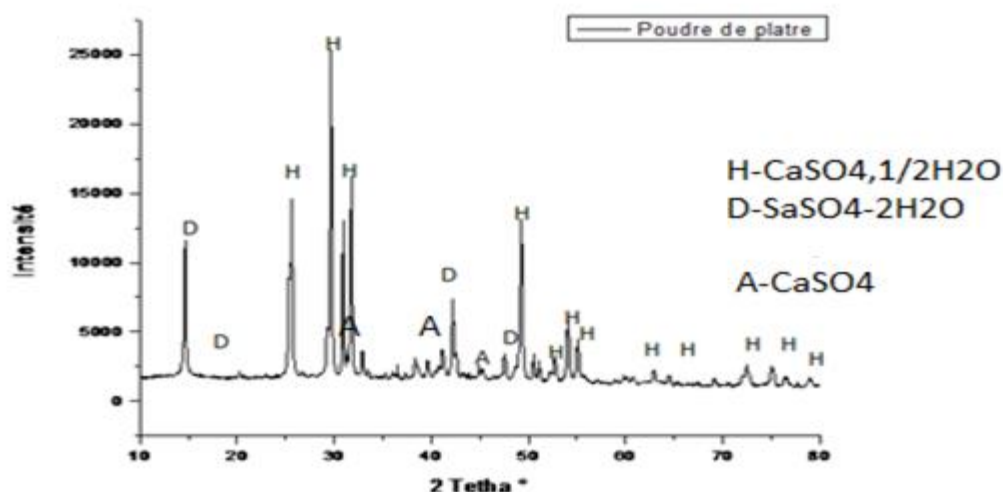


Figure II.14: spectre DRX du plâtre.

Le diagramme obtenu pour le plâtre utilisé est donné sur la figure II.14 et semble principalement composé de semi-hydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) et contient aussi quelques cristaux de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) résiduels suite à une mauvaise cuisson après extraction en carrière. Le plâtre utilisé présente aussi quelques impuretés de type carbonate de calcium (CaCO_3) issues probablement des matières organiques calcinées. La présence de d'anhydrite est très faible.

II.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, il est indispensable d'examiner séparément les caractéristiques spécifiques des matériaux utilisés dans l'expérience avant de passer à l'expérimentation sur les échantillons de pâtes plâtre, notamment celles composées de plâtre et de filtre de mégots de cigarettes.

III.1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur les expériences et essais réalisés spécifiquement sur les pâtes de plâtre seul ou incorporant le filtre de mégot de cigarette. Nous détaillons les procédures expérimentales utilisés pour évaluer les propriétés physico-chimiques et mécaniques de ce matériau innovant. Chaque expérience sera présentée minutieusement en fournissant un aperçu clair des équipements et des méthodes utilisés.

Des d'éprouvettes de dimensions $(40 \times 40 \times 160)$ mm³ sont dédiées à l'essai de flexion, à l'auscultation sonique par ultrason et au test de conductivité thermique. Par ailleurs, des éprouvettes cubiques de dimensions $(40 \times 40 \times 40)$ mm³ sont réservées à l'essai de compression, capillarité, absorption d'eau, densité apparente, porosités et rétention d'eau.

III.2. Formulation des mélanges

L'échantillon témoin est constitué de plâtre et d'eau. Les mélanges contenant des mégots de cigarettes sont obtenus en remplaçant une fraction volumique du plâtre par des mégots de cigarette.

III.2.1. Détermination du rapport E/P

Dans le cadre de la conception expérimentale il est prévu de maintenir le rapport entre la quantité d'eau et la quantité de poudre de plâtre à 0,8. Ceci est en accord avec les directives techniques pour la fabrication du plâtre.

Afin de déterminer le rapport E/P correspondant à une bonne résistance et une bonne maniabilité, on a réalisé une série d'essai de consistance des pâtes de plâtres composées de poudre de plâtre et d'eau.

L'essai de consistance (méthode de dispersion) a été réalisé selon la norme **EN 13279-2 (2014)** [35]. Ce processus implique de verser une quantité déterminée de plâtre dans un bol mélangeur contenant une quantité spécifiée d'eau, afin d'obtenir un diamètre d'étalement compris entre 150 mm et 210 mm. Le plâtre est dispersé sur l'eau puis mélangé rapidement et soigneusement à l'aide d'une spatule métallique pendant 30 secondes. Ensuite, le mélange est laissé se reposer pendant une minute. Après cela, le mélange est versé dans un moule tronconique de dimensions spécifiques : 40 mm de hauteur, 65 mm de diamètre intérieur supérieur et 75 mm de diamètre intérieur inférieur, posé sur une plaque de verre. Après avoir nivelé le moule et retiré l'excès de plâtre, le moule est soulevé verticalement pour permettre à la pâte de s'écouler sur la plaque, formant ainsi une galette. Le diamètre de la galette est mesuré à deux endroits perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, et la valeur moyenne est retenue.

Les résultats des essais de consistance des pâtes de plâtres sont résumés dans le tableau III.1 et la figure III.1.

Tableau III.1:Détermination du rapport E/P

Essai	Quantité de plâtre (g)	Quantité de l'eau(g)	Le rapport E/P	Température (C°)	Etalement (mm)
1	250	125	0.5	21	128.5
2	250	150	0.6	21	205
3	250	175	0.7	21	277.5
4	250	200	0.8	21	305

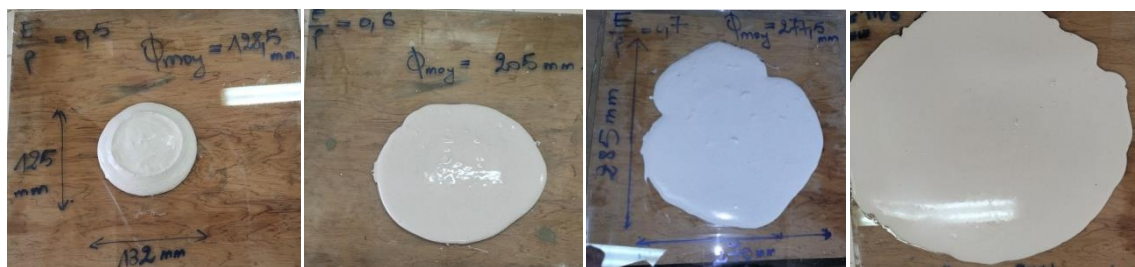


Figure III.1: Etalement des pâtes de plâtre à différents rapport E/P

D'après les résultats obtenus, on voit bien que le seul rapport E/P répondant aux exigences de la norme (un diamètre varier de 120mm à 210 mm) **EN 13279-2[35]** est E/P=0,6. Ce rapport permis d'avoir une galette de diamètre moyen d'étalement de 205 mm.

III.2.2. Rapport de substitution du plâtre par les mégots de cigarettes

La substitution partielle du plâtre consiste à remplacer une partie de sa quantité par des fibres de mégots de cigarette. Les pourcentages de substitution du plâtre ont été fixés à 10%, 20%, 30%, 40% et 50%.Le rapport E/P est pris égal à 0,6 pour tous les mélanges.

Annexe III.1

III.3 Confection des éprouvettes et conditions de conservation

Pour la préparation des éprouvettes de référence en plâtre, nous avons commencé par la pesée précise de 1000g de plâtre et 600g d'eau à l'aide d'une balance de précision ($\pm 0,01g$). Ces proportions correspondent aux quantités nécessaires pour remplir un moule triple 4x4x16 avec un rapport eau/plâtre (E/P) de 0,6. L'eau a été versée en premier dans une gamelle préalablement humidifiée, puis les 1000g de plâtre ont été saupoudrés. Le

mélange a été réalisé soigneusement et rapidement à l'aide d'une spatule en métal pendant 30 secondes pour éviter l'introduction de bulles d'air et assurer une pâte lisse et homogène. Après avoir laissé reposer la pâte pendant une minute elle a été versée, en trois couches, dans le moule préalablement préparé.

D'autre part on a préparé des mélanges avec des proportions variables de fibres de mégots, 10%, 20%, 30%, 40% et 50% en volume du plâtre sec, et chaque mélange a été soigneusement homogénéisé pour garantir une distribution uniforme des fibres des mégots dans la matrice de plâtre puis versé dans les moules (**figure III.2**). La composition des différents mélanges de plâtre/ mégot est donnée dans le tableau III.2.



Figure III.2 : Malaxage de la pâte de plâtre + mégots.

Tableau III.2 compositions des mélanges plâtre + mégots.

% de substitution	0	10	20	30	40	50
Plâtre (g)	1000	900	800	700	600	500
Eau (g)	600	540	480	420	360	300
Mégots (g)	0	21.3	42.6	63.9	85.2	106.5
Eau additionnelle (g)	0	68.79	137.59	206.39	275.19	343.99

Du tableau, on remarque que la quantité d'eau additionnelle à l'eau de gâchage augmente à mesure que le taux de substitution du plâtre par les mégots augmente. Ceci a été démontré dans le chapitre précédent dans le test d'absorption d'eau sur les mégots, où il a été montré qu'un gramme de mégots de cigarettes absorbe 3,23 grammes d'eau (taux d'absorption d'eau d'environ 32,3%).

Après préparations, les mélanges ont été coulés dans de moules prismatiques préalablement nettoyés et huilés, de dimension 40*40*160mm³(**figure III.3**). Les échantillons

ont été conservés dans le laboratoire à la température ambiante pendant 7 jours. A la fin de cette échéance, les éprouvettes ont été transférées dans une étuve réglée à 40 °C jusqu'à atteindre une masse constante afin d'éliminer l'eau dans les pores des pâtes durcies.



Figure III.3: Moulage et conservation des mélanges

III.4. Essai sur pâtes fraîches

III.4.1 Essai de consistance :

L'essai de consistance des pâtes de plâtres incorporant les mégots a été réalisé selon la norme **EN 13279-2 (2014)**[35] suivant les procédures décrites dans le titre III.2.1. Etant donné que le rapport E/P a été fixé à 0,6 et généralisé à tous les mélanges, et sachant que les fibres de mégots de cigarettes absorbent une quantité importante d'eau de gâchage la consistance des mélanges incorporant les mégots a été surveillée en fonction du taux de substitution du plâtre par les mégots.

Les quantités des matériaux utilisés dans la confection des différents mélanges destinés à l'essai de consistance sont illustrées dans le tableau. **Annexe III.1**

Tableau III.3Quantités des matériaux utilisés pour la confection.

%	0	10	20	30	40	50
Plâtre	250	225	200	175	150	125
L'eau de plâtre	150	135	120	105	90	75
Mégot	0	5.9	11.8	17.7	23.6	29.5
L'eau mégots	0	19.06	38.11	57.17	76.23	95.28

III.4.2. Temps de prise:

L'essai de Vicat est une méthode normalisée, conformément à la norme **NF EN 196-3**[36], utilisée pour déterminer le temps de prise des liants hydrauliques, tels que le ciment et le plâtre.

- Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte avec échauffement, il correspond au moment où cette dernière ne s'enfonce plus complètement jusqu'au fond de la coupelle mais s'en arrête à $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$.
- La fin de prise : correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide, sa détermination est faite sur la même coupelle que celle utilisé pour début de prise, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne pénètre plus la pâte.

Le processus de préparation de l'échantillon commence par le mélange du plâtre avec de l'eau dans un bol propre jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène. Cette pâte est ensuite versée dans le moule tronconique pour le remplir. L'aiguille de Vicat est insérée dans le plâtre et un chronomètre est utilisé pour mesurer le début et fin de la prise (figure III.5). L'essai est répété avec l'incorporation des pourcentages variables de mégots (10% ,20% ,30% ,40% et 50%). Les mêmes étapes de préparation de l'échantillon, de remplissage du moule, d'insertion de l'aiguille de Vicat, de mesure du temps de prise du mélange de référence ont été répétées avec les mélanges contenant les différents taux de mégots.



Figure III.4 : Appareil Vicat.

III. 5. Essais sur pâtes durcies

III.5.1. Caractéristiques mécaniques

Il s'agit de l'essai de flexion à trois points et l'essai de compression, qui sont réalisés sur les échantillons réalisés. La machine utilisée est de marque CONTROLS PILOT PRO modèle 65-L27p12 (**figure III.6**).



Figure III.5 : Presse hydraulique type CONTROLS PILOT PRO.

III.5.1.1. Résistance mécanique de rupture par flexion (RF):

L'essai de flexion à trois points a été réalisé conformément à la norme **NF EN 12390-5**[37] sur des prismes de dimension $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ avec une vitesse de mise en charge de 5N/s. Durant l'essai, l'éprouvette est soutenue par deux rouleaux et une force est progressivement appliqué au centre jusqu'à sa rupture (**figure III.7 et figure III.8**). La partie supérieure de l'éprouvette est soumise à une compression et la partie inférieure soumise

à une traction. Le résultat final est la moyenne des valeurs obtenues lors des trois essais.

La force nécessaire pour briser un prisme de plâtre de dimensions $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ reposant sur des rouleaux distant de 100 mm est donnée par l'expression suivant:

$$R_f = \frac{9F_f}{2a^2}$$

R_f : est la résistance à la flexion, en newtons par millimètre carré (MPa)

a : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

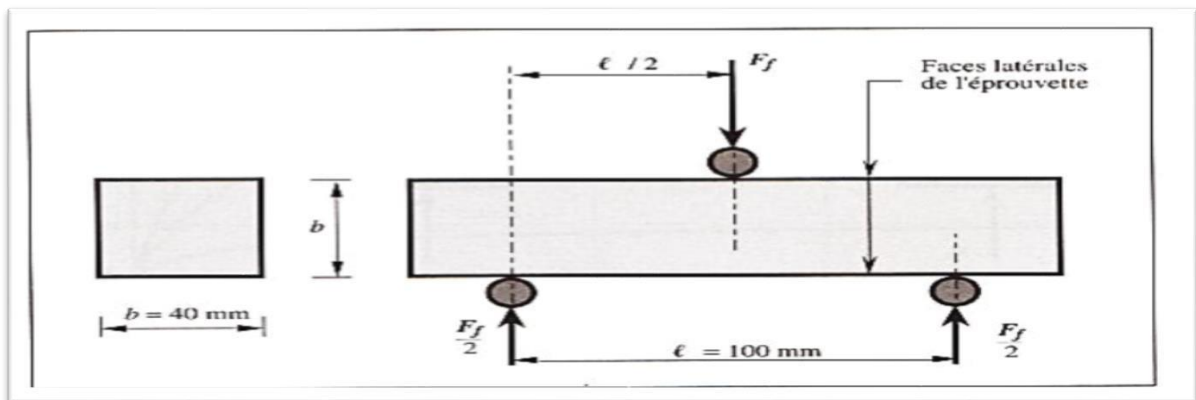


Figure III.6 : Schéma type de l'essai de flexion



Figure III.7: Schéma type de l'essai de flexion.

III.5.1.2. Résistance à la compression

L'essai de la résistance à la compression implique de placer l'échantillon sous une force de compression axial jusqu'à ce qu'il brise (voir figure III.10). Cet essai a été réalisé suivant les prescriptions de la norme **NF EN 196-1**[38], qui précise que la vitesse de progression de la charge doit être appliquée de manière uniforme et continue à une vitesse de 2400 ± 200 N/s.

La contrainte de compression est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

R_c : La résistance à la compression en MPa.

F_c : La force de la rupture en N.

$1600 = 40\text{mm} \times 40\text{mm}$: la surface d'application de la charge.

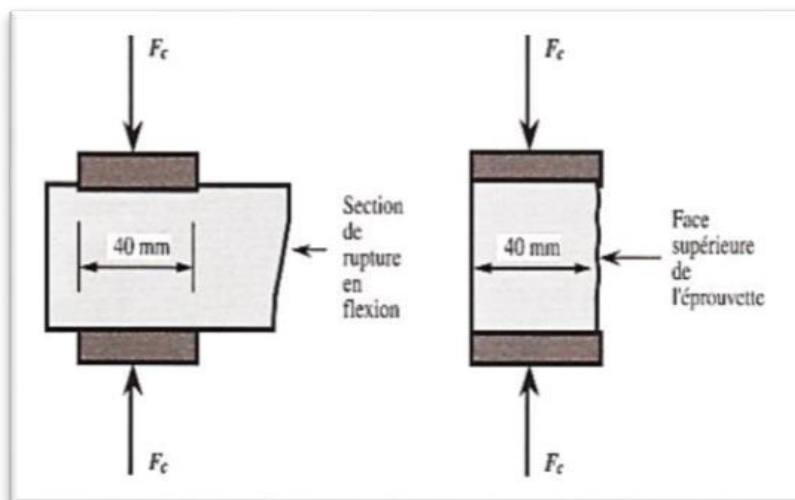


Figure III.8 : Schéma type de l'essai de compression



Figure III.9 : Essai de résistance à la compression

III.5.2. Caractéristiques Thermo-physiques

III.5.2.1. Conductivité thermique :

La conductivité thermique est une propriété physique qui décrit la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur. Elle est définie comme la quantité de chaleur qui passe à travers une unité de surface d'un matériau par unité de temps pour un gradient de température donné. La formule générale de la conductivité thermique, selon la loi de Fourier est :

$$q = -\lambda \cdot \nabla T$$

Où :

(q) est le flux thermique par unité de surface (W/m²).

(λ) est la conductivité thermique du matériau (W/m·K).

(∇T) : est le gradient de température (K/m).

Dans l'essai de conductivité thermique, le CT-mètre est l'appareil utilisé. Il évalue la conductivité thermique en mesurant la transmission de la chaleur générée par un fil résistif. Ce fil est inséré entre deux échantillons du matériau testé, qui sont initialement à la même température. Sous l'effet d'un courant électrique, le fil chauffe et la manière dont la chaleur se disperse à travers les échantillons permet de déterminer la conductivité thermique du matériau.



Figure III.10 : L'appareil de CT. Mètre muni d'une sonde à fil chaud

III.5.2.2. Auscultation sonique par ultrason :

Selon la norme **NF P 18-418**[39], l'objectif de cette essais et de mesurer la vitesse des ondes ultrasonique à travers des éprouvettes prismatique de plâtre en utilisant un générateur et un récepteur d'ultrasons.

Avant de commencer il est essentiel de calibrer l'appareil ultrasonique. On utilise à cet effet, un barreau étalon et un potentiomètre pour ajuster les réglages. Une fois l'appareil calibré, on applique un gel sur les surfaces de contact des transducteurs de l'échantillon pour garantir une bonne transmission des ondes ultrasonique.

Les transducteurs sont placés sur l'échantillon de pâtes de plâtre contenant différents pourcentages (10% 20% 30% 40 50%) de mégots. On note le temps de parcours (T) de l'onde ultrasonique en microsecondes (μs), puis on mesure la distance (D) parcourue par les ondes entre l'émetteur et le récepteur à l'aide d'un pied à coulisse et on calcule la vitesse (V) du son dans le plâtre selon la formule suivante :

$$V \text{ (m/s)} = \frac{D}{T}$$

Connaissant la vitesse de propagation des ondes ultrasonique, on peut estimer la résistance à la compression et le module élastique (module de Young) par le biais des formules suivantes :

$$Rc = 0.0817 * e^{0.00147 * V} \text{ MPa}$$

RC : La résistance en compression (MPa).

$$E = \rho * V_L^2$$

E : le module élastique de l'échantillon (Gpa)

ρ : la masse volumique de l'échantillon (g/m^3)

V_L : la vitesse longitudinale de l'échantillon (m/s)



Figure III.11 : Mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.

III.5.2.3. Porosité et absorption d'eau

La porosité est la mesure des espaces vides dans un matériau, exprimée en pourcentage du volume total.

L'expérience est menée sur six demi-éprouvettes de dimensions $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ de pâtes de plâtre pur, ainsi que sur des éprouvettes contenant différents pourcentages de mégots de cigarette, variant de 10%, 20%, 30%, 40%, à 50%. Après avoir été séchés dans une étuve à 40°C pendant 7 jours, jusqu'à masse constante, les échantillons sont soumis à une série de pesées. Ces mesures incluent la masse sèche (M_s), la masse saturée en eau (M_{st}) obtenue après immersion dans l'eau pendant 24 heures et un essuyage rapide, ainsi que la pesée hydrostatique (M_{ph}) effectuée après une conservation pendant une heure dans un dessiccateur rempli d'eau et mis sous vide (figure III.13). Les valeurs de masse sont obtenues en prenant la moyenne des trois échantillons de chaque type de pâte. La porosité (Pr) et l'absorption d'eau (A) sont ensuite calculées selon les formules suivantes, respectivement :

$$Pr (\%) = \frac{M_{st} - M_s}{M_{st} - M_{ph}} * 100$$

$$A (\%) = \frac{M_{st} - M_s}{M_s}$$



Dessiccateur

pesé hydrostatique

Absorption d'eau

Figure III.12 : Le processus de l'essai de porosité ouverte à l'eau, densité apparente et absorption d'eau.

III.5.2.4. Densité apparente :

La densité apparente exprime la masse d'un matériau par unité de volume. Elle a été établie en suivant la procédure décrite dans l'essai de porosité (**Titre III.5. 2.3.**). Elle est calculée comme suite :

$$D_{app} = \frac{M_s}{M_{st} - M_{ph}}$$

M_{st} : masse saturée (g)

M_s : masse sèche (g)

M_{ph} : masse par la poussée hydrostatique (g)

III.5.2.5. Coefficient d'absorption d'eau par capillarité

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est déterminé conformément à la norme **EN 1015-18 (2003)**[40] en brisant les éprouvettes prismatiques en deux morceaux et en les séchant jusqu'à une masse constante. Ensuite, la face cassée de l'échantillon est immergée dans l'eau sur une épaisseur de 5 mm à 10 mm pendant 10 minutes et 90 minutes. Après 10 minutes, les échantillons sont retirés de l'eau, la surface est essuyée rapidement avec une éponge humide, puis les échantillons sont pesés, soit (M_1) cette masse, et replacés immédiatement dans l'eau. La même procédure est répétée après 90 minutes et les échantillons sont pesés à nouveau (M_2).

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est ensuite calculé en utilisant

l'expression suivante :

$$C = 0.1(M_2 - M_1) [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})].$$

III.5.2.6. Essai de rétention d'eau:

Pour réaliser l'essai de rétention d'eau, des échantillons de plâtre pur et des échantillons de plâtre incorporant des filtres de mégots de cigarettes ont été préparés, avec des proportions variant de 10%, 20%, 30%, 40%, et 50%. Chaque échantillon a été immergé dans l'eau pendant 2 heures $\pm$ 2 minutes. Ensuite, les échantillons ont été séchés à 40°C pendant 48 heures. Après le séchage, la masse de chaque échantillon a été mesurée deux fois : d'abord après saturation (masse humide), puis après séchage (masse sèche). Le pourcentage de rétention d'eau pour chaque échantillon a été calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = \frac{M_{st} - M_{sh}}{M_{st}} * 100$$

III.5.3. Caractéristique hygroscopique

III.5.3.1. Capacité Tampon Hydrique :

La Valeur de la Capacité Tampon Hydrique (VCTH), ou Moisture Buffer Value (MBV), est une mesure clé dans le domaine du bâtiment pour évaluer la capacité d'un matériau à échanger de l'humidité avec son environnement. Cette étude vise à analyser le comportement hygrothermique de mélanges de plâtre incorporant des filtres de mégots de cigarettes, soumis à des conditions intérieures variables. Dans cet essai, trois demi-éprouvettes de plâtre pur, de dimensions (40 × 40 × 40) mm³, ont été utilisées, ainsi que des éprouvettes contenant des filtres de mégots de cigarettes incorporées dans le plâtre à des proportions de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, et 50%. Chaque éprouvette est scellée sur toutes les faces, sauf une, permettant ainsi l'échange d'humidité uniquement par la surface exposée. Les éprouvettes ont ensuite été placées dans des bacs d'exposition de grande taille (**voir figure III.13**), puis les bacs d'exposition ont été disposés dans une enceinte climatique maintenue à une température constante de 23 °C. Pendant une semaine, les cycles d'humidité relative appliqués ont été variés, 33% HR pour pendant 16 heures et 75% HR pendant 8 heures. Ce processus est répété jusqu'à ce que les variations de masse se stabilisent. La MBV est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$MBV = \frac{m}{A * \Delta_{HR}}$$

m : représente la variation de masse de l'éprouvette en kg.

A : est la surface exposée de l'éprouvette en m^2 .

Δ_{HR} : est la variation de l'humidité relative, soit 42% (75% - 33%).



Figure III.13 : Essai Capacité Tampon Hydrique CTH des (différentes solutions)

III.5.4. Analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de fourrier

L'analyse par spectrométrie infrarouge révèle de différentes bandes de vibration, de déformation et d'élongation dans les échantillons. Il a été réalisé suivant les mêmes procédures décrites dans le chapitre II titre II.2.3.1. Les résultats obtenus sont illustrés dans le chapitre VI Résultats et discussions titre VI.15.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les méthodes utilisées pour tester notre hypothèse sur l'effet de l'incorporation des mégots de cigarette dans le plâtre. Ces expériences nous fournissons une base solide pour le chapitre suivant résultats et discussion, où nous explorerons l'impact de cette incorporation sur les propriétés mécaniques et environnementales du plâtre.

IV.1.Introduction:

Ce dernier chapitre consiste à présenter les résultats des essais réalisés sur les pâtes issues des différents taux de substitution du plâtre par les filters des mégots. Les résultats que nous avons obtenus nous permettront d'évaluer le comportement de plâtre, de plâtre compassés de différents pourcentages de mégots.

IV.2.Essais à l'état frais:

VI.2.1. La masse volumique

La masse volumique des échantillons à l'état frais est présentée sur la (figure IV.1.)

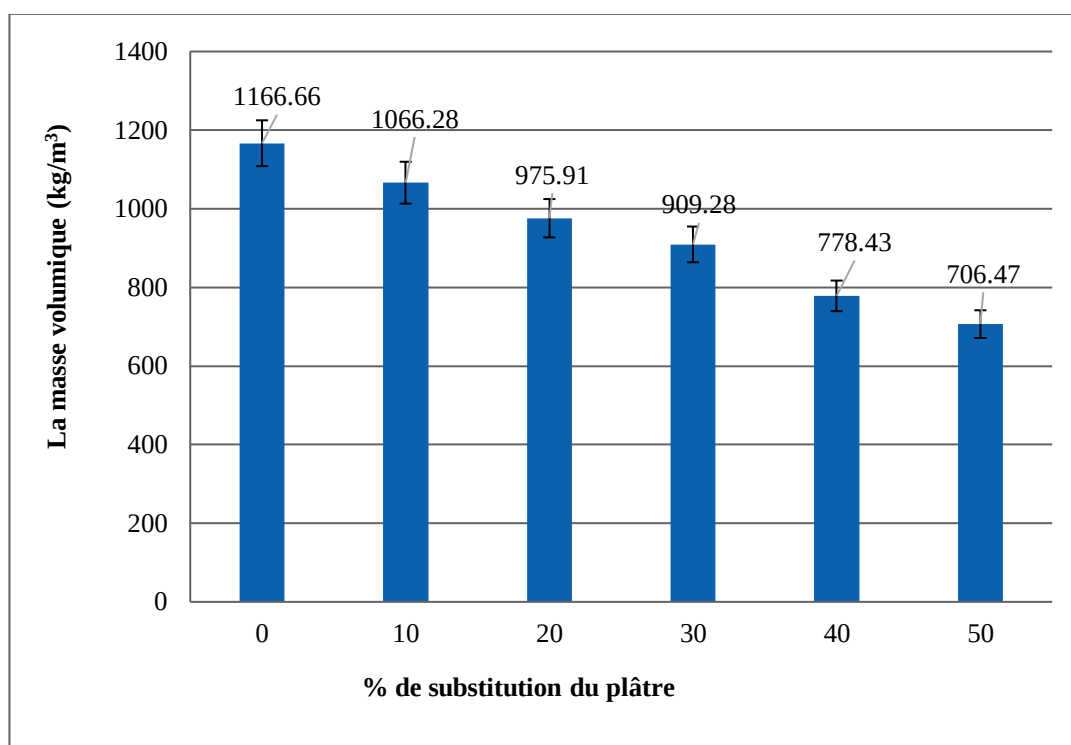


Figure IV.1 : Masse volumique des échantillons frais

D'après le graphe de la figure IV.1, on observe une diminution progressive de la masse volumique avec l'augmentation du pourcentage de substitution du plâtre, cette diminution est presque linéaire, indiquant une relation inverse entre la quantité de substitution et la masse volumique.

Ceci peut être attribué au fait que les mégots de cigarette sont moins denses que le plâtre ce qui permet de créer un matériau composite plus léger.

VI.2.2 .Etalement



Figure IV.2 : Etalement des mélanges plâtre +mégot

Les résultats de l'essai d'étalement des différents mélanges sont illustrés sur la (figure VI.3)

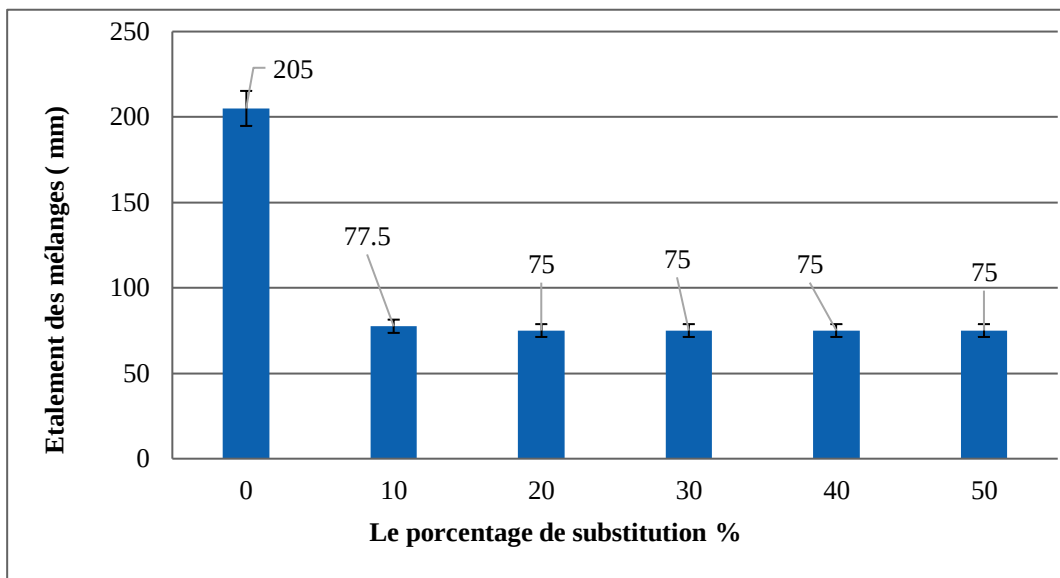
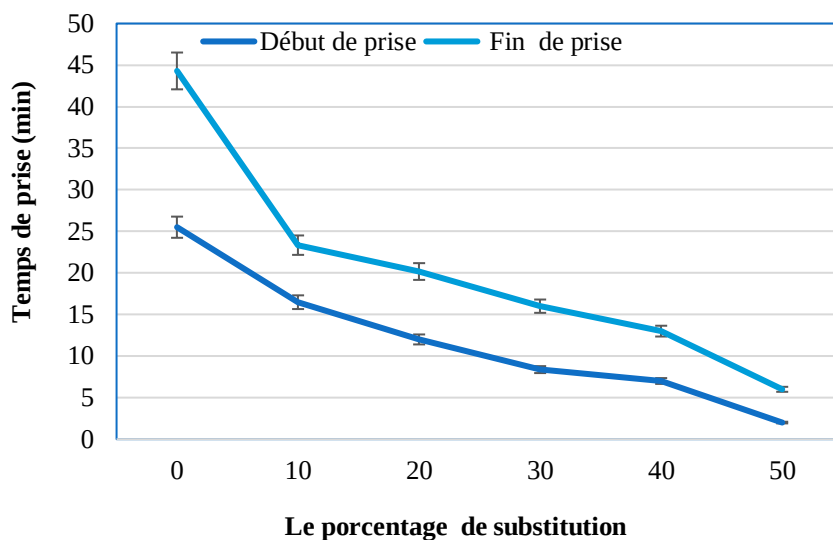


Figure VI.3:Etalement des mélanges

L'histogramme de la figure VI.3 représente la variation de l'étalement des différentes pâtes ayant un rapport E/P de 0,6. De cette figure, on remarque que l'étalement de pâte de plâtre témoin est de 205 mm, conforme aux exigences de la norme **EN13279-2**[35]. L'incorporation des mégots affecte drastiquement l'étalement et à partir de 20% de mégot, le mélange garde la forme du moule tronconique après soulèvement de celui-ci (diamètre extérieure 75mm). Le diamètre d'écoulement est donc hors de l'intervalle de la norme **EN13279-2**[35], diamètre d'étalement inférieur à 150 mm, sans perturber le durcissement du plâtre.

IV.2.3. Temps de prise:

Les résultats de début et de fin de prise des différents échantillons testés sont présentés par la figure IV.4.



IV.4. Temps de prise des différents échantillons

De la figure IV.3, on observe que le plâtre utilisé dans notre travail a un temps de prise de 26 min et un temps de fin de prise de 45 min. Le temps de prise diminue proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de mégot dans le mélange ; le début et la fin de prise les plus courts sont enregistrés dans le cas du plâtre contenant 50% de mégot.

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le rapport eau/plâtre initial de 0,6 utilisé pour préparer les échantillons soit légèrement réduit lorsque davantage de mégot est ajouté. Principalement, les fibres peuvent entrer en compétition pour l'eau avec le plâtre et ainsi réduire la quantité d'eau utilisée pour hydrater le plâtre.

IV.3. Etat durci:

IV.3.1. Essai d'absorption d'eau et de porosité

Les résultats de porosité et d'absorption d'eau obtenus sur les différents échantillons testés sont présentés par les figures IV.5 et IV.6

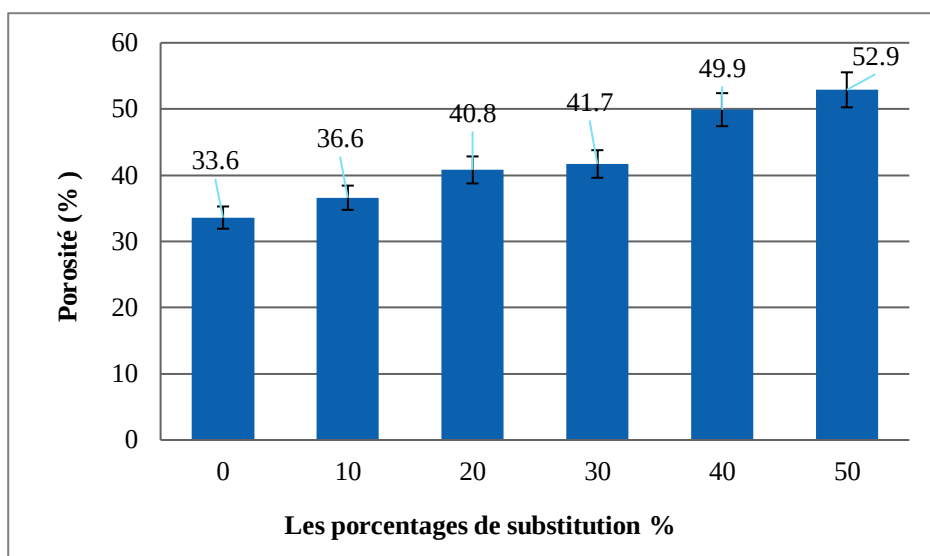


Figure IV.5: Porosité des différents échantillons

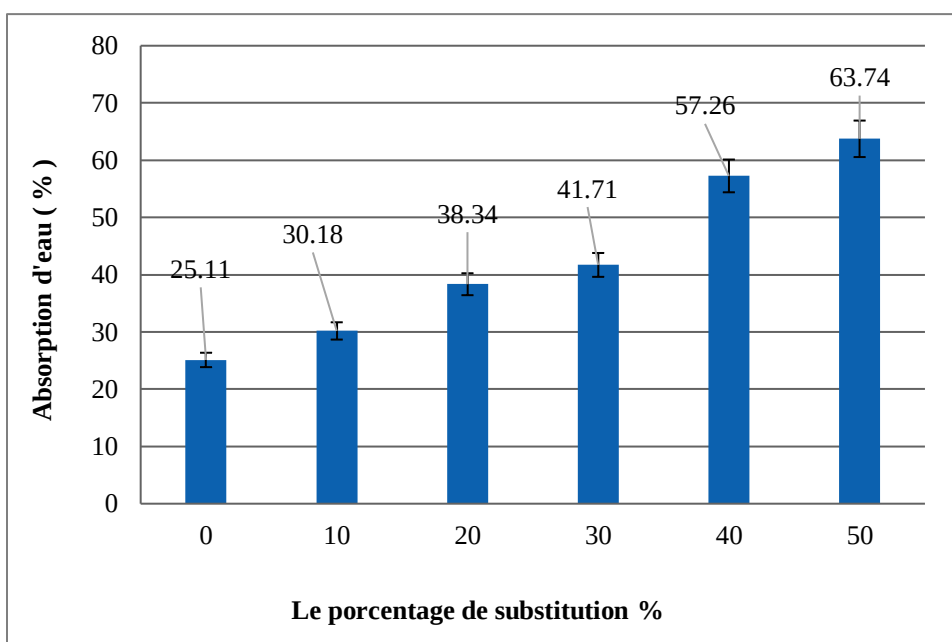


Figure IV.6 : Absorption d'eau des différents échantillons.

Dans les figures(IV.5) et (IV.6) on observe que tous les pourcentages sont caractérisés par une porosité ouverte et une absorption d'eau élevées qui augmentent à mesure que le taux de mégot augmente. Ces résultats montrent que les caractéristiques physiques augmentent de manière presque linéaire avec l'augmentation de filtre de mégots de cigarettes. Ceci montre que le plâtre pur est moins poreux que les mélanges contenant des mégots de cigarette. Plus le taux de substitution volumique est plus

élevé plus l'échantillon devient poreux.

Des relations linéaires entre la conductivité thermique et la porosité apparaissent dans plusieurs études dont les auteurs estiment la valeur de la conductivité thermique en connaissant la porosité d'un milieu. Dans ces corrélations ils montrent que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation de la porosité [41].

IV.3.2.Densité apparente:

Les résultats de l'essai de la densité apparente des différents échantillons testés à l'âge de 28 jours, sont présentés sur la **(figure VI.7)**.

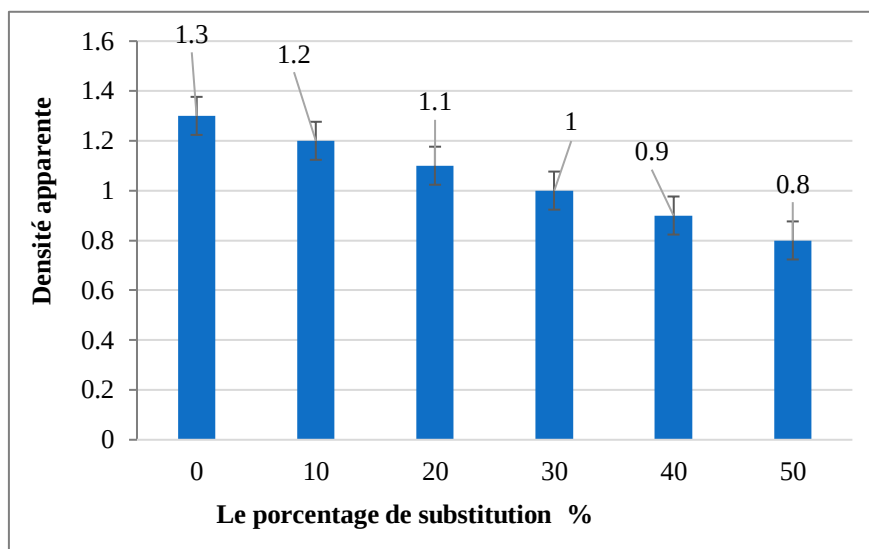


Figure IV.7 : Densité apparente des différentes compositions

De la figure **IV.7** on peut remarquer que la densité des échantillons diminue proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage des mégots.

Lorsque le plâtre de densité de 2.78 est remplacé par un matériau plus léger, de densité 0.23, le produit pris sera beaucoup plus léger, dans ce cas, la masse de plâtre remplacé dans l'échantillon est réduite [42]. La seconde raison de cette perte de masse est que l'eau s'échappe des pores des mégots vers l'extérieur de l'échantillon pendant la période de cure, 28 jours de conservation à l'air ambiant du laboratoire. Ce raisonnement est en accord avec celui évoqué par certains auteurs [43].

IV.3.3.Coefficient d'absorption d'eau par capillarité :

Les valeurs du coefficient d'absorption d'eau par capillarité pour les différents échantillons testés sont présentées sur la figure IV.8.

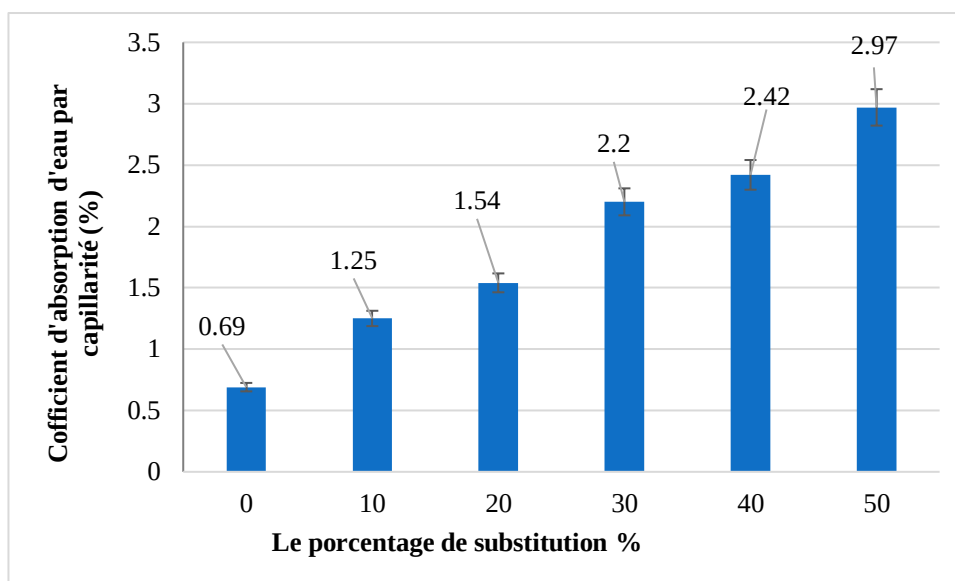


Figure IV.8: Coefficient d'absorption d'eau par capillarité des différents échantillons

De la figure IV.8, on remarque bien que la capillarité des différentes compositions de plâtre contenant les mégots augmente à mesure que le taux des mégots augmente. Les mégots de cigarette absorbent une grande partie d'eau de gâchage, par conséquent, ils se dilatent et augmentent de volume dans l'échantillon, ceci crée des réseaux capillaires important.

IV.3.4.Rétention d'eau

Les valeurs de la rétention d'eau pour les différents échantillons testés sont présentées sur la (figure IV.9.)

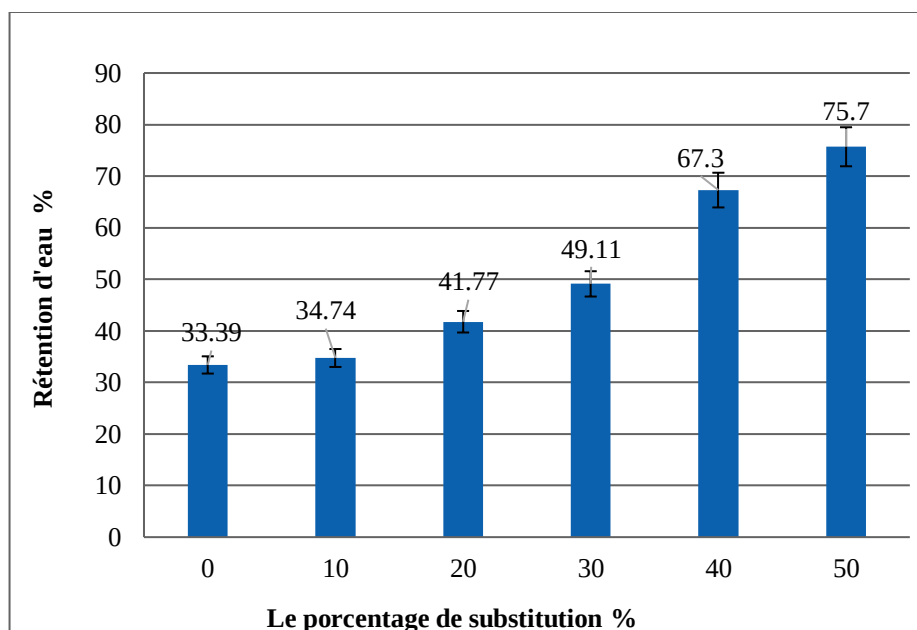


Figure IV.9 Retentions d'eau des différents échantillons

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Meheni et Fatima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mon cher mari : Nassim.
- ❖ A mes frères: Yanis ; Ania ; Sara
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : SID & KOBBI.
- ❖ Tous mes amis.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Sara** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

ROMAÏSSA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

- ❖ A mes chers parents Houcine et Nedjima qui m'ont encouragé tout au long de mes études et sacrifiés leurs vies pour mon bien;
- ❖ A mes frères; Khaled ; Samir ,
- ❖ A tous mes oncles, tantes, et tous mes cousins et cousines;
- ❖ Toute la famille : Khenous.
- ❖ Tous mes amis: Aicha, Ryma et Lynda.
- ❖ A tous mes amis de la promotion de Génie Civil 2023/2024 ;
- ❖ A tous mes enseignants de puis mes premières années d'études.
- ❖ Hommage à BAAR KHALISSA.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme « **Romaissa** » pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long de ce projet.

Sara

D'une vue générale, on peut remarquer dans la figure IV.8 que toutes les compositions de pâtes étudiées sont caractérisées par une capacité de rétention d'eau élevée qui varie entre 33.39% et 75.7%, ceci peut avoir deux effets antagonistes : le premier est positif pour limiter les risques de combustibilité et augmenter la résistance aux feu.

VI.3.5.Résistance à la flexion :

Les résultats de la résistance à la flexion sont présentés sur la figure IV.10.

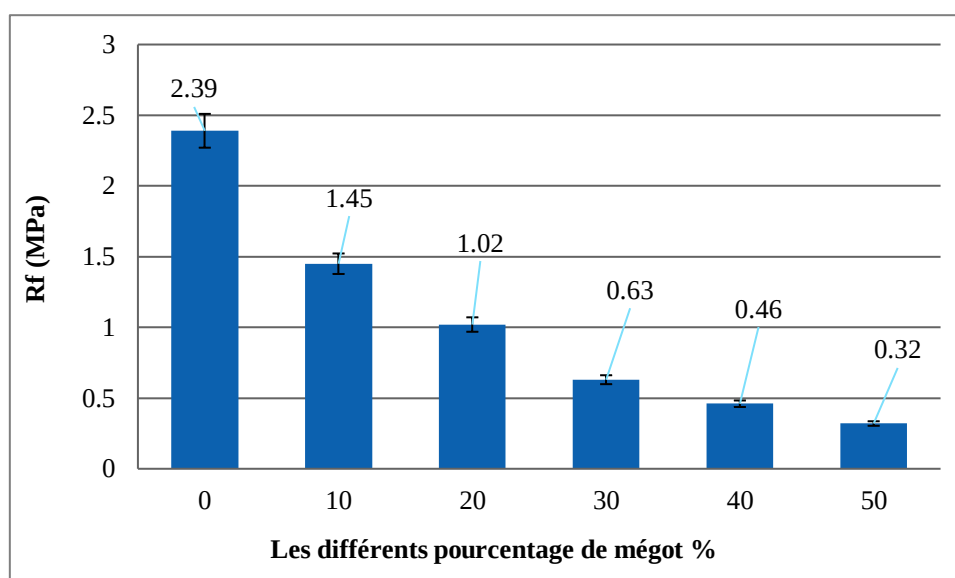


Figure IV.10 : La résistance à la flexion des différents échantillons.

D'une vue générale, on observe une diminution de la résistance à la flexion avec l'augmentation du pourcentage de mégot. La résistance de la pâte de plâtre seule est plus grande que celle de la pâte de plâtre + mégots, où l'on observe une légère diminution. La pâte de plâtre a enregistré une résistance de 2,39 MPa, tandis que le mélange plâtre + 50% de mégots a enregistré la plus basse résistance de 0,32 MPa, ce qui représente une diminution de 86,61% par rapport au plâtre de référence.

Dans un travail de recherche, il a été trouvé que l'incorporation de fibres de palmier dattier dans le plâtre diminue la résistance à la flexion lorsque le pourcentage de fibres est plus forts [44]. Ceci qui est en plein consentement avec le cas étudié.

IV.3.6.Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression sont présentés sur la (figure IV.11)

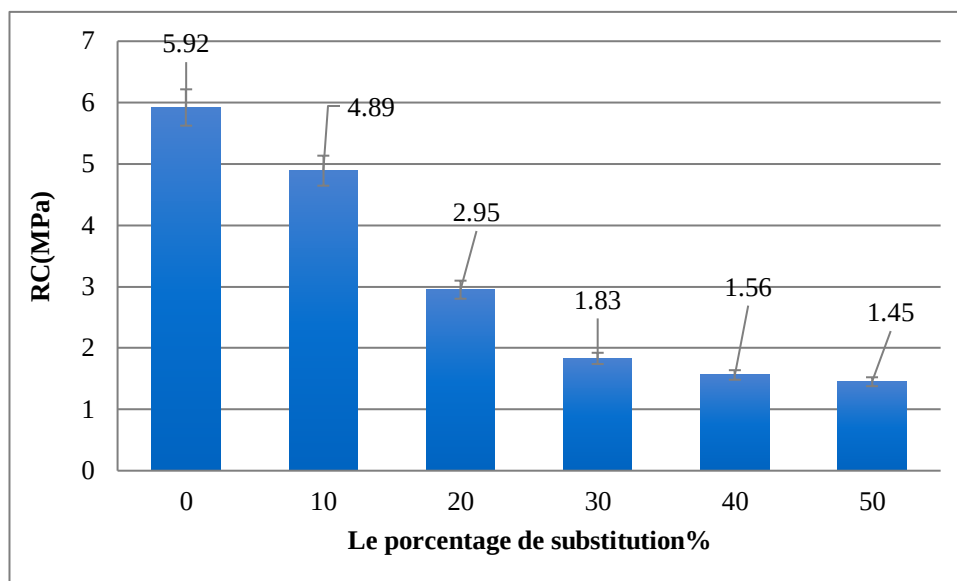


Figure IV.11 Résistance à la compression des différents mélanges.

La figure IV.11 représente la variation de la résistance à la compression de la pâte du plâtre pur et celle composée de plâtre et de mégots. Les résultats obtenus à 28 jours montrent que la pâte de plâtre présente une meilleure résistance à la compression de 5,92MPa. Cette résistance diminue à mesure que le pourcentage de mégots augmente. En effet, pour un taux de substitution de 20%, la résistance baisse d'environ 50%, puis au-delà, elle chute drastiquement pour valoir 1,45 MPa seulement lorsque le taux de substitution est de 50%.

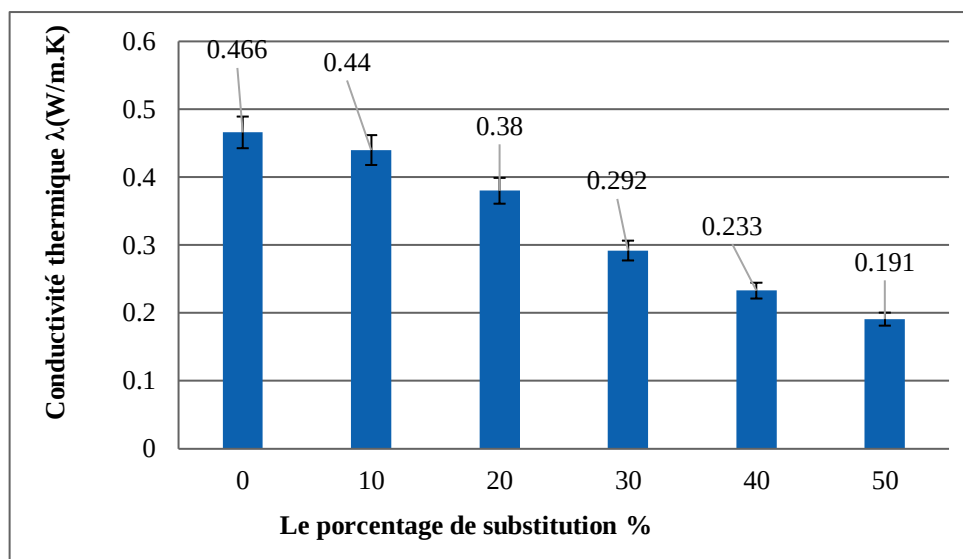
Les différents chercheurs sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, l'évolution de la résistance est assez constante entre les différents échantillons, mais l'augmentation la plus importante se produit dans les proportions du moule de mégot de cigarettes les plus faibles [45]. Dans d'autres cas on signale une légère diminution. Cette diminution peut être causée par une mauvaise compacité due à un excès de fibres, ou à une mauvaise composition [46].

L'ajout de fibre perturbe le squelette minéral en créant de vides à l'intérieur de la pâte et en augmentant sa porosité, d'où une résistance minimale [47].

IV.3.7. Conductivité thermique

Les résultats de l'essai de mesure de la conductivité thermique sont présentés sur la (figure IV.12.)

Figure IV .12: Evolution de la conductivité thermique des différents mélanges.



L'histogramme de la (figure IV.12) présente l'évolution de la conductivité thermique des différentes compositions. On remarque bien que la pâte témoin enregistre la plus grande valeur de la conductivité thermique. Les différentes compositions étudiées enregistrent des conductivités thermiques de plus en plus moins élevées à mesure que le pourcentage de mégot augmente.

L'incorporation de filtre de mégot de cigarette entraîne des valeurs de conductivité thermique très favorables en la baissant de près de 60 % lorsque le taux de mégot atteint 50%. D'un autre point de vue, la figure IV.11 montre que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation de la proportion de broyats de mégot. Cela peut être dû à la structure à cellules fermées de mégot qui est introduite à l'intérieur de la matrice de plâtre. Ces pores fermés contiennent de l'air, ce qui occasionne une conductivité thermique dans la matrice du plâtre [48].

Dans une étude réalisée sur des polymères recyclés dans la fabrication de plâtre, il a été montré que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation de la proportion de broyats de polymères [49].

Comme on le sait, la convection de l'air à l'intérieur d'un matériau augmente les pertes de chaleur et la température de surface, c'est ce qui se produit dans les

matériaux peu denses. Cependant, si l'air est contenu dans les petites alvéoles entre les fibres des filtres de mégots confinées dans le plâtre, cet air est au repos et résiste donc très bien à l'écoulement. L'échantillon présentant la meilleure conductivité thermique est celui réalisé avec 50% de mégot de cigarette. Cela se produit parce que des cavités plus nombreuses et plus petites sont créées entre les fibres du filtre et le gypse, empêchant une convection à grande échelle. L'alternance des pores d'air et du matériau solide provoque un transfert de chaleur à travers de nombreuses interfaces, entraînant une diminution rapide du coefficient de transfert thermique (conductivité thermique) [50].

Ceci signifie qu'une faible conductivité thermique entraîne une bonne isolation thermique, et réduire les coûts énergétiques et augmenter le confort thermique.

VI.3.8. La vitesse sonique et le module de Young

Les vitesses d'ondes soniques longitudinales dans les différents échantillons testés ainsi que leurs modules d'élasticité relatifs sont donnés dans les figures IV.13 et IV.14, respectivement.

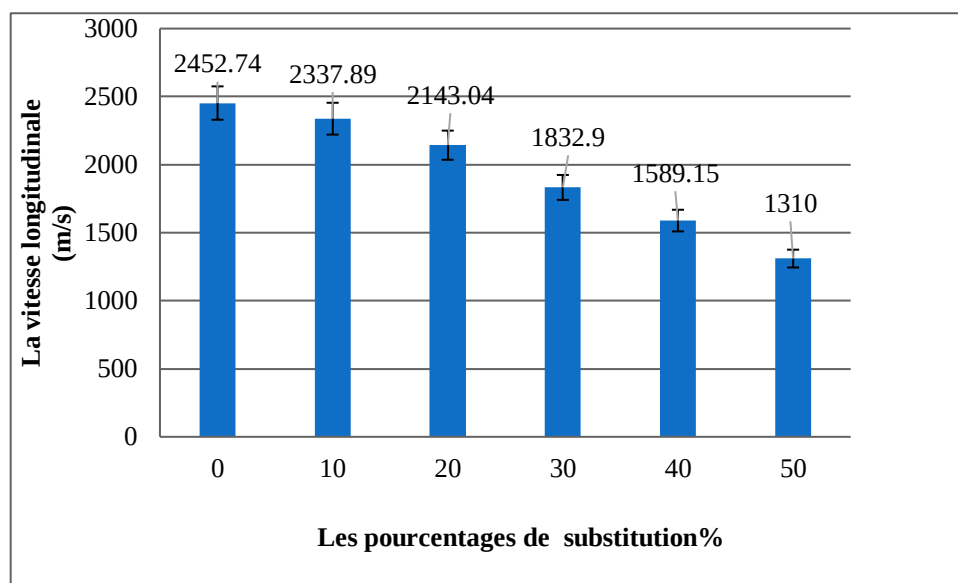


Figure.13 : Evaluation de la vitesse longitudinale d'ondes soniques pour les différents échantillons.

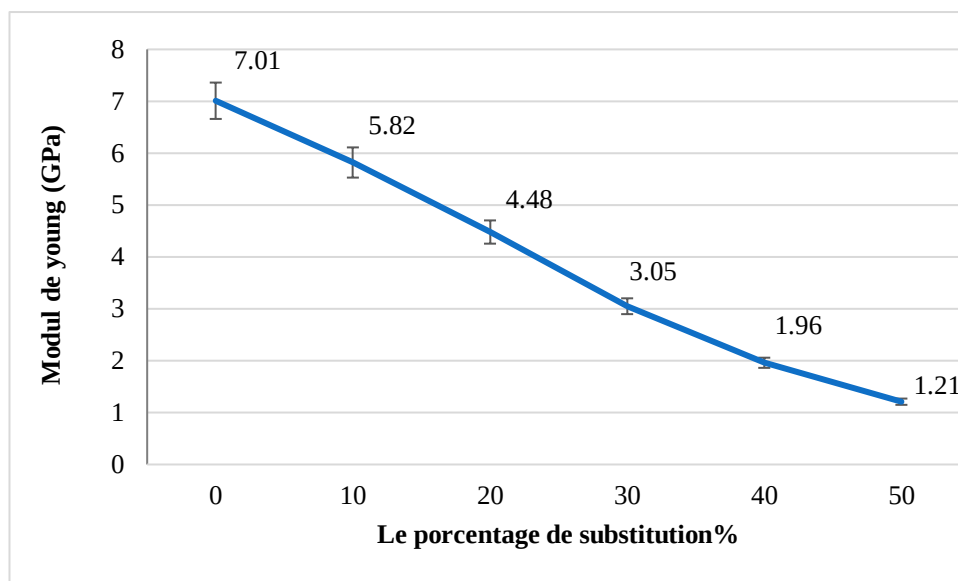


Figure IV.14 : Evaluation de module de Young dans les différents échantillons

Les résultats représentés sur les figures (IV.13) et(IV.14) montrent que l'incorporation de mégot de cigarette a réduit la vitesse d'ondes soniques. En effet, la vitesse diminue proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de mégot, cela peut être dû à la création d'une porosité supplémentaire causée par le filtre. Comme attendu, plus la porosité du matériau est importante, plus la vitesse de propagation des ondes ultrasonores est lente [2], [51].

Aussi, sur la figure IV.14, on voit bien que le module de Young diminue proportionnellement avec la vitesse d'onde et le pourcentage du mégot dans le composite. Le module de Young d'une composition en plâtre décroît avec l'augmentation des pourcentages de filtre des mégots de cigarette [52].

L'ajout des filtres de mégots de cigarette dans le plâtre réduit sa densité et sa rigidité tout en préservant son intégrité structurelle. Cela en fait un choix intéressant pour des applications nécessitant des matériaux légers.

VI.4. Valeur de la Capacité Tampon Hydrique (CTH)

Les valeurs de la capacité tampon hydrique (CTH ou MBV : Moisture Buffer Value) pour les différents échantillons testés sont présentées sur la figure VI.15. La

figure VI.15 donne la classification des valeurs MBV selon le protocole d'essai associée à l'issue du NORDTEST Project [53].

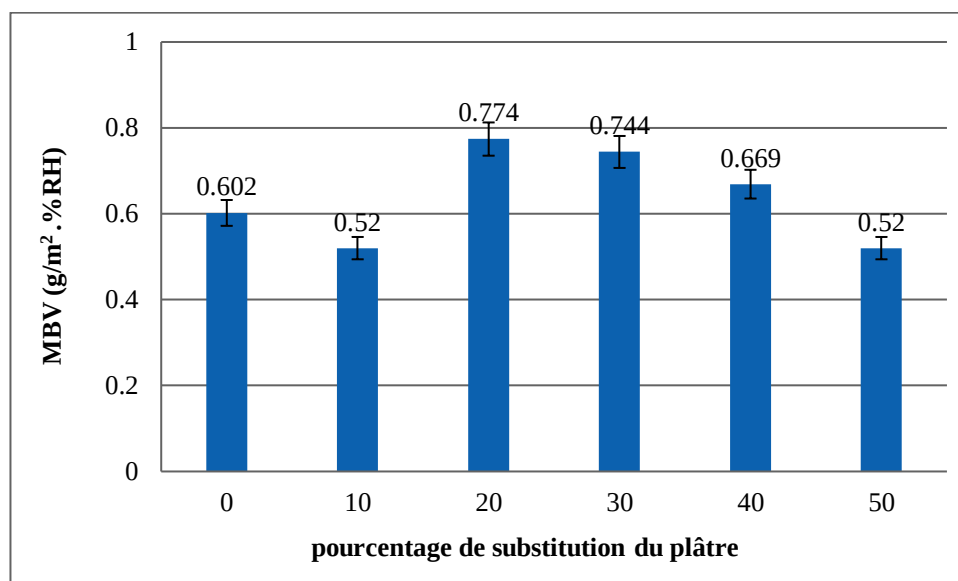


Figure IV.15 : Capacité Tampon Hydrique des différents mélanges

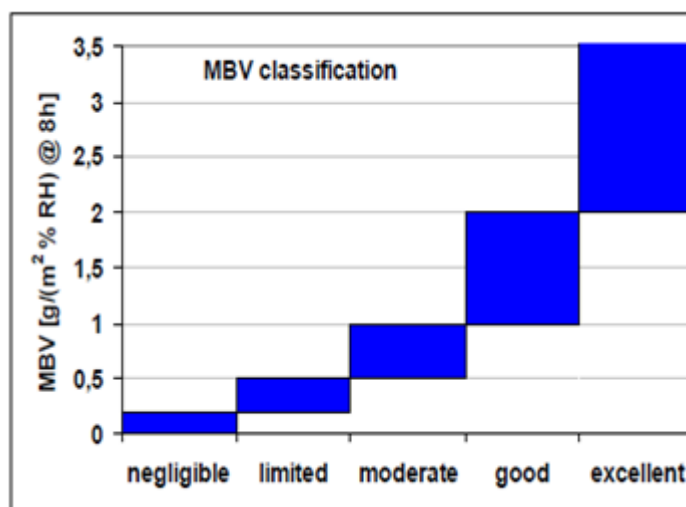
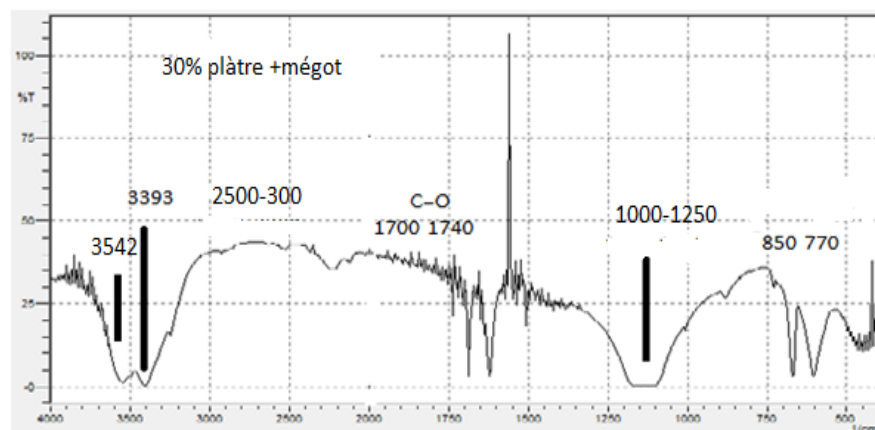
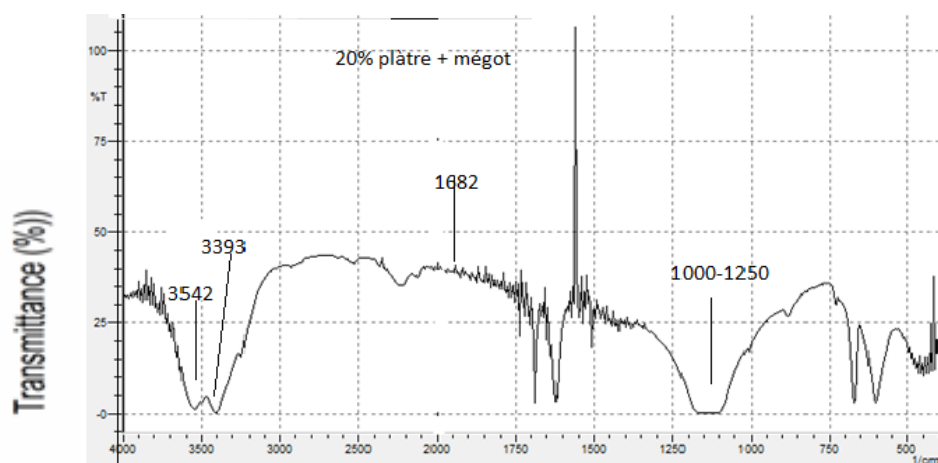
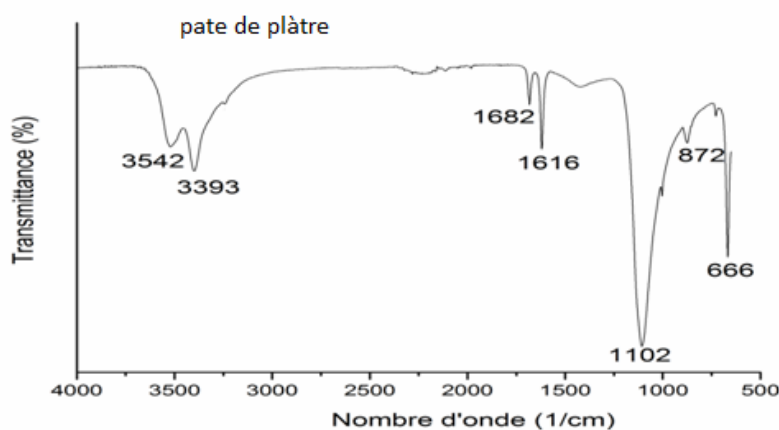


Figure IV.16: Classification les valeurs de MBV selon le NORDTEST Project [53]

On observe sur la Figure VI.15 que les valeurs moyennes MBV de tous les mélanges plâtre seul et plâtre+mégot varient entre 0,52 et 0,774 ($\text{g/m}^2.\%RH$). Ces valeurs appartiennent à l'intervalle $0,5 < MBV < 1 (\text{g/m}^2.\%RH)$. Selon la figure VI.16 de la classification du NORDTEST Project, les mélanges possèdent tous une capacité de régulation hydrique modérée.

VI.5. Analyse par spectrométrie infrarouge à transformée de fourrier:

L'analyse par spectrométrie infrarouge révèle de différentes bandes de vibration, de déformation et d'élongation des différents mélanges. Les résultats obtenus sont illustrés sur la (figure VI.16.)



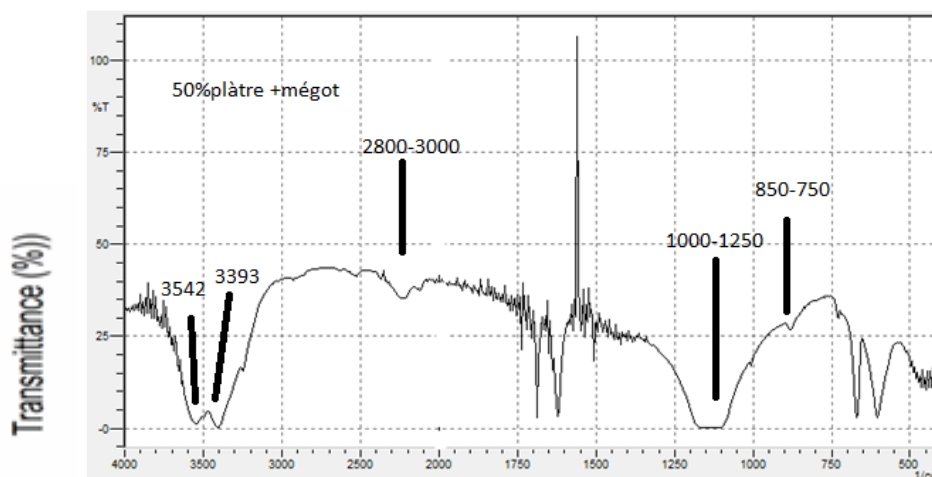


Figure VI.17 : Spectre infrarouge de quelques mélanges.

De la figure VI.17, on peut voir que les spectres IRTF sont presque identique, ils diffèrent légèrement dans les intensités des pics de transmutantes à cause de la substitution de plâtre par les différents pourcentages de mégot.

Conclusion :

Les expériences menées ont permis de mettre en lumière les potentialités du plâtre contenant les filtres de mégots de cigarettes. Les tests approfondis sur les éprouvettes et demi éprouvettes ont révélé des variations significatives des propriétés en fonction des compositions étudiées. Ces résultats ouvrent la voie à une nouvelle application du plâtre et contribuent à l'avancement des matériaux de construction écologiques. Ce chapitre confirme non seulement la faisabilité de l'incorporation, mais aussi la nécessité de poursuivre les recherches pour optimiser ces mélanges innovants.

De nos jours, ce matériau sera adapté aux tissus préfabriqués, comme les plaques de plafond suspendu ou les murs de réparation internes .et pour tout élément de construction actuellement fabriqué à partir de plâtre peut être fabriqué avec plâtre avec mégot.

Conclusion générale

Notre mémoire porte sur une étude de l'incorporation des mégots de cigarette usés dans les pâtes de plâtre.

À partir d'une analyse critique de la littérature et des résultats du programme expérimental tracé, nous avons conclu que :

Malgré l'abondance des gisements naturels de gypse (donc du plâtre) en Algérie, son utilisation est limitée aux travaux secondaires ou décoratifs. Il est également employé sous diverses manières : comme pâte de plâtre, comme mortier de plâtre ou encore comme béton de plâtre.

La valorisation des mégots de cigarettes usés est d'une importance capitale pour limiter leurs effets nocifs et toxiques sur l'environnement. Leur recyclage présente également un rôle primordiale dans la diminution de la conductivité thermique d'où une bonne isolation thermique pour les bâtiments ; ceci réduit les prêts de chaleurs en hiver et maintient plus frais en été, améliorant ainsi l'efficacité énergétique.

La masse volumique des différents composites obtenus par substitution partielle du plâtre par les mégots usés diminue avec l'augmentation de la teneur en mégot.

D'un point de vue mécanique, l'utilisation des déchets de mégots de cigarettes dans le plâtre conduit à la diminution de la résistance à la compression et à la flexion. Ceci est lié directement à l'augmentation de la porosité induite par l'augmentation du pourcentage des déchets ajoutés.

En utilisant des déchets de mégots de cigarette, les propriétés physiques de transport et de rétention d'eau, de porosité et d'absorption d'eau augmentent avec l'augmentation des pourcentages de substitution.

La conductivité thermique du plâtre pris et des composites de plâtre et mégots diminue en augmentant les pourcentages de substitution. Ce nouveau type de plâtre mélangé avec les mégots garde mieux la chaleur, cela le rend idéal pour la fabrication des blocs de plâtre préfabriqués résistants et efficaces sur le plan thermique.

À chaque augmentation du taux de substitution par les déchets de mégot de cigarettes, les vitesses d'ondes soniques et le module de Young diminuent probablement en raison de la formation d'un matériau poreux.

Il semble que la substitution partielle du plâtre par les mégots de cigarettes améliore la capacité tampon hydrique dans une certaine mesure, avec des valeurs généralement comprises entre 0.5 et 1. Cela permis de classer le matériau comme ayant une limite moyenne de

performance en assurant une bonne régulation hydrique du matériau.

Référence bibliographiques :

1. *Philippe COUUQRD. Resistance mécanique des plâtres secs et humides .PhD thesis ,université de droit ,d'économies et des sciences d Aix-Marseille,1992.*
2. *Hammouda jaffel – caractérisation multi échèle de matériaux poreux en évolution cas du plâtre. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique Spécialité : Physique des matériaux. 2006.*
3. *J.Sanahuja. Impact de la morphologie structurale sur les performances mécaniques des matériaux de construction :application au plâtre et la pâtes du ciment .*
4. Klein, C & Dutrow, B. (2018) Dana's system of Mineralogy, 8th Edition (Volume II: Silica Minerals).Wiley
5. <https://www.researchgate.net/figure/Projection-de-la-structure-cristalline-du-gypse-selon-la-direction-001-fig13-281047317>
6. Groupe formation continu de L'ENSA (Ecole Nationale supérieure d'architecture), de Marseille- France, en octobre 2010.
7. *M. SYLAIN, Etude de comportement mécanique du plâtre prise en relation avec sa microstructure,INSA de Lyon (France).Thèse de doctorat, 2001.*
8. Dider Raux, Photographe 2019 <https://blograchiphotos.com/carriers-de-gypse-a-ciel-ouvert/>
9. www.joyalcrusher
10. Gupsos Produits: Equipements pour l'industrie
<http://www.gupsos.com/index.php?m=cms&page=2&I=fr>
11. Convection de bale sur le contrôle des mouvements transfrontières et de le des déchets dangereux et leurs éliminations .Protocole sur la responsabilité et l'indemnisons en cas de dommages résultants transfrontières et de l'élimination de déchets dangereux. Textes et annexe .United Nations Geneva,UNEP/BRS/2014/3.12 Geneva,UNEP/BRS/2014/3.12

12. SANAHOJA julien ,DORMIEUX luc ,CHANVILLARD Gilles, and MEILLE Sylvain modélisation micromécaniques des matériaux poreux (pâte de ciment ,plâtre).Janvier - <http://cmm.mines-paristech.fr>
13. Daniel DALIGAND .Le plâtre, technique de l'ingénieur,2001.
14. Bounoua .F. Technologie de fabrication et contrôle de qualité du plâtre, Université Badji Mokhtar –Annaba-juin 2015p.44
15. Saikia, N., Brito, J.D., 2013. Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Material Res.* 16, 341e350.
16. <https://www.clikeco.com/P-57-88-F1-dechets-de-chantier-deconstruction-gestion-et-valorisation.html>,»2008
17. <https://wikimemoirs.net/2019/12/les-dechets-domestiques-defintion-typologie-et-classification/>
18. Université Batna 2. Institut des sciences de la terre et de l'univers(ISTU) depuis <https://istu.univ-batana2.dz>
19. Raju Sharma, PremPal Bansal. Use of different forms of waste plastic in concrete ar view. *Journal of Cleaner Production* 112,473e482. 2016
20. Pearce, Susan M. Sculpture in Stone and Plaster. In Heilbrunn Timeline of Art History. New York: The Metropolitan Museum of Art, 2000—. (October 2003)
21. H. Chelabi, Z. Taleb. Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre, mémoire de master. 2016/2017
22. Freeman MK, Fleming Td. Smoking prevalence and cigarette consumption in 187 countries,1980-2012, *journal of the American Medical Association* ,vol.311,no 2,p.183-192. 2014.
23. la transformation des mégots de cigarettes en matériaux de construction](<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618300875>
24. .[Étude sur la valorisation chimique des mégots de cigarettes] <https://www.greenmined.fr>
25. . <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cigarettefiltrar.jpg>
26. L.G.Ribba ,J.D.Ciamadro,N.B. D'Accoro,S.N.Goyanes.Removal of pollutants using Electrosputum Nanofiber Membranes. *Industrial application of Renewable Biomass Products*.pp301-324.DOI 10.1007/978-3-319-61288-1_12.
27. E. Gobbo. Déchets de construction matière à conception: Analyse des stocks et

flux de matières dans le cadre des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale, Thèse de Doctorat, Université de Louvain, Belgique. 2015

28. [la transformation des mégots de cigarettes en matériaux de construction] (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618300875>)
29. [http : www.terracycle.com](http://www.terracycle.com)
30. *Waste-to-Energy: A Review of cigarette butt recycling as a source of Energy publiée dans le journal renewable energy reviews en 2019*
31. Laurenza, A.G., Losito, O., Casiello, M., Fusco, C., Nacci, A., Pantone, V., & D'Accoliti, L. Valorizations of cigarette butts of High-value chemicals. Journal chemistry et Engineering. 2017
32. NF P94-057/1992 Analyse granulométrique des sables méthodes par sédimentations norme européenne mai 1992
33. NF P18-558 Détermination de la masse volumique absolue des fines méthodes d'essais de la masse volumique absolue norme européenne décembre 1990
34. EN 196-6 Détermination de la finesse méthode d'essais des ciments norme européenne avril 2012
35. EN 13279-2. Liants-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment, méthodes d'essai. Norme Européenne. 2014
36. NFE196-3 Détermination du temps de prise et la stabilité méthode d'essais des ciments norme européenne août 1995
37. NF EN 12390-5 Résistance à la flexion des éprouvettes, essai pour béton durci norme européenne juin 2019
38. NF EN 196-1 déterminations des résistances mécaniques, méthodes d'essai des ciments, norme européenne avril 2006.
39. NF P 18-418 Mesure du temps de propagation d'ondes soniques dans le béton, méthode d'essai ultrason, norme européenne décembre 1989.
40. EN 1015-18 (2003). Détermination des coefficients d'absorption d'eau par capillarité du mortier durci .Norme Européenne .Mai 2003
41. A. Boulanouar, A. Rahmouni, M. Boukalouch, Y. Géraud, I. El Amrani El Hassani, M. Harnafi, M.J. Sebbani. A Correlation between P-wave velocity and thermal conductivity of heterogeneous porous materials. MATEC Web of conferences, 2, 05004, 2012.

42. A.jiménez Rivero,B. Ana de Guzman, J. Garcia Navarro.New composite gypsum plaster –ground waste rubber coming from pipe foam insulation.Construction and building materials,55(2014) 146-15.
43. O.A.Z. Al-Bayati, I.F. Nasser, A. A. Hasan, R.H. Aljawad.reducing energy consumption by using cigarette butts as waste material in concrete building materials. U.P.B. Sci. Bull., Series D, 83 (4), 278-290, 2021.
44. .M. Rachedi,A.Kriker, A. Mokhtari.Contributionà l'étude de la durabilité demortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier. Vol. 20N°2(2017) 243– 251.
45. .M. Morales-Segura, C. Porras-Amores, P. Villoria-Sáez, D. Caballol-Bartolomé. Characterization of Gypsum Composites Containing Cigarette Butt Waste for Building Applications.*Sustainability*, 12(17), 7022, 2020
46. A. DJAROUD. Caractérisation structural et rhéologique des bétons de plâtres et leur renforcement par les fibres végétales du palmier dattier.Thèse magister. University de Laghouat,2001
47. A.Kriker, A. bali, G. debiki, M. Bouziane, M.Chabannet.Durability of date plam fibers and their use as renforcement in hot dry climates.Cement and concrete composites, 30,2008.
48. I. Zitani. Caractérisation physico-mécanique et thermique d'un béton de plâtre à base de granulats de lièges. Mémoire d'ingénieur de Laghouat, 2011.
49. V. Caderon, M. Horgnies. Polymères recyclés dans la fabrication du plâtre / Use of polymer-basedmaterialstomanufactureplaster. Techniques de l'Ingénieur. AM 3 601-1-20, 2013
50. P. Aguilera Benito, M. Morales-Segura, D. Caballol, C. Porras-Amores. Thermal and acoustic properties of new plasterboard composites with additions of cigarette butt waste. Construction and Building Materials 402, 133050, 2023
51. R. J. M. Da Fonseca, J.M. Saurel, A. Foucaran, E. Massone, T. Taliercio, J. Camassel. Acoustic microscopy investigation of porous silicon.Thin Solid Films, 255 (1–2), pp155-158, 1995.
52. . Eve,M. Gomina, A.Gmouh, A. Samdi, R. Moussa, G. Orange.Microstructural and mechanical behaviour of polyamide fiber plaster composites.Journal of European Society, 22 (13), 2269-2275, 2002.
53. Rode,C.,peuhkuri,R.H.,Hansen,K.,arfvidsson,J,etOjanen,T, (2005).NORDTES T Project on Moisture Buffer Value of Materials.In AIVC 26th

conference :Ventilation in relation to the energy performance of buildings .Air infiltration and Ventilation (pp.47-52).INIVE eeig.

Liste des Annexes

Annexes III 1. Quantités des matériaux utilisés et étalement des mélanges

% substitution	de 0	10	20	30	40	50
Plâtre%(g)	250	225	200	175	150	125
L'eau(g)	150	135	120	105	90	75
Mégot (g)	0	21.3	42.6	63.9	85.2	106.5
Eau additionnelle (g)	0	68.79	137.98	206.39	275.19	343.99
Etalement (mm)	205	77.5	75	75	75	75

Annexes III.2 : Temps de prise des différentes pâtes

		de 0	10	20	30	40	50
substitution							
Temps de prise	Début	25min50s	16min48s	12min	8min37s	7min	2min
	Fin	44min30s	23min34s	20min17s	16min	13min	6min

Annexe III.3: Résultats de l'essai de résistance en flexion et compression

	Flexion		Compression	
	force	Contrainte	force	contrainte
0	1.53	2.39	9.46	5.91
10	1.05	1.64	7.82	4.89
20	0.65	1.02	4.72	2.95
30	0.38	0.63	2.92	1.83
40	0.29	0.46	2.5	1.56
50	0.20	0.32	2.31	1.45

Annexe III.4 : résultat de l'essai de la conductivité thermique.

% de substitution	0	1	5	10	20	30	40	50
λ (W/m·K)	0.466	0.465	0.444	0.440	0.380	0.292	0.233	0.191

Annexas III.5: résumé le résultat de l'essai l'ultrason.

% de substitution	0	10	20	30	40	50
masse (g)	309.62	277.32	254.07	235.82	205.21	180.61
volume m ³	265.39	260.08	260.34	259.34	263.617	255.65
ρ (g/m ³)	1166.66	1066.287	975.91	909.28	778.43	706.47
D (cm)	16.18	16.03	16.03	16.13	16.06	16.10
T (µs)	65.96	68.56	74.8	88.13	101.06	122.9
V _L (m/s)	2452.74	2337.89	2143.04	1832.90	1589.15	1310.00
E (GPa)	7.01	5.82	4.48	3.05	1.96	1.21
RC (MPa)	3.009	2.54	1.90	1.20	0.84	0.56

Annexe III.6. : Résultat de l'essai de densité apparente, porosité et absorption d'eau.

%de substitution	0	10	20	30	40	50
M _s (g)	104.02	106.67	83.2	83.31	106	91.3
M _{st} (g)	130.14	138.87	115.1	118.06	166.7	149.5
M _{ph} (g)	52.75	50.95	37	34.8	45.1	39.9
P _r (%)	33.6	36.60	40.8	41.70	49.9	52.9
D _{app} (g)	1.3	1.2	1.1	1	0.9	0.8
A(%)	25.11	30.18	38.34	41.71	57.26	63.74

Annexe III.7 : Résultat de l'essai d'absorption d'eau par capillarité.

%	0	10	20	30	40	50
M₁(g)	170.25	161.25	164.56	158.84	140.1	131
M₂(g)	177.23	173.8	179.96	180.92	164.35	160.7
C [kg/ (m ² .min ^{0.5})].	0.69	1.25	1.54	2.2	2.42	2.97

Annexe III.8:Résultat de l'essai de rétention d'eau

% de substitution	0	10	20	30	40	50
M'	174.26	183.89	183.89	169.25	164.83	160.90
M''	133.62	143.77	136.15	113.5	97.30	85.19
% d'eau	30.38	34.70	41.77	49.11	67.3	75.70

Annexe III.9 : Résultat de l'essai CTH:

%	0	10	20	30	40	50
8h	117.43	114.50	88.98	133.56	96.64	88.30
	117.41	114.48	89.05	133.55	96.63	88.32
16h	117.46	114.53	89.03	133.61	96.67	88.34
	117.36	114.52	89.00	133.60	96.69	88.35
M abs	0.446	0.595	0.744	0.744	0.446	0.595
M dés	0.744	0.446	0.744	0.744	0.892	0.446
MBV	0.602	0.520	0.744	0.744	0.669	0.520

Résumé

Les déchets sont le facteur principal de pollution dans le monde et sont ainsi devenue un problème majeur pour les villes .Face à cette problématique, le plâtre principalement utilisés comme matériaux de construction à propriétés isolants ou infigues, est fabrique industriellement à partir de la premier matière rocheuse qu'est le gypse. Cette approche permet non seulement de réduire les déchets en les transformant en matériaux utiles, mais contribue également à la lutte contre la pollution.

Nous présentons dans ce travail des généralités sur le plâtre et les différents types des déchets, en mettant l'accent particulièrement sur les mégots de cigarette et ses propriétés spécifiques. Un programme expérimental visant à évaluer l'effet de l'incorporation des filtres de mégots de cigarettes sur les propriétés physiques, mécaniques, thermique et hygrométrique des pâtes de plâtre, a été soigneusement élaboré. A partir des résultats obtenus, nous pouvons dire que la valorisation des mégots de cigarette dans le plâtre permet d'améliorer son isolation thermique et la capacité d'absorption d'eau, cependant elle aboutit à une diminution des performances mécaniques. Nonobstant les pertes de la qualité mécanique, il est toujours possible et qui ne nécessitent pas une résistance élevée.

Mots clés : Plâtre, mégots de cigarette, conductivité thermique, résistances mécaniques, absorption d'eau.

Abstract

Waste is the main factor of pollution in the world and has therefore become a major problem for cities. In the face of this problem, plaster, which is mainly used as a building material with insulating or fire-resistant properties, is manufactured industrially from the primary material consisting of rocks. This approach does not reduce waste. By converting them into useful substances, it also contributes to the fight against pollution.

In this work we provide generalities about plaster and different types of waste, with a special focus on cigarette butts and their specific characteristics. A pilot program was developed aimed at evaluating the effect of incorporating cigarette butt filters on the physical, mechanical, thermal and hygroscopic properties of gypsum putties. From the results obtained, we can say that re-evaluation of cigarette butts in plaster makes it possible to improve thermal insulation and their ability to absorb water, but it leads to a decrease in mechanical performance. Despite the loss of mechanical qualities, these composite materials can still be used in buildings for non-structural elements that do not require high resistance.

Keywords: plaster, cigarette butts, thermal conductivity, mechanical resistance, water absorption.