

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Mr. AMKHENFI Lyes

Mr. KAROU Halim

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre

Devant le jury composé de :

Président	HAMI	Brahim	MCB	UAMOB
Encadreur	KENNOUCHE	Salim	MCB	UAMOB
Examineur	ARIBI	Chouaib	MAA	UAMOB

Année Universitaire 2017/2018

Dédicace

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer notre reconnaissance... Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer notre gratitude, et notre amour...

Nous dédions ce travail :

A nos chers parents : Qui n'ont jamais cessés de nous encourager et nous conseiller, grâce à leurs amours, on ne saurait jamais traduire ce qu'on ressent vraiment...

A toutes nos familles, nos sœurs, nos frères : Pour leurs indulgences en notre faveur qu'ils touchent ici l'affection la plus intime qu'on ressent à leur égard.

A nos amis et collègues : Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble.

*À tous les enseignants du département de génie
civil.*

Remerciements

En tout premier lieu, nous tenons à remercier le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donnés la force pour survivre, de la volonté et de l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Notre plus grande gratitude va à Monsieur KENNOUCHE Salim directeur de ce mémoire, pour sa disponibilité et la confiance qu'il nous a accordées. On aimerait aussi le remercier pour ses précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons également à remercier Monsieur Aribi Chouaib, pour son aide et ses conseils.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au laboratoire de génie civil à l'université UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA.

Pour cela nous voudrions adresser tous nos remerciements à tout le personnel de Laboratoire de recherche de Génie Civil de l'Université de BOUIRA avec lesquelles on a évalué ce travail et pour toutes leurs observations.

Un grand merci à tous les enseignants de Génie civil qui ont contribués à notre formation et à tous nos collègues.

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire.

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale :	3
-------------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les déchets

I.1. Introduction :	6
I.2. Définition des déchets :	6
I.3. Classification des déchets :	6
I.3.1. Classification suivant leurs natures :	6
I.3.2 Classification suivant la législation Algérienne :	7
I.3.2.1. Les déchets ménagers :	7
I.3.2.2 Les Déchets Industriels Banals (DIB) :	7
I.3.2.3. Les déchets dangereux :	8
I.3.2.4. Les Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD) :	8
I.3.2.5. Les déchets inertes :	9
I.3.2.6. Les déchets ultimes :	9
I.3.2.7. Cas particulier (les déchets d'emballage) :	10
I.4. Le contexte réglementaire :	10
I.5. Les Caractéristiques des déchets :	11
I.5.1. La densité :	11
I.5.2. Le degré d'humidité :	11
I.5.3. Le pouvoir calorifique :	11
I.5.4. Le rapport des teneurs en carbone et azote :	11
I.6. La dangerosité des déchets :	11
I.7. L'impact sur l'environnement :	12
I.8. Les conséquences de la pollution :	13
I.9. La gestion des déchets :	13
I.9.1. Gestion des déchets :	13
I.9.2. La gestion de collecte des déchets :	13
I.9.2.1. Collecte des déchets :	13
I.9.2.2. Les différents modes de récupération :	13
I.10. Objectifs de la gestion des déchets :	14
I.11. Le traitement des déchets :	14
I.11.1. La valorisation des déchets :	14
I.11.1.1. Le réemploi :	14
I.11.1.2. La réutilisation :	14
I.11.1.3. Le recyclage :	14

I.12. Avantages de valorisation du plastique :	15
I.13. Utilisation de déchets plastiques recyclés :	15
I.14. Le recyclage :	16
I.14.1 Notions générales :	16
I.14.2. La chaîne du recyclage :	16
I.14.2.1. Collecte de déchets :	16
I.14.2.2. Transformation :	17
I.14.2.3. Commercialisation et consommation :	17
I.15. Avantages et inconvénients des matières plastiques :	17
I.15.1. Avantages des matières plastiques :	17
I.15.2. Inconvénients des plastiques :	17
I.16. Trois grandes méthodes de valorisation du plastique :	18
I.16.1. La valorisation énergétique :	18
I.16.2. La valorisation chimique :	18
I.17. Deux méthodes de recyclage des déchets plastiques les plus répandues:	18
I.17.1. La régénération :	18
I.17.1.1. Technique Générale :	19
I.17.2. La fabrication d'éléments de construction :	20
I.17.2.1. Technique Générale :	20
I.18. Les déchets en Algérie :	21
I.19. Les stratégies algériennes :	22
I.20. Statistique des déchets en Algérie :	22
I.21. Conclusion :	23

Chapitre II : Plâtre et Matériaux composites

PARTIE I : Matériaux composites :	24
II.1. Introduction:	24
II.2. Définition d'un matériau composite:	24
II.3. Constituants des matériaux composites :	25
II.3.1. La matrice :	25
II.3.2. Les renforts:	25
II.4. Géométrie des renforts:	26
II.5. Classification des matériaux composites :	27
II.5.1 Classification suivant la forme des constituants:	27
II.5.1.1 Composites à fibres :	27
II.5.1.2 Composites à particules:	27

II.5.2 Classification suivant la nature des constituants :	28
II.5.2.1. Composites à matrice organique (résine, charges) :	28
II. 5.2.2. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultra-légers d'aluminium, de magnésium, de titane) :	28
II.5.2.3. Composites à matrice minérale (céramique) :	28
II.6. Rôles des fibres dans le plâtre :	29
II.7. Avantages et inconvénients des composites :	29
PARTIE II : Plâtre :	30
II.1. Généralité sur le plâtre :	30
II.1.1. Définition de plâtre :	30
II.1.2. Historique :	30
II.2. Fabrication du plâtre :	31
II.2.1. L'extraction de gypse (matière première) :	31
II.2.2. Le concassage - calibrage :	31
II.2.3. La cuisson :	31
II.2.3.1. La cuisson du plâtre Alpha :	32
II.2.3.2. La cuisson du plâtre Bêta :	32
II.2.4. Le broyage:	32
II.2.4.1. Le broyage standard :	32
II.2.4.2. Le broyage/sélectage :	32
II.2.5. L'homogénéisation et l'adjuvantation :	32
II.2.6. Le contrôle et la validation des produits :	33
II.2.7. Le conditionnement et la logistique :	33
II.3. Gypse :	33
II.3.1 Cristallographie du gypse (le système CaSO ₄ -H ₂ O) :	33
II.3.2. Les anhydrites :	36
II.4. Types et domaine d'utilisation du plâtre:	37
II.4.1. Plâtre de construction :	37
II.4.2. Plâtre d'isolation :	37
II.4.3. Autres types du plâtre :	37
II.4.3.1. Le plâtre de Paris :	37
II.4.3.2. Le plâtre à projeter :	37
II.4.3.3. Le plâtre de surfaçage :	37
II.4.3.4. Le plâtre à modeler :	38
II.4.3.5. Divers :	38
II.5. Caractéristiques physiques :	38

II.5.1. Masse volumique et Densité :	38
II.5.2. Résistance au feu :	39
II.5.3. Conductivité thermique :	40
II.6. Conclusion :	41

Chapitre III : Plâtre renforcé avec déchets

III.1 .Introduction :	43
III.2. Exemples sur le renforcement du plâtre avec les déchets :	44
III.2.1. Plâtre renforcé de fibres végétales tropicales (Rhectophyllum Camerunense) :	44
III.2.2. Plâtre renforcé avec bois fragmenté :	45
III.2.3. Plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier :	46
III.3. Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre :	47
III.3.1. Déchets des feuilards en plastiques :	47
III.3.1.1. Caractéristique des feuilards en plastiques :	47
III.3.1.2. Le feillard polyester PET :	47
III.3.1.3. Caractéristique techniques :	48
III.3.1.4. Applications:	48
III.4. Conclusion :	48

Chapitre IV : Partie expérimentale

IV. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentaux :	50
IV.1.Caractérisation des matériaux utilisés :	50
IV.2. Caractérisations physiques:	51
IV.2.1. La masse volumique du plâtre:.....	51
IV.2.2. La prise:.....	51
IV.2.3. Eau de gâchage:.....	52
IV.3. Caractérisation Mécanique:	53
VI.3.1. Résistances mécaniques:	53
IV.4. Mise en œuvre des composites et confection des éprouvettes:	58
IV.5. Étude des propriétés mécaniques:	64
IV.5.1. Résistance à la flexion:.....	64
IV.5.2. Résistance à la compression :	71
IV.6: Discussion des résultats :	77
Conclusion Générale:	80
Références bibliographiques:	83

Liste des figures

Chapitre I: Généralité sur les déchets.

Figure I. 1: Déchets ménagers.....	7
Figure I. 2: Déchets Industriels Banals (DIB).....	8
Figure I. 3: Déchets dangereux.	8
Figure I. 4: Déchets Toxiques en Quantité Dispersée.....	9
Figure I. 5: Déchets inertes.	9
Figure I. 6: Déchets ultimes.	10
Figure I. 7: Types de traitement des déchets en Algérie (AND 2016).....	15
Figure I. 8: Schéma du processus de recyclage.....	16
Figure I. 9: Logo universel des matériaux recyclables.	16
Figure I. 10: Schéma du processus standard de régénération.	20
Figure I. 11: Technique de production des pavés.	21
Figure I. 12: Composition moyenne des déchets en Algérie (AND 2016).	23

Chapitre II: Plâtre et matériaux composites.

Figure II. 1: Composition d'un matériau composite.....	25
Figure II. 2: Types de matrice.....	25
Figure II. 3: Types de renfort.....	26
Figure II. 4: Les structures géométriques des composites.	27
Figure II. 5: projection de la structure cristalline du gypse selon la direction (001)	34
Figure II. 6: Morphologie classique d'un cristal de gypse, avec les faces apparentes.....	35
Figure II. 7: Perte de masse dans le gypse avec l'augmentation de températures	39
Figure II. 8: Comment le gypse retarde la transmission de chaleur.....	40
Figure II. 9: Conductivité thermique du gypse en fonction de la température (Thomas, 2002).	41

Chapitre III: Plâtre renforcé avec des déchets.

Figure III. 1: Le Recktophyllum camerunense a- plante. b- racines à l'origine des fibres. c- Fibres lavées.....	44
Figure III. 2: Bois fragmenté.	45
Figure III. 3: Palmier dattier.	47

Chapitre IV: Partie expérimental.

Figure IV. 1: Plâtre KNAUF FLEURUS.....	50
Figure IV. 2: Essai de prise avec l'appareil de Vicat.....	52
Figure IV. 3: Déchets utilisés Feuillard en polyester.....	53
Figure IV. 4: Les éprouvettes réalisées (4x4x16cm ³) et (4x4x4cm ³).....	54
Figure IV. 5: Appareil d'essai flexion [Zwick/Z010].....	54
Figure IV. 6: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	55
Figure IV. 7: Appareil d'essai compression.....	56
Figure IV. 8: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	56
Figure IV. 9: Ordinateur de laboratoire GC.....	57
Figure IV.10 : Variation des masses volumiques.....	63
Figure IV. 11: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 1 (plâtre témoin), noté Pt.	64
Figure IV. 12: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 2 (plâtre + 1% fibres plastiques longues, noté Pfpl (01%))......	65
Figure IV. 13: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 3 (plâtre + 3% fibres plastiques longues, noté Pfpl (03%))......	66
Figure IV. 14: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 4 (plâtre + 6% fibres plastiques longues, noté Pfpl (06%))......	67
Figure IV. 15: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 5 (plâtre + 01% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (01%))......	68
Figure IV. 16: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 6 (plâtre + 03% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (03%))......	69
Figure IV. 17: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 7 (plâtre + 06% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (06%))......	69
Figure IV. 18: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 8 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique (40% fibres courtes (trame)+ 60% fibres longues (chaîne)).	70
Figure IV. 19: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 9 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique (40% fibres courtes (mélange)+ 60% fibres longues (chaîne dans la partie inférieure))......	71
Figure IV. 20: Variation des masses volumiques des mélanges.....	73
Figure IV. 21: Variation de la force max des mélanges.....	74
Figure IV. 22: Variation de la résistance à la flexion.....	74
Figure IV. 23: Corrélation entre la masse et la masse volumique.....	75
Figure IV. 24: Corrélation de la masse volumique et la force.....	75
Figure IV. 25: Corrélation entre la force et la contrainte de flexion.....	75
Figure IV. 26: Résultats d'essais physico-mécaniques.....	76

Figure IV. 27: Corrélation entre la masse et la masse volumique.....	76
Figure IV. 28: Corrélation entre la force et la contrainte de compression.	76
Figure IV. 29: Corrélation entre les masses volumiques et les forces de compression.	77

Liste des Tableaux

Chapitre I: Généralité sur les déchets.

Tableau I. 1: Les quantités des déchets en Algérie.....	22
--	----

Chapitre II: Plâtre et matériaux composites.

Tableau II. 1: Energies de cohésion des faces du cristal de gypse.	35
--	----

Chapitre IV: Partie expérimental.

Tableau IV. 1: Temps de prise du plâtre.....	52
Tableau IV. 2: Mélange de plâtre témoin (Pt).	58
Tableau IV. 3: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 01%.	59
Tableau IV. 4: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 03%.	60
Tableau IV. 5: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 06%.	60
Tableau IV. 6: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 01%.	61
Tableau IV. 7: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 03%.	61
Tableau IV. 8: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 06%.	62
Tableau IV. 9: constitué du plâtre + fibres plastiques (40% courtes sous forme trame et 60% longues sous forme chaîne).....	62
Tableau IV. 10: constitué du plâtre + 3% fibres plastiques (60% fpc mélange et 40% fpl sous forme chaîne).	63
Tableau IV. 11: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 01.	64
Tableau IV. 12: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 02.	65
Tableau IV. 13: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 03.	65
Tableau IV. 14: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 04.	66
Tableau IV. 15: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 05.	67
Tableau IV. 16: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 06.	68
Tableau IV. 17: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 07.	69
Tableau IV. 18: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 08.	70
Tableau IV. 19: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 09.	70
Tableau IV. 20: Résistance à la compression pour le plâtre témoin.	71

Tableau IV. 21: Résistance à la compression pour le Pfpl (6%).....	72
Tableau IV. 22: Résistance à la compression pour le Pfpl (3%).....	72
Tableau IV. 23: Résistance à la compression pour le Pfpl (1%).....	72
Tableau IV. 24: Résistance à la compression pour le Pfpc(6%).....	72
Tableau IV. 25: Résistance à la compression pour le Pfpc (3%).....	72
Tableau IV. 26: Résistance à la compression pour le Pfpc(1%).....	73
Tableau IV. 27: Résistance à la compression pour le Pfp (3%) chaine+trame.	73
Tableau IV. 28: Résistance à la compression pour le Pfp (3%) chaine+mélange.	73

Abréviations

Chapitre I :

DMS : Déchets ménagers spéciaux.

DIB : Déchets industriel banal.

DIS : Déchets industriel spéciaux.

DTQD : Déchets toxiques en quantité dispersée.

TAPD : Taxe relative aux activités polluantes ou dangereuses.

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

PVC : polychlorure de vinyle.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

PEBD : Polyéthylène basse densité.

AND : Agence national des déchets.

Chapitre II :

MC : matériau composite.

ANFA : L'Association Nationale pour la Formation Automobile.

BORSIC : Bore revêtues de carbone de silicium.

COLPA: COSIDER LAFARGE PLATRES ALGERIE.

PBC : Periodic bond chain. (Chaîne de liaison périodique).

Chapitre III :

PET : polyester.

RC : Rhektophyllum Camerunense.

Chapitre IV :

Pt : plâtre témoin.

Fpl : fibres plastiques longues.

Fpc : Fibres plastiques courtes.

Pfpl : Plâtre + fibres plastiques longues.

Pfpc : Plâtre + fibres plastiques courtes.

SYMBOLES

SYMBOLES :

Symboles	Désignations	Unités
E/P	Consistance normale du plâtre	-
ρ	Masse volumique	(Kg/m³)
R_f	Résistance à la flexion	(MPa)
R_c	Résistance à la compression	(MPa)
F_f	Charge à la rupture en flexion	(N)
F_c	Charge à la rupture en Compression	(N)
L	Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette	(mm)
b	Largeur de la section carrée du prisme	(mm)
F	Force	(N)
σ	Contrainte	(Mpa)
T	Température	(°C)
λ	Conductivité thermique	(W/m.K)
E_c	Energies de cohésion	(kJ/mol-1)

Résumé

La population Algérienne est en croissance continue (42.5 millions d'habitants en janvier 2018, d'après l'Office National des Statistiques ONS), un chiffre qui explique la croissance de la consommation des différents produits. Par ailleurs cette consommation excessive a des répercussions néfastes sur l'environnement vu les quantités de déchets générés, entre autres les déchets plastiques sous plusieurs formes, qui présente un sérieux problème de santé publique et pour l'environnement ainsi que l'espèce animale, ce qui nécessite une réflexion sérieuse sur la prise en charge des déchets par les pouvoirs publics, d'autant plus que l'Algérie a pris part aux travaux du sommet mondial sur l'environnement en 2018 à Paris, dont les pays ont pris un engagement sur la réduction de la pollution et des gaz à effet de serre. C'est dans cette optique que notre travail est enclenché, dans lequel on propose la valorisation des déchets plastiques sous forme de fibres courtes et longues, incorporées comme renfort dans le matériau plâtre, afin de remédier au caractère fragile du plâtre et trouve d'autre part une possibilité de valorisation des déchets plastiques, avec des pourcentages différents de 1 à 6 %, ce qui a permis de noter une augmentation des résistances mécaniques des éprouvettes testées.

Mots clés : Plâtre de construction, fibre plastique, essais mécaniques, contraintes de rupture.

Abstract

The Algerian population is growing continuously (42.5 million inhabitants in January 2018, according to the National Office of Statistics ONS), a figure that explains the growth in the consumption of various products. In addition, this excessive consumption has negative repercussions on the environment given the amount of waste generated, among other things plastic waste in several forms, which presents a serious public health problem and for the environment as well as the animal species. which requires serious reflection on the management of waste by the public authorities, especially since Algeria took part in the work of the world summit on the environment in 2018 in Paris, whose countries made a commitment on the reduction of pollution and greenhouse gases. It is in this perspective that our work is initiated, in which we propose the recovery of plastic waste in the form of short fibers is language, incorporated as a reinforcement in the plaster material, to remedy the fragile nature of the plaster and found other possibilities recovery of plastic wastes, with different percentages ranging from 1 to 6%, which made it possible to note an increase in the mechanical strengths of the test pieces tested.

Key words: Construction plaster, plastic fiber, mechanical tests, breaking stresses.

ملخص

الكثافة السكانية للجزائر في تزايد مستمر (42.5 مليون نسمة في جانفي 2018 ، وفقا لمكتب الإحصاءات الوطني) ، وهو رقم يشرح النمو في استهلاك المنتجات المختلفة. وعلاوة على ذلك ، فهذا الاستهلاك المرتفع له تأثير سلبي على البيئة نظرا لحجم النفايات الناتجة و من بينها النفايات البلاستيكية في عدة أشكال ، ما يمثل مشكلة جدية على الصحة العمومية ، على البيئة وأيضا على الأنواع الحيوانية ، الأمر الذي يتطلب تفكيراً جاداً بشأن إدارة النفايات من قبل السلطات العامة ، خاصة وأن الجزائر شاركت في أعمال القمة العالمية حول البيئة في عام 2018 في باريس ، التي التزمت دولها الحد من التلوث وغازات الاحتباس الحراري. وفي هذا السياق انطلق عملنا الذي نقترح فيه استعادة النفايات البلاستيكية و استعمالها في شكل ألياف قصيرة و طويلة لتعزيز مادة الجبس والتقليص من هشاشته من جهة والعثور على إمكانية استغلال النفايات البلاستيكية من جهة أخرى ، و ذلك بنسب مئوية مختلفة من 1 إلى 6 % الأمر الذي يجعل من الممكن ملاحظة زيادة في القوة الميكانيكية لأجزاء التي تم اختبارها.

الكلمات المفتاحية : جبس البناء ، الألياف البلاستيكية ، الاختبارات الميكانيكية ، إجهاد الانكسار.

Introduction Générale

Introduction Générale :

Du fait de l'augmentation des activités du Bâtiment et des Travaux Publics depuis quelques décennies, on constate un afflux croissant du volume des déchets issus des chantiers. L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais.

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux.

Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique.

Les pénuries des ressources en granulats, poussent à chercher des solutions permettant la valorisation de matériaux disponibles localement en abondance et de trouver des utilisations dans différents domaines de construction.

Toutefois, l'inconvénient du plâtre de construction, est ses faibles résistances mécaniques en flexion et en compression, qui font de lui un matériau de finition dans la construction. Ce qui a suscité un intérêt scientifique, dont l'objectif converge à l'amélioration des propriétés mécaniques du plâtre, par le renforcement par des fibres, synthétiques ou végétales afin de l'élargir son champ d'application.

Ce travail est scindé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une recherche bibliographique :

Nous allons relater les différents types de déchets, ainsi que les possibles valorisations des déchets dans la construction.

- Le deuxième chapitre, est consacré à une présentation des matériaux composites en général dans le domaine du génie civil (Partie I), une présentation et étude des principales propriétés du matériau plâtre (Partie II).

- Le troisième chapitre, est principalement consacré à donner des exemples des travaux réalisés sur plâtre renforcé avec des déchets.

- Le quatrième chapitre, est consacré à la partie expérimentale, dont nous allons exposer quelques méthodes, les mélanges et les variantes préparées, ainsi que la méthode d'élaboration des éprouvettes, suivie d'une analyse des résultats.

CHAPITRE I

Généralités sur les déchets

I.1. Introduction :

Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est pour cela qu'actuellement, de nombreux pays cherchent des alternatives pour pallier à ce problème. C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable, par exemple sur le plan énergétique, l'apparition des éoliennes ou de la géothermie. Cependant l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est la valorisation, le recyclage des déchets et leur réutilisation.

I.2. Définition des déchets :

« Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, Toute substance, matériaux, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » **loi n°75-633 du 15 juillet 1975**, modifié par **la loi n° 92-646 du 13 juillet 1992**. [1]

« Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation ou de consommation, dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. « **Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001** ». [2]

« Un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travail. » **Le dictionnaire LAROUSSE**.

I.3. Classification des déchets :

I.3.1. Classification suivant leurs natures :

Le guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés du ministère d'aménagement du territoire et environnement (2003), présente une classification des déchets selon leur nature physique en 03 catégories :

* **Déchets solides** : ordures ménagères, emballages, gravats.....etc.

* **Déchets liquides** : huiles usagés, peintures, rejet de lavage.....etc.

* **Déchets gazeux** : biogaz, fumées d'incinérationetc. [3]



Figure I. 2: Déchets Industriels Banals (DIB).

I.3.2.3. Les déchets dangereux :

Encore communément appelés Déchets Industriels Spéciaux (DIS), ils correspondent à des déchets nocifs, toxiques, corrosifs, inflammables, explosif selon **L'article 2 du décret 2002-540 du 18 avril 2002.**



Figure I. 3: Déchets dangereux.

I.3.2.4. Les Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD) :

Ils sont de même nature que les déchets dangereux, mais ils ont la particularité d'être produits en faible quantité et répartis de façon non homogène sur le territoire. Ils proviennent essentiellement de l'activité des artisans et des petites entreprises.



Figure I. 4: Déchets Toxiques en Quantité Dispersée.

I.3.2.5. Les déchets inertes :

Ils correspondent à des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières, avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ils correspondent à des déchets minéraux non pollués (tuiles, céramiques, briques, bétons...). Il peut également s'agir de déchets industriels comme certains laitiers de hauts-fourneaux ou encore des scories.



Figure I. 5: Déchets inertes.

I.3.2.6. Les déchets ultimes :

Le Code de l'environnement définit dans son article **L.541-1** un déchet ultime comme « déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est pas susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».



Figure I. 6: Déchets ultimes.

I.3.2.7. Cas particulier (les déchets d'emballage) :

Les emballages appartiennent à la fois aux déchets ménagers et aux déchets industriels ; de plus, ils peuvent être considérés comme dangereux s'ils sont souillés par des matières présentant des caractéristiques dangereuses. [4]

I.4. Le contexte réglementaire :

La réglementation algérienne concernant la problématique des déchets a connu une nette évolution. Ces dernières années, plusieurs lois ont été promulguées :

* **Loi n° 01 -19 du 12 décembre 2001**, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ;

* **Loi n° 02 – 02 du 05 février 2002**, relative à la protection et la valorisation du littoral ;

* **Loi n° 03 – 10 du 19 juillet 2003**, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005. La législation fiscale en matière d'environnement et de développement durable a vu son départ par la loi des finances (1992), avec l'introduction de la taxe relative aux activités polluantes ou dangereuses (TAPD). Les diverses dispositions fiscales ont été introduites par les lois des finances pour les années 2000, 2002 et 2003. Ces dispositions sont relatives aux déchets solides (exemple : taxe d'enlèvement des ordures ménagères), aux effluents liquides industriels, aux émissions atmosphériques aux activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement.

La loi relative à la gestion des déchets, est venue combler un vide juridique, mais les textes d'application de cette dernière sont insuffisants.

D'autres textes d'application des lois ont été promulgués et publiés au journal officiel :

* **Décret exécutif n°02-372 du 11 novembre 2002**, relatif aux déchets d'emballage ;

* **Décret exécutif n°04-210 du 28 juillet 2004**, définissant les modalités de détermination de caractéristiques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés ;

***Décret exécutif n°04-410 du 14 décembre 2004**, faisant les règles générales d'aménagement et d'exploitations des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau des installations. [5]

I.5. Les Caractéristiques des déchets :

On caractérise les déchets par quatre paramètres essentiels suivants.

I.5.1. La densité :

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyennes décollectes et de stockage. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc.

I.5.2. Le degré d'humidité :

Les ordures renferment une suffisante quantité d'eau variant en Fonction des saisons et le milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique des déchets.

I.5.3. Le pouvoir calorifique :

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes.

I.5.4. Le rapport des teneurs en carbone et azote :

Le rapport C/N a été choisi comme Critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination régulière de ce rapport. [6]

I.6. La dangerosité des déchets :

Selon le décret exécutif n° : **06-104 du 28 février 2006**, les critères de dangerosité des déchets spéciaux dangereux sont classés comme suit :

- Explosible ;
- Comburante ;
- Extrêmement inflammable ;
- Facilement inflammable ;
- Inflammable ;
- Irritante ;
- Nocive ;
- Toxique ;
- Cancérigène ;
- Corrosive ;
- Infectieuse ;
- Toxique vis-à-vis la reproduction ;
- Mutagène ;
- Dangereuse pour l'environnement. [7]

I.7. L'impact sur l'environnement :

Les conséquences écologiques donnent un impact direct des substances, mais aussi prévenir indirectement de l'incinération ou de la mise en décharge des déchets.

La pollution d'origine humaine peut avoir un impact très important sur la santé et dans la biosphère comme en témoigne l'exposition aux polluants et le réchauffement climatique qui transforme le climat de la Terre et son écosystème, Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations humaines et pour contrer des activités humaines contaminants. Les types de pollution :

* **La pollution de l'air** : provoquée des polluants dits atmosphériques : rejet de pots d'échappement des usines.

* **La pollution de sol souvent d'origine industrielle ou agricole** : utilisations d'énergie, de pesticides.

* **La pollution de l'eau** : qui peut résulter de la contamination des eaux usées.

I.8. Les conséquences de la pollution :

La pollution est la source de la détérioration du paysage et du patrimoine et de la couche d'ozone, qui favorise l'effet de serre, et aussi une mine des maladies humaines. [8]

I.9. La gestion des déchets :

I.9.1. Gestion des déchets :

Consiste en toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations. À partir de cette définition, plusieurs opérations se distinguent dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie. **Loi n°01-19 du 12/12/2001** relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur génération à leur élimination. [9]

I.9.2. La gestion de collecte des déchets :

I.9.2.1. Collecte des déchets :

Le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement.

I.9.2.2. Les différents modes de récupération :

* **Le tri à la source** : La collecte séparative nécessite au préalable un tri des ordures, soit à la source soit dans un centre de tri.

* **La collecte par apport volontaire** : Elle consiste à mettre à disposition de la Population des lieux de réception, convenablement choisis (en centre-ville ou en périphérie) de façon à permettre une desserte satisfaisante de la population,

* **La collecte séparative** : Elle consiste à rassembler les produits valorisables, en particulier les emballages, dans un ou plusieurs bacs conteneurs, les collectes séparatives peuvent être réalisées en porte à porte ou en apport volontaire. [10]

I.10. Objectifs de la gestion des déchets :

De prévenir et de réduire la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la conception, la fabrication et la distribution des substances et produits et en favorisant le réemploi, ainsi que de diminuer les incidences globales de l'utilisation des ressources et d'améliorer l'efficacité de leur utilisation. De mettre en œuvre une hiérarchie des modes de traitement des déchets consistant à privilégier, dans l'ordre ; la préparation en vue de la réutilisation, le recyclage avec toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique, ou l'élimination.

D'assurer que la gestion des déchets se fait sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement ; D'organiser le transport des déchets et de le limiter en distance et en volume ; D'assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion des déchets. [11]

I.11. Le traitement des déchets :

La loi 01-19 du 12 décembre 2001, définit le traitement des déchets comme toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets.

I.11.1. La valorisation des déchets :**I.11.1.1. Le réemploi :**

Consiste à utiliser une nouvelle fois un produit ou objet usagé, Pour un usage analogue à celui de sa première utilisation, sans qu'il y ait des traitements intermédiaires. Exemple : la consignation des bouteilles qui sont à nouveau remplies après leur nettoyage.

I.11.1.2. La réutilisation :

Consiste à utiliser de nouveau un déchet, pour usage différent De son premier emploi. Exemple : l'utilisation de pneus usagers pour protéger la coque des bateaux.

I.11.1.3. Le recyclage :

Le recyclage désigne la réintroduction d'un matériau contenu Dans un déchet dans le cycle production, en remplacement total ou partiel d'une matière neuve. Exemple : utiliser les bouteilles cassées et les refondre pour en faire des bouteilles neuves. [10]

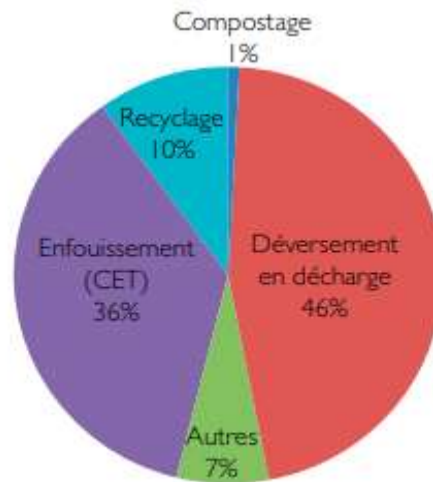


Figure I. 7: Types de traitement des déchets en Algérie (AND 2016).

I.12. Avantages de valorisation du plastique :

- Conservation des énergies fossiles non-renouvelables, la production en plastique utilise 8% de la production mondiale du pétrole dont 4% comme matière première et 4% au cours de la fabrication.
- Réduction de la consommation énergétique.
- Réduction des déchets solides mis en décharges.
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO₂). [12]

I.13. Utilisation de déchets plastiques recyclés :

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets juste après leurs achats. D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La Réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources. Aux États-Unis, 80% des déchets plastiques post-consommation sont envoyés à la décharge, 8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés.

I.14. Le recyclage :

I.14.1 Notions générales :

Le « recyclage » est la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, (cela comprend le recyclage organique mais pas le recyclage énergétique). Le recyclage des produits en fin de vie passe par l'organisation de filières spécialisées permettant à toutes les entreprises et/ou tous les particuliers de permettre la récupération des déchets. Ci-dessous est représenté un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets [13].

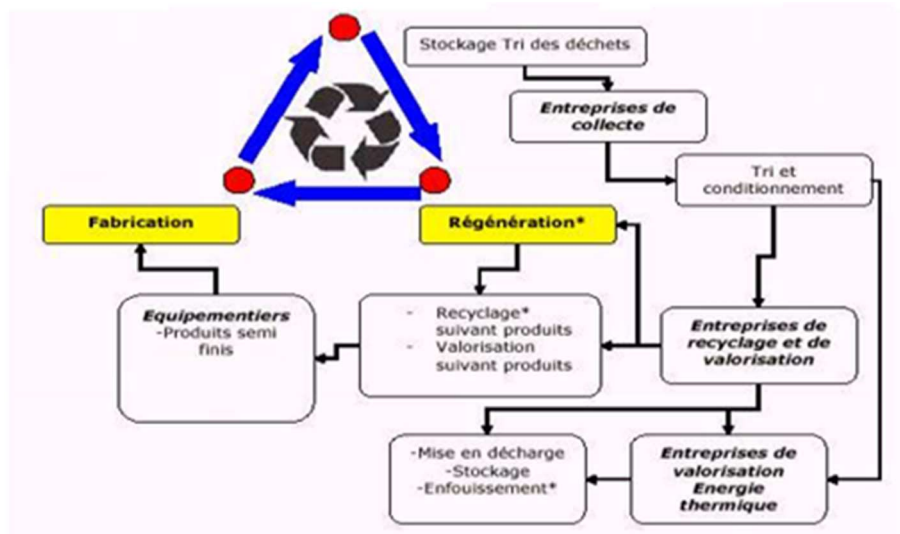


Figure I. 8: Schéma du processus de recyclage.

Les matériaux recyclables sont repérables grâce au célèbre ruban de Möbius, logo universel de ces matériaux depuis 1970.



Figure I. 9: Logo universel des matériaux recyclables.

I.14.2. La chaîne du recyclage :

I.14.2.1. Collecte de déchets :

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la Collecte des déchets. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à

la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler.

I.14.2.2. Transformation :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de Transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

I.14.2.3. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues Du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés [14].

I.15. Avantages et inconvénients des matières plastiques :**I.15.1. Avantages des matières plastiques :**

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent sa polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques, caractériser par un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport, notamment il assure une bonne sécurité et d'hygiène pour les emballages alimentaire avec une longévité et durabilité élevé, connu aussi par sa résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact des chocs, et une excellentes propriété d'isolation thermique et électrique. Sa capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs a fait du plastique un matériau de choix pour l'utilisation, notamment avec son faible coût de production.

I.15.2. Inconvénients des plastiques :

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que

personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

I.16. Trois grandes méthodes de valorisation du plastique :

I.16.1. La valorisation énergétique :

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxines et de HAP, molécules cancérigènes présentes dans les fumées.

16.2. La valorisation matière, ou valorisation mécanique :

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace, plus le produit en sortie de valorisation matière est de bonne qualité. Les expériences que nous présentons ci-après sont des modes de valorisation matière.

I.16.2. La valorisation chimique :

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et les pays émergents.

I.17. Deux méthodes de recyclage des déchets plastiques les plus répandues:

I.17.1. La régénération :

La régénération des matières plastiques est la technique la plus employée à travers le monde, que ce soit dans les pays du nord comme ceux du sud, puisque ce procédé permet de valoriser tous les thermoplastiques, soit 75 % de la production mondiale de plastique. La régénération

consiste à produire de la poudre, des granulés ou du broyat à partir de déchets plastiques, comparables aux résines vierges, pour les réintroduire sur le marché international des résines plastiques.

Cette technique impose une grande rigueur sur le tri des plastiques (car les différentes résines thermoplastiques sont non miscibles entre elles) et sur la propreté de la résine, pour qu'elle soit reprise par les industriels. La régénération est la technique la plus efficace en termes de rendement de valorisation matière des déchets plastiques. Mais elle nécessite un équipement relativement coûteux et des compétences techniques.

I.17.1.1. Technique Générale :

La régénération s'opère en plusieurs étapes : tri, lavage, séchage, broyage, extrusion, granulation. Les unités de régénération peuvent être plus ou moins avancées dans leur processus de régénération et produire un sous-produit recyclé plus ou moins élaboré. Une unité de régénération n'est pas obligée d'avoir en charge toutes les étapes de production, on peut trouver un acteur pour chaque type d'opération. On distingue deux grandes phases dans le processus de régénération :

Phase 1 - Tri, lavage, séchage : cette étape consiste à présenter un déchet plastique non-souillé et trié par type et qualité de résine pour les opérations de broyage, granulation, extrusion. Ces opérations peuvent être réaliser sans machine.

Phase 2 - Broyage, extrusion, granulation : cette étape va apporter une grande valeur ajoutée en transformant le déchet plastique en sous-produit commercialisable auprès de l'industrie plastique. Pour cela il est nécessaire de s'équiper en machine, dont la consommation électrique n'est pas négligeable, surtout pour l'extrusion. La régénération du plastique permet de traiter tous les thermoplastiques avec le même équipement et selon le même procédé, seuls les paramètres de réglage des différentes machines changeront en fonction du plastique traité (température, vitesse de rotation de l'extrudeuse,...).

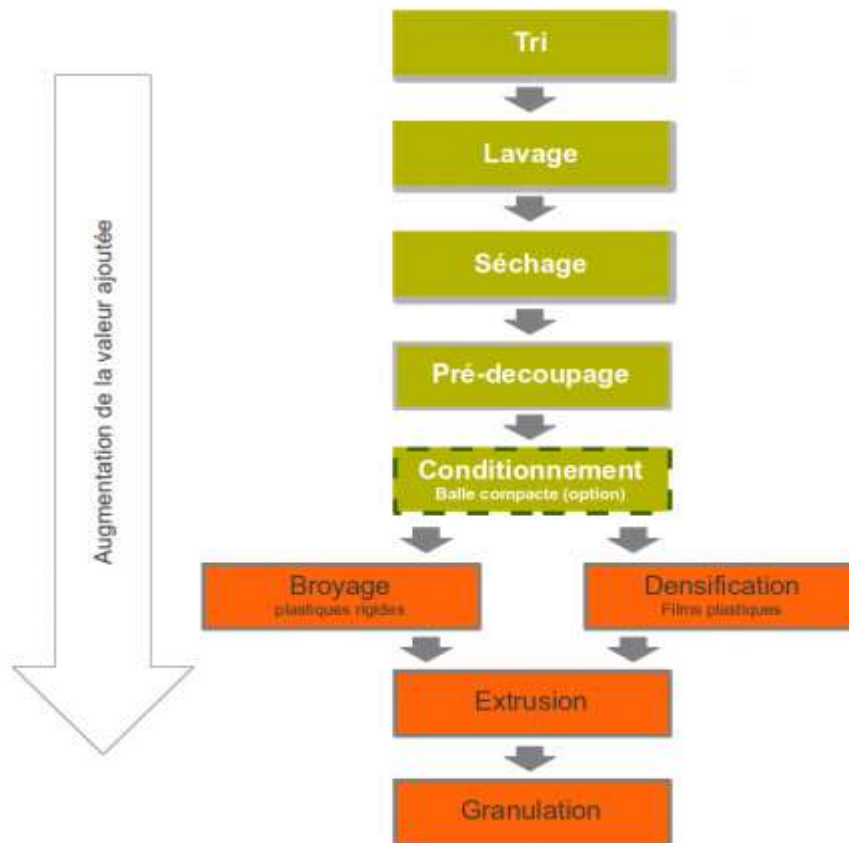


Figure I. 10: Schéma du processus standard de régénération.

I.17.2. La fabrication d'éléments de construction :

A la fin des années 90 est apparue l'idée d'utiliser le plastique (et notamment les sachets plastiques) comme liant, en remplacement du ciment, afin de produire différents éléments de construction comme des pavés, des briques, des tuiles...

I.17.2.1. Technique Générale :

Les sachets plastiques sont pour la plupart faits en polyéthylène basse densité (PEBD), qui est un thermoplastique. En les chauffant, ils vont fondre et devenir visqueux ; on y ajoute alors du sable tout en malaxant. Une fois le mélange homogène, on le verse dans un moule et on laisse refroidir avant démoulage. Cette technique, qui présente l'avantage de nécessiter de faibles investissements et permet de valoriser les sachets même non lavés, a beaucoup attiré l'attention sur tout en Afrique. Elle a été testée par de nombreuses structures avec plus ou moins de succès [15].

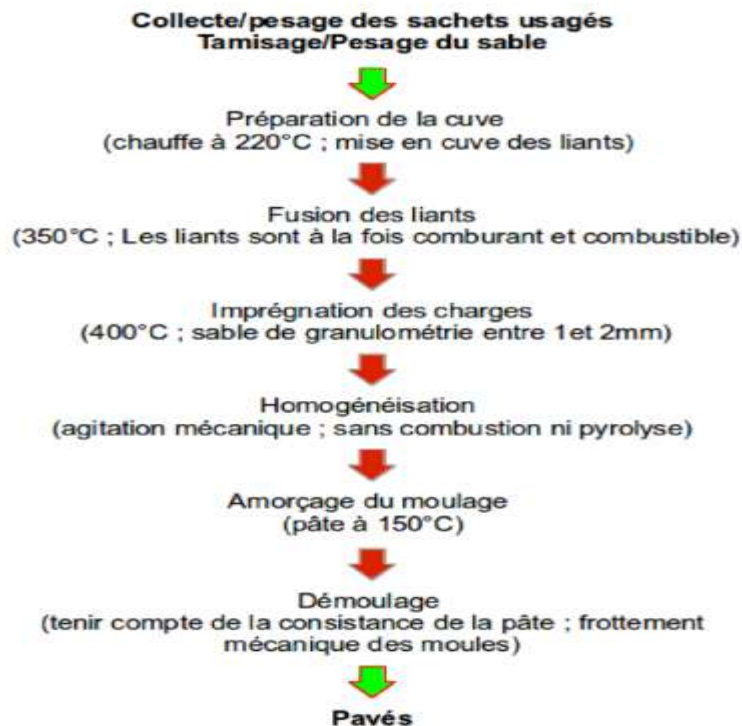


Figure I. 11: Technique de production des pavés.

I.18. Les déchets en Algérie :

Depuis de nombreuses années, l'Algérie connaît un développement économique et démographique sans précédent, d'où la nécessité d'adaptation aux modes de consommation et de production modernes. Les services actuels de gestion des déchets sont submergés par la quantité phénoménale et toujours croissante des différents types de déchets et les difficultés à l'éliminer (déchets ménagers, déchets hospitaliers, déchets industriels,...etc.). Les décharges existantes ne peuvent plus absorber le flux et répondre aux nouvelles exigences de gestion et de traitement des déchets. Nous pouvons résumer la situation de l'environnement concernant les déchets en Algérie comme suit :

- ♣ Insuffisance de la législation concernant les déchets solides ;
- ♣ Absence d'un dispositif national pour la prise en charge des déchets ;
- ♣ Absence de politique de gestion des déchets proprement dite ;
- ♣ Absence de décharges contrôlées et de décharges réservées aux déchets industriels et spéciaux [16].

Tableau I. 1: Les quantités des déchets en Algérie. [17]

Type de déchet		La quantité
Déchets ménagers et assimilés (DMA)		10.3 Mt (2012)
Les déchets industriels (DIB)		2550000 t/an (2011)
Les déchets industriels dangereux, anciennement appelés déchets industriels spéciaux (DIS)		330000 t/an (2011)
Les déchets inertes (DI)		11M t/an (2011)
Déchets d'activité de soins (DAS)		30000 t/an (2011)
Les déchets fermentescibles	Déchets verts et agricoles	130000 t/an (2012)
	Déchets de marchés	96000 t/an (2012)
Déchets des pneus usagés		≥ 1M d'unité/an
Déchets de huiles des lubrifiantes		110000 t/an
Les déchets (électronique, électrique, électroménagers) (DEEE)		18000 t/an

2012[MATE]

I.19. Les stratégies algériennes :

Conscient des enjeux que l'environnement représente pour un développement durable, l'Etat Algérien adopte depuis une dizaine d'années, des stratégies pour la préservation de l'environnement dans différents secteurs. Ces dernières reposent sur plusieurs axes, entre autres : la préservation de l'eau, des sols et des forêts, la protection des écosystèmes sensibles (littoral, steppe, Sahara), la dépollution industrielle, la gestion des déchets, la protection des espaces naturels et des espèces animales, etc... [18].

I.20. Statistique des déchets en Algérie :

L'Algérie vit une crise écologique : dégradation du cadre de vie, intensification de pollutions diverses, prolifération des déchets urbains et industriels, gestion inadéquate des déchets,... etc. C'est ainsi qu'en absence d'une stratégie cohérente et efficace, la gestion des déchets ménagers n'était pas maîtrisée et ne répondait nullement aux normes universellement admises et ce malgré l'adoption dès 1984 de toute une panoplie de textes juridiques. Sur le terrain cela s'est traduit par l'apparition des milliers de décharges sauvages et dépotoirs [8].

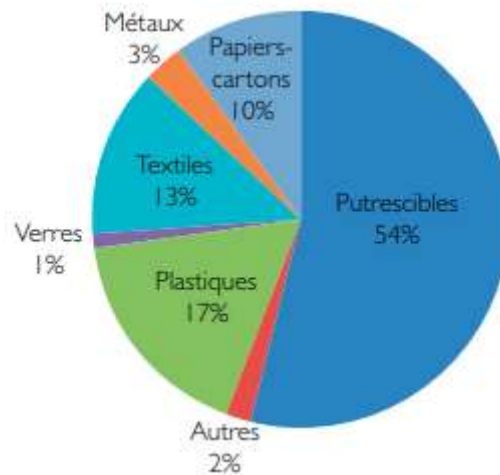


Figure I. 12: Composition moyenne des déchets en Algérie (AND 2016).

I.21. Conclusion :

La valorisation des déchets plastiques est déjà une pratique et même une culture dans les pays développés, notamment dans les pays en voie de développement, car elle permet d'une part de prendre en charge les déchets plastiques, et d'autre part de créer une valeur ajoutée sur les sous-produits en fin de vie, et qui peut être une source économique et de création d'entreprises, et d'autre part une solution d'amélioration des propriétés physico-mécaniques des matériaux.

CHAPITRE II
Plâtre et matériaux
composites

PARTIE I : Matériaux composites :**II.1. Introduction:**

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs). Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées, mais dans certains cas, ils doivent complètement repenser le problème et envisager de " nouveaux matériaux ". En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à un matériau composite, qui fait le sujet de notre étude dans ce chapitre.

II.2. Définition d'un matériau composite:

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux ou plus de natures différentes. Se complétant et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément.

Le principal intérêt de l'utilisation des matériaux composites provient de ses excellentes caractéristiques. Ils disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels.

- légèreté
- grande résistance à la fatigue
- liberté de formes
- maintenance réduite
- faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion (sauf alu carbone)
- insensibles aux produits chimiques sauf les décapants de peinture qui attaquent les résines.
- Une bonne isolation électrique.

Leur faible taux d'utilisation vient de leur coût [19].

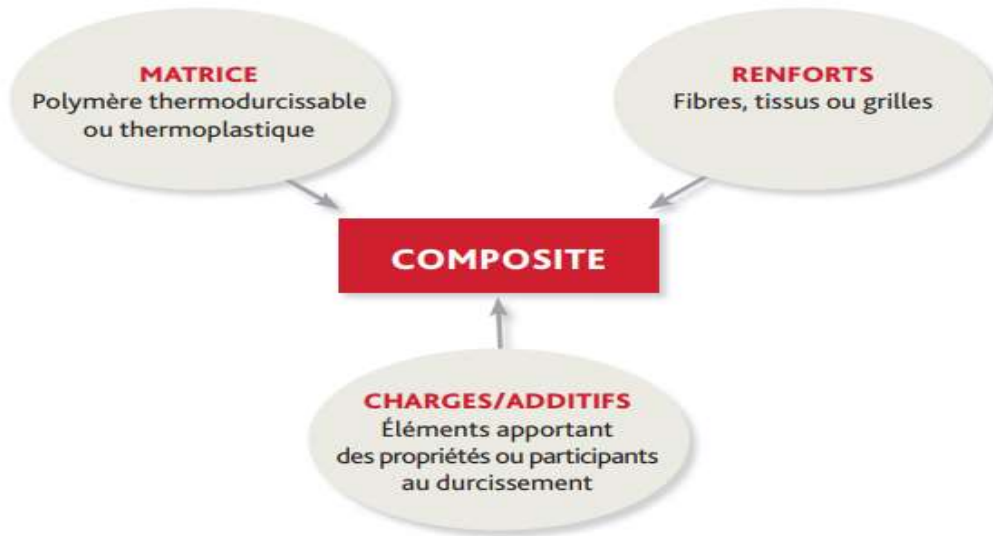


Figure II. 1: Composition d'un matériau composite.

II.3. Constituants des matériaux composites :

II.3.1. La matrice :

La matrice est l'élément qui lie et maintient les fibres. Elle répartie les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des fibres. [19]

La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la figure.

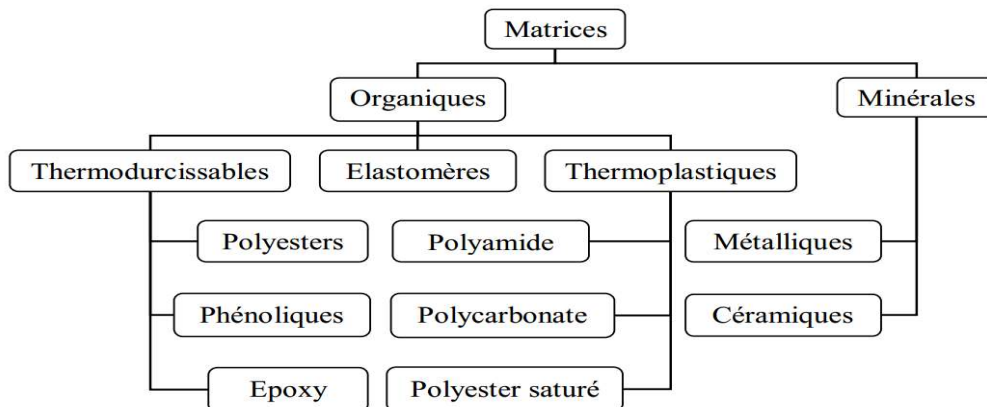


Figure II. 2: Types de matrice.

II.3.2. Les renforts:

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques) [19].

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure .

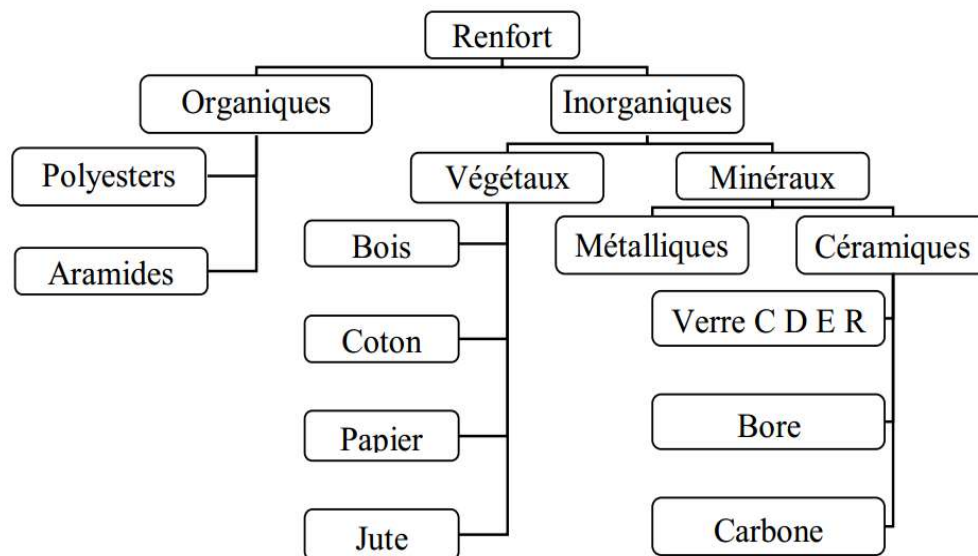


Figure II. 3: Types de renfort.

Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tridirectionnel ou plus). [20]

II.4. Géométrie des renforts:

D'un point de vue géométrique, on peut distinguer trois grands types de renforts :

- Les **fibres longues** (de longueur comparable aux dimensions de la pièce) ;
- Les **fibres courtes** (de longueur faible devant les dimensions de la pièce) ;
- Les **particules**, ou charges renforçantes.

Tous ces renforts sont inclus au sein d'une matrice qui répartit les efforts entre eux et les protège des agressions extérieures, comme indiqué ci-dessus. En outre, lorsque les renforts sont des fibres, celles-ci peuvent être soit orientées dans une direction précise, soit disposées aléatoirement [21].

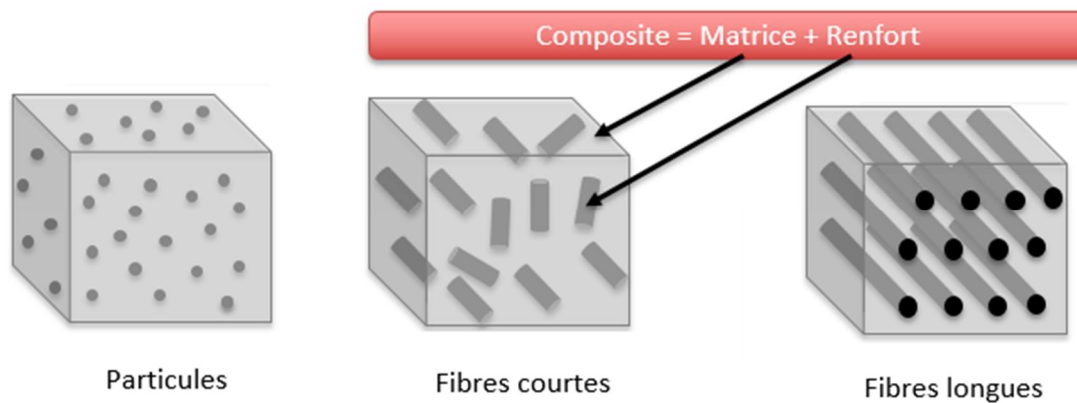


Figure II. 4: Les structures géométriques des composites.

II.5. Classification des matériaux composites :

II.5.1 Classification suivant la forme des constituants:

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes:

Les matériaux composites à particules et les matériaux composites à fibres.

II.5.1.1 Composites à fibres :

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes, etc. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan. Le concepteur possède donc là un type de matériau dont il peut modifier et moduler à volonté les comportements mécanique et physique en jouant sur : — la nature des constituants, — la proportion des constituants, — l'orientation des fibres, suivant le cahier des charges imposées. L'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques. En conséquence, le présent ouvrage sera essentiellement consacré par la suite à l'étude de ce type de matériaux.

II.5.1.2 Composites à particules:

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du

retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques. Le choix de l'association matrice-particules dépend des propriétés souhaitées. Par exemple, des inclusions de plomb dans des alliages de cuivre augmenteront leur facilité d'usinage. Des particules de métaux fragiles tel le tungstène, le chrome et le molybdène, incorporé dans des métaux ductiles, augmenteront leurs propriétés à températures élevées, tout en conservant le caractère ductile à température ambiante. Les cermets sont également des exemples de composites métal-céramique à particules, adaptés à des utilisations à températures élevées. Par exemple, les cermets à base d'oxydes sont utilisés pour les outils de coupe à vitesse élevée, et pour les protections à hautes températures. Également, des particules d'élastomère peuvent être incorporées dans des matrices polymères fragiles, de manière à améliorer leurs propriétés à la rupture et au choc, par diminution de la sensibilité à la fissuration. Ainsi, les composites à particules recouvrent un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse. Toutefois, compte tenu de leurs diversités, ce type de matériaux ne sera pas étudié dans le cadre de cet ouvrage.

II.5.2 Classification suivant la nature des constituants :

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations

II.5.2.1. Composites à matrice organique (résine, charges) :

- Des fibres minérales : verre, carbone, etc.
- Des fibres organiques : kevlar, polyamides, etc.
- Des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

II. 5.2.2. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultra-légers d'aluminium, de magnésium, de titane) :

- des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (sic),
- Des fibres métalliques : bore,
- Des fibres métallo-minérales : fibres de bore revêtues de carbure de silicium (borsic).

II.5.2.3. Composites à matrice minérale (céramique) :

- Des fibres métalliques : bore,
- Des particules métalliques : cermets,
- Des particules minérales : carbures, nitrures, etc...[22].

II.6. Rôles des fibres dans le plâtre :

Lorsque les charges appliquées au plâtre s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le plâtre permettent d'arrêter le développement de la fissuration. Les fibres en plastiques par exemple jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le plâtre de façon uniforme. Les fibres sont ajoutées à la gâchée de plâtre.

II.7. Avantages et inconvénients des composites :

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à :

- Leur légèreté ;
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue ;
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants ;
- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit.

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion :

- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication ;
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

L'industrie des matériaux composites doit donc aujourd'hui relever certains défis tels que :

- La maîtrise des émanations de produits organiques volatiles, par exemple le styrène ;
- La maîtrise des procédés de transformations et des performances des matériaux qui sous-entend une très bonne connaissance des constituants mis en place ;
- La mise en place de technologies et des filières pour la gestion des déchets en fin de vie qui est la partie la plus difficile à satisfaire en raison du caractère thermostable de la plupart des composites.

De plus, dans ce dernier point, le recyclage est actuellement très limité parce que le broyage ou les autres procédés sont très coûteux et fournissent une matière de faible qualité. Ces quelques inconvénients et défis à relever, ont poussé les chercheurs et les pouvoirs publics à investir et orienter les recherches vers les ressources renouvelables et biodégradables [23].

PARTIE II : Plâtre :**II.1. Généralité sur le plâtre :****II.1.1. Définition de plâtre :**

Les plâtres sont surtout connus comme matériaux de confection des modèles de travail.

Le gypse constitue la matière première du plâtre.

Ce di-hydrate de sulfate de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) déshydraté par une cuisson au four, se transforme en plâtre ou héli-hydrate de sulfate de calcium. La structure et les caractéristiques physiques de l'héli-hydrate obtenu (α ou β) vont dépendre des conditions de cuisson : température, pression, environnement etc... [24].

II.1.2. Historique :

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

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

Plus récemment, la généralisation de l'emploi du plâtre est liée à un édit de Louis XIV.

Promulgué en 1667, Cet édit faisait suite à l'incendie de Londres l'année précédente, le plâtre étant déjà connu pour sa résistance au feu, imposant l'utilisation d'un enduit de plâtre dans les maisons à ossature de bois.

Actuellement, le plâtre est utilisé soit directement en enduit, ou bien en éléments préfabriqués, carreaux ou plaques (couche de plâtre entre deux cartons). C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation intérieure, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu.

La conductivité thermique d'un enduit de plâtre est de l'ordre de $0.26 \text{ W.m}^{-1} .\text{c}^{-1}$, contre 1,15 pour un enduit de ciment ou 50 pour de l'acier.

Ces propriétés s'expliquent par la très grande porosité du matériau (l'air est un excellent isolant) et par présence d'eau de structure (environ 20 %).

Le plâtre dégage de l'eau en présence de chaleur, stabilisant ainsi la température murale à des valeurs inférieures à 200 °C. Une couche de plâtre de 1 et de 10 mm d'épaisseur représente une réserve d'eau de 1,4 litre, qui va se dégager et limiter la progression de feu, sans aucun dégagement de gaz toxique ou de fumées [25].

II.2. Fabrication du plâtre :

La fabrication de plâtre est une étape très importante dans notre étude pour obtenir les deux types α et β , pour cela on va présenter tous les étapes nécessaires en commençant de l'extraction de la matière première jusqu'à l'obtention de produits fini.

II.2.1. L'extraction de gypse (matière première) :

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

II.2.2. Le concassage - calibrage :

Le concassage a pour but de réduire le gypse extrait de la carrière en produits plus fin. Généralement, après un concassage, il ne subsiste plus de blocs dont la dimension est supérieure à 100 mm Ce gypse devient donc transportable sur des bandes par exemple, et peut être envoyé en usine pour le traitement ultérieur.

De très nombreux types de concasseurs existent sur le marché et peuvent traiter jusqu'à (1 200 à 1 300 t/h).

II.2.3. La cuisson :

Elle permet d'obtenir, par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre.

La déshydratation du gypse est la base de la fabrication des plâtres. Il est connu que suivant les conditions dans lesquelles s'opèrent cette déshydratation, les caractéristiques des plâtres obtenus seront différentes.

La déshydratation des gypses est donc en fonction de la température, de la durée de cuisson, de la nature du gypse, de la granulométrie mais également d'autres paramètres comme la pression de vapeur d'eau.

On procède à la cuisson suivant deux principes essentiels :

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

II.2.3.1. La cuisson du plâtre Alpha :

On dépose les pierres de gypse, précédemment triées, dans des paniers que l'on descend ensuite 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 Beta) pour un matériau offrant alors des résistances mécaniques beaucoup plus élevées.

II.2.3.2. La cuisson du plâtre Bêta :

Après un premier broyage, la poudre fine calibrée est cuite à raison de 5 t par heure, dans des fours de type "four Beau" qui opèrent une cuisson indirecte du gypse placée dans une virole en rotation au-dessus de brûleurs à fioul.

II.2.4. Le broyage:

Après la cuisson, les pierres sont broyées selon 2 principes :

II.2.4.1. Le broyage standard :

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

II.2.4.2. Le broyage/sélectage :

Comme dans le broyage standard, le plâtre est broyé par des marteaux en rotation puis aspire à travers une "cage d'écureuil" en rotation. Selon son poids (donc sa taille), le grain de plâtre, soumis à 2 forces opposées (centrifuge et aspiration), traverse ou non la cage d'écureuil.

II.2.5. L'homogénéisation et l'adjuvantation :

Au niveau de COLPA, on dénombre 5 mélangeurs. Aux mélanges de plâtres Beta (dans des proportions très variables selon l'usage que l'on souhaite faire du produit final),

On ajoute des adjuvants. Ces derniers donneront au matériau une cinétique particulière, une expansion spécifique, une fluidité contrôlée et autres caractéristiques précises. Tout au long du processus, le plâtre fait l'objet de nombreux prélèvements et contrôles. Cela permet de corriger le produit et de l'améliorer jusqu'à ce qu'il colle parfaitement au cahier des charges du client.

II.2.6. Le contrôle et la validation des produits :

En amont (à l'extraction), l'humidité et la pureté du gypse font l'objet de contrôles périodiques. Ensuite, des échantillons sont prélevés tout au long du processus de fabrication et contrôlés par le laboratoire qualité de l'usine qui se consacre totalement à ce travail. Ces contrôles permettent la validation définitive des produits finis ainsi que le pilotage des paramètres de conduite des procédés de cuisson, de broyage et de mélange. Ils sont garants de la qualité des plâtres mis en vente.

II.2.7. Le conditionnement et la logistique :

L'usine dispose de plusieurs silos repartis sur différents postes de chargement en vrac qui permettent une logistique en flux tendu. Les expéditions en vrac représentent plus de 50 % de la production, le reste se faisant en Big Bags^R et en sacs [26].

II.3. Gypse :

II.3.1 Cristallographie du gypse (le système CaSO₄-H₂O) :

Le plâtre pris est constitué des cristaux de gypse totalement cristallisé. Le gypse se trouve dans la nature sous forme d'une roche sédimentaire compacte, avec une porosité totale de l'ordre 10 à 15 %.

La formule chimique de plâtre pris est la même que celle du minerai de base, aux impuretés près : CaSO₄, 2H₂O. La microstructure est par contre est très différente, au niveau de la morphologie des cristaux est du taux de porosité, variant de 30 à 60%.

Le cristal de gypse est de la symétrie monoclinique, dont la maille a été décrite précisément [DeJong 38] [Cole 74], cité par [26]. Le groupe d'espace le plus couramment utilisé est **I2/a** avec les paramètres de maille suivants :

$$a=0.57\text{nm}; b=1.52\text{nm}; c=0.65\text{nm}; B=118^{\circ}36'$$

Le cristal 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'oxygènes aux sommets) séparées par des doubles couches d'eau. Cet empilement est perpendiculaire à l'axe \mathbf{b}^* . La projection de la structure dans la direction (001) rend bien compte de cette succession de couches (figure II.5).

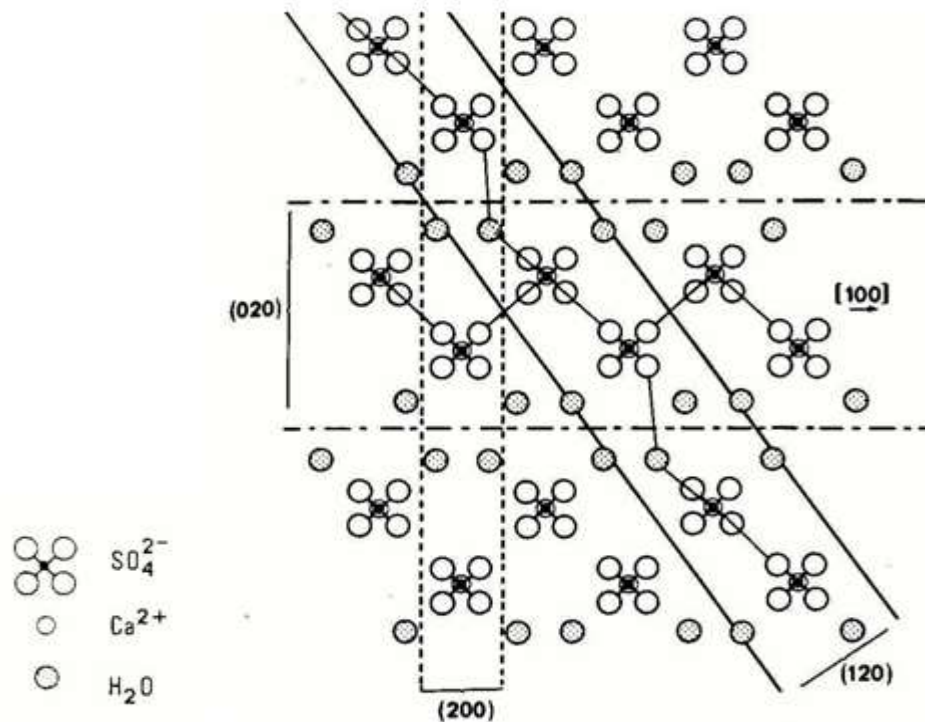


Figure II. 5: projection de la structure cristalline du gypse selon la direction (001) [Amat 86], cité par [26].

Les liaisons chimiques dans la structure sont les suivantes :

*liaisons ioniques dans les feuillets $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ due aux différences de charges électriques, ce sont des liaisons fortes.

*liaisons hydrogènes entre les molécules d'eau et les atomes d'oxygène des ions sulfate, L'atome d'oxygène de la molécule d'eau étant relié a un ion calcium. Les liaisons développées sont moins fortes qu'entre les ions calcium et sulfate.

La morphologie et le faciès des cristaux dépend de paramètres intrinsèques (liaisons entre atomes) et de paramètres externes relatifs au milieu de croissance (PH sursaturation). Les faces les plus rencontrées dans le faciès sont celles dont la croissance est la plus lente. La théorie des PBC (Periodic Bond Chain) permet de déterminer les formes croissances les plus probables à partir de la connaissance de la structure du cristal. Le principe de cette théorie est

de repérer les chaînes ininterrompues de liaisons forte dans une direction cristallographique donnée. Cette étude a été menée dans le cas de gypse par Simon et Bienfait [Simo65]. Ils ont ainsi montré que les faces (010),(120),(011) et (-111) possèdent deux chaînes de liaisons forte. Elles vont croître le plus lentement et auront une extension maximale dans le facies final. La morphologie la plus courante des cristaux de gypse est une aiguille élancée, dans la plus grande dimension est orientée selon l'axe $c \rightarrow$ (figure 1.2).

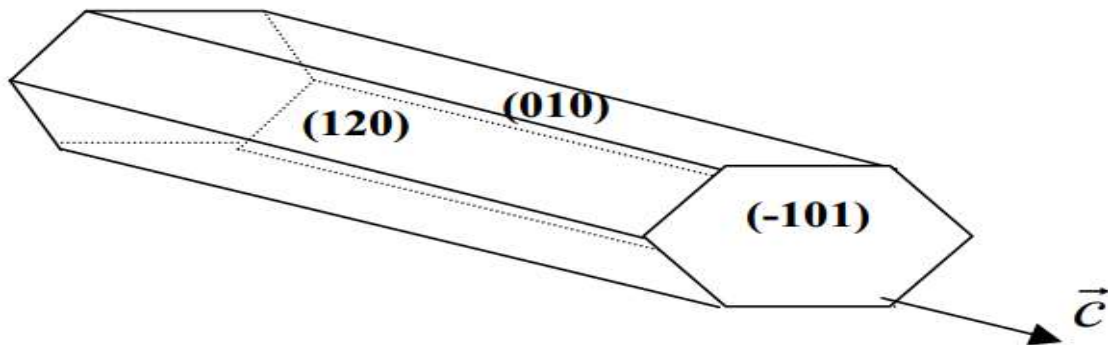


Figure II. 6: Morphologie classique d'un cristal de gypse, avec les faces apparentes.

Les faces de type (010) possèdent en surface des molécules d'eau, celles de types (120) majoritairement des ions sulfates et celles de type (-101) des ions calcium, sulfates et des molécules d'eau. A partir des liaisons s'exerçant entre les différents ions de la structure cristallographique des faces, Heijnen et Hartmann ont calculé les énergies de cohésion des faces du cristal de gypse (tableau 1.1). Ces énergies de cohésion représentent le travail à fournir pour séparer à l'infini deux plans du cristal.

Tableau II. 1: Energies de cohésion des faces du cristal de gypse [Heij 91], cité par [26] .

Face	Energies de cohésion (kJ/mol-1)
(110)	76
(120)	292
(-111)	472

Le plan (010) est un plan de clivage facile. Les liaisons hydrogène développées par des molécules d'eau en surface étant moins fortes que les liaisons ioniques. Oglesby a déterminé une énergie de clivage selon la face (010) du cristal de gypse de $0,36 \text{ J.m}^{-2}$ [Ogle 76], cité par [26]. Des mesures de contraintes de clivage en cisaillement sur un monocristal de gypse [Will 88] confirment la moins forte cohésion selon le plan (010) : des valeurs de 0,2 à 0,5 MPa pour

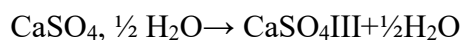
le plan (010) sont enregistrées selon la direction d'application de la charge. Dans les autres plans étudiés (100) et (011), les contraintes sont supérieures de plus d'un ordre de grandeur (de 10 à 14 MPa) [26].

II.3.2. Les anhydrites :

L'anhydrite naturelle de formule chimique CaSO_4 se rencontre dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gites métallifères. On considère qu'elle s'est formée, comme le gypse, par évaporation de l'eau de mer, mais elle peut également résulter d'une déshydratation lente du gypse sous l'effet d'une pression importante lors de plissements géologiques [27].

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

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



L'anhydrite III de structure hexagonale se transforme en anhydrite II de structure orthorhombique vers 220 °C pour le semi hydrate α et vers 350 °C pour le semi hydrate β .

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

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



II.4. Types et domaine d'utilisation du plâtre:**II.4.1. Plâtre de construction :**

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

Le plâtre a également des usages dans d'autres secteurs d'activité : brasserie, fabrication de moules pour vaisselle et sanitaires. Le plâtre s'obtient par déshydratation du gypse – roche naturelle ou sous-produits de certaines industries – qui est un sulfate de calcium hydraté de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [28].

II.4.2. Plâtre d'isolation :

Le plâtre est un bon isolant thermique. Poreux il absorbe et restitue très rapidement l'humidité de l'air mais se dégrade dans les endroits humides. Il oxyde les métaux ferreux ce qui oblige de galvaniser (recouvrir d'une couche de zinc) les armateurs d'acier qui sont en contact avec lui. C'est un bon matériau de protection contre le feu du fait qu'il est capable d'absorber une grande quantité d'énergie calorifique pour opérer des transformations chimiques internes accompagnées de dégagement de vapeur d'eau [29].

II.4.3. Autres types du plâtre :**II.4.3.1. Le plâtre de Paris :**

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

II.4.3.2. Le plâtre à projeter :

C'est un plâtre résistant (mélange de sable, plâtre et ciment), très dur qui est utilisé pour des zones exposées, notamment des pièces humides.

II.4.3.3. Le plâtre de surfacage :

Très fin, c'est un matériau de finition à appliquer en couches très minces sur un enduit de plâtre. Idéal pour les petites fissures.

II.4.3.4. Le plâtre à modeler :

Plâtre utilisé dans le cadre de travaux de décoration, de précision comme les moulures. Il se manipule en petites quantités et reste idéal pour reboucher les fissures et craquelures.

II.4.3.5. Divers :

Il existe un type de plâtre, appelé plâtre surcuit, qui présente des propriétés particulières, dont une résistance très élevée (30 MPa=300 kg/cm² à l'état sec) et un poids volumique plus élevé (1600 à 1750kg/m³) que les plâtres habituels.

II.5. Caractéristiques physiques :**II.5.1. Masse volumique et Densité :**

Mehaffey et al (1994) ont utilisé l'analyse thermo-gravimétrique (TGA) 20°C / min pour déterminer les changements de masse des échantillons de gypse avec température. Le résultat est montré à la figure. Comme on peut le constater, entre 100 et 160 ° C, environ 17,5% de la masse initiale est perdue, ce qui indique la première réaction de déshydratation et la dégagement d'eau de cristallisation (0,75x21% = 15,75) ainsi que l'évaporation de l'eau libre (moins de 3%). Ils ont également remarqué une perte massive à 650 ° C ce qui correspond à la décomposition des carbonates dans le gypse d'après Ghazi Wakili et Hugi (2009). Bénichou et Sultan (2001) rapportent des résultats similaires en utilisant les mêmes méthodes de mesure. Mehaffey et al (1994) indiquent la masse volumique initiale du gypse comme 648kg/ m³.

Cependant, la densité du noyau de gypse de différents gypses conseils à condition ambiante varie de type en type et de différents fabricants. Une étude de Thomas et al (Thomas et al., 2005) nous avons un grand nombre des échantillons de gypse, les conseils varient considérablement à l'intérieur et entre les fabricants. La valeur moyenne de la masse volumique étudiées vont de 687 kg / m³ à 811 kg / m³ [30].

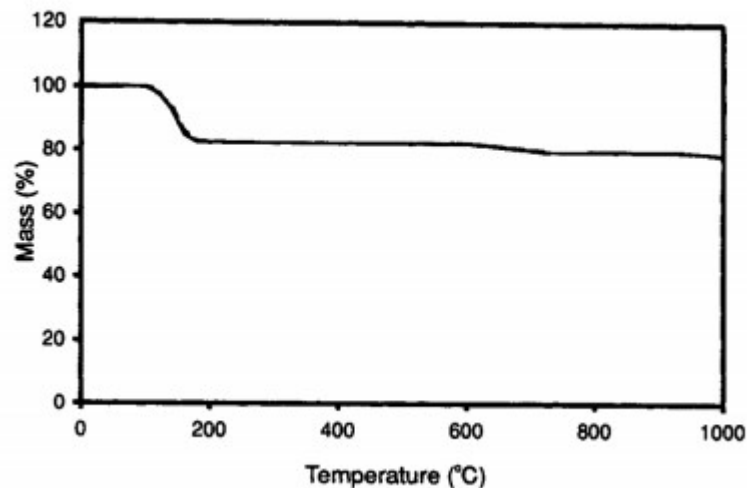


Figure II. 7: Perte de masse dans le gypse avec l'augmentation de températures
(Mehaffey et al., 1994) [30].

II.5.2. Résistance au feu :

Quand le plâtre est exposé au feu, l'eau est libérée lentement sous forme de vapeur, retardant efficacement la chaleur transmission (**Figure II.8**). En un sens, il peut être comparé à ce qui se passe quand un chalumeau est allumé sur un bloc de glace. Bien que la glace soit en train de fondre, on peut tenir la main du côté opposé sans être brûlé. Même si la glace devient très mince, il bloque efficacement le transfert de la chaleur intense et la main ne serait pas être brûlé jusqu'à ce que la glace soit fondue. Lorsque structure en bois ou en acier protégée du gypse les membres sont exposés à un feu, le produit chimique l'eau combinée (étant libérée sous forme de vapeur) agit comme barrière thermique jusqu'à ce que ce processus lent, appelé la calcination est terminée. La température directement derrière le plan de calcination est à peine plus élevée que de l'eau bouillante (100°C), ce qui est nettement inférieure à la température à laquelle l'acier commence à perdre la force ou le bois s'enflamme. Une fois la calcination terminée, le gypse calciné en place continue à agir en tant que barrière protégeant les membres structurels sous-jacents de l'exposition directe aux flammes [31].

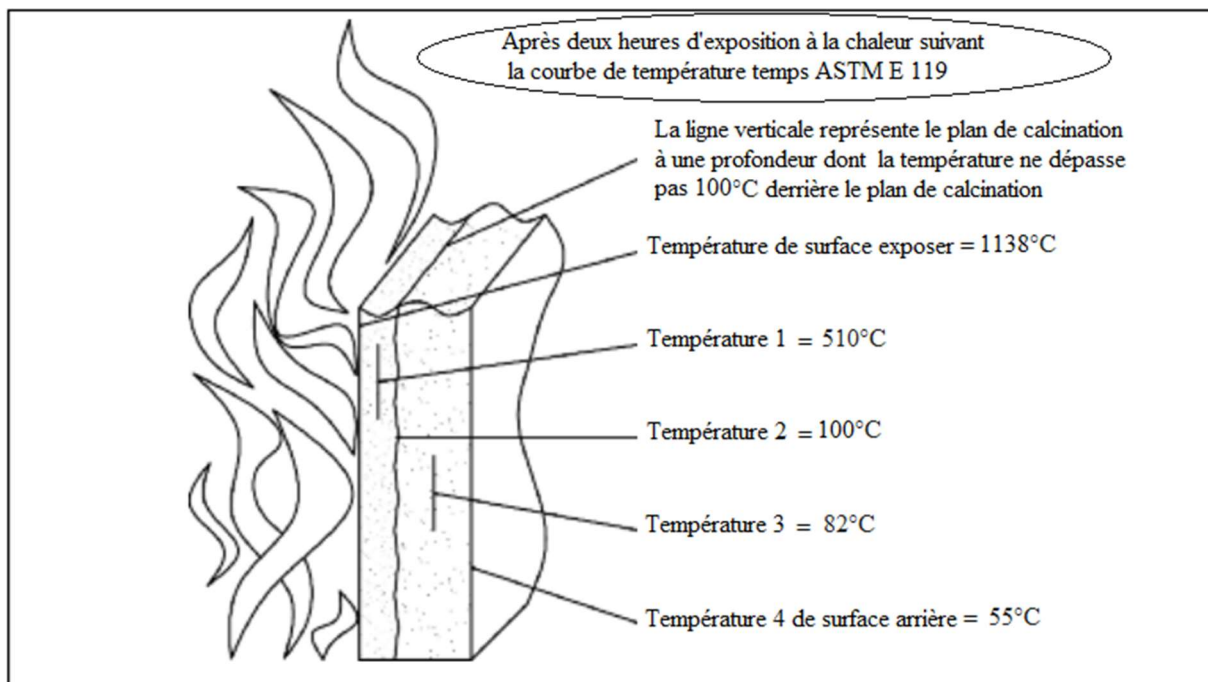


Figure II. 8: Comment le gypse retarde la transmission de chaleur [31].

II.5.3. Conductivité thermique :

Mesurer la conductivité thermique du plâtre entraîne des complications dues aux effets de l'humidité et du rayonnement dans les pores. Le plâtre de différente microstructure varie selon les sources ou les fabricants, et les méthodes employées pour mesurer sa conductivité thermique diffèrent également. En conséquence, les valeurs rapportées par différentes études varient considérablement, en particulier à des températures supérieures à 500 ° C; Néanmoins, ils suivent une tendance similaire. La figure montre la conductivité thermique du gypse par rapport à température donnée par quelques études. Les symboles représentent les valeurs mesurées et les lignes représentent les courbes modifiées utilisées dans les modèles de transfert de chaleur pour fournir une bonne calibration entre résultats numériques et expérimentaux [30].

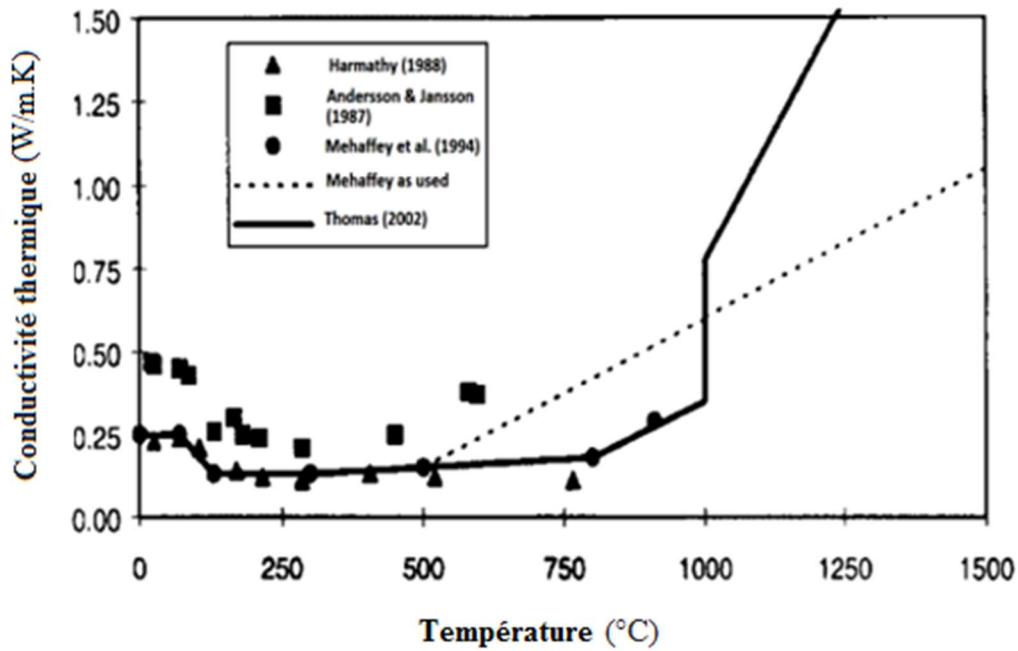


Figure II. 9: Conductivité thermique du gypse en fonction de la température (Thomas, 2002) [30].

II.6. Conclusion :

Le matériaux plâtre est largement utiliser dans les travaux de finition des structures, vu ses caractéristiques physiques attractives, isolation, légèreté, résistance au feu et facilité de mise en œuvre ainsi que son faible coût, néanmoins le plâtre est connu pour sa fragilité en traction, ce qu'a mener plusieurs études axées sur les possibilités de son renforcement afin d'améliorer ses propriétés notamment en flexion et traction, ce qui rend de plus en plus large son utilisation dans le cas des finitions langues, ainsi qu'une amélioration de l'aspect sécuritaire dans le cas d'une rupture.

CHAPITRE III

Plâtre renforcé avec déchets

III.1 .Introduction :

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité du paillé hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau). Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille haché, quant à lui, donne un certain grade de flexible [35].

La réalisation d'un matériau composite consiste à associer dans une même masse des matériaux différents par leur nature chimique et leur forme afin de tenter une sommation des performances (Daviaux et Filliatre 1985). Plusieurs travaux ont été réalisés sur le plâtre renforcé avec des déchets et dans ce chapitre on va entamer quelques exemples, et aussi on parlera sur les déchets utilisés dans notre travail.

Bien que d'un point de vue général, presque tous les matériaux peuvent être considérés comme des matériaux composites ; l'emploi du terme « composite » en génie civil désigne généralement un polymère technique renforcé par des fibres de différentes nature. Les fibres de renfort assurent les propriétés en traction du composite. Elles sont incluses dans une matrice polymère dont le rôle est d'assurer le transfert des efforts entre les fibres ainsi que la protection du renfort.

Le gypse est un matériau élastique présentant une rupture fragile sous une contrainte trop élevée. En incorporant dans celui-ci des fibres végétales, on observe en général une modification de ce comportement (voir Figure 18), avec l'apparition d'une fissure, puis une propagation contrôlée de celle-ci (tests de flexion trois et quatre points, Hernandez-Olivares et al [36]).

III.2. Exemples sur le renforcement du plâtre avec les déchets :

III.2.1. Plâtre renforcé de fibres végétales tropicales (*Rhectophyllum Camerunense*) :

L'objectif de ce travail est d'évaluer les caractéristiques mécaniques, thermiques et hygrométriques d'un matériau constitué de plâtre pris, à grande porosité, renforcé d'une nouvelle fibre végétale : le *Rhectophyllum Camerunense* (RC), une fibre des forêts humides équatoriales. La fibre de sisal, d'utilisation connue pour le renforcement du plâtre, sert de référence à des fins de comparaison. Une série d'expérimentations est menée à cet effet. Une caractérisation physico-chimique des constituants est effectuée, des essais mécaniques de traction et de flexion sont effectués sur les constituants et les matériaux composites plâtre/fibres résultants, la cinétique d'adsorption d'humidité par les constituants et le matériau fibreux est suivie. Le comportement thermique des matériaux plâtre et plâtre/fibres est aussi mesuré.

Sur le plan du comportement mécanique, les résultats obtenus révèlent que le plâtre se montre fragile et présente un module d'élasticité en traction de 1,72 GPa, une résistance à la traction de 0,86 MPa et un allongement à la rupture de 1,16 %. En flexion trois points, son module d'élasticité est de 0,64 GPa et sa contrainte à la rupture, de 0,13 MPa. La fibre de sisal est raide et fragile. Son module d'élasticité est compris entre 9 et 21 GPa, elle admet un allongement à rupture de 3 à 7%. Par contre, la fibre de RC est assez ductile avec un module d'Young moyen de 0,7 GPa et un allongement à rupture de 24,2%. L'adhésion du plâtre sur les fibres est faible : il adhère plus sur le sisal que sur le RC. Le sisal renforce mieux le plâtre par une augmentation plus sensible du module d'élasticité de 42,5%, contre 16,3% pour le RC, ce dernier lui apportant plutôt une grande ductilité élastique. Les fibres de RC apportent le maximum de renforcement en traction au plâtre lorsqu'elles sont tissées en unidirectionnel et en flexion lorsqu'elles sont uniformément réparties dans le volume suivant la direction longitudinale de la structure [32].



Figure III. 1: Le *Recktophyllum camerunense* a- plante. b- racines à l'origine des fibres. c- Fibres lavées.

III.2.2. Plâtre renforcé avec bois fragmenté :

L'amélioration de la résistance à la fissuration du gypse est donc un problème essentiel auquel la science des matériaux composites est venue tout naturellement apporter une réponse, puisqu'il s'agit de sa principale préoccupation. L'idée directrice est d'introduire un matériau sous forme de fibres dans un liant, appelé matrice. Il est alors possible d'obtenir des matériaux extrêmement résistants à partir d'une fibre et d'une matrice elles-mêmes élastiques fragiles.

Il est donc intéressant d'étudier d'autres fibres susceptibles de jouer le rôle de renfort. Les fibres naturelles, comme celle du bois, qui proviennent d'une source renouvelable, sont une voie de recherche intéressante.

Nous avons mis en évidence un intérêt supplémentaire de l'incorporation de bois dans le plâtre, l'allègement du matériau obtenu par rapport au gypse pur. Cela fait du bois fragmenté l'un des seuls renforts mécaniques potentiels du gypse à pouvoir l'alléger. Ajoutons que l'utilisation de bois rétifé, dont la densité diminue lorsque la température de traitement augmente, permet les plus fortes diminutions de densité du composite.

Les essais de flexion trois points sur échantillons de produits finis ont révélé la possibilité d'obtenir des augmentations de contraintes ultimes, même pour la morphologie broyat, et même pour du bois rétifé. Ceci semble provenir de la réorientation forcée des fragments de bois par effet de parois lors du moulage de la plaque, dans une géométrie d'épaisseur égale à une douzaine de millimètres.

Ces résultats montrent donc tout l'apport du renfort bois à la matrice gypse dans le contexte du produit fini envisagé, à des fins de faciliter le vissage dans le matériau. [33]



Figure III. 2: Bois fragmenté.

III.2.3. Plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier :

L'objectif principal de cette étude c'est la valorisation des matériaux locaux (plâtre, sable de dunes et les fibres de palmier dattier) pour la région de sud algérien, élargir le domaine de l'utilisation des ces matériaux dans la construction. Nous notons que malgré l'existence énorme de gypse, mais son utilisation est limité à certains travaux secondaires tels que les enduits et les éléments de décors. Le sable dunes et les fibres de palmier, son utilisation dans le domaine de construction sont très rares.

Au cours de cette études, il a été ajouté le sable de dunes et les fibres de palmier au plâtre, afin de trouver un mortier ayant des propriétés physique et mécaniques qui permettent son utilisation dans la construction.

Tout d'abord, nous avons ajouté le sable au plâtre, nous avons conclu les résultats suivants :

- Il y a une diminution de la résistance a la flexion et compression.
- Il y a une augmentation de la densité.

Deuxièmement, nous avons ajouté les fibres au mortier de plâtre, les résultats conclus sont les suivants :

- Il y a une augmentation de la résistance a la compression et a la flexion.
- Il ya une diminution de la densité.

Les essais de durabilité sur le mortier de plâtre renforcé par les fibres da palmier dattier donnent les résultats suivants :

- Augmentation de la résistance a la compression et a la flexion, et les fibres gardent leurs propriétés initiales.
- L'essai de gel-dégel a un effet défavorable sur les caractéristiques mécaniques de mortier de plâtre fibré.
- Le traitement thermique de mortier de plâtre fibré donne des bons résultats, et nous permettons d'accélére le processus de production c'est-à-dire un gain dans l'argent.

A partir de résultats obtenus, on peut utiliser le mortier de plâtre renforcé par des fibres da palmier dattier dans le domaine de construction sous plusieurs formes tel que les plaques des murs préfabriqué, quelque soit pour les murs porteurs ou les plaques de couverture des façades. [34]



Figure III. 3: Palmier dattier.

III.3. Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre :

Notre travail est bien détaillé dans la partie expérimental, mais avant de passer à ça on aime faire une description sur le déchet utilisé et donner ces caractéristiques suivant sa fiche technique du bulbeau système.

III.3.1. Déchets des feuillets en plastiques :

On trouve une quantité très importante de ce déchet que se soit dans les lieux de construction, les dépôts de vente des matériaux de construction et même dans les décharges, ce déchet qu'on a pu récupérer et le valoriser dans le plâtre a ces propres caractéristiques qu'on présentera comme suite :

III.3.1.1. Caractéristique des feuillets en plastiques :

Le mot feuillet a différentes significations selon le domaine dans lequel il est utilisé, et pour le feuillet en plastique il existe deux types différents :

III.3.1.2. Le feuillet polyester PET :

Fabriqué à partir de granules en polyester extrudées en filière plate, il possède une meilleure résistance que le feuillet en polypropylène et peut, pour certaines applications, remplacer les feuillets en acier. Le feuillet PET est 4 fois moins cher que le feuillet métallique.

Résistance identique, les propriétés techniques d'un feillard PET sont quasi équivalentes au feillard acier.

III.3.1.3. Caractéristique techniques :

- Excellente conservation de la tension, même sur des charges légèrement rétractables.
- Souple, il offre des possibilités de tension très importantes et une parfaite répartition de la tension sur les angles de la charge.
- Très résistant aux chocs, à l'humidité et aux UV.
- Recyclable à 100 %.
- Stockage longue durée en extérieur.
- Polyester grainé (PET).
- Pour les charges lourdes, compactes ou rigides.

III.3.1.4. Applications:

- Palettes stockées en extérieur.
- Pour les charges lourdes, compactes ou rigides.
- Palettes avec des fortes contraintes.
- Pour les expéditions avec des gros dimensionnels (machines, pièces grands formats,...).
- Les activités les plus utilisatrices : industrie du bois, métallurgie, matériaux de constructions, cerclage des palettes...

III.4. Conclusion :

Les différents déchets ont fait l'objet d'étude dans plusieurs travaux de recherche, qui s'avèrent comme un recours de renforcement du matériau plâtre afin de remédier à sa fragilité, l'utilisation des déchets plastiques dans le renfort des béton est largement traité dans plusieurs projet de recherches et travaux de thèse, d'où l'intérêt de d'utiliser les déchets plastique comme renfort dans le plâtre.

CHAPITRE IV
PARTIE EXPÉRIMENTALE

IV. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentaux :

Tout d'abord en commence par définir les différentes matières premières utilisées pour la préparation des composites étudiés:

- Plâtre.
- Déchets plastique sous forme des fibres, type polyester PET haut résistant [feuillard en plastique].

Le laboratoire pédagogique de génie civil de l'université de BOUIRA a été notre domicile pour faire la caractérisation de ces matériaux.

PARTIE I :

IV.1. Caractérisation des matériaux utilisés :

* Plâtre :

Le plâtre KNAUF [FLEURUS] est connu par sa facilité d'application, aussi par son degré exceptionnel de finition qui s'applique manuellement sur tous les supports.

* Propriétés :

- Application légère et facile, à la main ou à la machine.
- Séchage rapide et durcissement uniforme.
- Rendement optimal.
- Matériau ouvert à la diffusion de la vapeur.
- Assure l'étanchéité à l'air.



Figure IV. 1: Plâtre KNAUF FLEURUS.

IV.2. Caractérisations physiques:

IV.2.1. La masse volumique du plâtre:

La masse volumique apparente varie entre 600 et 1300 kg/m³ et la surface spécifique de 1500 à 8000 kg/m³.

Et pour le plâtre utiliser dans notre travail on a trouver sa masse volumique comme suite :

-Volume total de récipient = 665 cm³.

-Masse du plâtre au remplissage du récipient = 602 g.

$$\rho = \frac{M}{V} = 0.9 \text{ g/cm}^3 .$$

IV.2.2. La prise:

comme on a déjà expliquer sur les réactions qui se passent dès l'instant ou l'eau est ajoutée au poudre du plâtre lors du mélange il se forme une pâte molle, a un certain moment sa viscosité augmente rapidement.

La durée de la prise dépend de la nature du plâtre, de la température ambiante, de la quantité d'eau de gâchage, des adjuvants, etc.

Le temps de prise se mesure sur une pâte de consistance normalisée à l'aide de l'aiguille de Vicat (NF EN 196-3).

la durée de prise est généralement caractérisée par :

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

* **Fin de prise** : C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant du gâchage et celui où l'aiguille ne pénètre plus dans la pâte.

L'essai de prise à l'aide de l'appareil de Vicat est présenté dans la figure suivante:



Figure IV. 2: Essai de prise avec l'appareil de Vicat.

Tableau IV. 1: Temps de prise du plâtre.

Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)	Temps de prise (mn)
3mn 20sec	10mn 51sec	7mn 31sec

IV.2.3. Eau de gâchage:

L'eau de gâchage est en fonction du rapport (E/P), et pour la formulation de nos mélanges on a utilisée l'eau du robinet du laboratoire GC.

Déchet plastique (feuillard en polyester):

Dans le but de valoriser les déchets plastique vient l'idée d'utiliser les feuillards en polyester et les introduire dans notre matériau afin d'améliorer sa résistance a la flexion. Et la Figure ci-dessus présente un échantillon des déchets plastique utilisés (fibres longues et fibres courtes).



Figure IV. 3: Déchets utilisés Feuillard en polyester.

IV.3. Caractérisation Mécanique:

VI.3.1. Résistances mécaniques:

Dans la partie pratique, et afin de déterminer les caractéristiques mécaniques, nous avons réaliser certains essais de flexion et compression sur des échantillons du composite étudié, cela dans des éprouvettes de forme $(4 \times 4 \times 16 \text{cm}^3)$ et $(4 \times 4 \times 16 \text{cm}^3)$ avec un rapport constant ($E/P=0.6$) et a l'aide d'une presse hydraulique.

- **Mesure expérimentale**
- **Essais mécaniques**

Les essais sont réalisés selon la norme EN 196-1, utilisant des appareils d'essais mécaniques .

Deux types d'essais sont réalisés au niveau de laboratoire :

- Essai de flexion a trois points.
- Essai de compression.



Figure IV. 4: Les éprouvettes réalisées ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) et ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$).

➤ **Essai de résistance à la flexion :**

On utilisant un appareil d'essai mécanique de marque [Zwick/Z010] et avec une vitesse de mise en charge est de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, nous avons effectué les essais de flexion 3 points sur des prismes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$.



Figure IV. 5: Appareil d'essai flexion [Zwick/Z010].

➤ **Disposition pour l'essai de résistance à la flexion :**

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif présenté sur la figure suivante:

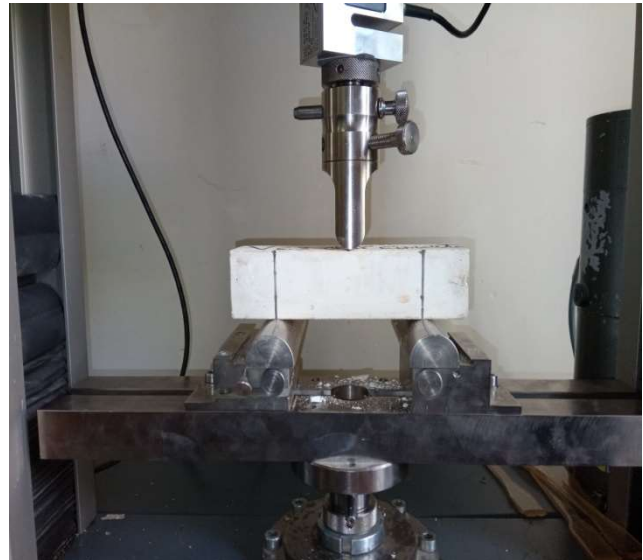
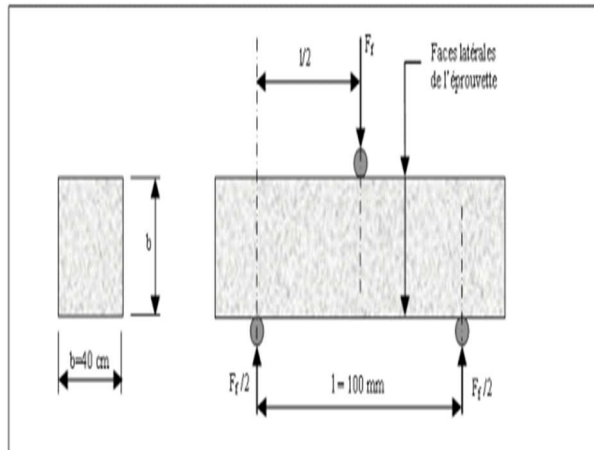


Figure IV. 6: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

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

$$R_f = 1,5 \cdot F_r \cdot L / b^3$$

L : Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ (**L = 100 mm**).

R_f : Résistance à la flexion en **MPa**.

F_r : Charge à la rupture en **N**.

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

➤ **Essai de résistance à la compression :**

Après la rupture en flexion des éprouvettes ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$), et à l'aide d'appareil d'essai compression marque [RP 3000 XP], on mets les morceaux restants d'éprouvettes sous une compression uni axiale .L'essai consiste à comprimer jusqu'à l'écrasement de l'échantillon.



Figure IV. 7: Appareil d'essai compression.

➤ **Disposition pour l'essai de résistance à la compression:**

L'essai de compression est présenté dans la figure suivante:

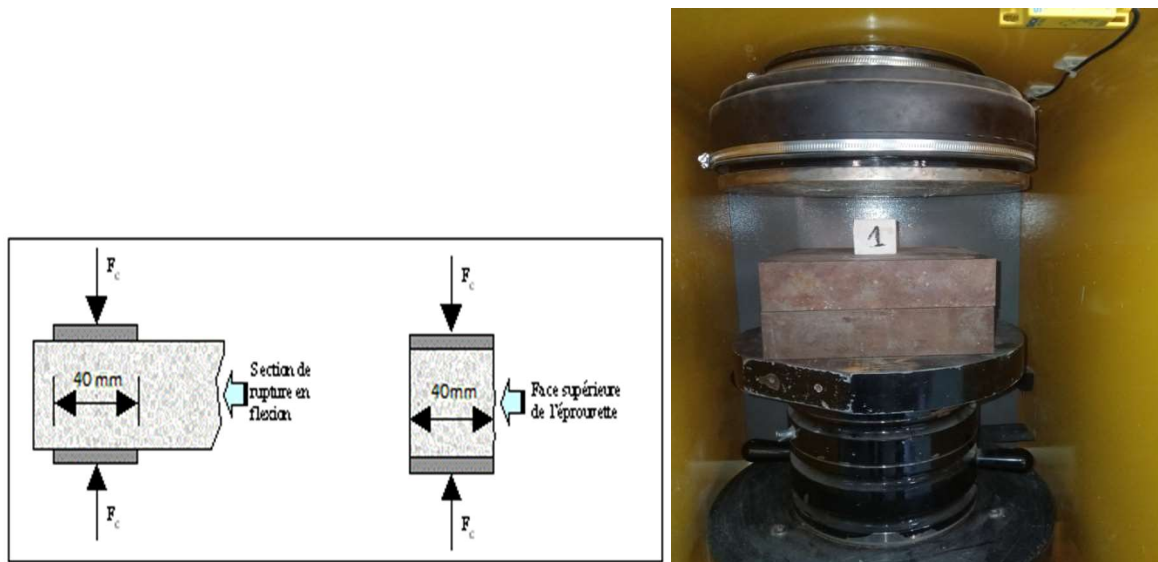


Figure IV. 8: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

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

$$R_c = F_c / b^2.$$

Avec:

R_c : Résistance à la compression en **MPa**.

F_c : Charge à la rupture en **N**.

➤ **Les forces de rupture :**

Les forces de rupture sont affichées sur l'écran de l'ordinateur de Laboratoire de Génie Civil comme il est présenté dans la figure suivante :

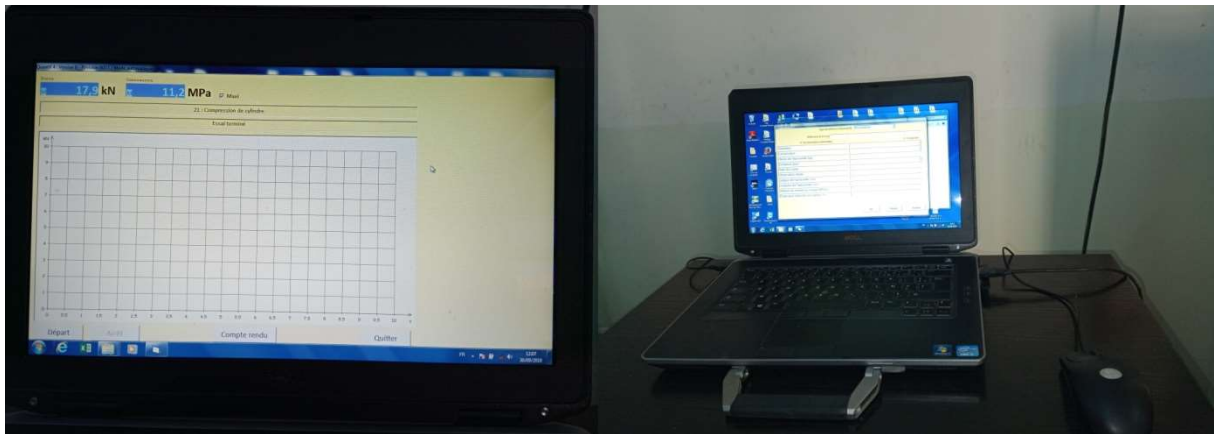


Figure IV. 9: Ordinateur de laboratoire GC.

❖ **Mode opératoire:**

➤ **Formulation de composite:**

Pour la formulation des compositions à base de plâtre, on a pas vraiment une méthode à suivre mais la recherche que nous avons fait; nous a conduit à suivre quelques recommandations pour la construction en plâtre.

* On a déterminé la consistance normale par le rapport $E/P = 0.60$ cst.

* On a coupé les déchets de plastique à des morceaux comme fibres longues avec une largeur 2 mm et de longueur 15 cm, comme fibres courtes de même largeur 2 mm et longueur 3cm.

* On considère que : tous les pourcentages (Eau, déchet de plastique) sont par rapport à la quantité du plâtre de la composition concernée.

❖ On donne les mélanges suivants :

- **Mélange 1** : Pâte pure en plâtre (plâtre témoin), avec un rapport ($E/P=0.6$), noté **Pt**.

- **Mélange 2** : constitué de plâtre avec pourcentages de 1% du feuillard en plastique sous forme des fibres longues, noté **Pfpl** (01%).

- **Mélange 3** : constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique sous forme des fibres longues, noté **Pfpl** (03%).
- **Mélange 4** : constitué de plâtre avec pourcentages de 6% du feuillard en plastique sous forme des fibres longues, noté **Pfpl** (06%).
- **Mélange 5** : constitué de plâtre avec pourcentages de 1% du feuillard en plastique sous forme des fibres courtes, noté **Pfpc** (01%).
- **Mélange 6** : constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique sous forme des fibres courtes, noté **Pfpc** (03%).
- **Mélange 7** : constitué de plâtre avec pourcentages de 6% du feuillard en plastique sous forme des fibres courtes, noté **Pfpc** (06%).
- **Mélange 8** : constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique sous forme des fibres courtes 40% (trame)+ fibres longues 60% (chaine).
- **Mélange 9** : constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuillard en plastique sous forme des fibres courtes 40% (mélange)+ fibres longues 60% (chaine dans la partie inférieure).

IV.4. Mise en œuvre des composites et confection des éprouvettes:

Après avoir fixé le rapport E/P Pour la mise on œuvre de chaque mélange, nous avons préparé nos échantillons comme suite :

Mélange (1) : Plâtre témoin (Pt).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Remplissage des moules.
- 7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation du plâtre témoin (**Pt**) sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 2: Mélange de plâtre témoin (Pt).

Mélange 01	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pt01	319	1.25
Pt02	314	1.23
Pt03	320	1.25
Pt moy	317.66	1.24

Mélange (2) : Plâtre + 1% fibres plastiques longues (Pfpl).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre dans le moule ensuite mettre une quantité des fibres plastiques et répéter l'opération jusqu'à ce qu'on finalise par une dernière couche du plâtre.
- 7- Les fibres plastiques dans ce mélange sont disposé sur deux couches.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 02 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 3: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 01%.

Mélange 02	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpl 01 (01%)	320	1.25
Pfpl 02 (01%)	318	1.24
Pfpl 03 (01%)	322	1.26
Pfpl moy (01%)	320	1.25

Mélange (3) : Plâtre + 3% fibres plastiques longues (Pfpl).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre dans le moule ensuite mettre une quantité des fibres plastiques et répéter l'opération jusqu'à ce qu'on finalise par une dernière couche du plâtre.
- 7- Les fibres plastiques dans ce mélange sont disposé sur quatre couches.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 03 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 4: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 03%.

Mélange 03	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpl 01 (03%)	292	1.14
Pfpl 02 (03%)	303	1.18
Pfpl 03 (03%)	307	1.20
Pfpl moy (03%)	300.66	1.17

Mélange (4) : Plâtre + 6% fibres plastiques longues (**Pfpl**).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre dans le moule ensuite mettre une quantité des fibres plastiques et répéter l'opération jusqu'à ce qu'on finalise par une dernière couche de plâtre.
- 7- Les fibres plastiques dans ce mélange sont disposé sur six couches.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 04 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 5: constitué de plâtre + fibres longues en plastique de teneur de 06%.

Mélange 04	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpl 01 (06%)	294	1.15
Pfpl 02 (06%)	299	1.17
Pfpl 03 (06%)	302	1.18
Pfpl moy (06%)	298.33	1.17

Mélange (5) : Plâtre + 1% fibres plastiques courtes (**Pfpc**).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre avec des fibres courtes dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.

6- Remplissage des moules.

7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 05 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 6: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 01%.

Mélange 05	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpc 01 (01%)	303	1.18
Pfpc 02 (01%)	307	1.20
Pfpc 03 (01%)	305	1.19
Pfpc moy (01%)	305	1.19

Mélange (6) : Plâtre + 3% fibres plastiques courtes (**Pfpc**).

1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.

2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).

3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.

4- Introduire la quantité du plâtre avec des fibres courtes dans le récipient du malaxeur.

5- Malaxage des composants durant 30 secondes.

6- Remplissage des moules.

7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 06 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 7: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 03%.

Mélange 06	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpc 01 (03%)	308	1.20
Pfpc 02 (03%)	312	1.22
Pfpc 03 (03%)	311	1.21
Pfpc moy (03%)	310.33	1.21

Mélange (7) : Plâtre + 6% fibres plastiques courtes (**Pfpc**).

1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.

2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).

3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.

4- Introduire la quantité du plâtre avec des fibres courtes dans le récipient du malaxeur.

5- Malaxage des composants durant 30 secondes.

6- Remplissage des moules.

7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 07 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 8: constitué de plâtre + fibres courtes en plastique de teneur de 06%.

Mélange 07	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfpc 01 (06%)	303	1.18
Pfpc 02 (06%)	305	1.19
Pfpc 03 (06%)	307	1.20
Pfpc moy (06%)	305	1.19

Mélange (8) : Plâtre + 3% fibres plastiques (40% fpc + 60% fpl).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.
- 4- Introduire la quantité du plâtre dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre dans le moule ensuite mettre une quantité des fibres longues et fibres courtes (chaine-trame), répéter l'opération jusqu'à ce qu'on finalise par une dernière couche du plâtre.
- 7- Les fibres longues et fibres courtes dans ce mélange sont disposé sur quatre couches.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 05 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 9: constitué du plâtre + fibres plastiques (40% courtes sous forme trame et 60% longues sous forme chaine).

Mélange 08	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfp01 (40% fpc + 60% fpl)	317	1.24
Pfp02 (40% fpc + 60% fpl)	312	1.22
Pfp03 (40% fpc + 60% fpl)	315	1.23
Pfp moy(40% fpc + 60% fpl)	314.66	1.23

Mélange (9) : Plâtre + fibres plastiques 3% (40% fpc + 60% fpl).

- 1- Nettoyage, huilage des surfaces intérieures et serrage des moules.
- 2- prendre les quantités totales nécessaires pour le Mélange (eau, plâtre, fibres plastiques).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur.

- 4- Introduire la quantité du plâtre avec 40% fibres courtes dans le récipient du malaxeur.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de mélange dans le moule ensuite mettre une quantité des fibres longues et répéter l'opération jusqu'à ce qu'on finalise par une dernière couche du mélange.
- 7- Les fibres longues dans ce mélange sont disposé sur deux couches.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre (20°C).

Les résultats de la formulation de mélange 09 sont illustrés sur le tableau suivant:

Tableau IV. 10: constitué du plâtre + 3% fibres plastiques (60% fpc mélange et 40% fpl sous forme chaîne).

Mélange 09	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm ³
Pfp01 (40% fpc + 60% fpl)	309	1.21
Pfp02 (40% fpc + 60% fpl)	315	1.23
Pfp03 (40% fpc + 60% fpl)	314	1.23
Pfp moy(40% fpc+60% fpl)	312.66	1.22

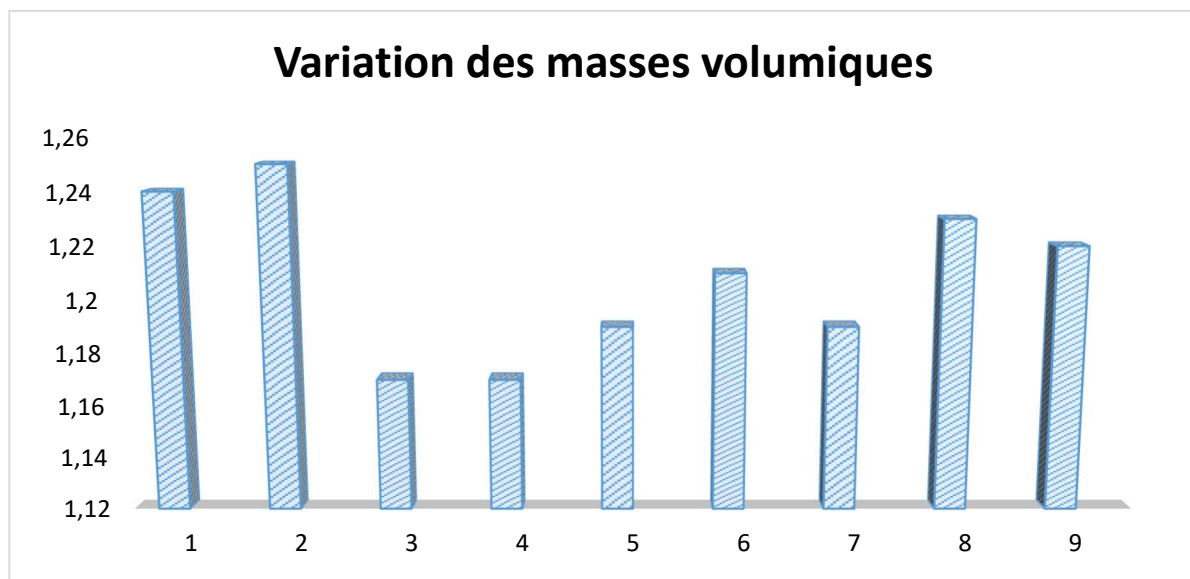


Figure IV.10 : Variation des masses volumiques.

PARTIE II :

IV.5. Étude des propriétés mécaniques:

IV.5.1. Résistance à la flexion:

Comme on a déjà présenté dans la **PARTIE I**, les essais sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ pour chaque mélange. La résistance à la flexion est mesurée par l'essai de flexion à 3 points.

Les résultats des essais sur les différents mélanges sont représentés dans les tableaux suivants ci-dessous :

Tableau IV. 11: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 01.

Mélange 01	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pt01	319	1.25	1784.9	4.18
Pt02	314	1.23	1740	4.08
Pt03	320	1.25	1730	4.05
Pt moy	317.66	1.24	1751.63	4.10

La variation de la résistance à la flexion de mélange 01 est affichée sur la figure suivante:

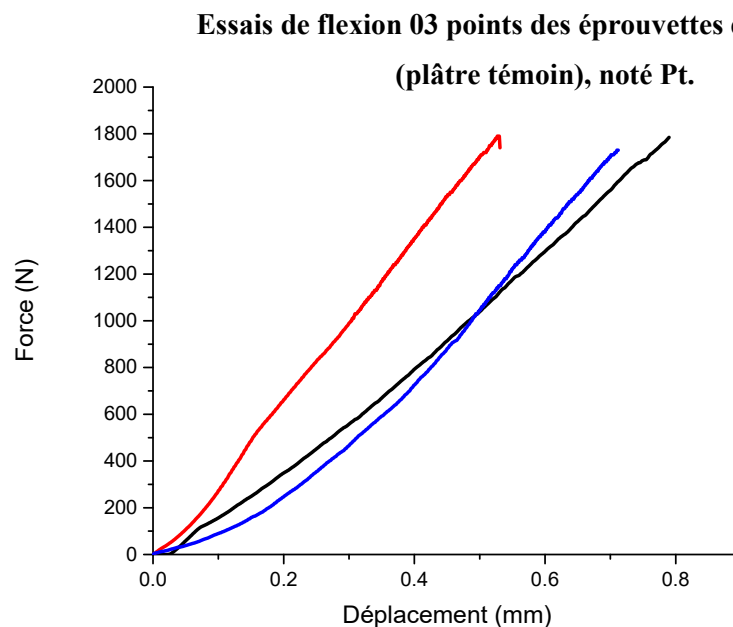
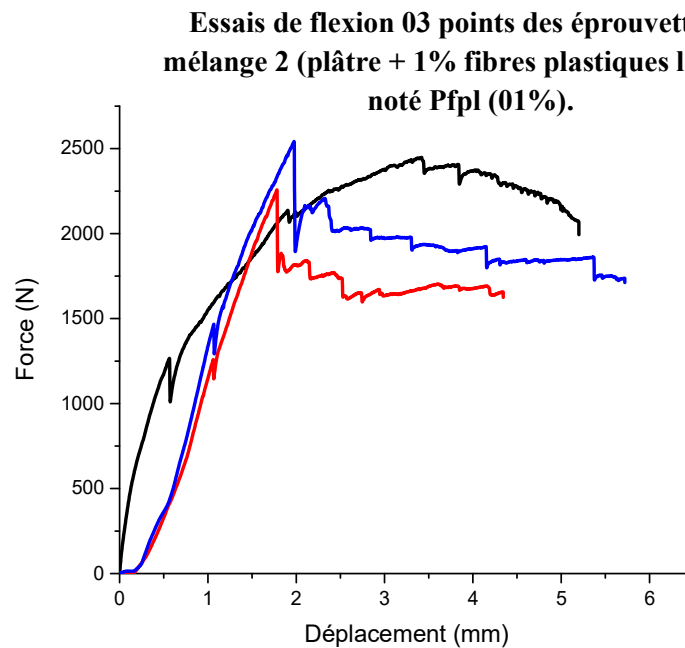


Figure IV. 11: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 1 (plâtre témoin), noté Pt.

Tableau IV. 12: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 02.

Mélange 02	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpl 01 (01%)	294	1.15	2448.41	5.74
Pfpl 02 (01%)	299	1.17	2257.41	5.29
Pfpl 03 (01%)	302	1.18	2542.40	5.96
Pfpl moy (01%)	298.33	1.17	2416.07	5.66

La variation de la résistance à la flexion de mélange 02 est affichée sur la figures suivante:

**Figure IV. 102:** Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 2 (plâtre + 1% fibres plastiques longues, noté Pfpl (01%).**Tableau IV. 13:** Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 03.

Mélange 03	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpl 01 (03%)	320	1.25	3151.40	7.39
Pfpl 02 (03%)	318	1.24	3472.72	8.14
Pfpl 03 (03%)	322	1.26	3490.55	8.18
Pfpl moy (03%)	320	1.25	3371.56	7.90

La variation de la résistance à la flexion de mélange 03 est affichée sur la figures suivante:

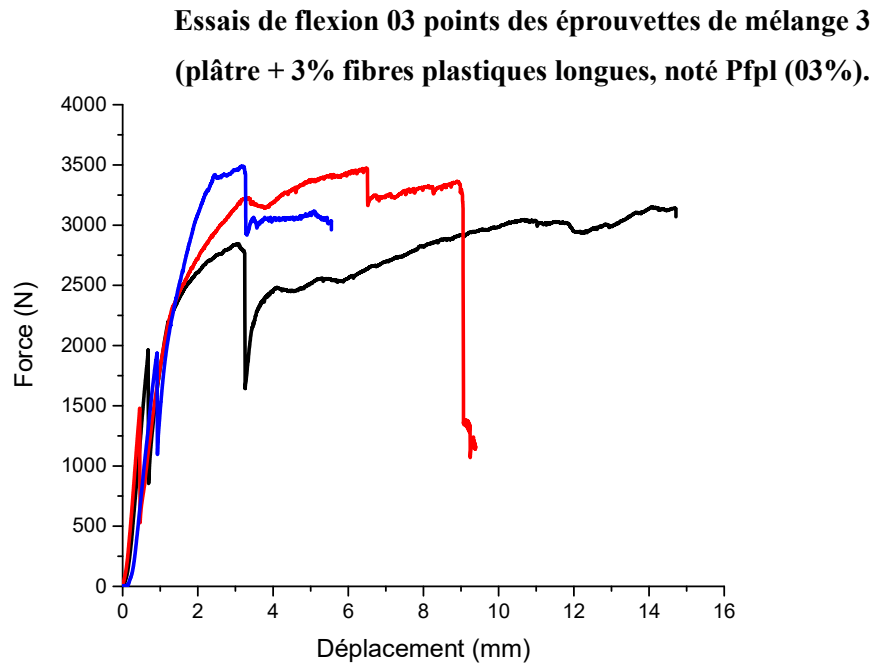


Figure IV. 13: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 3 (plâtre + 3% fibres plastiques longues, noté Pfpl (03%).

Tableau IV. 14: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 04.

Mélange 04	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpl 01 (06%)	292	1.14	1429.63	3.35
Pfpl 02 (06%)	303	1.18	1343.98	3.15
Pfpl 03 (06%)	307	1.20	1677.31	3.93
Pfpl moy (06%)	300.66	1.17	1483.64	3.48

La variation de la résistance à la flexion de mélange 04 est affichée sur la figures suivante:

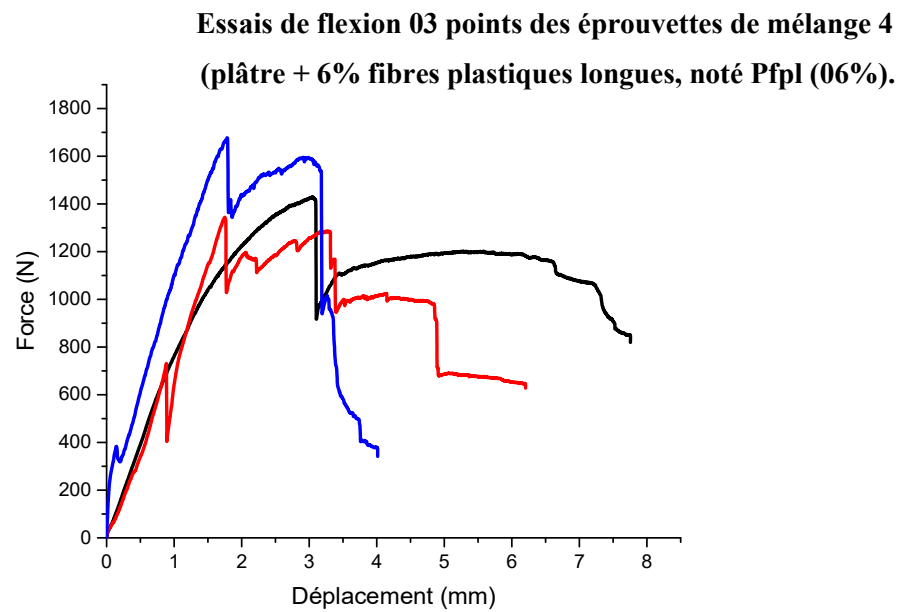


Figure IV. 14: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 4 (plâtre + 6% fibres plastiques longues, noté Pfpl (06%).

Tableau IV. 15: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 05.

Mélange 05	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpc 01 (01%)	308	1.20	1524.46	3.57
Pfpc 02 (01%)	312	1.22	1343.02	3.15
Pfpc 03 (01%)	311	1.21	1104.09	2.59
Pfpc moy (01%)	310.33	1.21	1323.86	3.10

La variation de la résistance à la flexion de mélange 05 est affichée sur la figures suivante:

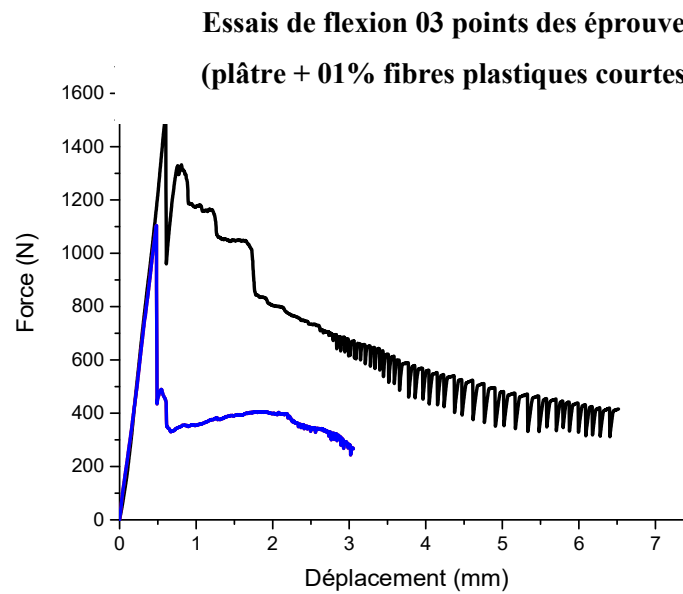


Figure IV. 15: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 5 (plâtre + 01% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (01%).

Tableau IV. 16: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 06.

Mélange 06	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpc 01 (03%)	303	1.18	1608.89	3.77
Pfpc 02 (03%)	307	1.20	1438.71	3.37
Pfpc 03 (03%)	305	1.19	1469.29	3.44
Pfpc moy (03%)	305	1.19	1505.63	3.53

La variation de la résistance à la flexion de mélange 06 est affichée sur la figures suivante:

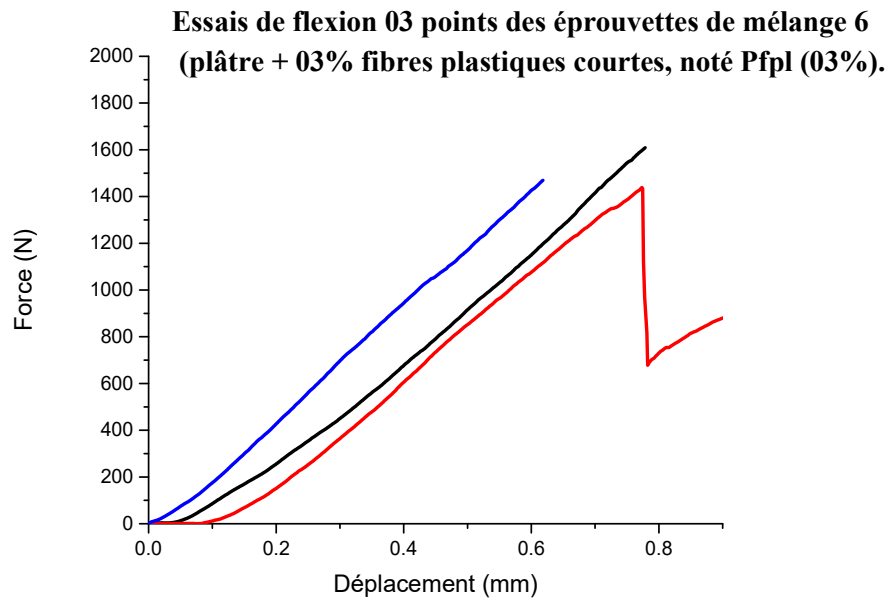


Figure IV. 16: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 6 (plâtre + 03% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (03%).

Tableau IV. 17: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 07.

Mélange 07	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfpc 01 (06%)	303	1.18	1275.81	2.99
Pfpc 02 (06%)	305	1.19	1173.76	2.75
Pfpc 03 (06%)	307	1.20	1123.62	2.63
Pfpc moy (06%)	305	1.19	1191.06	2.79

La variation de la résistance à la flexion de mélange 07 est affichée sur la figures suivante:

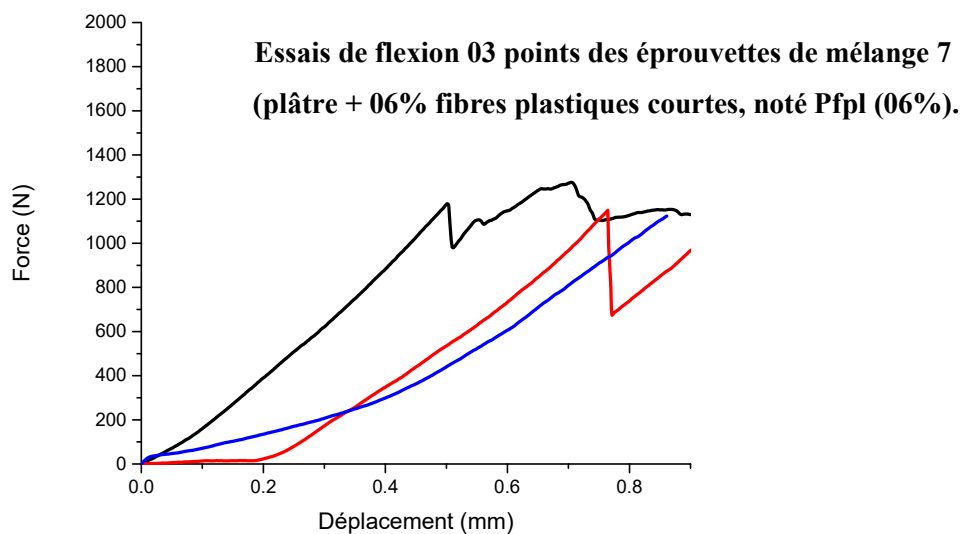


Figure IV. 17: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 7 (plâtre + 06% fibres plastiques courtes, noté Pfpl (06%).

Tableau IV. 18: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 08.

Mélange 08	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfp01 (40% fpc+ 60% fpl)	317	1.24	2931.76	6.87
Pfp02 (40% fpc + 60% fpl)	312	1.22	3068.22	7.19
Pfp03 (40% fpc + 60% fpl)	315	1.23	3673.50	8.61
Pfp moy(40% fpc + 60% fpl)	314.66	1.23	3224.49	7.56

La variation de la résistance à la flexion de mélange 08 est affichée sur la figures suivante:

Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 8 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuilard en plastique (40% fibres courtes (trame)+ 60% fibres longues (chaîne).

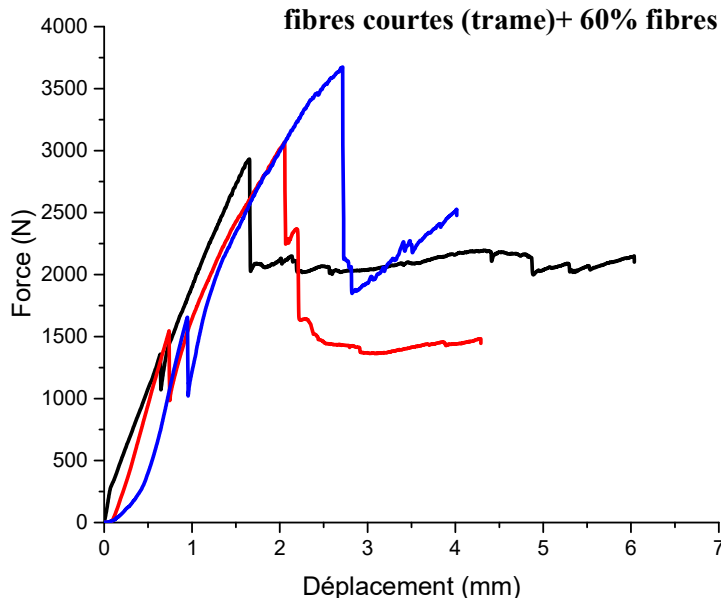


Figure IV. 18: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 8 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feuilard en plastique (40% fibres courtes (trame)+ 60% fibres longues (chaîne).

Tableau IV. 19: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 09.

Mélange 09	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
Pfp01 (40% fpc + 60% fpl)	309	1.21	3106.47	7.28
Pfp02 (40% fpc + 60% fpl)	315	1.23	3874.5	9.08
Pfp03 (40% fpc + 60% fpl)	314	1.23	3983.49	9.34
Pfp moy(40% fpc + 60% fpl)	312.66	1.22	3654.82	8.57

La variation de la résistance à la flexion de mélange 09 est affichée sur la figures suivante:

Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 9 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feillard en plastique (40% fibres courtes (mélange)+ 60% fibres longues (chaine dans la partie

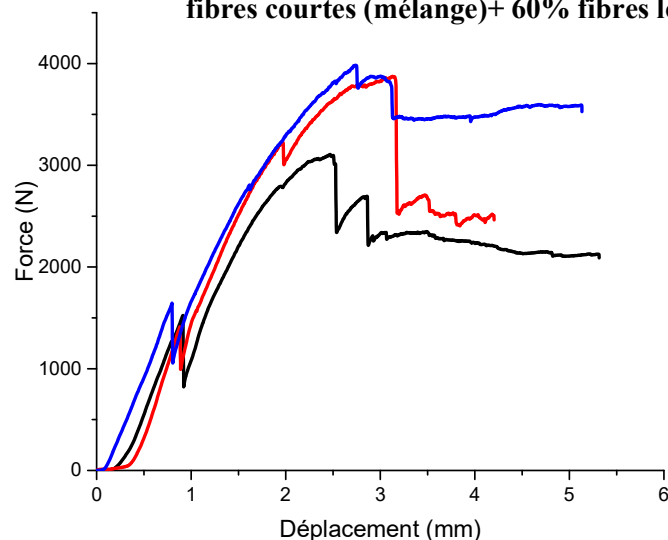


Figure IV. 19: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de mélange 9 constitué de plâtre avec pourcentages de 3% du feillard en plastique (40% fibres courtes (mélange)+ 60% fibres longues (chaine dans la partie inférieure)).

IV.5.2. Résistance à la compression :

A la fin de l'essai de flexion a trois point, on a récupéré les morceaux restants d'éprouvettes ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) sous forme des petites éprouvettes ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$) et on a mesuré la résistance a la compression de chaque mélange.

Les résultats des essais sur les différents mélanges sont représentés dans les tableaux suivants ci-dessous :

Tableau IV. 20: Résistance à la compression pour le plâtre témoin.

Mélange 01	M (g)	ρ (g/cm^3)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pt01	80	2.5	19.5	12.2
Pt02	81	2.53	23	14.4
Pt03	78	2.44	18.7	11.7
Pt moy	79.67	2.49	20.4	12.77

Tableau IV. 21: Résistance à la compression pour le Pfpl (6%).

Mélange 02	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (6%)	76	2.37	15.4	9.6
Pfpl 02 (6%)	73	2.28	13.2	8.3
Pfpl 03 (6%)	73	2.28	13.8	8.6
Pfpl(6%) moy	74	2.31	14.13	8.83

Tableau IV. 22: Résistance à la compression pour le Pfpl (3%).

Mélange 03	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (3%)	76	2.37	15	9.4
Pfpl 02 (3%)	71	2.22	14.8	9.3
Pfpl 03 (3%)	77	2.41	14.5	9.1
Pfpl(3%) moy	74.67	2.33	14.77	9.27

Tableau IV. 23: Résistance à la compression pour le Pfpl (1%).

Mélange 04	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (1%)	83	2.59	19	11.9
Pfpl 02 (1%)	78	2.44	14.2	8.9
Pfpl 03 (1%)	81	2.53	19.2	12
Pfpl(1%) moy	80.67	2.52	17.47	10.93

Tableau IV. 24: Résistance à la compression pour le Pfpc(6%).

Mélange 05	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (6%)	75	2.34	18.6	11.6
Pfpl 02 (6%)	78	2.44	19.9	12.4
Pfpl 03 (6%)	79	2.47	18.5	11.6
Pfpl(6%) moy	77.33	2.42	19	11.87

Tableau IV. 25: Résistance à la compression pour le Pfpc (3%).

Mélange 06	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (3%)	81	2.53	18.8	11.8
Pfpl 02 (3%)	83	2.59	19.2	12.1
Pfpl 03 (3%)	82	2.56	18.7	11.7
Pfpl(3%) moy	82	2.56	18.9	11.87

Tableau IV. 26: Résistance à la compression pour le Pfp(1%).

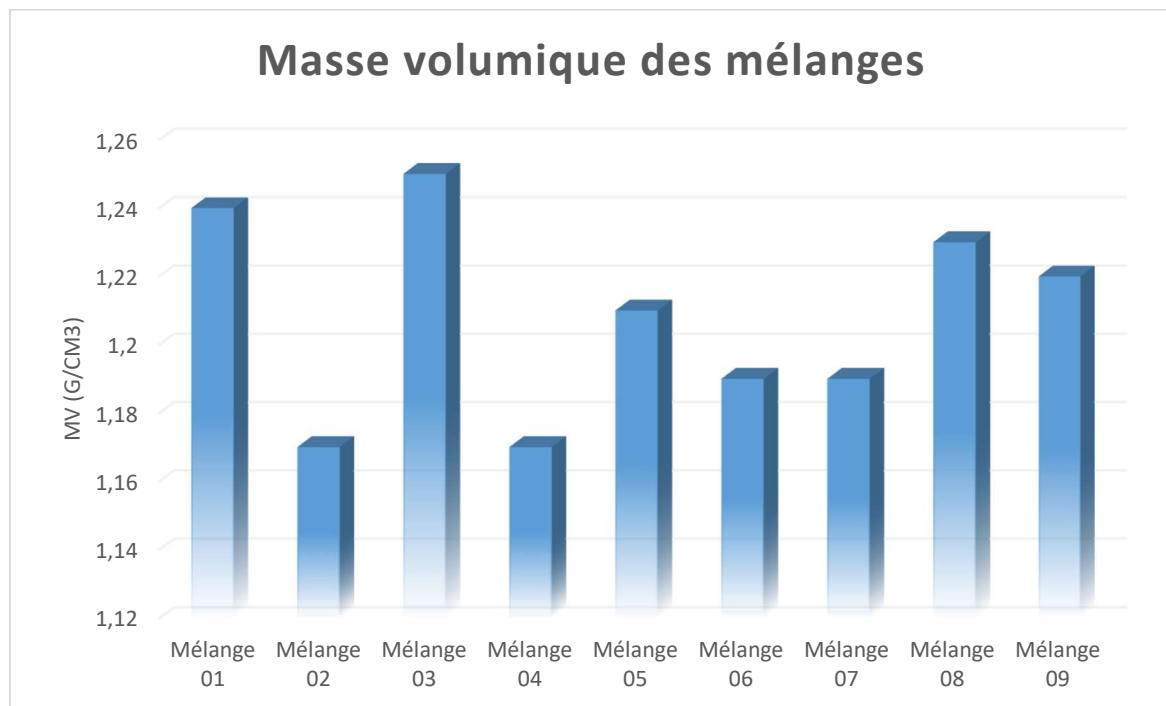
Mélange 07	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (1%)	78	2.44	17.7	11
Pfpl 02 (1%)	82	2.56	17.6	11
Pfpl 03 (1%)	75	2.34	17.9	11.2
Pfpl(1%) moy	78.33	2.45	17.73	11.07

Tableau IV. 27: Résistance à la compression pour le Pfp (3%) chaîne+trame.

Mélange 08	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (3%)	79	2.47	18.6	11.6
Pfpl 02 (3%)	80	2.5	18.5	11.6
Pfpl 03 (%)	82	2.56	19.6	12.2
Pfpl(3%) moy	80.33	2.51	18.9	11.8

Tableau IV. 28: Résistance à la compression pour le Pfp (3%) chaîne+mélange.

Mélange 09	M (g)	ρ (g/cm ³)	F max (KN)	σ de compression (MPa)
Pfpl 01 (3%)	82	2.56	18.3	11.4
Pfpl 02 (3%)	78	2.44	18.6	11.6
Pfpl 03 (3%)	81	2.53	18.2	11.4
Pfpl(3%) moy	80.33	2.51	18.37	11.47

**Figure IV. 20:** Variation des masses volumiques des mélanges.

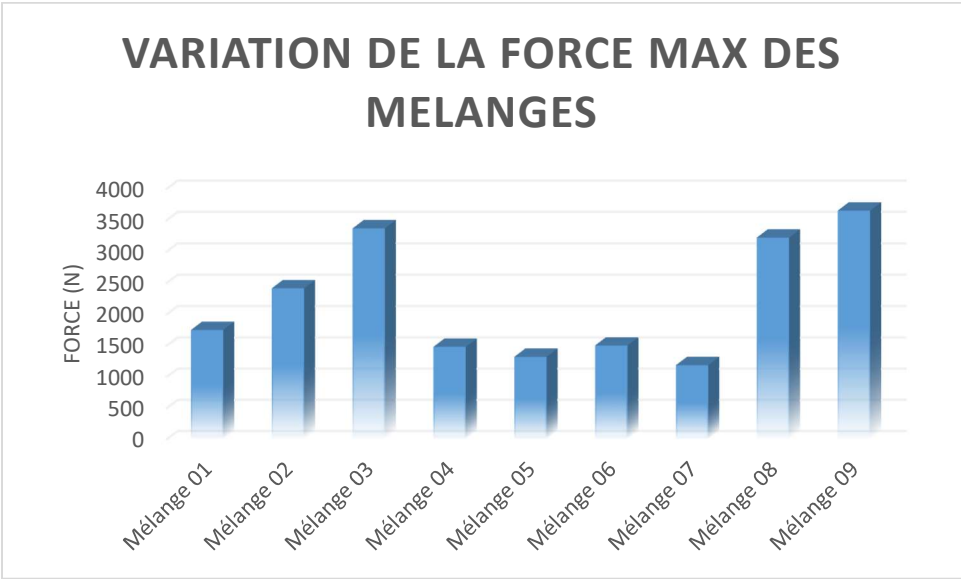


Figure IV.21: Variation de la force max des mélanges.

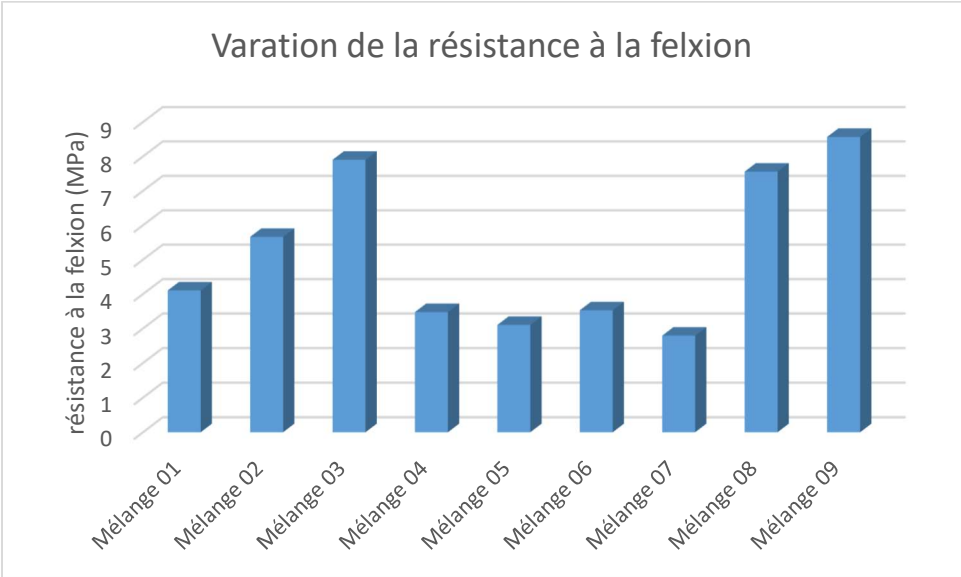


Figure IV. 22: Variation de la résistance à la flexion.

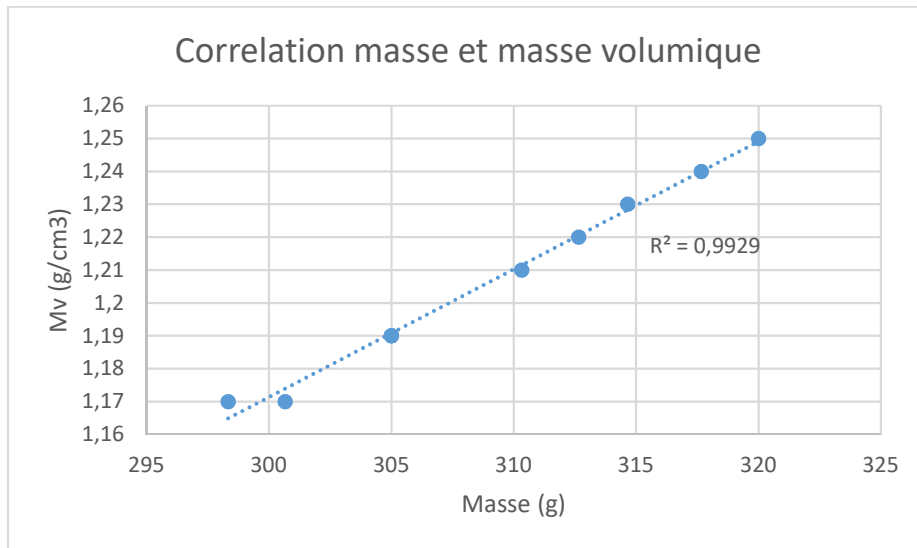


Figure IV. 23: Corrélation entre la masse et la masse volumique.

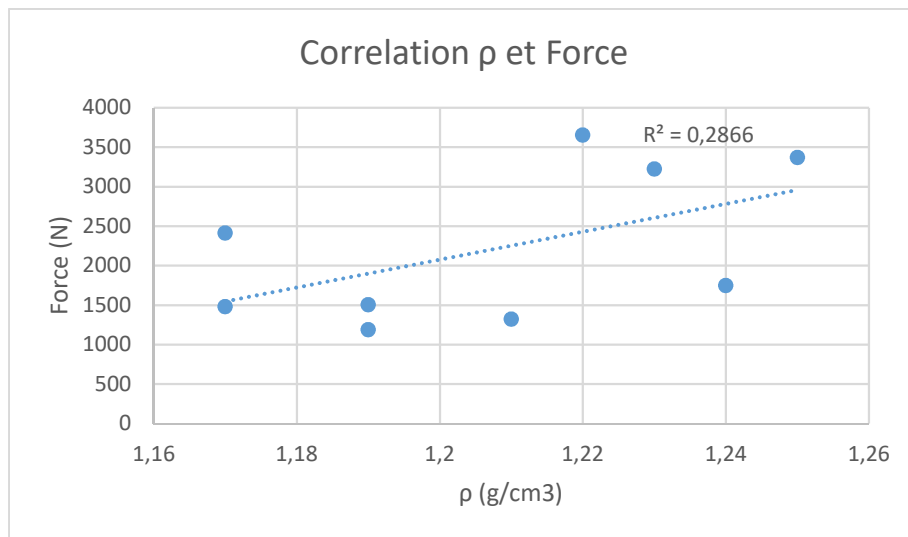


Figure IV. 24: Corrélation de la masse volumique et la force.

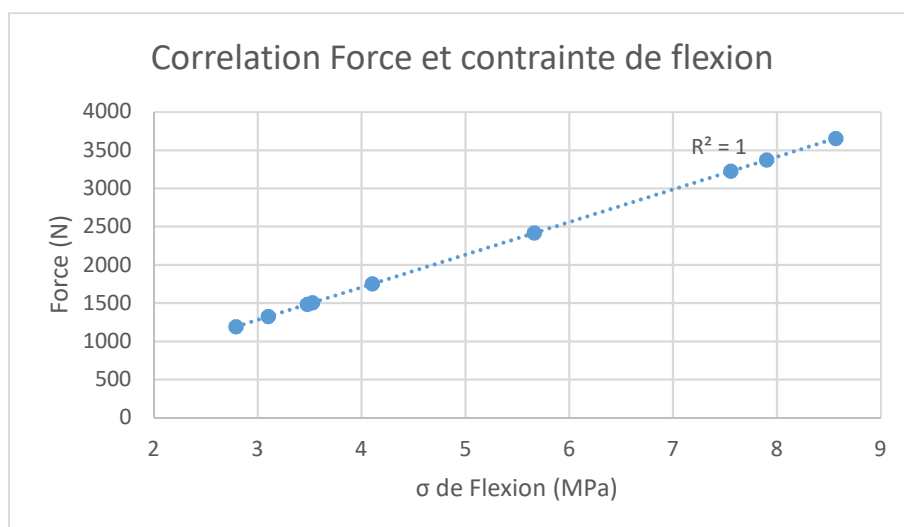


Figure IV. 25: Corrélation entre la force et la contrainte de flexion.

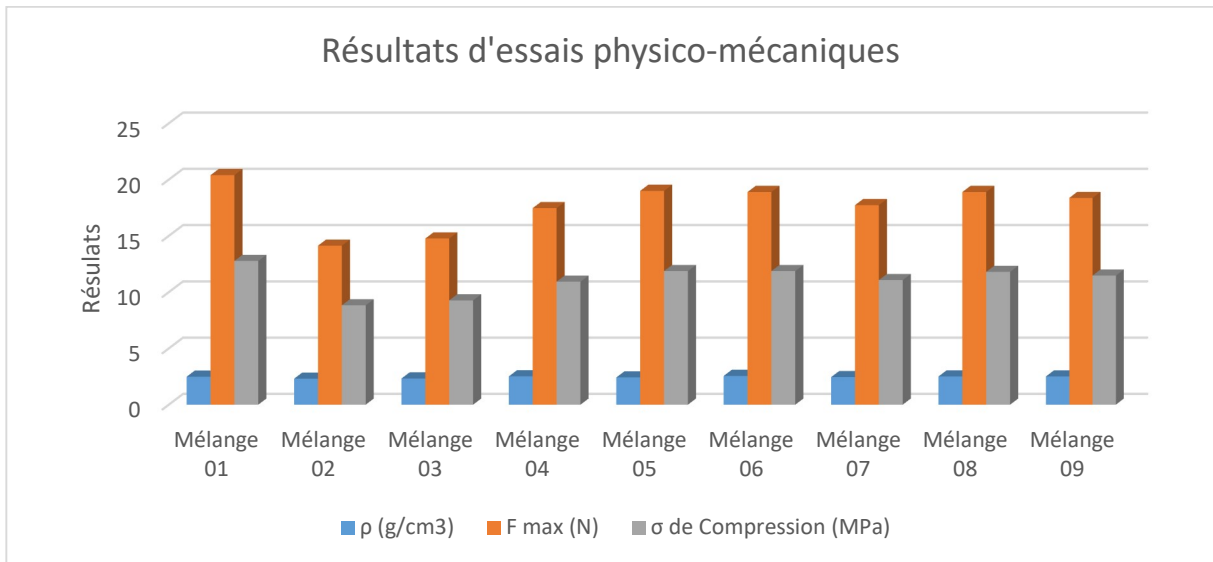


Figure IV. 26: Résultats d'essais physico-mécaniques.

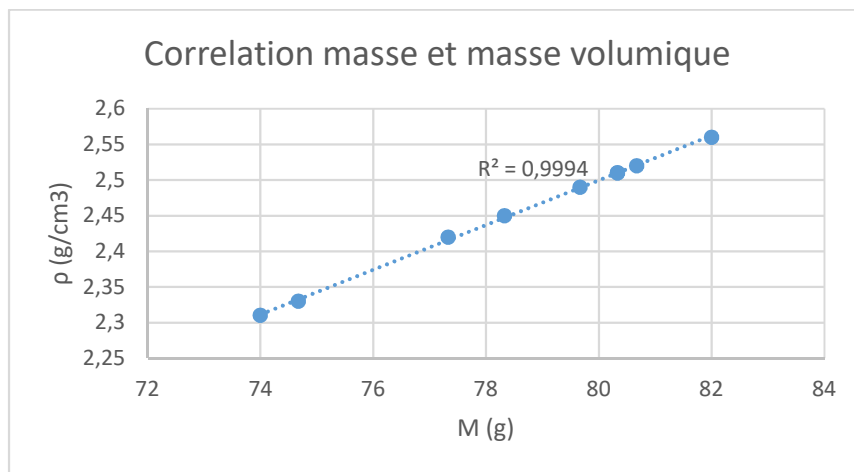


Figure IV. 27: Corrélation entre la masse et la masse volumique.

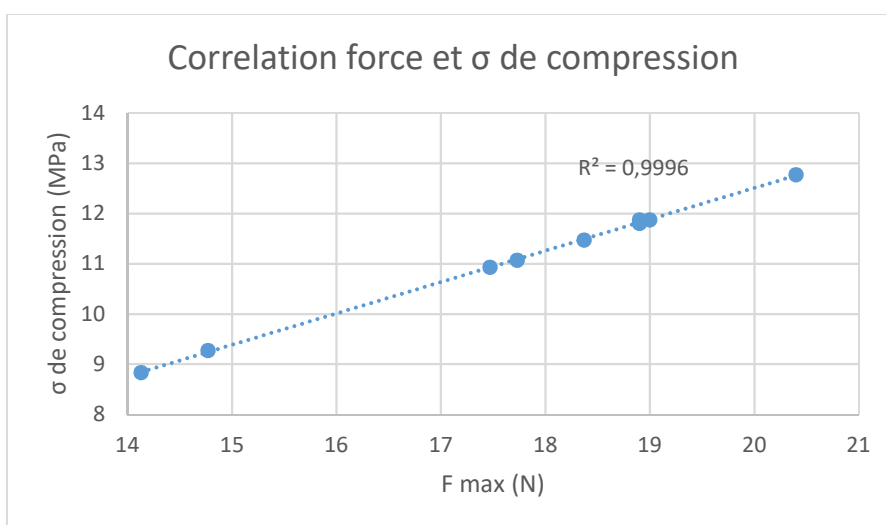


Figure IV. 28: Corrélation entre la force et la contrainte de compression.

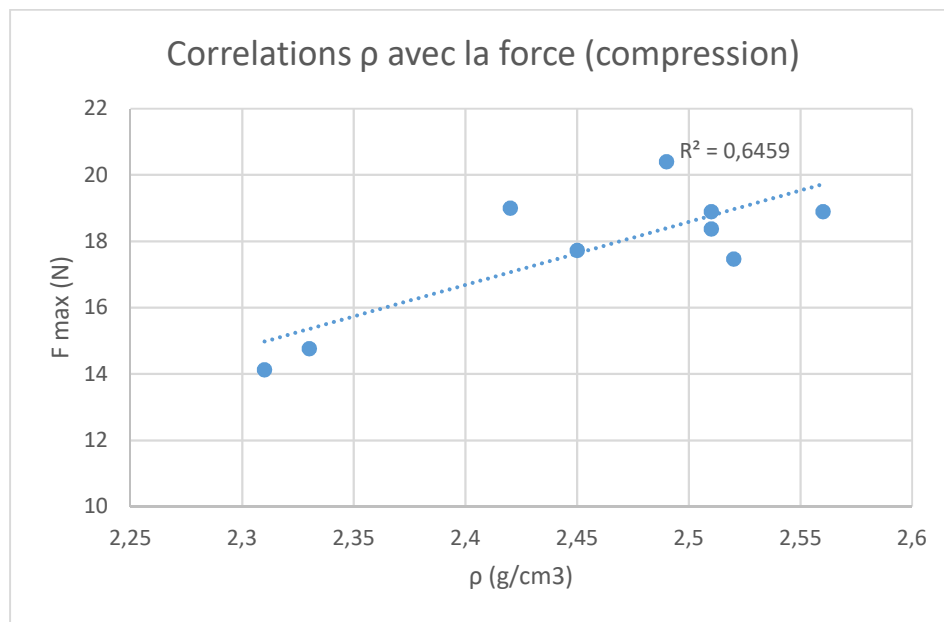


Figure IV. 29: Corrélation entre les masses volumiques et les forces de compression.

IV.6: Discussion des résultats :

- Les d'essai physique montrent que la masse volumique des mélanges élaborés varie entre 1,17 à 1,25 g/cm³ avec un écart type de 0,024, avec une valeur maximale de masse volumique notée dans le mélange 09, qui contient 3 % de fibre plastique longue, et la valeur minimale est observée dans le mélange 07, avec 6 % de fibre plastique courte, ce qui confirme l'homogénéisation des neuf mélanges élaborés.
- Les courbes d'essais mécaniques en flexion, montrent l'effet de l'incorporation des fibres plastiques courtes et longues, qui montre un changement du comportement du matériau renforcé par comparaison aux éprouvettes témoins qui ont un comportement fragile.
- Les résultats d'essais mécaniques en flexion montrent l'effet positif de renforcement très significatif, des éprouvettes en plâtre avec la fibre longue de 1 à 3 %, aussi dans les mélanges élaborés avec un renfort mixte de 3 % de fibres courtes (40 %) et longues (60%) dont l'augmentation est de 108,65 %, cela est dû au rôle renforçant des fibres, cela est démontré dans plusieurs travaux de recherches.
- Une chute des résistances mécaniques lors de l'introduction des fibres courtes (de 1 à 6 %), notamment dans le cas des fibres longues à 6 %, avec une variation de 14,04 à 32 %, expliquée par la nature de la fibre et la quantité introduite dans les mélanges.

- La comparaison des mélanges élaborer avec les mêmes pourcentages, et selon les différentes natures des fibres, montrent que les mélanges renforcés avec les fibres longues résistent mieux par rapport à ceux élaborer avec les fibres courtes, ce qui confirme l'effet de la géométrie des fibres introduites sur les résistances en flexion.
- La disposition des fibres dans le matériau a un rôle important dans l'amélioration des résistances en flexion, on a noté une meilleure résistance mécanique dans les mélanges dont la disposition des fibre longue est située dans la partie inférieure, permettant ainsi au renforcement de zone tendue, cas des mélanges 8 et 9, les valeurs montrent une amélioration de la contrainte en flexion de 1 MPa.
- Les essais mécaniques en compression sur les différentes variantes élaborer, illustrent une légère diminution des résistance mécaniques en compression des éprouvettes renforcées avec les fibres courtes, et une diminution d'une manière notable dans le cas des éprouvettes renforcées avec des fibres longues.
- Les corrélations effectuées entre les grandeurs physiques et mécaniques lors des essais physiques et mécaniques en flexion et compression, montrent de forte corrélation entre les masses et les masses volumique (0.99), ce qui confirme une bonne homogénéité des éprouvettes élaborées, notamment de fortes corrélations ont été noté entre les contraintes de ruptures et les masses volumique lors des essais de compression (0.99), néanmoins des corrélations moyennement significatives ont été relevée entre les forces et les masse volumiques (0.28) lors des essais de flexion, et de 0.64 pour les mêmes grandeurs lors des essais de compression.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale:

Notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets plastiques, sous forme de renfort dans le matériau plâtre.

L'objectif principal de ce travail est de viser une amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques du matériau plâtre, par l'introduction des fibres plastiques récupérées, sous forme de fibres courtes et longues, qui va servir comme un renforcement dans la matrice du plâtre, pour formuler un composite, qui constitue de trouver une utilisation des déchets plastiques et leur prise en charge par recyclage, afin de repérer une possible utilisation dans le secteur de la construction.

Le présent travail vise essentiellement, d'une part à l'emploi par l'ajout de déchets au plâtre, qui peut offrir de nouveaux matériaux de construction, d'autre part a contribué facilement à l'amélioration des propriétés notamment mécaniques.

A ce moment-là nous nous sommes alors attachés à rechercher sur l'effet de la nature de la fibre et leurs pourcentages d'ajout sur le comportement du matériau plâtre.

A la lumière des résultats obtenus, on conclue que:

- Les fibres plastiques améliorent, d'une façon très significatives la résistance à la flexion du matériau plâtre ;
- Les mélanges élaborer avec l'ajout de fibre longue à 3 %, contribue très significativement à l'amélioration des résistances à la flexion avec une augmentation de 92.58 %.
- Les mélanges élaborer par un renfort alterné, par les fibres longue et courte a donné les meilleurs résultats en termes de résistance à la flexion (une augmentation de 108.65 %).
- La nature de la fibre contribue et le type d'orientation affecte d'une manière peut significative les résistances à la compression des éprouvettes restées.

Des perspectives peuvent être projetées entre autres :

- L'effet de la géométrie et l'orientation des fibres, ont un effet très important, notamment sur le comportement mécanique, pour cela une étude sur le renforcement du plâtre par des fibres avec des diamètres réduits.

- A ce moment, l'effet des paramètres environnementaux ne sont pas mis en exergues, ça sera intéressant de lancer une étude sur l'effet de l'humidité et de la température sur le comportement du plâtre renforcé avec les fibres plastiques.

- Aussi, afin d'avoir une idée sur le coût et la faisabilité de montage d'une entreprise dans ce sens, une étude technico-économique est primordiale pour donner plus échos à ce travail.

Références bibliographiques

Références bibliographiques:

- [1] **Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992.**
- [2] **Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001.**
- [3] **ABDERREZAD S,** Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide, Alger-2000 P (31).
- [4] **Le décret 2002-540 du 18 avril 2002.**
- [5] **Journal officiel de la république algérienne, (2001-2004).**
- [6] **NIGKAM,** 1992 in sotamenou, 2005. Mémoire d'ingénieur à l'ENSP Yaoundé.
- [7] **le décret exécutif n° : 06-104 du 28 février 2006.**
- [8] **LAAMECHE Soufiane, MIMOUNI Djihad,** Création d'une entreprise de Tri et de Recyclage de Plastique et d'Aluminium à Tlemcen Mémoire de Master en génie industriel université Abou Bekr Belkaid, 2016 p (6-7).
- [9] **Loi n°01-19 du 12/12/2001.**
- [10] **VORBURGER Julia,** Ecologie industrielle et valorisation des déchets, MBA gestion internationale déposé à la session d'hiver 2006, p (22-25).
- [11] **Direction Sonatrach Bejaia ,**Conformité Réglementaire Sur La Gestion Des Déchets 2013 p (4).
- [12] **Mohamed Touhami GOUASMI,** Effets d'agrégats légers a base de Poly-téréphtalate d'Ethylène sur les propriétés des mortiers, Université d'Oran 23 Mai 2013 p (18-19).
- [13] **GILLET.R,** Traité de gestion des déchets solides et son application au pays en voie de développement, 1^{er} volume : programme minimum de gestion des ordures ménagères et des déchets assimilés, p (397).
- [14] **SAADANI Sabrina,** Comportement des bétons à base de granulats recyclés, Université Mentouri Constantine 2010, p (7-8).
- [15] **Plateforme Ressources Réseau pour une gestion durable des déchets solide,** Recyclage des déchets plastiques dans la gestion des déchets en Afrique.
- [16] **DR : Benabid.M ,** protection de l'environnement gestion des déchets solides, Université de Batna 2014/2015 P.
- [17] **Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie, Avril 2014 Publié par GIZ.**
- [18] **APS : 26/07/2016,** le salon international de la valorisation des déchets industriels à Algérie.
- [19] **DJEBLOUN Youcef,** Etude de la rupture en mode I d'ouverture des matériaux composites. Université Biskra, 2003-2004 p (3,4 et 6).

- [20] **Laurent Gornet**, 2008, Généralités sur les matériaux composites-Engineering school, p (6).
- [21] **GENDRE Lionel**, 2011 Matériaux composites et structures composites- Université paris Saclay, p (4).
- [22] **Jean-Marie Berthelot**, 2013, Mécanique des Matériaux et Structures Composites, Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancé, Le Mans, France, p (5,6 et 7).
- [23] **HADDADI.M**, 2011, Etude numérique avec comparaison expérimentale des propriétés thermo-physiques des matériaux composites à matrice polymère, Université El-Hadj Lakhdar, P (23).
- [24] **F Teaoka, J Takahashi**, 2000, Dimensional changes and pressure of dental stones set in silicone rubber impressions. Dent Mater, 16 :drite p (145-149).
- [25] **Sylvain MEILE**, 2001, Etude de comportement mécanique de plâtre pris en relation avec sa microstructure, thèse de Doctorat, INSA de Lyon, p (14, 15 et 16).
- [26] **Secret de fabrication du plâtre - Le plâtre industriel-** L'Entrevous - numéro 23 – p (13).
- [27] **Frederic Charpentier, Michel fontaine, Jean Fouin, VirgineStelmach** 'Le plâtre matériau noble' Rapport de concours de la Diren-ile-de-France, 2000 N°138.
- [28] Les mutations de l'exploitation agricole et l'essor de l'activité plâtrière (1836-1882), édition Musée du Plâtre, 2008.
- [29] **M. Nolhier**, Construire en plâtre, L'Harmattan, 1986.
- [30] **RAHMANIAN**, 2001 Thermal and mechanical properties of gypsum Boards and their influences on fire resistance of gypsum board based systeme, University of Manchester for the degree of Doctor in the Faculty of Engineering and Physical Sciences- Aerospace and Civil Engineering- IMA p (36,37).
- [31] **GYP SUM SYSTEMS**, (2009) Fire resistance design manual sound control 19Edition GA-600, P (12).
- [32] **Fabien BETENE EBANDA**, 2012, Etude des propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales, thèse Doctorat Université de Douala-Cameroun.
- [33] **Pascal BOUSTINGORRY**, 2002, ELABORATION D'UN MATERIAU COMPOSITE A MATRICE GYPSE ET RENFORT BOIS FRAGMENTE, thèse de Doctorat Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.
- [34] **RACHEDI Mokhtar**, 2013, Contribution à l'Etude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier, Magister Université KASDI MERBAH OUARGLA.

[35] **RICHARD P.**, « Adobe », mémoire Maître en environnement, Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.

[36] **HERNANDEZ - OLIVARES, OTEIZA, BOLLATI**, Physical modeling of plaster and fiber-plaster composites setting from ultrasonic measurements, 1995, Composite structures 22 [123-137].

Annexes

ANNEXE

-A-

FEUILLARD

EN

PLASTIQUE

Feuillard PET Polyester

MACHINE-MANUEL

Résistance du métal, souplesse du plastique

DOMAINES D'UTILISATION

- Charges lourdes
- Charges compactes
- Charges rigides

CONDITIONNEMENT



Palette de 48 bobines
(en vrac ou en carton)



Excellente conservation de la tension, même sur des charges légèrement rétractables.



Souple, il offre des possibilités de tension très importantes et une parfaite répartition de la tension sur les angles de la charge.



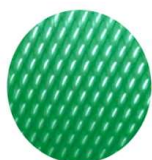
Très résistant aux chocs, à l'humidité et aux UV.



Recyclable à 100 %.



Stockage longue durée en extérieur.



Polyester grainé (PET)

Fabriqué à partir de granulés en polyester extrudés en filière plate, il possède une meilleure résistance que le feuillard en polypropylène et peut, pour certaines applications, remplacer les feuillards en acier.

Feuillard PET Polyester

MACHINE-MANUEL

Résistance du métal, souplesse du plastique

PRODUITS ASSOCIÉS



Cercluse semi-automatique verticale à aiguille TP202MV



Appareil de cerclage sur batterie



Tendeur-sertisseur



Chape pour cerclage



Dévidoir pour feuillard PET

Données techniques

Référence	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Ø mandrin (mm)	Résistance (kg)	Application	Couleur
CPE6012A	12.5	0.60	406	290	Machine	Vert
CPE6012D	12.5	0.60	406	270	Manuel	Vert
CPE6016A	15.5	0.60	406	400	Machine	Vert
CPE6016D	15.5	0.60	406	380	Manuel	Vert
CPE7012A	12.5	0.70	406	354	Machine	Vert
CPE7012D	12.5	0.70	406	300	Manuel	Vert
CPE7016A	15.5	0.70	406	439	Machine	Vert
CPE7016D	15.5	0.70	406	400	Manuel	Vert
CPE9016A	15.5	0.85	406	500	Machine	Vert
CPE9016D	15.5	0.80	406	480	Manuel	Vert
CPE9019A	19	1.00	406	690	Machine/Manuel	Vert

Applications



ANNEXE

-B-

**Plâtre
Fleurus**

GAMME DES PLÂTRES DE CONSTRUCTION KNAUF

	FLEURUS®	MOULARUS	COLLARUS	MP75®	MP75L®	TOP FINISH	PERLFIX®	JOINTFILLER	FUGENFULLER
Application	KNAUF FLEURUS® est un enduit de plâtre traditionnel qui s'applique manuellement sur tous les supports. Il convient aux travaux d'aménagement des constructions neuves ou en rénovation, à l'exception des locaux humides.	KNAUF MOULARUS est un plâtre de moulage qui convient pour la fabrication d'éléments décoratifs, de faux plafonds, de gorges, etc.	KNAUF COLLARUS est destiné à l'accrochage de motifs décoratifs en plâtre (rosaces, gorges... Sur tous les supports en plâtre ou ciment)	KNAUF MP75® est un enduit monocouche qui s'applique mécaniquement sur tous les supports rugueux et absorbants, dans les constructions neuves ou en rénovation, dans les hôtels, bâtiments administratifs, à l'exception des locaux humides.	KNAUF MP75 L® est un enduit monocouche allégé qui s'applique mécaniquement sur tous les supports rugueux et absorbants, dans les constructions neuves ou en rénovation, dans les hôtels, bâtiments administratifs, à l'exception des locaux humides.	KNAUF TOP FINISH est un enduit pelliculaire de finition destiné aux supports suivants : béton lisse très absorbant, plaque de plâtre brute avant peinture (ou autres habillages)	KNAUF PERLFIX® est destiné au collage des plaques de plâtre type Knauf sur tout type de maçonnerie y compris les supports en béton.	KNAUF JOINTFILLER est un enduit à séchage à prise longue, utilisé pour réaliser les joints entre plaques de plâtre type KNAUF BA (bord aminci) ou HRAK (bord aminci semi-arrondi). Il doit être utilisé avec une bande d'armature.	KNAUF FUGENFULLER est un enduit à prise rapide, utilisé pour finir manuellement avec une bande d'armature les joints entre plaques de plâtre type HRAK (bord aminci semi-arrondi), et AK ou BA (bords amincis).
Epaisseur Recommandée	± 10 à 15mm			10 à 15 mm	10mm à 15 mm	1 à 4 mm		- 3mm	- 3mm
Rendement en m²	1 sac de 40 kg donne environ 4 à 4.5 m²	1 sac de 40 kg + 80% d'eau donne 48 litres de pâte		1 sac de 30 kg donne environ 2,8 à 3.2 m²	1 sac de 25 kg donne environ 2,8 à 3.2 m²	1 sac de 20 kg donne environ 26 m²	1 sac de 25 kg donne environ 5 à 8 m² de plaque posée	Consommation 0,3 kg /m²	1 kg de FUGENFULLER donne environ 1.2 L de mortier prêt à l'emploi
Mise en œuvre	Manuelle	Manuelle	Manuelle	Mécanique	Mécanique	Manuelle	Manuelle	Manuelle	Manuelle
Conditionnement	40kg	40kg	25kg	30kg	25kg	20kg	25kg	20kg	25kg

Supports	FLEURUS®	MOULARUS	COLLARUS	MP75®	MP75L®	TOP FINISH	PERLFIX®	JOINTFILLER	FUGENFULLER
Brique, Parpaing	●		●	●	●		●		
Béton coulé brut	●		●	●	●		●		
Béton préfabriqué absorbant	●		●	●	●	●	●		
Béton préfabriqué non absorbant	●▲		●▲	●▲	●▲	●▲	●▲		
Sous couche en plâtre ou ciment			●	●	●	●	●		
Plaque de plâtre						●	●	●	●

▲ Appliquer une couche primaire de KNAUF BETOXITAKT

Siège Social Oran

Boite postale N° 02 - 31240 - Boufatis

Tél. : +213 (0) 41 52 10 50 / 51 - Fax : +213 (0) 41 52 12 26 / 14 62

Bureau Alger

02, Lot Ben Haddadi Said - 16002 - Chéraga

Tél. : +213 (0) 21 36 87 00 - Fax : +213 (0) 21 36 77 17

Bureau Sétif

L'Aid Dahoua, Zone d'activité - 3ème tranche - 19000 Sétif

Tél. : +213 (0) 36 93 77 41 - Fax : +213 (0) 36 93 77 41

E-mail : info@knaufalgerie.com

www.knaufalgerie.com

KNAUF Plâtres

Primers et accessoires



Plaques Stuc

Ces plaques support d'enduit sont spécialement conçues pour être parachevées avec un enduit au plafond et dans le cas de toitures inclinées. Afin d'augmenter leur stabilité, les plaques sont renforcées dans la masse par de la fibre de verre. Elles peuvent ainsi notamment convenir pour la réalisation de plafonds suspendus.



Les plaques sont vissées ou clouées sur des ossatures métalliques ou en bois puis recouvertes d'une couche d'enduit de plâtre. L'utilisation de tels supports requiert la désolidarisation du plafond des éléments de construction adjacents et la pose d'une bande de séparation souple. Les plaques Knauf Stuc existent en plusieurs dimensions.

Stucanet®

Knauf Stucanet est composé de treillis de fils métalliques galvanisés et de carton perforé. C'est le support parfait pour les enduits de plâtre. Facilement transportable, il se laisse aisément couper, plier et fixer.

Stucanet offre une multitude de possibilités au plâtre : des formes rondes, convexes ou concaves, ou tout simplement des surfaces droites et planes. Stucanet stimule la créativité des architectes en permettant le plafonnage optimal de voûtes, murs inclinés et autres surfaces difficiles, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.



Cette fiche est destinée à l'information de notre clientèle. Elle n'aide ni les professionnels, mais ne saurait en aucune façon engager notre responsabilité. Nous vous recommandons de prendre contact avec notre service technique afin de vérifier l'exactitude des informations. Tous droits réservés. Les modifications, reproductions photographiques, même si elles sont faites par extrait, nécessitent l'autorisation expresse de Knauf.

GW_FR_0_01.15_XXXX



www.knauf.be

info@knauf.be

Les enduits à base de plâtre requièrent un support qui dispose d'une bonne adhérence et d'un pouvoir absorbant normal. Dans le cas contraire, le risque est grand de voir la couche d'enduit se détacher ou l'enduit être dans l'incapacité de faire sa prise. La grande majorité des murs ou plafonds ne disposent pas de ces propriétés.

Dans la pratique, il y a lieu de distinguer différents types de supports : des supports au pouvoir absorbant élevé ou irrégulier et des supports lisses, peu ou pas absorbants. Grâce au primer Knauf adéquat, ces supports peuvent acquérir un pouvoir absorbant normal et une bonne adhérence.

Betokontakt Stuc-primer



Knauf
Rue du parc industriel, 1
B-4480 Engis
Tél.: 04-273 83 11
Fax: 04-273 83 30